

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701

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

Том 27, № 1. 2017

Научный журнал

Основан в январе 1990 г.

Выходит один раз в квартал

16+



Vol. 27, no. 1. 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 Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), а также международных базах данных EBSCO, Index Copernicus и ResearchBib

Является членом Комитета по этике научных публикаций, Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и Cross Ref

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



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)

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 государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники», доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)
- Нишев 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 Агробиотехнологии при Университете им. Александра Стулгинскиса, доктор биомедицинских наук, профессор (Каунас, Литва)
- Ганс Гуски** – член сообщества патологии г. Потсдама, 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 опытной станции Института лубяных культур Национальной академии аграрных наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Глухов, Украина)
- Радованович Милан Милошевич** – высший научный сотрудник Географического института «Jovan Cvijić» 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 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 State University of Instrument Engineering and Computer Science, 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** – Potsdam Pathology Community Member, 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 Experimental Station 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)

**ИНСТИТУТ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПУБЛИКАЦИЙ****Медицина**

Балашов Владимир Павлович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Бибнева Тамара Николаевна, кандидат медицинских наук (Москва, Россия)
Власов Алексей Петрович, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Герасимова Наталья Геннадьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Гончарова Людмила Никитична, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Давыдкин Василий Иванович, кандидат медицинских наук, доцент (Саранск, Россия)
Еремина Елена Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Инчина Вера Ивановна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Камаев Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)
Кораблева Наталья Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент (Сыктывкар, Россия)
Лежанкина Нина Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Мозеров Сергей Алексеевич, доктор медицинских наук, профессор (Обнинск, Россия)
Моисеева Инесса Яковлевна, доктор медицинских наук, профессор (Пенза, Россия)
Мосина Лариса Михайловна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Новикова Людмила Владимировна, кандидат медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Омельяненко Николай Петрович, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)
Павелкина Вера Федоровна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Пиксин Иван Никифорович, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Плотникова Надежда Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Степаненко Ирина Семеновна, кандидат медицинских наук, доцент (Саранск, Россия)
Сухоруков Владимир Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)
Тавобилов Михаил Михайлович, кандидат медицинских наук, доцент (Москва, Россия)
Ураков Александр Ливиевич, доктор медицинских наук, профессор (Ижевск, Россия)

Биология

Девяткин Аркадий Анатольевич, кандидат биологических наук, доцент (Саранск, Россия)
Кадималиев Давуд Али оглы, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Кузнецов Вячеслав Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Лукаткин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Силаева Татьяна Борисовна, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Трофимов Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Математика, физика и химия

Андреев Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор (Ульяновск, Россия)
Васин Виктор Алексеевич, доктор химических наук, профессор (Саранск, Россия)
Зюзин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)
Логунов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)
Рябочкина Полина Анатольевна, доктор физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Смолянов Андрей Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Томилин Олег Борисович, кандидат химических наук, доцент (Саранск, Россия)
Шорохов Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Щенников Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)

Технические науки

Амелькина Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Ашратов Альберт Аббясович, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Богатов Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Горбунов Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Животовский Григорий Альбертович, доктор технических наук, доцент (Нижний Новгород, Россия)
Ивлиев Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор (Волгоград, Россия)
Коваленко Ольга Юрьевна, доктор технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Кокинов Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Кудяев Сергей Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Митин Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Панфилов Степан Александрович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Римшин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)
Федоренко Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Чугунов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Шичков Леонид Петрович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)

**INSTITUTE OF PUBLICATIONS PEER REVIEWING****Medicine**

- Vladimir P. Balashov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Tamara N. Bebneva, Ph.D. (Medicine) (Moscow, Russia)
Vasilii I. Davydkin, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
Natalya G. Gerasimova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Lyudmila N. Goncharova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Vera I. Inchina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Igor A. Kamayev, Dr.Sci. (Medicine), professor (Nizhniy Novgorod, Russia)
Natalya N. Korableva, Ph.D. (Medicine), docent (Syktyvkar, Russia)
Nina Yu. Leshchankina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Inessa Ya. Moiseyeva, Dr.Sci. (Medicine), professor (Penza, Russia)
Larisa M. Mosina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Sergey A. Mozerov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Obninsk, Russia)
Lyudmila V. Novikova, Ph.D. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Nikolay P. Omelyanenko, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
Vera F. Pavelkina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Ivan N. Piskin, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Nadezhda A. Plotnikova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Irina S. Stepanenko, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
Vladimir S. Sukhorukov, PDr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
Mikhail M. Tavobilov, Ph.D. (Medicine), docent (Moscow, Russia)
Aleksandr L. Urakov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Izhevsk, Russia)
Aleksy P. Vlasov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Yelena Yu. Yeremina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)

Biology

- Arkadiy A. Devyatkin, Ph.D. (Biology), docent (Saransk, Russia)
Davud Kadimaliyev, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Vyacheslav A. Kuznetsov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Aleksandr S. Lukatkin, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Gennadiy V. Shlyakhtin, Dr.Sci. (Biology), professor (Saratov, Russia)
Tatyana B. Silayeva, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Vladimir A. Trofimov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)

Mathematics, Physics and Chemistry

- Aleksandr S. Andreyev, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Ulyanovsk, Russia)
Mikhail V. Logunov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Polina A. Ryabochkina, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Vladimir N. Shchennikov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Aleksy V. Shorokhov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Andrey G. Smolyanov, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Oleg B. Tomilin, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Viktor A. Vasin, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Aleksandr N. Zyuzin, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)

Engineering

- Svetlana A. Amelkina, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Albert A. Ashryatov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Andrey D. Bogatov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Mikhail V. Chugunov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Anatoliy S. Fedorenko, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Aleksy A. Gorbunov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Sergey N. Ivliyev, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Valeriy A. Kamayev, Dr.Sci. (Engineering), professor (Volgograd, Russia)
Andrey M. Kokinov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Olga Yu. Kovalenko, Dr.Sci. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Sergey P. Kudayev, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Eduard V. Mitin, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Stepan A. Panfilov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Vladimir I. Rimshin, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)
Leonid P. Shichkov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)
Grigoriy A. Zhivotovskiy, Dr.Sci. (Engineering), docent (Nizhniy Novgorod, Russia)

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.

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).

Журнал индексируется и архивируется в базах данных:

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

EBSCO

Index Copernicus

ResearchBib

SHERPA/Romeo

Журнал является членом Directory of Open Access Journals (DOAJ),

Комитета по этике научных публикаций,

Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и Cross Ref

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 System 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.

The journal is included in the “List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, where should be published the main results of dissertations for the degrees of Doctor and Candidate of sciences” (list of VAK).

The journal is indexed and archived by databases:

Russian Index of Scientific Citations

EBSCO

Index Copernicus

ResearchBib

SHERPA/Romeo

The journal is a member of Directory of Open Access Journals (DOAJ),
Cross Ref and ASEP

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





СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Щенников В. Н., Щенникова Е. В., Санников С. А. Сравнение моделей с нейронной сетью и OLS-регрессией при построении стратегии управления риском от дохода по индексу	12
Санников С. А. Нейронные сети в задачах расчета цен опционов фондовых рынков	21
Шиков С. А. Проблемы информационной безопасности: интернет вещей	27

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Скрябин В. А. Камерная обработка поверхности деталей незакрепленным шлифовальным материалов	41
Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Князьков А. С., Купряшкина В. Н., Шляпников М. Г., Купряшкин В. В., Терехин Е. Ю. Обоснование параметров динамического стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда при исследовании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин	52
Шешунова Е. В. Многокритериальные системы оптимизации в агропромышленном комплексе	67
Родиошкин М. Ю., Масленикова Л. В., Арюкова О. А., Родиошкина Ю. Г. Проектирование привода конвейера в системе КОМПАС-3D	77

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Заборовский А. В., Кокорев А. В., Бродовская Е. П., Фирстов С. А., Минаева О. В., Куликов О. А., Червякова Н. Н., Медвежонков В. Ю. Направленная доставка доксорубина с помощью экзогенных биосовместимых нановекторов при экспериментальных неоплазиях	93
Эльджели С. Р., Альшихи С. И., Абед Алькрем Н. М., Хамуда С. А. Магнетические бактерии и их потенциальное применение : обзорная статья	108
Блинов Д. С., Ласеева М. Г., Чернова Н. Н., Балыкова О. П., Китаева Л. И., Тумутолова О. М. Мониторинг заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Республике Мордовия (по данным 2015 г.)	123
Ивойлов А. В. Первая находка <i>Mutinus ravenelii</i> (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. (<i>Phallaceae</i>) в Республике Мордовия	131
Информация для авторов и читателей (на рус. яз.)	141
Информация для авторов и читателей (на англ. яз.)	143



CONTENTS

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Shchennikov V. N., Shchennikova Ye. V., Sannikov S. A. Comparison of models with neural network and OLS-regression in constructing the risk management strategy against the income according to index	12
Sannikov S. A. Neural networks for stock market option pricing	21
Shikov S. A. Problems of information security: Internet of Things	27

ENGINEERING

Skryabin V. A. Chamber treatment of detail surfaces by unfixed polishing material	41
Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Knyazkov A. S., Kupryashkina V. N., Shlyapnikov M. G., Kupryashkin V. V., Terekhin Ye. Yu. Justification for parameters of a dynamic stabilizer of the experimental stand mobile unit in studying of active rotational working tools of tiller machines	52
Sheshunova Ye. V. Multicriteria systems of optimization in agro-industrial complex	67
Rodioshkin M. Yu., Maslennikova L. V., Aryukova O. A., Rodioshkina Yu. G. Conveyor drive design in COMPAS 3D system	77

MEDICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

Zaborovskiy A. V., Kokorev A. V., Brodovskaya Ye. P., Firstov S. A., Minayeva O. V., Kulikov O. A., Chervyakova N. N., Medvezhonkov V. Yu. Targeted delivery of doxorubicin by exogenous biocompatible nanovektors in experimental neoplasia	93
Eljmali S. R., Alshikhi S. I., Abed Alkreem N. M., Hamouda S. A. Magnetic bacteria and their potential applications: A review article	108
Blinov D. S., Laseyeva M. G., Chernova N. N., Balykova O. P., Kitayeva L. I., Tumutolova O. M. Monitoring of HIV-infection in the Republic of Mordovia (Updated 2015)	123
Ivoylov A. V. First finding of <i>Mutinus ravenelii</i> (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. (<i>Phallaceae</i>) in the Republic of Mordovia	131
<i>Information for authors and readers of the journal (in Russian)</i>	141
<i>Information for authors and readers of the journal (in English)</i>	143



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

УДК 519.876.5:004.942

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.012-020

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ С НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ И OLS-РЕГРЕССИЕЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ ОТ ДОХОДА ПО ИНДЕКСУ

В. Н. Щенников, Е. В. Щенникова, С. А. Санников*
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)
**primarx12@yandex.com*

Введение. Модели с нейронной сетью и OLS-регрессией используются на рынке акций и включают в себя переменные, описывающие состояние данного рынка. Одним из возможных способов определения таких зависимостей является их кластеризация с помощью анализа главных компонент. Цель исследования – раскрыть суть двух перспективных эвристических подходов к оценке динамики функциональных связей между доходами на рынке акций и переменных, описывающих состояние рынка.

Материалы и методы. Материалами для исследования послужили модели с непрерывной сетью и OLS-регрессия в пространстве стратегий управления доходами, а также математическая статистика.

Результаты исследования. Известно, что суть установления функциональных связей между доходами на рынке акций состоит в их кластеризации с использованием линейного или нелинейного анализа главных компонент состояния рынка. В данной работе приводится анализ двух перспективных эвристических подходов к оценке динамики функциональных связей между доходами на рынке акций и переменными, описывающими состояние рынка.

Обсуждение и заключения. В результате исследования было установлено, что полученные нейронные сети имеют преимущество перед более традиционными методами в случаях, когда невозможно точно описать имеющиеся связи, но возможно выделить некоторый набор показателей, характеризующий исследуемое явление. И даже в самой неблагоприятной ситуации MBPN-сеть может превосходить метод OLS-регрессии.

Ключевые слова: MBPN-модели, волатильность, средняя квадратичная оценка, OLS-регрессия, правила торговли

Для цитирования: Щенников В. Н., Щенникова Е. В., Санников С. А. Сравнение моделей с нейронной сетью и OLS-регрессией при построении стратегии управления риском от дохода по индексу // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 12–20. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.012-020



COMPARISON OF MODELS WITH NEURAL NETWORK AND OLS-REGRESSION IN CONSTRUCTING THE RISK MANAGEMENT STRATEGY AGAINST THE INCOME ACCORDING TO INDEX

V. N. Shchennikov, Ye. V. Shchennikova, S. A. Sannikov*

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**primarx12@yandex.com*

Introduction. The models with neural network and OLS-regressions are used in the stock market and include variables that describe the state of the stock market. One of the possible ways to determine these dependencies is clusterization trough analyzing principal components. The main aim of the research is revealing the essence of two promising heuristic approaches to assessment of the dynamics of functional relationships between the incomes in the stock market and variables that describe the state of the market.

Materials and Methods. The source data are models with a continuous network and OLS-regression in the area of management strategies. Mathematical statistics revenue management strategies.

Results. It is well known that specifics of functional relationship establishment between the income in the stock market lies in their clusterization through a linear (nonlinear) analysis of principal components of the market condition. We analyzed two promising heuristic approaches to the assessment of the dynamics of functional relationships between the income in the stock market and variables describing the state of the market.

Discussion and Conclusions. The analysis of the dynamics of functional links between the revenues on the stock market was made.

Keywords: MBPN models, volatility, mean square estimation, OLS-regression, trade rules

For citation: Shchennikov VN, Shchennikova YeV, Sannikov SA. Comparison of models with neural network and OLS-regression in constructing the risk management strategy against the income according to index. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):12-20. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.012-020

Введение.

Базовая структура сети проста: входной вектор из шести переменных и одномерный выход (переменная VWNY). Способность сети к обобщению может быть увеличена за счет прямых связей входных и выходных элементов [1–3]. Цель работы заключается в раскрытии перспективных эвристических подходов к оценке динамики функциональных связей в нейронной сети.

Если отсутствуют готовые схемы для оптимального выбора модели, необходимо апробировать различные критерии согласия. Для этого необходимо сравнить величины квадратного корня из среднеквадратичной ошибки (переменная RMSE) на тестовом множестве. После этого была задействована архитектура сети, которая выдавала наименьшую среднеквадратичную ошибку (табл. 1).

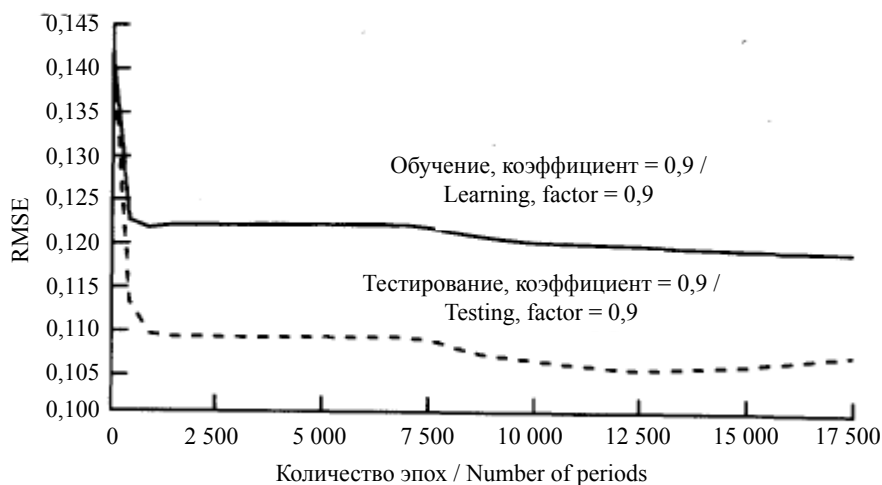
Т а б л и ц а 1

Table 1

Квадратичный корень из средней квадратичной ошибки на подтверждающем множестве для обученных сетей различной архитектуры

Square root of the mean square root error on affirmative set for the trained networks of various architecture

Конфигурация / Configuration	Прямые связи / Direct links	Эпохи / Periods	RMSE
Коэффициент обучения / Learning factor – 0,93			
6-2-1	Нет / No	29 000	0,12240
6-3-1	Нет / No	7 000	0,11090
6-5-4-1	Нет / No	1 800	0,11567
Коэффициент обучения / Learning factor – 2,00			
6-3-1	Есть / Yes	22 300	0,10530



Р и с. 1. Квадратный корень из среднеквадратичной ошибки для 6-3-1 сети

F i g. 1. Square root of the mean square root error for 6-3-1 network

Материалы и методы

Материалами для исследования послужили модели с непрерывной сетью

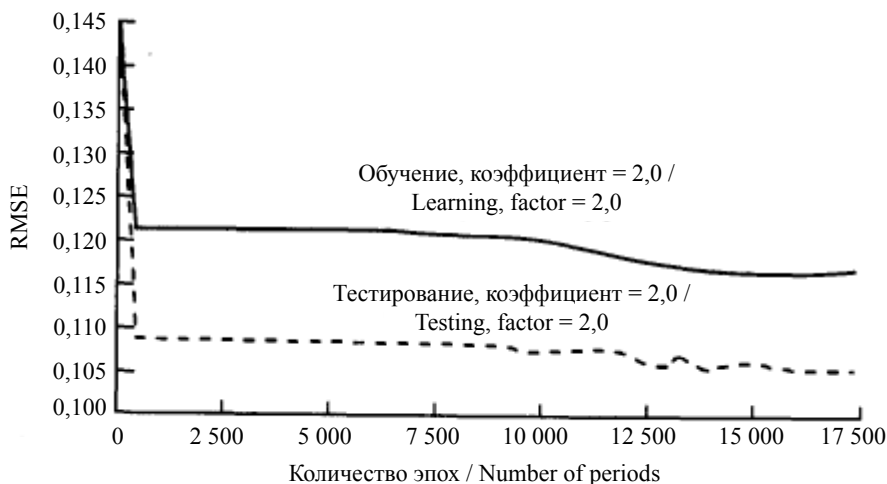
[4–7] и OLS-регрессия в пространстве стратегий управления от доходов, а также математическая статистика [8–10].



Результаты исследования

Рассматриваемый алгоритм включал в 2 раза больше эпох по сравнению с тем, в котором было достигнуто наилучшее обобщение. Таким образом, количество эпох было в 2 раза больше, чем показано в табл. 1 и рис. 1. При любом коэффициенте обучения RMSE на тестовом множестве будет меньше, чем на обучающем. Данный эффект мож-

но объяснить зашумленностью обучающего множества и отсутствием шума в тестовом множестве. Поскольку обучение прекращалось, как только значение RMSE начинало увеличиваться, можно предположить, что сеть не переобучилась, т. е. не «запомнила» шум. Таким образом, наличие больших погрешностей на обучаемом множестве объяснялось только белым шумом (рис. 1–3).



Р и с. 2. Квадратный корень из среднеквадратичной ошибки для 6-3-1 сети с коэффициентом обучения 2

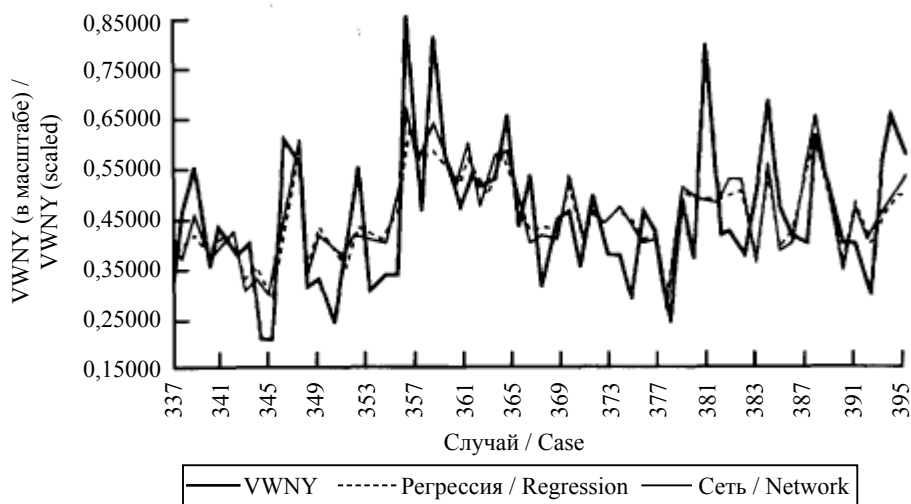
F i g. 2. Square root of the mean square root error for 6-3-1 network with learning factor 2

Среди всех полученных нейронных сетей наилучшей является сеть с архитектурой 6-3-1 с прямыми связями и коэффициентом обучения 0,9. Для того чтобы получить решение в кратчайшие сроки, коэффициент обучения был увеличен в 2 раза. Шаги в направлении градиента значительно увеличились, вследствие чего произошло перескакивание через решение. В связи с этим для оптимального обучения сети понадобится намного большее количество эпох (~ 22 тыс.).

На рис. 1 показано, что RMSE убывает в первых 500 эпохах, а после 12 тыс. начинает колебаться. На

рис. 3 представлены оценки, полученные на подтверждающем множестве с помощью OLS-регрессии и сети 6-3-1. Показания, которые вывела сеть, оказались как по значениям RMSE, так и по коэффициенту корреляции Пирсона. Однако на новых образцах данных сеть показывает лучшие результаты, чем на обучающем множестве (REG1).

До этого момента сравнивались архитектуры сетей и предполагалось влияние сигнала на результат. В связи с этим возникает вопрос: влияют ли данные переменные на конечный результат (табл. 2–3).



Р и с. 3. Сравнение значений переменной VVNY, полученных регрессией и сетью, с ее истинными значениями

F i g. 3. Comparison of VVNY variable values obtained by the regression and the network, with its true values

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Критерии согласования для выходов регрессии и сети

Concordance criteria for regression and network outputs

RMSE на обучающем и тестовом множестве / RMSE on learning and testing set			
	REG1	REG2	Сеть / Network
Обучение / Learning	0,1210	0,1234	0,1189
Тестирование / Testing	–	0,1100	0,1030
Корреляция Пирсона / Pearson correlation			
	VVNY	Регрессия / Regression	Сеть / Network
VVNY	1,00	–	–
Регрессия / Regression	0,66**	1,00	–
Сеть / Network	0,68**	0,98**	1,00

Примечание: ** – при 1%-ных хвостах распределения / Note: ** – in case of 1 % distribution tail areas



Таблица 3

Table 3

**Вклад переменных в решение на обучающем множестве,
тестовых множествах и всех данных**

The contribution of all variables into the solution based on learning, testing sets and overall data

RMSE							
	DC631	Ui(t)	DEI(t)	URP(t)	UTS(t)	MP(t + 1)	YP(t + 12)
Общее /Gen	0,117	0,118	0,120	0,141	0,148	0,117	0,119
Обучающее / Learn	0,119	0,120	0,123	0,143	0,139	0,119	0,121
Тестовое / Test	0,105	0,106	0,108	0,128	0,191	0,106	0,108
Разница в RMSE, % / Difference in RMSE, %							
Общее / Gen	100,00	0,94	2,88	20,30	26,45	0,33	1,74
Обучающее / Learn	100,00	0,91	2,87	20,02	16,54	0,26	1,51
Тестовое / Test	100,00	1,19	2,95	22,27	82,91	0,82	3,39

Для того чтобы оценить реальный вклад переменных в результат анализа нейронной сети, необходимо вычислить выход сети с оптимальным вектором. Предположим, что значение каждой переменной неизвестно и должно быть заменено на среднее арифметическое остальных пяти при их постоянных значениях. Таким образом были получены шесть новых входных матриц. После этого вычислялись выходные ряды для полученных входных матриц. Для данных рядов вычислили RMSE и сравнили ее с RMSE исходной входной матрицы. Дело в том, что если переменная активно влияет на решение, то ее RMSE будет значительно больше, чем в исходной матрице. Все найденные среднеквадратичные ошибки оказались больше исходных, а следовательно, замена переменной ее безусловным ожиданием только ухуд-

шает оценку целевой переменной. По результатам регрессионного анализа эти переменные квалифицируются как неактивные. Непредвиденная инфляция и месячная продукция имеют некоторое объясняющее значение и не могут быть заменены комбинациями других входных переменных.

При таком положении вещей различия между нейронной сетью и OLS-регрессией становятся просто огромными. Чтобы улучшить результат за счет функции активации OLS-регрессии, можно использовать формулу:

$$R = \frac{\text{дисперсия остатков (нелинейная модель)}}{\text{дисперсия остатков (линейная модель)}}$$

Значение данной функции лежит в промежутке между 0 и 1. Из-за того, что нейронные сети улавливают нели-

нейности в содержащихся данных, погрешность может только уменьшиться. Значения этих отношений оказываются примерно равными 0,94 и 0,92. Следовательно, либо в данных отсутствует нелинейность, либо нейронная сеть недостаточно эффективно использует свои нелинейные возможности. Предположим, что нелинейность в данных отсутствует, поскольку база данных строится с помощью линейных моделей. Большое значение данного отношения можно объяснить тем, что нейронная сеть лишь незначительно превосходит OLS-регрессию по критерию RMSE. Однако стоит заметить, что нейронные сети все же превосходят OLS-регрессию даже в работе с такими данными, в которых очень слабо выражена нелинейность между входами и целевой переменной.

Обсуждение и заключения

Нейронные сети имеют преимущество перед более традиционными методами в тех случаях, когда точное описание всех имеющихся взаимосвязей невозможно, но выделяется некоторый набор показателей, характеризующих исследуемое явление. В отсутствие четкой концептуальной модели применение регрессионных методов не представляется возможным. Данные по макроэкономическим факторам, использованные после предварительной

обработки оказываются почти идеально связанными с целевой переменной (доходом на NYSE) линейными связями, на что указывают большие значения коэффициента смешанной корреляции при регрессионном анализе и отношения R.

Выбранная архитектура сети с непосредственными связями между входами и выходами для такой ситуации является довольно удачной. Однако стоит отметить, что даже в сложной ситуации MBPN-сеть может превосходить метод OLS-регрессии по показателю RMSE и коэффициенту корреляции Пирсона. Более того, 6-3-1 сеть даже при работе с новыми данными позволяет составить более точный прогноз, чем оценка регрессии на уже ранее обработанных данных. Очевидна высокая степень согласованности результатов, касающихся вклада отдельных переменных, которые дают обычная регрессия и многослойная сеть. Такое соответствие повышает уверенность в правильности результатов и одновременно говорит о том, что, по крайней мере, линейная составляющая связи между доходом по индексу и выбранным фактором улавливается нейронной сетью достаточно успешно. Таким образом, работа нейронных сетей обретает большую прозрачность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тепман Л. П., Эриашвили Н. Д. Управление инвестиционными рисками : учеб. пособие. М. : ЮНИТИ-Дана, 2016. 215 с.
2. Кабушкин С. Н. Управление банковским кредитным риском. М. : Новое знание, 2004. 336 с.
3. Качалов Р. М. Управление хозяйственным риском. М. : Наука, 2002. 344 с.
4. Барский А. Б. Логические нейронные сети : учеб. пособие. М. : Бином, 2012. 352 с.
5. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений: опыт анализа мыслительных актов. М. : Радио и связь. 1989, 184 с. URL: <http://www.raai.org/about/persons/pospelov/pages/modras.pdf>
6. Фролов Ю. Ф. Интеллектуальные системы и управление решения. М. : МГПУ, 2000. 294 с.
7. Ежов А., Шумский С. Нейрокомпьютинг и его применение в науке и бизнесе. М., 1998. 224 с. URL: <http://www.neuroproject.ru/Papers/Neurocomputing.htm>
8. Бондарев А. Б. Прогнозирование биржевых сделок предприятий : практич. пособие. М. : Экономика и финансы, 1999. 240 с.



9. Едренова В. Н., Малфеева М. В. Общая теория статистики : учеб. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Магистр, 2015. 511 с. URL: <http://lib.sale/statistiki-teoriya/obschaya-teoriya-statistiki-uchebnik-yuristy.html>

10. Социально-экономическая статистика. 2-е изд. перераб. и доп. / Под ред. М. Р. Ефимовой. М. : Юрайт, 2016. 591 с. URL: <http://virtua.nsuem.ru:8001/mm/2012/000167488.pdf>

Поступила 27.10.2016; принята к публикации 25.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Щенников Владимир Николаевич, профессор кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор физико-математических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1034-1293>, vnshchenn@yandex.ru

Щенникова Елена Владимировна, профессор кафедры фундаментальной информатики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор физико-математических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5989-3550>, schennikova8000@yandex.ru

Санников Сергей Андреевич, аспирант кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6135-6954>, primarx12@yandex.ru

Вклад соавторов: В. Н. Щенников: научное руководство, постановка задачи, определение методологии исследования, критический анализ и доработка текста; Е. В. Щенникова: сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, критический анализ и доработка решения; С. А. Санников: анализ научных источников по теме исследования, компьютерная реализация решения задачи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Tepman LP, Eriashvili ND. Upravleniye investitsionnymi riskami: ucheb. posobiye [Investment risk management: Textbook]. Moscow: YuNITI-Dana; 2016. (In Russ.)
2. Kabushkin SN. Upravleniye bankovskim kreditnym riskom [Credit risks management]. Moscow: Novoye Znaniye Publ.; 2004. (In Russ.)
3. Kachalov RM. Upravleniye khozyaystvennym riskom [Economic risk management]. Moscow: Nauka; 2002. (In Russ.)
4. Barskiy AB. Logicheskiye neyronnyye seti: ucheb. posobiye [Logic neural networks: Textbook]. Moscow: Binom; 2012. (In Russ.)
5. Pospelov DA. Modelirovaniye rassuzhdeniy: opyt analiza myslitelnykh aktov [Modelling of reasoning: Experience of analyzing mental acts]. Moscow: Radio i Svyaz Publ. 1989. Available from: <http://www.raai.org/about/persons/pospelov/pages/modras.pdf> (In Russ.)
6. Frolov YuF. Intellektualnyye sistemy i upravleniye resheniya [Intelligent systems and solutions management]. Moscow: MGPU; 2000. (In Russ.)
7. Yezhov A, Shumskiy S. Neyrokompyuting i ego primeneniye v nauke i biznese [Neurocomputing and its application in science and business]. Moscow; 1998. Available from: <http://www.neuroproject.ru/Papers/Neurocomputing.htm> (In Russ.)
8. Bondarev AB. Prognozirovaniye birzhevykh sdelok predpriyatiy: praktich. posobiye [Forecasting exchange transactions enterprises: Textbook]. Moscow: Ekonomika i Finansy Publ.; 1999. (In Russ.)



9. Yedronova VN, Malfeyeva MV. Obschchaya teoriya statistiki: ucheb [General theory of statistics]. 2nd ed. Moscow: Magistr; 2015. Available from: <http://lib.sale/statistiki-teoriya/obschaya-teoriya-statistiki-uchebnik-yuristy.html> (In Russ.)

10. Yefimova MR. Sotsialno-ekonomicheskaya statistika [Socio-economic statistics]. 2nd ed. Moscow: Yurayt; 2016. Available from: <http://virtua.nsuem.ru:8001/mm/2012/000167488.pdf> (In Russ.)

Submitted 27.10.2016; revised 25.01.2017; published online 31.03.2017

About the authors:

Vladimir N. Shchennikov, Professor of Chair of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Physics and Mathematics), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1034-1293>**, vnshchenn@yandex.ru

Yelena V. Shchennikova, Professor of Chair of Fundamental Informatics, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Physics and Mathematics), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5989-3550>**, schennikova8000@yandex.ru

Sergey A. Sannikov, Postgraduate Student, Chair of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6135-6954>**, primarx12@yandex.ru

Contribution of the co-authors: V. Shchennikov: scientific management, formulation of the problem, development of research methods, critical analysis and revision of the draft; Ye. Shchennikova: collection and analysis of data on research topic, critical analysis and revision of the decision; S. Sannikov: analysis of the scientific literature on research topic, computer implementation of the solution, writing of the manuscript.

All authors have read and approved the final manuscript.



НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА ЦЕН ОПЦИОНОВ ФОНДОВЫХ РЫНКОВ

С. А. Санников

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

primarx12@yandex.com

Введение. Использование нейронных сетей для нелинейных моделей помогает понять, в какой степени проявляются недостатки линейной модели, вызванные их спецификацией. Цель исследования – раскрыть содержание понятия «расчет цен опциона с использованием аппарата нейронных сетей».

Материалы и методы. В работе были использованы 2 вида переменных: эндогенные (входящие в модель нейронных сетей) и действующие на модель (постоянные возмущения).

Результаты исследований. С помощью полученной 33-14-1 нейронной сети с прямыми связями были получены 2 совокупности прогнозов; разработаны критерии оптимальности стратегий в задачах расчета цен опционов фондовых рынков.

Обсуждение и заключения. Получены 2 вида нейронных сетей, каждая из которых дает собственные положительные результаты, превышающие показатели регрессионного анализа. Также было выявлено, что адаптивная сеть лучше оценивает будущие доходы, чем простая нейронная сеть.

Ключевые слова: MBPN-модель, волатильность, среднеквадратичная оценка, нейронная сеть, опцион фондовых рынков

Для цитирования: Санников С. А. Нейронные сети в задачах расчета цен опционов фондовых рынков // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 21–26. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.021-026

NEURAL NETWORKS FOR STOCK MARKET OPTION PRICING

S. A. Sannikov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

primarx12@yandex.com

Introduction. The use of neural networks for non-linear models helps to understand where linear model drawbacks, caused by their specification, reveal themselves. This paper attempts to find this out. The objective of research is to determine the meaning of “option prices calculation using neural networks”.

Materials and Methods. We use two kinds of variables: endogenous (variables included in the model of neural network) and variables affecting on the model (permanent disturbance).

Results. All data are divided into 3 sets: learning, affirming and testing. All selected variables are normalised from 0 to 1. Extreme values of income were shortcut.

Discussion and Conclusions. Using the 33-14-1 neural network with direct links we obtained two sets of forecasts. Optimal criteria of strategies in stock markets' option pricing were developed.

Keywords: MBPN model, volatility, mean square estimation, neural network, stock market option

For citation: Sannikov SA. Neural networks for stock market option pricing. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):21-26. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.021-026

Введение

Использование нейронных сетей для нелинейных моделей помогает понять, в какой степени проявляются недостатки линейной модели, вызванные их спецификацией или предположением об эффективности рынка. В современных публикациях часто встречаются исследования с наличием структуры «следование с запаздыванием» в ценах на опционы или акции [1–3]. В данных работах основной упор делается на то, что цены опционов являются ориентиром, за которым следуют цены соответствующих бумаг на рынке акций. Из этого делается вывод об эффективности рынка: зная положение рынка опционов, можно извлечь информацию, которая не дошла до рынка наличных средств. Данный прогноз будущей цены дает возможности для составления выгодной торговой стратегии. Идейной основой результатов данной работы послужили исследования [4–5]. Цель работы заключается в раскрытии работы нейронных сетей при анализе цен опционов фондовых рынков.

Современные методы, в том числе методы нейронных сетей, предоставляют возможность исследовать нелинейные модели формирования цен. Стандартные модели формирования цен оказываются недостаточно удовлетворительными из-за неполноты спецификации, а не из-за свойств «эффективности рынка». С помощью MBPN-модели [6] в данной статье рассматривается возможность извлечения прибыли на малом отрезке времени. С помощью базы данных о сделках, совершаемых в течение рабочего дня

на Europe Options Exchange – Европейской опционной бирже (ЕОЕ) в г. Амстердаме, был спрогнозирован размер прибыли по акциям компании Philips. В процессе работы были смоделированы 2 нейронные сети и модель линейного регрессионного анализа; приведено их сравнение по 3 критериям: средней квадратичной ошибке (MSE), коэффициенту корреляции Пирсона (r) и полученному доходу за определенный фиксированный промежуток времени. Наибольшая эффективность (11 % годового дохода) была достигнута с помощью нейронной сети 33-14-1.

Обзор литературы

В научной и учебной литературе, посвященной нейронным сетям, не уделяется достаточно внимания работе с нейронными сетями. Как правило, авторы статей не анализируют их сходства и различия с классическими методами (например, OLS-регрессией). Например, в работе А. Б. Барского [5] освещена работа основных видов нейронных сетей; возможности анализа нейронными сетями подробно описаны Д. А. Поспеловым [4].

Материалы и методы

В работе используются 2 вида переменных: эндогенные (входящие в модель нейронных сетей) и действующие на рассматриваемую модель (постоянные возмущения).

Результаты исследования

Для прогнозирования одной переменной на выходе (доход по акции через 15 мин) используется 33 экзогенные переменные [7–8]. Поскольку в данной выборке использовалась информация о реальных сделках, цены



в исходном файле соответствуют нерегулярно расположенным моментам по времени. В связи с этим рассматривались средние значения цен за каждый 15-минутный интервал времени. Поскольку ЕОЕ открывается в 9:30 и закрывается в 17:00, каждый день торгов состоял из тридцати 15-минутных интервалов. Из данных для анализа были исключены периоды неактивной торговли (с 16.45 до 17:00 и обеденный перерыв). Если в течение 15 мин сделок по опционам не происходило, то в качестве цены акции на наличном рынке использовалось постоянное невзвешенное среднее значение от предыдущего интервала времени.

Каждое наблюдение оформлялось в четырех записях: цены опционов call с 4 разными ценами исполнения; целевая переменная – средний доход по акциям Philips (за следующий 15-минутный промежуток).

Все переменные, которые используются при анализе нейронной сетью, можно разделить на 2 группы: принимающие дискретные значения и принимающие непрерывные значения [9–10]. По первому виду переменных нейронная сеть распознает опционы разных серий и по-разному направляет входной сигнал. Например, от того, состоялась сделка по опционам в 14:00 в пятницу или в 11:00 в среду, зависят выводы в отношении цены акции. Данная ситуация – характерный пример нелинейных взаимодействий.

Аналогичное заключение можно сделать в отношении дискретных переменных. Например, 2 сделки, до истечения которых по опциону осталось 3 мес. (1) и несколько дней (2), оказывают разное влияние на цену акции в краткосрочной перспективе. Таким образом, можно предположить, что существует совокупность решающих правил, по которым определяется состояние системы с соответствующими выводами относительно одной или нескольких целевых переменных.

Кроме данных 2 видов переменных, распознающих состояние системы, имеются переменные, непосредственно связанные с целевой (линейной, квадратичной или обратной непрерывной связью).

Все данные были разделены на 3 группы: обучающие, подтверждающие и тестовые. Поскольку волатильность измеряется по принципу движущегося окна с шагом каждые 15 дней, обучающее множество охватывает промежуток с 11 февраля по 13 марта 1992 г., включает 24 рабочих дня и 2 784 наблюдений окон в 15 мин. В подтверждающее множество вошло 300 наблюдений. Во избежание эффектов дня и недели исполнения в отдельную группу были выделены данные для тестов с 16 марта по 3 апреля (таким образом, оставалось достаточно времени до исполнения). Выбранные переменные были нормализованы от 0 до 1. Крайние значения дохода были сокращены; в новом масштабе значение 0,5 соответствует нулевому значению за соответствующий промежуток времени.

Для выяснения влияния переменных и степени пригодности линейной модели был использован метод наименьших квадратов (OLS-регрессия). Поскольку подразумеваемая переменная процентная ставка является мультиколлинеарной (т. е. прослеживается линейная зависимость между переменными регрессионной модели) с соотношением длинных и коротких позиций, данная переменная была исключена из исследования.

Полученные в результате исследования данные представлены в таблице. Было установлено, что рассматриваемая модель объясняет ситуацию более чем в 3 % случаев; кроме этого, в ней обнаружена минимальная корреляция ряда. Регрессионные данные отражали кривые реальных доходов на протяжении первых трех торговых дней из тестового множества; на оставшемся множестве была выявлена

тенденция к понижению доходов. Поскольку средний доход по акциям за 15 мин был аналогичным для всех опционов, в график вносилось только одно

значение целевой переменной. Таким образом, количество наблюдений в проверочном множестве сократилось до 435.

Т а б л и ц а

Table

Значимые результаты регрессии на обучаемом множестве

Significant results of regression on a learning set

Переменные / Variables	Регрессия (B) / Regression (B)	Упрощенная регрессия (SE B) / Simplified regression (SE B)	Простая нейронная сеть (T) / Simple neural network (T)	Адаптивная нейронная сеть (Sig T) / Adaptive neural network (Sig T)
IOCADIF	-0,10340	0,037060	-2,790	0,0053
TRANOUR	0,02799	0,007990	3,502	0,0000
CACONOC	0,27614	0,127250	2,170	0,0301
RETLAG	0,07605	0,020110	3,782	0,0002
CACONJU	-0,07880	0,027630	-2,830	0,0044
CAPUDIF	-0,11280	0,041130	-2,742	0,0062
CAMMAEUR	-1,27950	0,493490	-2,593	0,0096
HISVOLA	0,25582	0,020400	4,916	0,0000
EXERT	-0,33600	0,066200	-5,051	0,0000
LAMBDAEUR	0,50799	0,178840	2,840	0,0045
MONEY	-0,50690	0,167600	-3,134	0,0017
Константа / Constant	0,99024	0,245610	4,593	0,0000
Коэффициенты, при которых были выполнены расчеты / Coefficients for which calculations were performed				
F-статистика / F-statistics			3,51	
Квадратичная ошибка (R ²) / Quadratic error (R ²)			3,92	
Уточненный R ² / Revised R ²			2,81	
Уровень значимости (F) / Level of significance (F)			0,00	



Поскольку в следующие 3 дня расхождения в результатах проверки все больше увеличивались, возникла необходимость регулярной перенастройки нейронной сети. Сначала сеть обучалась на обучающем множестве (300 записей) на протяжении 18 000 эпох. После этого прогнозировался доход по тестовому множеству на 1 ч вперед, и сеть переобучалась на последние 232 записи (в том числе на 4 прогнозируемых шага). Затем повторялся прогноз на 1 ч далее. После этого все внимание было уделено краткосрочному прогнозу, поскольку предметом исследования являются изменения показателей в течение 1 торгового дня.

Обсуждение и заключения

С помощью полученной 33-14-1 нейронной сети с прямыми связями (между входами и выходами и логическими функциями активации) были определены 2 совокупности прогнозов.

Первая – при обучении на исходных обучающих и подтверждающих данных на протяжении 18 000 эпох. В ходе исследования было изучено влияние различных коэффициентов обучения, импульсов, количества скрытых элементов на среднеквадратичную ошибку на подтверждающем множестве. Наихудшие результаты были достигнуты при коэффициенте обучения 0,1, импульсе 0,9 и 14 скрытых элементах.

Вторая – при повторном обучении нейронной сети с помощью движущегося окна. Данный метод должен был

улучшить результаты по каждому из критериев:

- средняя квадратичная ошибка на тестовом множестве;

- коэффициент корреляции Пирсона между выходом и целевыми значениями;

- доход (чистый), полученный на тестовом множестве.

В результате проведенной работы было выявлено, что второй вид сети обеспечивает лучшие результаты по сравнению с регрессивным анализом. Однако данный факт не говорит о его превосходстве над линейной моделью. При прогнозе на промежуток > 3 дней любая из полученных сетей будет давать отрицательный доход.

В ходе исследования был применен метод адаптивного обучения сети при помощи движущегося окна. Сеть обучалась 100 раз, в результате чего было получено 404 правильных прогноза из 435; на выходе наблюдалась тенденция к понижению доходов. Если говорить обо всем тестовом множестве, то обе сети дают более удовлетворительные показатели, чем регрессионный анализ (поскольку способны фиксировать нелинейности в данных). Адаптивная сеть лучше оценивает будущие доходы, чем простая, поскольку может прогнозировать как положительные, так и отрицательные доходы. Однако необходимо помнить, что качество прогноза падает, если он строится на промежуток времени, превышающий 3 дня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Едророва В. Н., Малфеева М. В. Общая теория статистики : учеб. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Магистр, 2015. 511 с. URL: <http://lib.sale/statistiki-teoriya/obschaya-teoriya-statistiki-uchebnik-yuristy.html>
2. Кабушкин С. Н. Управление банковским кредитным риском. М. : Новое знание, 2004. 336 с.
3. Ежов А., Шумский С. Нейрокомпьютинг и его применение в науке и бизнесе. М., 1998. 224 с.
4. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений: опыт анализа мыслительных актов. М. : Радио и связь, 1989. 184 с. URL: <http://www.raai.org/about/persons/pospelov/pages/modras.pdf>
5. Барский А. Б. Логические нейронные сети : учеб. М. : БИНОМ ; Лаборатория знаний, 2012. 352 с.
6. Фролов Ю. Ф. Интеллектуальные системы и управление решения. М. : МГПУ, 2000. 294 с.
7. Бондарев А. Б. Прогнозирование биржевых сделок предприятий : практич. пособие. М. : Экономика и финансы, 1999. 240 с.

8. Качалов Р. М. Управление хозяйственным риском. М. : Наука, 2002. 344 с.
9. Тепман Л. П., Эриашвили Н. Д. Управление инвестиционными рисками : учеб. пособие. М. : ЮНИТИ-Дана, 2016. 215 с.
10. Социально-экономическая статистика. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. М. Р. Ефимовой. М. : Юрайт, 2016. 591 с. URL: <http://virtua.nsuem.ru:8001/mm/2012/000167488.pdf>

Поступила 27.10.2016; принята к публикации 26.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторе:

Санников Сергей Андреевич, аспирант кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6135-6954>, primarx12@yandex.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Yedronova VN, Malfeyeva MV. Obshchaya teoriya statistiki: ucheb. [General theory of statistics: Manual]. 2nd ed. Moscow: Magistr; 2015. Available from: <http://lib.sale/statistiki-teoriya/obshchaya-teoriya-statistiki-uchebnik-yuristy.html> (In Russ.)
2. Kabushkin SN. Upravleniye bankovskim kreditnym riskom [Management of credit risks]. Moscow: Novoye znaniye; 2004. (In Russ.)
3. Yezhov A, Shumskiy S. Neyrokompyuting i ego primeneniye v nauke i biznese [Neurocomputing and its application in science and business]. Moscow; 1998. (In Russ.)
4. Pospelov DA. Modelirovaniye rassuzhdeniy: opyt analiza myslitelnykh aktov [Modelling of reasoning: analysis of the experience of mental acts]. Moscow: Radio i svyaz; 1989. Available from: <http://www.raai.org/about/persons/pospelov/pages/modras.pdf> (In Russ.)
5. Barskiy AB. Logicheskiye neyronnyye seti: ucheb. [Logic neural network: Textbook]. Moscow: BINOM; Laboratoriya znaniy; 2012. (In Russ.)
6. Frolov YuF. Intellekturnyye sistemy i upravleniye resheniya [Intelligent systems and management solutions]. Moscow: MGPU; 2000. (In Russ.)
7. Bondarev AB. Prognozirovaniye birzhevyykh sdelok predpriyatiy: praktich. posobiye [Forecasting exchange transactions of enterprises: A practical guide]. Moscow: Ekonomika i finansy; 1999. (In Russ.)
8. Kachalov RM. Upravleniye khozyaystvennym riskom [Economic risk management]. Moscow: Nauka; 2002. (In Russ.)
9. Tepman LP, Eriashvili ND. Upravleniye investitsionnymi riskami: ucheb. posobiye [Investment risk management: A training manual]. Moscow: YuNITI-Dana; 2016. (In Russ.)
10. Yefimova MR. Sotsialno-ekonomicheskaya statistika [Socio-economic statistics]. 2nd ed. Moscow: Yurayt; 2016. Available from: <http://virtua.nsuem.ru:8001/mm/2012/000167488.pdf> (In Russ.)

Submitted 27.10.2016; revised 26.01.2017; published online 31.03.2017

About the author:

Sergey A. Sannikov, Postgraduate Student, Chair of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6135-6954>, primarx12@yandex.ru

The author have read and approved the final manuscript.



ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

С. А. Шиков

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

stenlav@mail.ru

Введение. В статье рассматриваются возможные угрозы в сфере информационной безопасности при переходе от технологии информационного взаимодействия типа «машина-машина» к глобальному коммуникационному взаимодействию типа «интернет вещей». Угрозы рассматриваются на примерах системы «Умный Дом», беспроводного стандарта ZigBee, электрокаров фирмы Tesla и бесконтактной системы оплаты Apple Pay. Приводится определение термина *интернет вещей*; рассматривается история развития данной области, кратко излагается структура работы интернета вещей. Описывается разработанный в 2011 г. IoT-связанный стандарт – IEEE 1888, целью внедрения которого является повышение энергоэффективности решений, построенных на базе интернета вещей. Рассматриваются базовые проблемы безопасности при создании системы «Умный дом».

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны Apple Pay, беспроводной стандарт ZigBee, электрокары Tesla Model S. Методами анализа и сравнения, а также путем моделирования были определены угрозы безопасности для интернета вещей.

Результаты исследования. В ходе исследования была выявлено, что даже самые современные технологии не дают 100 % гарантии безопасности. Наиболее безопасной из рассмотренных примеров оказалась система Apple Pay. Главным фактором недостаточной безопасности во многом является желание производителя максимально удешевить процесс производства. И поскольку рядовые пользователи, как правило, в последнюю очередь обращают внимание на безопасность систем, то производители предпочитают сокращать затраты именно в этой сфере, соблюдая необходимые стандарты по нижней границе.

Обсуждение и заключения. Было установлено, что современный интернет вещей не соответствует всем необходимым требованиям безопасности. Устранять уязвимости рекомендуется путем разработки новых стандартов безопасности с предварительным полным анализом существующих угроз интернета вещей. Кроме этого, необходимо наладить контроль над логистикой таких устройств от производителя до этапа инсталляции оборудования на объекте.

Ключевые слова: интернет вещей, информационная безопасность, угроза безопасности, программное обеспечение, операционная система, логистика вещей, ZigBee, Apple Pay, Tesla

Для цитирования: Шиков С. А. Проблемы информационной безопасности: интернет вещей // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 27–40. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.027-040

PROBLEMS OF INFORMATION SECURITY: INTERNET OF THINGS

S. A. Shikov

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

stenlav@mail.ru

Introduction. The article deals with the threats to information security in the internet-working of physical devices, also known as Internet of Things (IoT), and the security challenge in terms of home automation systems, ZigBee protocol, Tesla electric cars and Apple Pay mobile payment. Section provides the term definition and history of the Internet of Things. The IEEE 1888 IoT-related standard developed in 2011 as integrated solution based on energy-saving technologies for the Internet of Things. The author considers security challenges for the “smart home” system. Next section reviews the experiments of the author involved in testing of the Internet of Things devices.

Materials and Methods. The subjects of study are the Apple Pay, the ZigBee wireless standard, Tesla Model S electric cars. The main methods for identification of security threats are analysis and comparison.

Results. The companies of electronic devices simplify and reduce the price of manufacturing process. The customers and users are rarely interested in levels of electronic devices security policies. This is the weakest link of electronic products in terms of security and safety. The tests demonstrated that modern electronic-based technologies do not reach the 100-percentage security level. Apple Pay mobile payment system demonstrated the highest security rating.

Discussion and Conclusions. Modern electronic devices for Internet of Things does not meet all safety requirements, from the point of view of the author. The article recommends analyzing the potential threats and developing new security standards. In addition, the logistics of electronic devices for Internet of Things need to be under control from the manufacturer to equipment installation time.

Keywords: Internet of Things, information security, safety threats, software, operating systems, logistics of things, ZigBee, Apple Pay, Tesla

For citation: Shikov SA. Problems of information security: Internet of Things. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):27-40. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.027-040

Введение

Целью исследования является изучение влияния глобального взаимодействия типа «машина-машина» на технологическую безопасность и устойчивость работы систем жизнеобеспечения современного общества. В статье рассматриваются наиболее вероятные угрозы нарушения конфиденциальности, доступности и целостности информации, циркулирующей в информационных сетях, которые предназначены для управления промышленными объектами.

Одним из современных трендов развития глобальных информационных систем является т. н. *интернет вещей* (например, бесконтактная система оплаты Apple Pay; автомобили, управ-

ляемые со смартфона, и др.). Официальное определение данного термина приводится в МСЭ-Т Y.2060, Overview of the Internet of Things: «...интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это глобальная инфраструктура информационного общества, обеспечивающая передовые услуги за счет организации связи между вещами (физическими или виртуальными) на основе существующих и развивающихся совместимых информационных и коммуникационных технологий».

Особый интерес к данному направлению проявляет Китай. Глобальное сотрудничество в этой области привело к разработке в 2011 г. IoT-связанного стандарта – IEEE 1888, целью вне-



дрения которого является повышение энергоэффективности решений. Данный стандарт на основе универсального протокола контроля сети помогает крупным коммерческим объектам снизить энергопотребление благодаря

дистанционному наблюдению, управлению и обслуживанию с использованием датчиков и мониторов наблюдения. На рис. 1 представлено развитие технологии IoT как поступательное развитие ПО и телекоммуникаций [1].



Р и с. 1. Эволюция технологии IoT

F i g. 1. Evolution of IoT technologies

Вместе с тем ряд специалистов в области информационной безопасности отмечают, что распространение взаимодействия технических систем без участия человека несет в себе достаточно серьезные угрозы безопасности [2]. С одной стороны, удаленное управление системами типа «Умный дом» позволяет с большим комфортом организовать свое жизненное пространство; а с другой, датчики и элементы управления системами жизнеобеспечения, оказавшись в руках злоумышленника, значительно увеличивают риски в области информационной безопасности.

Например, в 2008 г. национальный разведывательный совет США, осуществляющий координацию усилий

разведки в определенных географических регионах и промышленных отраслях, опубликовал документ «Disruptive Civil Technologies», в котором среди шести гражданских технологий с наибольшей «взрывной силой» был назван IoT. Согласно указанному документу, к 2025 г. узлами IoT, т. е. потенциальными целями хакеров, смогут стать все окружающие нас предметы.

Предлагаемый аналитический материал касается некоторых проблем в области информационной безопасности интернета вещей.

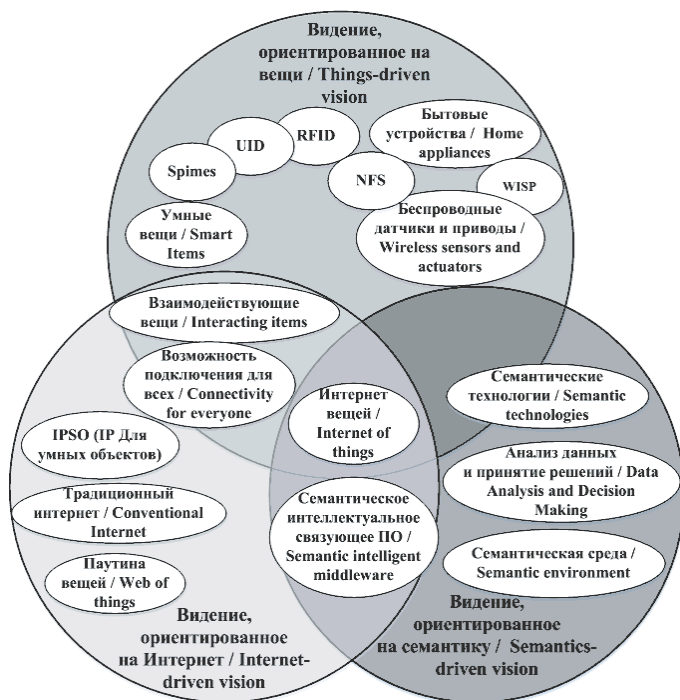
1. Угроза нарушения конфиденциальности. Датчики системы «Умный дом» передают третьей стороне данные о своем состоянии и местонахождении.

Таким образом, считывание этих данных злоумышленником позволит получить информацию, касающуюся, например, перемещения или образа жизни.

2. Сложности в проведении авторизации. Надежная авторизация предусматривает обмен сообщениями между сторонами и использование криптографических ключей. Такая технология обеспечения безопасности не всегда реализуема из-за повышения энергопотребления; кроме этого, датчики часто

обладают возможностями только односторонней коммуникации. По этой же причине в интернете вещей затруднительно использовать обычные средства обеспечения целостности информации.

Интернет вещей – достаточно сложная информационная среда. Эксперт в области информационной безопасности Л. Черняк предлагает рассматривать проблему внедрения интернета вещей с трех различных точек зрения (рис. 2) [3].



Р и с. 2. Три взгляда на интернет вещей
F i g. 2. Three views on Internet of Things

Как видно из рис. 2, для управления и доступа к бытовым устройствам через датчики и приводы необходимо семантическое интеллектуальное связующее программное обеспечение (ПО). Данная необходимость влечет за собой не только увеличение количества технических каналов утечки информации, но и потенциальные угрозы от уязвимостей ПО.

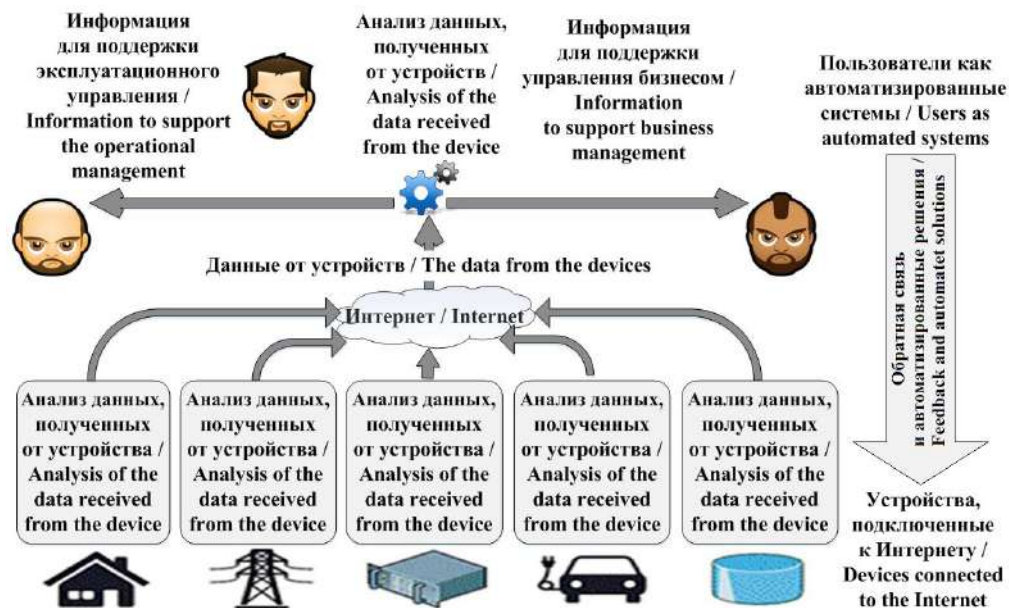
Интернет вещей представляет собой дальнейшее развитие взаимодействия типа M2M «машина-машина». В общем случае в IoT каждая вещь будет иметь свой идентификатор; в комплексе образуется континуум вещей, передающих друг другу информацию, создающих временные или постоянные сети. В ряде случаев процесс их функционирования может быть



полностью автоматизирован, а наличие систем искусственного интеллекта позволит изменять свои свойства и адаптироваться к окружающей среде. Более того, IoT позволяет создавать комбинацию из интеллектуальных устройств (например, различного рода средства дистанционного сбора данных и роботы), объединенных мультипротокольными сетями связи, и людей-операторов.

С точки зрения информационной безопасности, каждая вещь приобрета-

ет своего виртуального двойника. При этом количество уязвимостей системы прямо пропорционально количеству вещей. На всех этапах логистики, от производителя до магазина, данные об уникальных идентификаторах могут быть похищены, что порождает ряд проблем, связанных с защитой персональных данных. О сложности решения проблем безопасности «интернета вещей» можно судить по обобщенной архитектуре IoT-решения, представленной на рис. 3.



Р и с. 3. Типовая архитектура IoT-приложения от Microsoft
F i g. 3. Typical architecture of IoT applications from Microsoft

Изучая данную схему, нетрудно заметить, что обеспечение безопасности взаимодействия лежит в первую очередь на протоколах обмена между устройствами и, во-вторых, на операционных системах устройств, подключаемых к глобальной сети. Если технология обеспечения безопасности протоколов межсетевого обмена в настоящее время достаточно изучена, то операционные системы большинства вновь подключаемых устройств (бытовая

техника, автомобили и т. д.) абсолютно не учитывают требований информационной безопасности.

По указанной проблеме компанией ISACA в 2013 г. был проведен опрос, касающийся проблем безопасности в технологии IoT, согласно которому «повышенные риски безопасности» назвали 38 % респондентов, а «угрозы конфиденциальности данных» вызвали беспокойство у 28 % опрошен-

ных. Такой результат напрямую связан с тем, что 51 % участников последнего глобального исследования планируют извлечь выгоду из внедрения интернета вещей, а 45 % полагают, что он уже повлиял на их бизнес [4]. В середине января 2014 г. компания Proofpoint объявила об обнаружении кампании по рассылке спама, источником которой стал ботнет, примерно на четверть состоявший не из компьютеров, а из скомпрометированных роутеров, мультимедийных центров, смарт-телевизоров «и как минимум одного холодильника» [5].

Большинство аналитиков в области информационной безопасности сходятся во мнении, что интернет вещей содержит слишком много неформализованных параметров [6–10]. В связи с этим наряду с такими формализованными компонентами как криптозащита протоколов и сетей передачи данных необходимо учитывать т. н. «человеческий» фактор. Другими словами, развитие информационной культуры общества и учет интересов бизнеса играет даже более значительную роль в обеспечении безопасности IoT, чем защита от технических средств разведки. Пользователь должен грамотно контролировать собственный интернет вещей и не допускать выхода данных за пределы домашней локальной сети, например, с помощью защищенного соединения.

В упомянутом выше отчете Национального разведывательного совета США «Интернет вещей» фигурирует еще одна потенциально разрушительная технология – незаметное для потребителей и повсеместное превращение в интернет-узлы распространенных вещей, к которым можно отнести мебель, товарную упаковку, различные документы, способные нанести огромный урон интересам национальной безопасности. Например, оставленная солдатом в танке обертка от конфеты может стать ценным источником информации о местонахождении и перемещениях брони-

рованной машины, а следовательно, своеобразным маяком для нанесения ракетно-бомбовых ударов [11].

В настоящее время в бизнес-сообществе активно обсуждаются вопросы информационной безопасности интернета вещей как одного из самых активно развивающихся сегментов рынка. Данная работа посвящена анализу уязвимостей от различных хакерских атак с возможностью получения конфиденциальной информации о пользователе, последующей краже, перепродаже или другого нецелевого использования полученной информации.

Обзор литературы

Работа является продолжением исследований в области технической защищенности систем обработки конфиденциальной информации и систем обработки персональных данных, проводимых на кафедре информационной безопасности и сервиса ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева» [6–11].

Методики взлома подробно рассмотрены в литературе таких авторов как Б. Бейзер [13], А. Петровский [14], Д. Михайлов и И. Жуков [15], а также М. Саттон, А. Грин, П. Амини [16].

В результате анализа научной литературы были выявлены наиболее популярные и эффективные методы атак:

1. Атака посредника, или атака «человек посередине» (англ. Man in the middle (MITM)) – вид криптографической атаки, когда злоумышленник перехватывает и подменяет сообщения, которыми обмениваются корреспонденты, причем ни один из последних не догадывается о его присутствии в канале.

2. Метод компрометации канала связи, при котором взломщик, подключившись к каналу между контрагентами, осуществляет вмешательство в протокол передачи, удаляя или искажая информацию [14].

3. Фишинг – вид интернет-мошенничества, направленный на получение доступа к конфиденциальным данным пользователей – логинам и паролям.



Цель достигается путем массовых рассылок электронных писем от имени популярных брендов, а также личных сообщений внутри различных сервисов. В письме часто содержится прямая ссылка на сайт, внешне неотличимый от настоящего, либо на сайт с редиректом. После того, как пользователь попадает на поддельную страницу, мошенники пытаются различными психологическими приемами побудить его ввести на поддельной странице свои логин и пароль, которые он использует для доступа к определенному сайту.

Фишинг – одна из разновидностей социальной инженерии, основанная на незнании пользователями основ сетевой безопасности; в частности, того факта, что сервисы не рассылают писем с просьбами сообщить свои учетные данные, пароль и т. д. [16].

4. DoS (от англ. Denial of Service – отказ в обслуживании) – хакерская атака на вычислительную систему с целью довести ее до отказа, т. е. создание таких условий, при которых добросовестные пользователи системы не могут получить доступ к предоставляемым системным ресурсам (серверам) либо этот доступ затруднен. Отказ «вражеской» системы может быть шагом к овладению системой (если в нештатной ситуации ПО выдает какую-либо критическую информацию – например, версию или часть программного кода), однако чаще это мера экономического давления: потеря простой службы, приносящей доход, счета от провайдера и меры по уходу от атаки наносят «цели» ощутимый финансовый урон. В настоящее время DoS и DDoS-атаки наиболее популярны, поскольку позволяют довести до отказа практически любую систему, не оставляя юридических улик [15].

Материалы и методы

Целью работы является оценка информационной безопасности объектов интернета вещей. Под безопасностью понимают уровень защищенности

конфиденциальных данных, используемых объектами во время своей работы. В качестве основной характеристики защищенности рассматривается устойчивость системы к распространенным способам хакерского взлома (фишинг, MITM и DDoS-атаки).

Для оценки защищенности информационной безопасности структур интернета вещей используется анализ архитектуры входящих в него элементов и детальный разбор возможных хакерских способов взлома. На наш взгляд, наиболее предпочтительным является оценка уязвимости от популярных в настоящее время фишинговых, MITM-атак, а также методов социальной инженерии.

В качестве объектов для исследования были выбраны наиболее популярные системы:

1. Apple Pay – система мобильных платежей от корпорации Apple. Была представлена 9 сентября 2014 г. С помощью программ Apple Pay пользователи iPhone 6/6+, 6s/6s+, SE, iPhone 7/7+, Apple Watch могут оплачивать покупки по технологии NFC («ближняя бесконтактная связь») в сочетании с программой Wallet и Touch ID, а также для платежей в интернете.

2. Беспроводной стандарт ZigBee – спецификация сетевых протоколов верхнего уровня (уровня приложений APS (application support sublayer) и сетевого уровня NWK), использующих сервисы нижних уровней (уровня управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY) и регламентированных стандартом IEEE 802.15.4. ZigBee и IEEE 802.15.4 описывают беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN).

3. Электрокары Tesla Model S – пятидверные электромобили производства американской компании Tesla Motors. Прототип был впервые показан во Франкфуртском автосалоне в 2009 г.; поставки автомобиля в США начались в июне 2012 г. [17].

Результаты исследования

В настоящее время набирают популярность различные стандарты для управления интернет-вещами. Они предлагают готовые наборы протоколов управления и дают возможность достаточно быстро развернуть свою сеть для управления устройствами [11].

ZigBee – беспроводной стандарт, надстройка IEEE 802.15.4, при помощи которого устройства, подключенные к IoT, связываются друг с другом. Данный стандарт используют для своих устройств Samsung, Philips, Motorola и другие крупные производители. Исследователи венской компании Cognosec обнаружили в ZigBee критический недочет, который способен скомпрометировать любой умный дом.

Основная проблема заключается в том, что производители используют стандартные ключи связи (link key) для своих устройств, в погоне за совместимостью с устройствами других производителей, дешевизной и удобством пользователя. Использование стандартных link keys ставит под угрозу безопасность сети в целом. К тому же сам стандарт ZigBee недостаточно ответственно относится к вопросу безопасности и сохранности ключей, то есть безопасная инициализация и передача зашифрованных ключей внутри сети сильно уязвимы. При помощи простого sniffинга атакующий способен перехватить обмен ключами и внедриться в сеть, используя стандартный link key. В итоге устройства оказываются открыты для MITM-атак, а сеть, активный сетевой ключ и все коммуникации внутри сети – скомпрометированы [16].

После опытов с IoT-лампочками, датчиками движения, датчиками температуры и дверными замками в Cognosec был сделан вывод, что производители оснащают устройства для домашнего использования лишь необходимым минимумом функций, чтобы соответствовать минимальному стандарту. К сожалению, это обычная практи-

ка, не оставляющая пользователям выбора, даже если они хотят повысить стандарт безопасности на своем устройстве (хотя бы изменив пароли и установив дополнительное защитное ПО) [17]. По мнению исследователей, эта проблема куда серьезнее недочетов в самом стандарте ZigBee.

С подобными недостатками системы безопасности сталкиваются также обладатели новых электрокаров фирмы Tesla Motors [11].

Например, в сентябре 2016 г. исследователи компании Tencent Keen Security Lab продемонстрировали удаленный взлом Tesla Model S P85 и Model 75D. Как правило, для реализации подобных атак исследователи компрометируют бортовое ПО самого автомобиля, но специалисты норвежской компании Promon решили подойти к вопросу с другой стороны и атаковать Android-приложение.

По умолчанию во время установки официального приложения Tesla владелец автомобиля должен ввести имя пользователя и пароль, для которых приложение сгенерирует ключ OAuth. Впоследствии, когда пользователь вновь обращается к приложению, оно использует данный ключ, поэтому повторный ввод учетных данных не требуется. Приложение удаляет данный ключ после 90 дней использования и повторно запрашивает имя пользователя и пароль.

Исследователи Promon обнаружили, что приложение Tesla хранит ключ OAuth в формате обычного текста в директории sandbox. Следовательно, атакующий способен прочитать ключ, если ему удастся получить доступ к смартфону жертвы [18].

Специалисты пишут, что в настоящее время совсем не сложно создать вредоносное приложение для Android, которое содержало бы root-эксплоиты, например, Towelroot или Kingroot [Там же]. Эксплоиты помогут повысить привилегии приложения в системе,



а затем прочесть или подменить данные других приложений.

Однако просто узнать ключ недостаточно. Заполучив его, злоумышленник сможет проделать с машиной ряд действий, но не сможет ее завести, — для этого необходим пароль владельца. Исследователи придумали, как справиться и с этим: если вредоносное приложение удалит ключ OAuth с устройства жертвы, ей придется вновь ввести имя пользователя и пароль, т. е. у атакующего появится возможность перехватить учетные данные. Исследователи пришли к выводу, что атакующий может без особого труда внести изменения в код приложения Tesla. Если благодаря Malware злоумышленник уже получил root-доступ к устройству, ему будет нетрудно настроить пересылку копии учетных данных владельца автомобиля на свой сервер.

Имея ключ, а также учетные данные от официального приложения Tesla, злоумышленник может направить серверам Tesla правильно составленные HTTP-запросы, используя токен и, если понадобится, имя пользователя и пароль жертвы. В итоге у атакующего появится возможность завести двигатель без ключа, открыть двери, отследить машину и т. д. [Там же].

Бесконтактные системы оплаты с помощью смартфонов также имеют ряд уязвимостей. Рассмотрим в качестве примера самую популярную систему — Apple Pay. Суть ее работы состоит в том, что вместо использования пластиковой карты или наличных средств любую покупку можно оплатить с помощью гаджета Apple. Оплата происходит, когда пользователь подносит свой iPhone или Apple Watch к бесконтактному терминалу. Через несколько секунд на экране появляется сообщение о возможности проведения оплаты и предложение подтвердить транзакцию через сканер отпечатка или пароль.

Система Apple Pay состоит из 4 основных частей:

1. Основной механизм основан на технологии, близкой передаче данных NFC (на расстоянии до 20 см), в связке с чипом Secure Element, который представляет собой индустриальный стандарт в области финансовых операций. На этом чипе выполняется специальное Java-приложение.

2. Secure Element — область выделенной памяти, отделенной от системной. В этой области хранятся данные банковских карт пользователя в зашифрованном виде. Ни одна программа не имеет к ней доступ, данные никуда не передаются, и даже Apple не может повлиять на эту стратегию.

3. Secure Enclave — компонент, который управляет процессом аутентификации и запускает платежные транзакции, а также хранит отпечаток пальца для Touch ID.

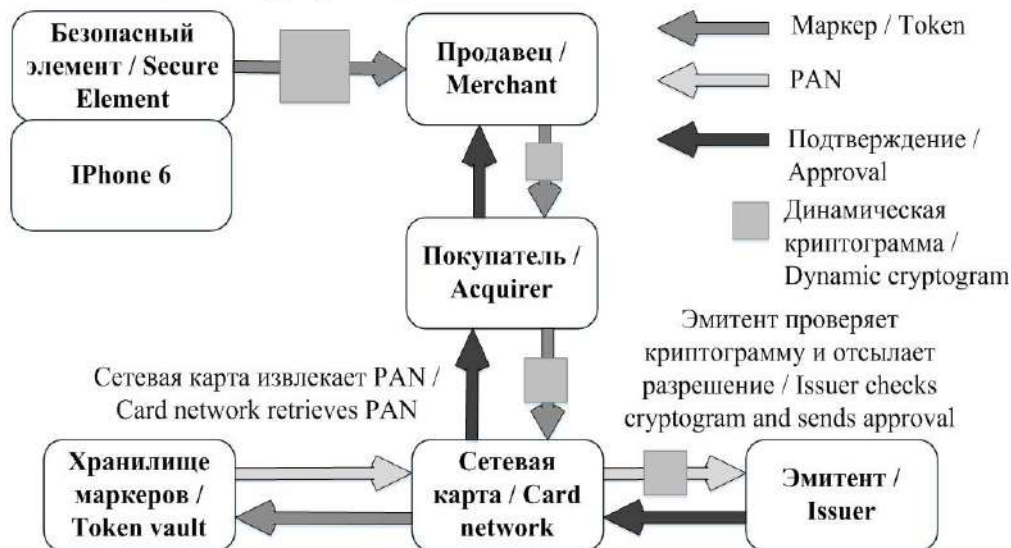
4. Apple Pay Servers — серверная часть, управляющая состоянием кредитных и дебетовых карт в приложении Wallet, вместе с номером устройства, хранящимся в Secure Element. Apple Pay Servers также отвечают за перекодирование платежных сведений внутри приложений.

Apple Pay обладает многоуровневой системой защиты: уникальный идентификатор устройства, динамически генерируемые коды безопасности для каждой платежной транзакции, биометрические сведения — отпечаток пальца [20].

Во время создания подключения устройства обмениваются одноразовыми ключами, которые удаляются при окончании связи. Ключ призван заменить номер карты в целях безопасности и представлять собой сгенерированный случайным образом номер. Номер банковской карты, скрываемым за ним, расшифровке не поддается.

Анатомия транзакции Apple Pay / Anatomy of Apple Pay Transaction

Пользователь аутентифицирован с помощью Touch ID; динамическая криптограмма сгенерирована и отослана продавцу с ключом (маркером) / User is authenticated with Touch ID and dynamic cryptogram is generated and sent to merchant with token



Р и с. 4. Анатомия транзакции Apple Pay
F i g. 4. Anatomy of Apple Pay transaction

Все это заменяет CVV банковской карты для платежной транзакции. После установки связи и обмена ключами для передачи данных они подвергаются шифрованию, информацию об алгоритме которого Apple не раскрывает. Зашифрованные сообщения отражают принадлежность определенному устройству, создавшему используемый ключ.

Даже если ключ будет перехвачен, это не даст злоумышленнику ценной информации, поскольку после разрыва соединения ключ удаляется.

В совокупности эти средства обеспечивают более надежную защиту, чем магнитная полоса и даже чип в банковской карте.

Однако несмотря на усилия разработчиков, в сервисе Apple Pay есть проблемные места, которые во многом зависят не от Apple: в процессе движения средств задействованы другие

структуры, в том числе банки с их значительными пробелами в безопасности.

Сканер отпечатков пальцев не всегда работает корректно. Являясь современным и, на первый взгляд, надежным средством удостоверения личности, оно одновременно представляет собой риск для безопасности. Если Touch ID выйдет из строя, можно воспользоваться Pin-кодом, что ликвидирует достижения продвинутой системы безопасности.

При оплате с помощью часов Apple Watch отпечаток не требуется, и в этом случае вопрос о безопасности приобретает особую актуальность. Но вместе с тем транзакция с помощью Apple Watch может быть совершена только в том случае, если часы находятся на запястье владельца.

В связи с этим появились дополнительные инструменты проверки: се-



кретный код, одноразовый пароль, звонок в службу поддержки клиентов или предоставление информации о предыдущих покупках.

Некоторые банки в других странах требуют от пользователя авторизации в мобильном интернет-банкинге. Эти действия уменьшают удобство использования Apple Pay из-за появления дополнительных уровней проверки [20].

В настоящее время в Российской Федерации используется самый простой формат оплаты без дополнительных авторизаций в процессе.

Обсуждения и заключения

В ходе проведенной работы по анализу уязвимостей были сделаны следующие выводы:

1. Ни одна современная система «Умного дома» не является действительно безопасной. Одна из основных причин недостаточного качества информационной безопасности заключается в желании производителей максимально удешевить свои продукты с целью привлечения максимального количества клиентов, которые, как правило, при выборе товара отдают предпочтение не безопасности, а функционалу и цене.

2. Даже такие популярные беспроводные стандарты как ZigBee не лишены уязвимостей. Причины их наличия также заключаются в желании максимально удешевить продукты, соблюдая минимальные требования информационной безопасности.

3. Набирающие популярность электрокары Tesla с возможностью дистанционного управления также имеют ряд проблем с удаленным управлением автомобилем. Риск в данном случае зависит не столько от самого произ-

водителя автомобилей, сколько от мобильных устройств, с которых ведется контроль за транспортным средством.

Для подготовки к переходу к всеобъемлющим информационным сетям, включающим технологии типа IoT, на наш взгляд, необходимо решение следующих задач в области информационной безопасности.

1. Оценка уязвимости подключаемых устройств на этапе производственного процесса. К сожалению, в настоящее время в связи с лавинообразным спросом на подобные устройства многие производители не уделяют достаточного внимания данной проблеме;

2. Разработка ПО, отвечающего требованиям безопасности с использованием стандартов разработки безопасных приложений. Кроме этого, необходимо предусмотреть возможность обновления данного ПО.

3. Управление логистикой устройств на всех этапах, от производства до инсталляции на объекте. Данный подход позволит значительно снизить уязвимость в аппаратно-зависимом коде.

На основании проведенного изучения проблем информационной безопасности взаимодействия типа «машина-машина» следует отметить, что в настоящее время не существует достаточного количества стандартов и рекомендаций в области информационной безопасности интернета вещей. Более того, многие рекомендации, касающиеся данной сферы, не могут быть использованы при подключении к глобальным сетям (например, компоненты, применяемые в системе «Умный дом», не предполагают авторизацию и аутентификацию).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Найдич А.** «Интернет вещей» – реальность или перспектива? [Электронный ресурс] // КомпьютерПресс, 2013. № 12. URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=24290>
2. **Круз Л.** Интернет вещей и информационная безопасность: защита информации // Инсайд. 2013. № 6. С. 60–61.

3. Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии [Электронный ресурс] // Открытые системы. 2013. № 4. URL: <http://www.osp.ru/os/2013/04/13035551>
4. **Мойл Э.** Пять составляющих безопасности интернета вещей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eocommercetimes.com/story/Securing-the-Internet-of-Things-5-Easy-Pieces-79438.html>
5. **Suo H.** Security in the Internet of Things : A review // Proceedings of the 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering. 2012. P. 648–651.
6. **Ивлиев С. Н.** Предварительный анализ технической защищенности системы дистанционного образования (на материале Мордовского государственного университета) // Интеграция образования. 2012. № 4 (69). С. 27–31. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18353911>
7. **Ивлиев С. Н.** Решение вопросов технической защиты информации в системе дистанционного образования Мордовского государственного университета // Отраслевые аспекты технических наук. 2012. № 6 (18). С. 13–16. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18311421>
8. **Ивлиев С. Н.** Интернет вещей: новые угрозы информационной безопасности // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : мат-лы XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Саранск, 28–29 мая 2015 г.). Саранск, 2015. С. 435–441. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24179239>
9. **Ивлиев С. Н.** Решение проблем безопасности информационно-технологического комплекса предприятий светотехнической отрасли на основе международных стандартов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : мат-лы XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Саранск, 28–29 мая 2015 г.). Саранск, 2015. С. 428–434. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24179114>
10. **Ивлиев С. Н.** Геоинформационные системы и новые угрозы информационной безопасности // Картография и геодезия в современном мире : мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. (г. Саранск, 8 апреля 2014 г.). Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 187–193. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23934378>
11. **Шиков С. А., Ивлиев С. Н.** Интернет вещей: новые угрозы информационной безопасности // Мат-лы XX науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева : в 3 ч. Саранск, 2016. С. 278–283. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27222070>
12. **Бобылев А. Е., Трофимова А. В.** Проблема защиты данных в интернете вещей [Электронный ресурс]. 2016. № 3. С. 25. URL: Nauka-Rastudent.ru
13. **Бейзер Б.** Тестирование черного ящика: технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. СПб. : Питер, 2004. 320 с.
14. **Петровский А.** Эффективный хакинг для начинающих и не только. 3-е изд. Москва : Майор, 2001. 164 с.
15. **Михайлов Д., Жуков И.** Защита мобильных телефонов от атак. Москва : Фойлис, 2011. 192 с. URL: <http://www.samomudr.ru/d2/Mixajlov%20D.%20M.,%20Zhukov%20I.%20Ju.%20-%20Zashita%20mobilnyx%20telefonov%20ot%20atak%20-%202011.pdf>
16. **Саттон М., Грин А., Амини П.** Fuzzing: исследование уязвимостей методом грубой силы. СПб. : Символ-Плюс, 2009. 560 с.
17. **Нефедова М.** Уязвимость в ZigBee ставит IoT-устройства под удар [Электронный ресурс]. URL: <https://xakep.ru/2015/08/10/zigbee-devices-problems>
18. **Нефедова М.** Автомобиль Tesla можно угнать, заразив смартфон его хозяина Malware [Электронный ресурс]. URL: <https://xakep.ru/2016/11/25/tesla-android-hack>
19. **Юферев С.** Будущее на пороге: Интернет вещей. Военное обозрение [Электронный ресурс]. URL: <http://vpk-news.ru/articles/18834>
20. **Язев Ю.** Что такое Apple Pay и как он работает на самом деле [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iphones.ru/iNotes/600660>

Поступила 30.11.2016; принята к публикации 08.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017 г.



Об авторе:

Шиков Станислав Александрович, преподаватель кафедры информационной безопасности и сервиса Института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8412-5163>, stenlav@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Naydich A. "Internet veshchey" – realnost ili perspektiva? [Internet of Things – reality or prospect?]. *KompyuterPress* = Computer Press. 2013; 12. Available from: <http://compress.ru/article.aspx?id=24290> (In Russ.)
2. Kruz L. Internet veshchey i informatsionnaya bezopasnost: zashchita informatsii [Internet of Things and information security: information security]. *Insayd* = Inside. 2013; 6:60-61. Available from: http://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2013/03-032813c.html (In Russ.)
3. Internet veshchey: novyye vyzovy i novyye tekhnologii [Internet of Things: new challenges and new technologies]. *Otkrytyye sistemy* = Open systems. 2013; 4. Available from: <http://www.osp.ru/os/2013/04/13035551> (In Russ.)
4. Moyl E. Pyat sostavlyayushchikh bezopasnosti interneta veshchey [Five components of Internet Security]. Available from: <http://www.ecommercetimes.com/story/Securing-the-Internet-of-Things-5-Easy-Pieces-79438.html> (In Russ.)
5. Suo H. Security in the Internet of Things: A review. In: Proceedings of the 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering. 2012; 648-651.
6. Ivliyev SN. Predvaritelnyy analiz tekhnicheskoy zashchishchennosti sistemy distantsionnogo obrazovaniya (na materiale Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta) [Preliminary analysis of technical protection of the system of distant learning (based on Mordovia State University materials)]. *Integratsiya obrazovaniya* = Integration of Education. 2012; 4(69):27-31. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18353911> (In Russ.)
7. Ivliyev SN. Resheniye voprosov tekhnicheskoy zashchity informatsii v sisteme distantsionnogo obrazovaniya Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta [Addressing the technical protection of information in the system of distance education in Mordovia State University]. *Otraslevye aspekty tekhnicheskikh nauk* = Sectoral Aspects of Technical Sciences. 2012; 6(18):13-16. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18311421> (In Russ.)
8. Ivliyev SN. Internet veshchey: novyye ugrozy informatsionnoy bezopasnosti [Internet of Things. New information security challenges]. In: Zheleznikova OYe., editor. Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki, elektrotekhniki i energetiki: mat-ly XII Vseros. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiyem (g. Saransk, 28-29 maya 2015 g.) [Problems and prospects of development of domestic lighting, electrical engineering and energy: Proceedings of 12th Russian Scientific Engineering Conference, Saransk, May 28-29, 2015]. Saransk, 2015; 435-441. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24179239> (In Russ.)
9. Ivliyev SN. Resheniye problem bezopasnosti informatsionno-tekhnologicheskogo kompleksa predpriyatiy svetotekhnicheskoy otrasli na osnove mezhdunarodnykh standartov [Solving the security problems of information-technological complex of lighting industry enterprises based on international standards]. In: Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki, elektrotekhniki i energetiki: mat-ly XII Vseros. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiyem (g. Saransk, 28-29 maya 2015 g.) [Problems and prospects of development of domestic lighting, electrical engineering and energy: Proceedings of 12th Russian Scientific Engineering Conference, Saransk, May 28-29, 2015]. Saransk, 2015; 428-434. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24179114> (In Russ.)
10. Ivliyev SN. Geoinformatsionnyye sistemy i novyye ugrozy informatsionnoy bezopasnosti [Geographic information systems and new information security challenges]. In: Kartografiya i geodeziya v sovremennom mire: materialy II Vseros. nauch.-prakt. konf. (g. Saransk, 8 aprelya 2014 g.) [Cartography and Geodesy in the Modern World: Proceedings of 2nd Russian Scientific-Practical Conference (Saransk,

April 8, 2014)]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2014:187-193. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23934378> (In Russ.)

11. Shikov SA, Ivliyev SN. Internet veshchey: novyye ugrozy informatsionnoy bezopasnosti [Internet of Things: New information security threats]. In: Materialy XX nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov Natsionalnogo issledovatel'skogo Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. P. Ogareva [Proceedings of 20th Scientific-Practical Conference of Young Scientists and Students of National Research Mordovia State University]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2014; 278-283. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27222070> (In Russ.)

12. Bobylev AYe, Trofimova AV. Problema zashchity dannykh v internete veshchey. 2016; 3:25. Available from: <http://nauka-rastudent.ru/27/3279> (In Russ.)

13. Beyzer B. Testirovaniye chernogo yashchika: tekhnologii funktsionalnogo testirovaniya programmnoy obespecheniya i system [Black Box testing: Functional testing technology software and systems]. St. Petersburg: Piter; 2004. (In Russ.)

14. Petrovskiy A. Effektivnyy khaking dlya nachinayushchikh i ne tolko [Effective hacking for beginners and not only]. 3rd ed. Moskva: Mayor; 2001. (In Russ.)

15. Mikhaylov D, Zhukov I. Zashchita mobilnykh telefonov ot atak [Protecting mobile phone from attacks]. Moscow: Foylis, 2011. Available from: <http://www.samomudr.ru/d2/Mixajlov%20D.%20M.,%20Zhukov%20I.%20Ju.%20-%20Zashita%20mobilnyx%20telefonov%20ot%20atak%20-%202011.pdf> (In Russ.)

16. Satton M, Grin A, Amini P. Fuzzing: issledovaniye uyazvimostey metodom gruboy sily [Fuzzing: vulnerability research brute force]. St. Petersburg: Simvol-Plyus; 2009. (In Russ.)

17. Nefedova M. Uyazvimost v ZigBee stavit IoT-ustroystva pod udar [Vulnerability in the ZigBee device puts IoT-pass]. Available from: <https://xakep.ru/2015/08/10/zigbee-devices-problems> (In Russ.)

18. Nefedova M. Avtomobil Tesla mozno ugnat, zaraziv smartfon ego khozyaina Malware [To steal a car Tesla is necessary to infect a smartphone of its owner]. Available from: <https://xakep.ru/2016/11/25/tesla-android-hack> (In Russ.)

19. Yuferev S. Budushcheye na poroge: Internet veshchey [Future on threshold: Internet of Things]. *Voennoye obozreniye* = Military review. Available from: <http://vpk-news.ru/articles/18834> (In Russ.)

20. Yazev Yu. Chto takoe Apple Pay i kak on rabotaet na samom dele [What is Apple Pay and how it actually works]. Available from: <https://www iPhones.ru/iNotes/600660> (In Russ.)

Submitted 30.11.2016; revised 08.01.2017; published online 31.03.2017

About the author:

Stanislav A. Shikov, Lecturer of Information Security and Service Chair, Institute of Electronics and Lighting Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8412-5163>, stenlav@mail.ru

The author have read and approved the final manuscript.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

УДК 621.81:621.921

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.041-051

КАМЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМ ШЛИФОВАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛОМ

В. А. Скрябин*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)**vs_51@list.ru*

Введение. При финишной обработке деталей типа тел вращения со сложным контуром поверхности мелкодисперсными незакрепленными абразивными частицами во время уплотнения сжатым воздухом через эластичную оболочку в специальной камере в съеме металла принимает участие достаточно большое количество абразивных зерен.

Материалы и методы. Характер контактного взаимодействия уплотненного слоя с обрабатываемой поверхностью детали главным образом определяется формой абразивных зерен и их режущих элементов, которая является весьма разнообразной. Однако изучение многочисленных теневых отпечатков абразивных частиц показало, что все они вписываются в эллипс и в первом приближении могут быть смоделированы в виде эллипсоида вращения.

Результаты исследования. Был определен съем материала с поверхности детали абразивными режущими зёрнами в процессе обработки.

Обсуждение и заключения. В статье показаны особенности обработки поверхностей деталей незакрепленным абразивным материалом. Приведены методы обработки, модели абразивных зерен и математические зависимости, позволяющие прогнозировать съем материала и производительность процесса микро-резания.

Ключевые слова: поверхность деталей, тела вращения, незакрепленный шлифовальный материал, модель абразивных частиц, производительность обработки

Для цитирования: Скрябин В. А. Камерная обработка поверхности деталей незакрепленным шлифовальным материалом // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 41–51. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.041-051

CHAMBER TREATMENT OF DETAIL SURFACES BY UNFIXED POLISHING MATERIAL

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

vs_51@list.ru

Introduction. For finish treating the details like bodies of rotation with the complex external contour through fine-dispersed unfixed abrasive particles, many abrasive grains are used for removing metal in sealing by compressed air through elastic shell in special chamber

Materials and Methods. Character of pin interaction of close-settled layer with the processed detail surface is determined by the form of abrasive grains and their cutting elements. The form of grains is different. The study of many shadow imprints of abrasive particles demonstrates what all of them are fitted into an ellipse. All particles can be shaped as rotation ellipsoid in first approaching.

Results. The information provided by the study is used for determining the removal of material from detail surface by abrasive cutting grains in processing.

Discussion and Conclusions. The article presents the processing methods, the grain models and mathematical dependences used for predicting the productivity of the micro-cutting process.

Keywords: detail surface, rotation body, unsupported polishing material, abrasive particle model, processing productivity

For citation: Skryabin VA. Chamber treatment of detail surfaces by unfixed polishing material. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):41-51. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.041-051

Введение

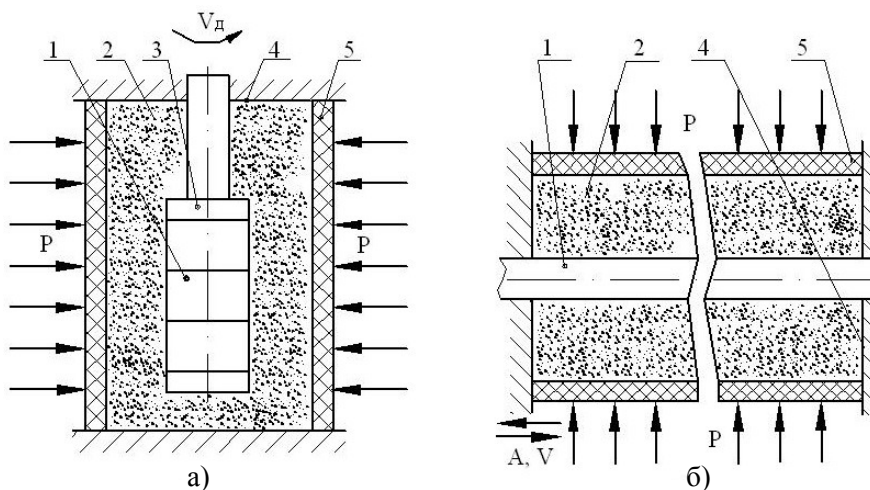
При обработке наружной поверхности деталей незакрепленным абразивом при статическом уплотнении абразивной среды в специальной камере [1–2] в съеме металла с поверхности обрабатываемой детали принимает участие достаточно большое количество абразивных частиц.

Материалы и методы

Плотность контактирования рабочей среды с поверхностью детали при ее обработке статически уплотненными абразивными частицами достаточно высока. Способ финишной абразивной обработки статически уплотненными абразивными суспензиями осуществлялся в соответствии с рис. 1, а–б.

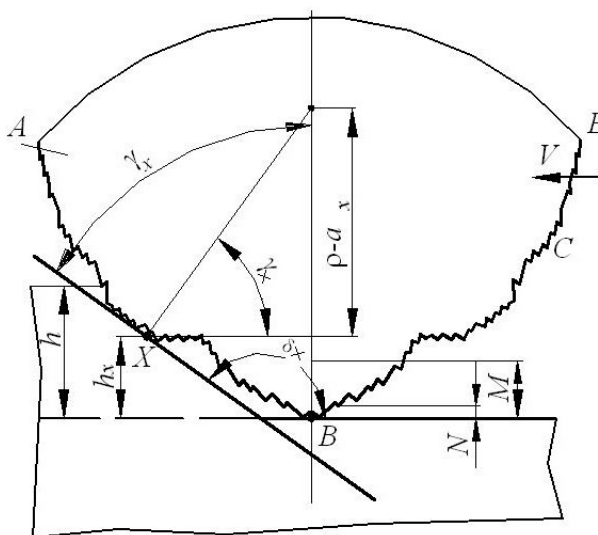
На рис. 1, а показано, как цилиндрические изделия 1 закрепляются на оси 2 и помещаются в абразивную суспензию 3, находящуюся в специальном контейнере 4, в котором смонтирована цилиндрическая оболочка 5, изготовленная из специальной резины. Рабочая суспензия сжимается при подаче на периметр оболочки сжатого воздуха. Обработка происходит при вращении оси с деталями со скоростью V_d . На рис. 1, б видно, что при обработке плоская деталь перемещается со скоростью V_d .

При обработке деталей образуются микроскопические стружки, по характеристикам которых затруднительно оценить производительность процесса обработки деталей [Там же].



Р и с. 1. Обработка деталей статически уплотненным абразивом: а) обработка цилиндрических деталей; б) обработка плоских деталей

F i g. 1. Processing with static sealing abrasive: a) processing of cylindrical parts; б) processing of flat parts



Р и с. 2. Удаление материала абразивным зерном: M – микровыступы вершины абразивного зерна; N – субмикровыступы, находящиеся на микровыступах вершин абразивных зерен; h – глубина внедрения абразивного зерна в поверхность обрабатываемой детали; V – скорость перемещения абразивного зерна; γ_x – передний угол абразивного зерна; δ_x – угол резания

F i g. 2. Removing the material with abrasive grains: M – top abrasive grain microprotrusions; N – submicroprotrusions located on the tops of abrasive grains microtips; h – depth of abrasive grains penetration in surface of workpieces; V – movement velocity of abrasive grains; γ_x – front corner of the abrasive grain; δ_x – angle of cutting

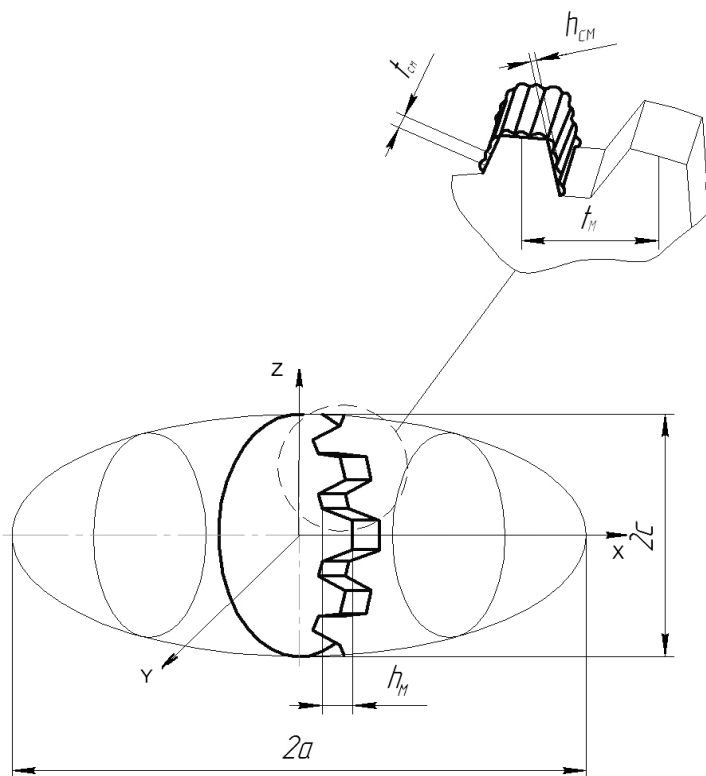
При обработке деталей статически уплотненной абразивной суспензией с глубиной резания до 1 мкм в процессе удаления материала участвуют микровыступы абразивных частиц.

Результаты исследования

На рис. 2 приведена реализация процесса удаления материала с поверхности обрабатываемой детали различными режущими элементами абразивного зерна.

Характер контактного взаимодействия уплотненного слоя с обрабатываемой поверхностью детали во многом

определяется формой абразивных зерен, которая является весьма разнообразной, и их режущих элементов. Изучение многочисленных теневых отпечатков показало, что все они вписываются в эллипс [2–4]. Учитывая это, а также результаты исследований топографии зерен на сканирующем микроскопе [Там же], их форму в первом приближении можно смоделировать эллипсоидом вращения, на поверхности которого в виде прерывистых кольцевых выступов находятся микронеурности с расположенными на них субмикронеурностями (рис. 3).

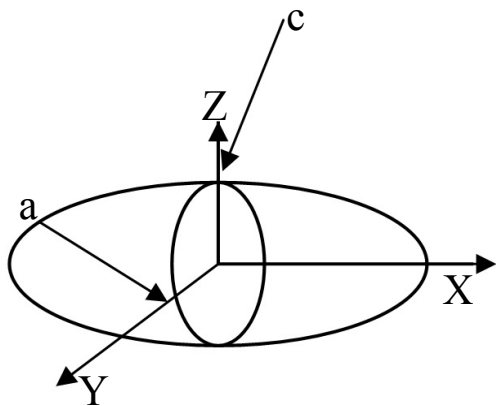


Р и с. 3. Модель абразивного зерна: a и c – полуоси эллипсоида вращения; h_m – высота выступа микрорельефа; h_{cm} – высота выступа субмикрорельефа; t_m – средний шаг выступов микрорельефа; t_{cm} – средний шаг выступов субмикрорельефа

F i g. 3. Abrasive grain model: a and c – semiaxes of the rotation ellipsoid; h_m – height of submicrorelief protrusion; h_{cm} – height of submicrorelief protrusion; t_m – average pitch of microrelief protrusion; t_{cm} – average pitch of submicrorelief protrusions



Известно, что эллипсоид образуется вращением эллипса вокруг оси x (рис. 4):



Р и с. 4. Модель абразивного зерна;
 a и c – полуоси эллипсоида вращения
 F i g. 4. Model of an abrasive grain; a and c –
 semiaxes of the rotation ellipsoid

Запишем уравнение эллипса:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Z^2}{c^2} = 1; \quad (1)$$

$$y = 0.$$

После преобразования получим:

$$Z^2 = c^2 \left(1 - \frac{X^2}{a^2} \right); \quad (2)$$

$$y^2 = 0.$$

Сложив Z^2 и y^2 , найдем исходное уравнение эллипсоида:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{y^2}{c^2} + \frac{Z^2}{c^2} = 1,$$

где a и c – полуоси эллипсоида вращения.

Площадь эллипсоида вращения определяется известной зависимостью:

$$\begin{aligned} S_M = 2\pi \int_0^a \sqrt{Z + (Z')^2} \cdot dx + \\ + 2\pi \int_0^a 2\sqrt{Z^2 + (Z \cdot Z')^2} \cdot dx. \end{aligned} \quad (3)$$

Используя уравнение эллипса (1) при ($a \geq c$), произведем дифференцирование по x его общих частей, в результате чего определим $Z \cdot Z'$:

$$Z \cdot Z' = \frac{c^2}{a^2} \cdot x. \quad (4)$$

Из уравнения эллипса определим Z^2 следующим образом:

$$Z^2 = c^2 - \frac{c^2}{a^2} \cdot x^2.$$

Подставив Z^2 и $Z \cdot Z'$ в формулу (3), получим выражение следующего вида:

$$\begin{aligned} S = \frac{4\pi c}{a} \int_0^a \sqrt{a^2 - \frac{(a^2 - c^2) \cdot x^2}{a^2}} \cdot dx = \\ = \frac{4\pi c}{a} \int_0^a \sqrt{(a^2 - \varepsilon^2 \cdot x^2)} \cdot dx, \end{aligned} \quad (5)$$

где ε – эксцентриситет эллипсоида вращения.

$$\text{Таким образом, } \varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{a}.$$

Количество микро- и субмикровыступов на поверхности абразивного зерна можно определить по созданным впервые аналитическим зависимостям.

Для микровыступов абразивных зерен с учетом их поворота в процессе обработки запишем:

$$N_M = \sum_{i=1}^{n_M} \pi \cdot c_i \cdot K_{\Pi}, \quad (6)$$

где i – количество окружностей в сечении эллипсоида, моделирующего форму абразивного зерна, на которых располагаются выступы микропрофиля с определенным шагом t_m ;

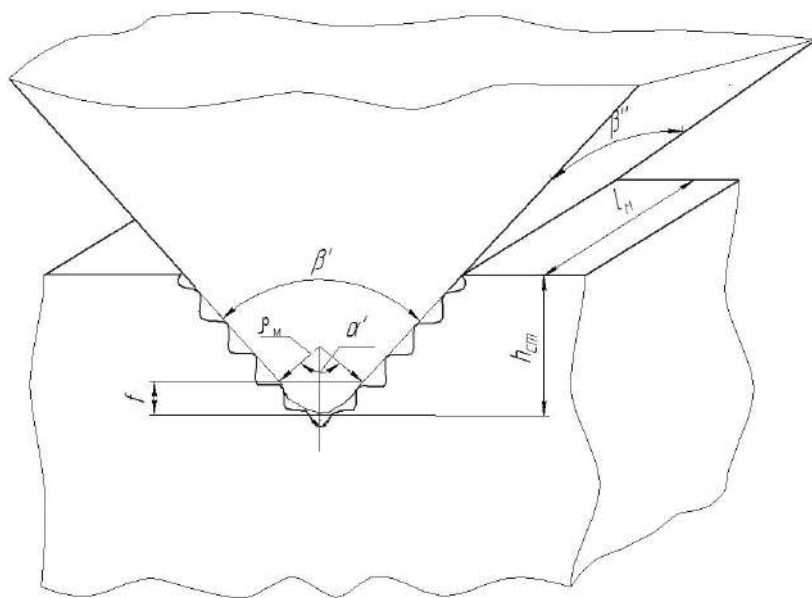
K_n – коэффициент, учитывающий прерывистость микронеровностей (в соответствии с законом равной вероятности $K_n = 0,5$); n_m – количество следов контакта выступов микропрофиля со средним шагом t_m и длиной l_i в пределах эллипса отпечатка незакрепленной абразивной частицей, обрабатываемой деталью.

Суммарное количество субмикронеровностей, расположенных на микровыступах поверхности абразивного зерна определяется по следующей аналитической зависимости (рис. 5):

$$N_{cm} = 2 \cdot \frac{h_{ct} - f}{b_{cm} \cdot \cos \gamma} + \frac{\pi \cdot \rho_m \cdot \alpha'}{180 \cdot b_{cm}}, \quad (7)$$

где h_{ct} – статическая глубина внедрения субмикронеровностей; f – параметр выступа микрорельефа абразивной частицы ($f = \rho_m \cdot (1 - \cos \frac{\alpha'}{2})$);

b_{cm} – ширина единичной субмикронеровности; γ – передний угол единичной микронеровности; ρ_m – радиус округления выступа микропрофиля абразивного зерна; α' – центральный угол выступа микрорельефа.



Р и с. 5. Взаимодействие абразивного зерна с поверхностью обрабатываемой детали: l_m – параметр выступов микрорельефа абразивной частицы; β' и β'' – углы выступов микрорельефа, имеющих форму усеченной правильной пирамиды с радиусом округления ρ_m и суммарной длиной, изменяющейся от 0 до 2 с

F i g. 5. The abrasive grain interaction with surface of workpiece: l_m – parameter of microrelief protrusion of the abrasive particle; β' and β'' – microrelief protrusion corners shaped of a truncated regular pyramid with a radius of rounding ρ_m and total length which varies from 0 to 2 с



Одним из наиболее важных показателей процесса финишной обработки является его производительность [1–5]. Съем может быть представлен определенной математической моделью.

В связи со сложностью проведения анализа процесса резания поверхности обрабатываемой детали всей совокупностью абразивных зерен для определения производительности обработки, рассмотрим механизм удаления материала единичной абразивной частицей.

Заметим, что удаление материала с поверхности обрабатываемой детали микро- и субмикровыступами абразивных частиц шлифованием и другими методами финишной обработки связанным абразивом не принималось во внимание.

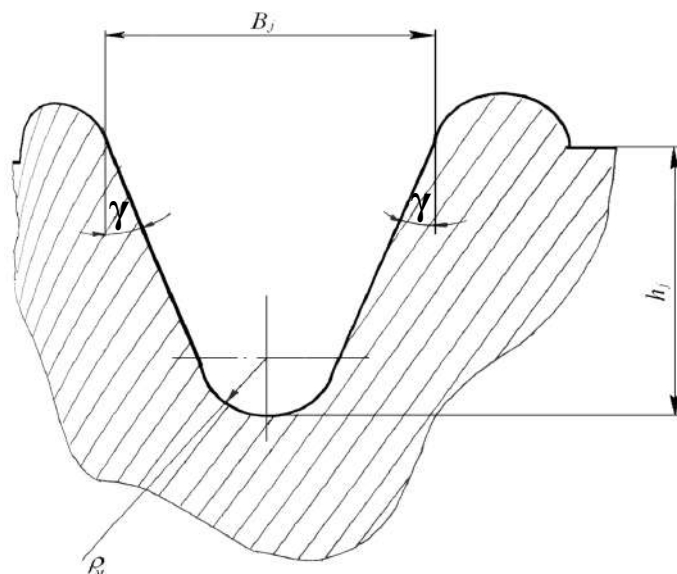
В фундаментальных исследованиях микропрофиля частиц незакрепленной абразивной суспензии определены численные значения ширины и высоты микро- и субмикропрофиля абразивных частиц [1–10]. Новыми исследованиями установлено, что радиус округления вершин микрорельефа абразивных частиц находится в диапазоне 0,1–0,5 мкм, а радиус округления вершин субмикровыступов изменяется в пределах 0,08–0,10 мкм. Кроме этого, в них показано, что параметры микро- и субмикрорельефа практически не связаны с размерами абразивных зерен.

Исследованиями установлено, что в начальный момент обработки поверхности детали ($t = 0,5$ – $1,0$ мин) при общем времени обработки $t = 6$ – 8 мин удаление материала происходит преимущественно с помощью субмикронеровностей, расположенных на

микровыступах абразивных зерен. По мере заполнения впадин субмикропрофиля субмикростружкой съем материала практически прекращается, и дальнейшее удаление материала с поверхности обрабатываемой детали осуществляется микропрофилем абразивных зерен. Многочисленные исследования показали, что съем материала с поверхности детали субмикронеровностями составляет 1–3 %, что пренебрежимо мало по сравнению со съемом материала, приходящимся на микропрофиль абразивных зерен (97–99 %). Таким образом, в дальнейшем с полным основанием можно считать, что удаление материала с поверхности детали осуществляется преимущественно микропрофилем абразивных частиц. Суммарный объем деформированного материала единичным микровыступом абразивного зерна определяется следующим образом:

$$V_{\Sigma} = K_c \cdot V_{\alpha}^{\Pi} = 2\pi r_0 \cdot 0,5 \cdot (bj + 2\rho_M) \cdot (hj - \rho_M) + \pi\rho_M^2, \quad (8)$$

где n_0 – частота вращения обрабатываемой детали, мин^{-1} ; r_0 – радиус обрабатываемой детали, $\text{м} \cdot 10^{-3}$; K_c – коэффициент стружкообразования; $K_{\varepsilon} = 1 - \varepsilon_{\Pi}$ (ε_{Π} – коэффициент навалов деформированного материала); ρ_M – радиус округления выступа единичного зерна, $\text{м} \cdot 10^{-6}$; ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м^3 ; b_j и h_j – ширина и глубина царапины, оставляемой единичным выступом микропрофиля абразивного зерна на поверхности обрабатываемой детали соответственно, $\text{м} \cdot 10^{-6}$ (рис. 6).



Р и с. 6. Сечение царапины от резания микровыступом единичного абразивного зерна
F i g. 6. Cross-section of scratches from cutting with the microprotrusion of a single abrasive grain

В ходе предварительных расчетов было установлено, что погрешность суммарного объема по зависимостям (8) и (9) не превышает 5 % по сравнению с предварительно проведенными экспериментальными исследованиями, где масса полученной микростружки определялась на специальных микроаналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Данный факт свидетельствует о достаточной точности предложенной методики расчета объема царапины от единичного микровыступа абразивного зерна с учетом коэффициента стружкообразования.

Запишем формулу для нахождения площади царапины:

$$S_{ц} = 0,5 \cdot [(b_j + 2\rho_m) \cdot (h_j - \rho_m) + \pi \cdot \rho_m^2];$$

$$b_0 = 2 \cdot \rho_m + 2 \cdot (h_j - \rho_m) \cdot \sin \gamma = 2 \cdot h_j \cdot \sin \gamma, \quad (9)$$

где γ – передний угол выступа микрорельефа ($\gamma = -50^\circ$).

По известным параметрам процесса микрорезания различными элемен-

тами абразивных зерен можно дать оценку съема металла множеством незакрепленных абразивных частиц.

При финишной обработке наружных поверхностей цилиндрических деталей статически уплотненной абразивной суспензией съем материала определяется по приведенной математической зависимости, в которой плотность удаляемого материала с учетом коэффициента стружкообразования умножается на объем царапины, длину окружности по диаметру обрабатываемой детали, частоту ее вращения и время обработки t . При этом в математическую зависимость также входит ряд коэффициентов, учитывающих определенные условия обработки.

Суммарное количество абразивных зерен N_Σ по поверхности контакта с обрабатываемой деталью определяется следующим образом:

$$N_\Sigma = 2\pi r_0 B_d (\sqrt[3]{n_1 \rho_h})^2, \quad (10)$$

где r_0 – радиус детали; B_d – длина (ширина) обрабатываемой детали;



n_1 – количество зерен в единице массы уплотненного абразивного слоя; ρ_h – плотность абразива.

При внедрении абразивных зерен в обрабатываемую поверхность и их относительном движении возникают силы резания, определяющие характер относительного положения абразивных зерен. Если данные силы превысят силу нормального давления абразивного зерна на обрабатываемую поверхность, то оно повернется к этой поверхности другой гранью или вершиной.

Поворот абразивных частиц способствует увеличению съема металла при обработке, которое учитывается коэффициентом поворота K_{Π} .

В результате исследований было установлено, что при обработке детали происходит увеличение режущей способности абразивных частиц за счет мельчайших сколов микрорельефа на 30 %; это учитывается коэффициентом K_y . В зависимости от условий обработки, состава абразивной суспензии и материала обрабатываемой поверхности детали значения коэффициента $K_{ж}$, учитывающего влияние жидкой составляющей абразивной суспензии, изменяются в диапазоне 1,2–1,5, а значения коэффициента поворота K_{Π} – в пределах 1,2–1,3. Кроме этого, в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности, коэффициент K_{Ra} изменяется в диапазоне 1,15–1,50.

В этом случае расчетная зависимость для определения величины съема металла при обработке наружных поверхностей деталей в уплотненной абразивной среде примет следующий вид :

$$Q_{\Sigma} = \rho \cdot (1 - \varepsilon_H) \cdot 2\pi n_0 \cdot r_0 \cdot t \cdot 0,5 \cdot [(bj + 2\rho_M) \cdot (hj - \rho_M) + \pi \rho_M^2] \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\Pi} \cdot K_y \cdot K_{Ra} \cdot K_{ж} \quad (11)$$

Удельный съем материала (q , мг/см²) определяется по формуле:

$$q = \frac{Q_{\Sigma}}{S},$$

где S – площадь обрабатываемой поверхности детали.

Также запишем формулу минутной производительности $Q_{\text{мин}}$, мг/мин:

$$Q_{\text{мин}} = \frac{Q_{\Sigma}}{t}.$$

Обсуждение и заключения

После 2–3 мин обработки детали исходный микрорельеф за счет износа абразивных частиц переходит в более сглаженный рабочий, который в итоге определяет величину съема материала с поверхности детали, заданную шероховатость поверхности, точностные параметры процесса обработки и физико-механические свойства обрабатываемой поверхности детали.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скрыбин В. А., Пшеничный О. Ф. Моделирование процесса микрорезания при обработке деталей уплотненным слоем незакрепленного абразива // Машиностроение. 1988. Вып. 13. С. 33–37.
2. Скрыбин В. А. Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография. Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. 120 с.
3. Скрыбин В. А. Производительность процесса обработки деталей статически уплотненным слоем абразивного микропорошка // Известия вузов (Сер. «Машиностроение»). 1994. № 4-6. С. 128–130.
4. Мартынов А. Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами : монография. Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 1981. 212 с.

5. **Скрябин В. А., Схиртладзе А. Г.** Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами : монография. Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. 240 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25306901>

6. **Скрябин В. А., Рыбаков Ю. В.** Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами. Машиностроитель. 2000. № 2. С. 16–17.

7. **Скрябин В. А., Свечникова Г. И.** Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем // Машиностроитель. 2011. № 4. С. 18–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22985053>

8. Патент 1803308 (РФ), МКИ: В24В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. Оpubл. 23.03.93, Бюл. №11.

9. А. с. 1579740 СССР, МКИ В24В 31/08. Способ абразивной обработки деталей / А. Н. Мартынов, В. А. Скрябин, В. М. Федосеев. Оpubл. 23.07.90, Бюл. № 27.

10. **Скрябин В. А.** Особенности обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными абразивными средами // Вестник Мордовского университета. 2015. Т. 25, № 4. С. 72–89. URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles-en/40-15-4/237-10-15507-vmu-025-201504-6>

Поступила 21.01.2016; принята к публикации 24.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения факультета машиностроения и транспорта ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (440000, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), доктор технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>**, vs_51@list.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Skryabin VA, Pshenichnyy OF. Modelirovaniye protsessa mikrorezaniya pri obrabotke detaley uplotnennym sloyem nezakreplennogo abraziva [Modeling the microcutting process for processing by compacted layer of loose abrasive]. *Mashinostroeniye* = Engineering. 1988; 13:33-37. (In Russ.)

2. Skryabin VA. Osnovy protsessa submikrorezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom: monografiya [Basics of submicrocutting process in abrasive loose processing: A monograph]. Penza: PVAIU Publ.; 1992. (In Russ.)

3. Skryabin VA. Proizvoditelnost protsessa obrabotki detaley staticheski uplotnennym sloyem abrazivnogo mikroporoshka [Performance of processing the details with statically compacted layer of abrasive micropowder]. *Izvestiya vuzov: Mashinostroeniye* = The Universities Bulletin: Engineering. 1994; 4-6:128–130. (In Russ.)

4. Martynov AN. Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiy-nymi silami: monografiya [Basics of processing method with loose abrasive packed by inertial forces: A monograph.]. Saratov: Saratov State University Publ.; 1981. (In Russ.)

5. Skryabin VA, Skhirtladze AG. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami: monografiya [Technological quality of processing the complex-bodied detail with compacted the fine abrasive environments: A monograph]. Staryy Oskol: High-end Technologies Publ.; 2015. 240 s. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25306901> (In Russ.)

6. Skryabin VA, Rybakov YuV. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [A new method for the finish of detail proceedings with fine-free environments]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2000; 2:16-17. (In Russ.)

7. Skryabin VA, Svechnikova GI. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilom [Experimental studies of the performance of the



abrasive finish machining of parts with different profile]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2011; 4:18-22. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22985053> (In Russ.)

8. Patent 1803308 (RF), MKI: V24V 31/104. Skryabin VA. Sposob obrabotki detaley [A method of processing parts]. Publication: 23.03.93. Bulletin no.11. (In Russ.)

9. AS 1579740 SSSR, MKI: V24V 31/08. Martynov AN, Skryabin VA, Fedoseyev VM. Sposob abrazivnoy obrabotki detaley [A method of processing parts]. Publication: 23.07.90. Bulletin no. 27. (In Russ.)

10. Skryabin VA. Osobennosti obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi abrazivnymi sredami [Features of intricate-shaped parts by close-settled fine abrasive media]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2015; 4(25):72-89. Available from: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles-en/40-15-4/237-10-15507-vmu-025-201504-6> (In Russ.)

Submitted 21.12.2016; revised 24.01.2017; published online 31.03.2017

About the author:

Vladimir A. Skryabin, Professor of Mechanical Engineering Chair, Mechanical Engineering and Transport Faculty, Penza State University (40 Krasnaya St., Penza 440000, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru

The author have read and approved the final manuscript.



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АКТИВНЫХ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

**В. Ф. Купряшкин*, Н. И. Наумкин, А. С. Князьков,
В. Н. Купряшкина, М. Г. Шляпников, В. В. Купряшкин,
Е. Ю. Терехин**

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

**kupwfs@mail.ru*

Введение. Работа посвящена обоснованию конструктивных параметров и технологических режимов функционирования динамического стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда для исследования активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Для этого была рассмотрена конструкция указанного экспериментального стенда и дана характеристика его работы. На основании теоретических и экспериментальных ранее проведенных исследований была отмечена возможность нарушения устойчивости хода подвижного модуля, что в свою очередь отрицательно сказывается на обеспечении выполнения заданной методикой программы эксперимента. Также была указана необходимость конструкторского решения по устранению выявленного недостатка. Кроме этого, рассмотрены конструктивные особенности и характеристики применяемых устройств по обеспечению стабилизации подвижного модуля при исследовании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин. На основе сравнительного анализа был предложен динамический стабилизатор устойчивости движения в виде электромагнитного тормоза с последующим его размещением в конструкции существующего подвижного модуля.

Материалы и методы. С целью интеграции электромагнитного тормоза в конструкцию существующего подвижного модуля, на основе синтеза основных положений и законов механики и экспериментальных данных силового взаимодействия активных ротационных рабочих органов с почвой, было проведено теоретическое исследование устойчивости его движения. В результате данного исследования была составлена расчетная схема нагружения подвижного модуля с учетом ее конструктивных особенностей, а также силовых факторов, действующих на ее опорные колеса и исследуемые активные ротационные рабочие органы. С учетом особенностей планирования эксперимента и почвенных условий были выявлены аналитические зависимости основных силовых характеристик определяющих устойчивость движения подвижного модуля.

Результаты исследования. Путем обработки результатов исследования была получена база данных, представляющая собой значения силовых характеристик, определяющих устойчивость движения подвижного модуля. Дальнейшее использования значений данной базы с учетом конструктивных особенностей подвижного модуля позволило обосновать наиболее оптимальное месторасположения электромагнитного тормоза в его конструкции. Также на основе стандартной методики было произведено обоснование конструктивных параметров электромагнитного тормоза с выбором его типоразмера.

© Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Князьков А. С., Купряшкина В. Н.,
Шляпников М. Г., Купряшкин В. В., Терехин Е. Ю., 2017



Обсуждение и заключения. Проведенное исследование позволило путем использования электромагнитного тормоза в конструкции подвижного модуля обеспечить стабилизацию его движения, что позволит повысить чистоту экспериментальных исследований и получать наиболее объективные данные в ходе их проведения.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, подвижный модуль, устойчивость движения, активный ротационный рабочий орган, стабилизатор движения

Для цитирования: Обоснование параметров динамического стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда при исследовании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 52–66. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.052-066

JUSTIFICATION FOR PARAMETERS OF A DYNAMIC STABILIZER OF THE EXPERIMENTAL STAND MOBILE UNIT IN STUDYING OF ACTIVE ROTATIONAL WORKING TOOLS OF TILLER MACHINES

V. F. Kupryashkin*, N. N. Naumkin, A. S. Knyazkov,
V. N. Kupryashkina, M. G. Shlyapnikov, V. V. Kupryashkin,
Ye. Yu. Terekhin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

*kupwff@mail.ru

Introduction. The article deals with design options and technological modes of the dynamic stabilizer of the experimental stand mobile unit for studying tillage machine active rotating work tools. Based on theoretical and experimental studies, the possibility the movable module instability was discovered. This negatively affects on implementing the experiment program through the specific method. The need in engineering solutions for the defect correction is shown. In addition, the authors consider the structural features and characteristics of the used devices for providing the stabilization of the movable module in the study of active rotating work tools of tillage machines. An electromagnetic brake dynamic stabilizer in the structure of the existing rolling module was proposed as an engineering device.

Materials and Methods. A theoretical study of rolling module stability, based on synthesis of basic regulations and laws of mechanics related to active rotating work tools was conducted. As a result of the theoretical research, a design scheme of movable module loading was created. This scheme includes the design features and structural power factors.

Results. A database representing the settings of power specification in the motion stability determining the mobile unit was created. Further use of the database values allow supporting the most optimal location of the electromagnetic brake with its design options.

Discussion and Conclusions. The research of the electromagnetic brake in a mobile unit promoted stabilizing the unit movement, increased the frequency of its use and provided data that are more precise during experiments.

Keywords: experimental stand, mobile unit, resistance movement, active rotational working tool, movement stabilizer

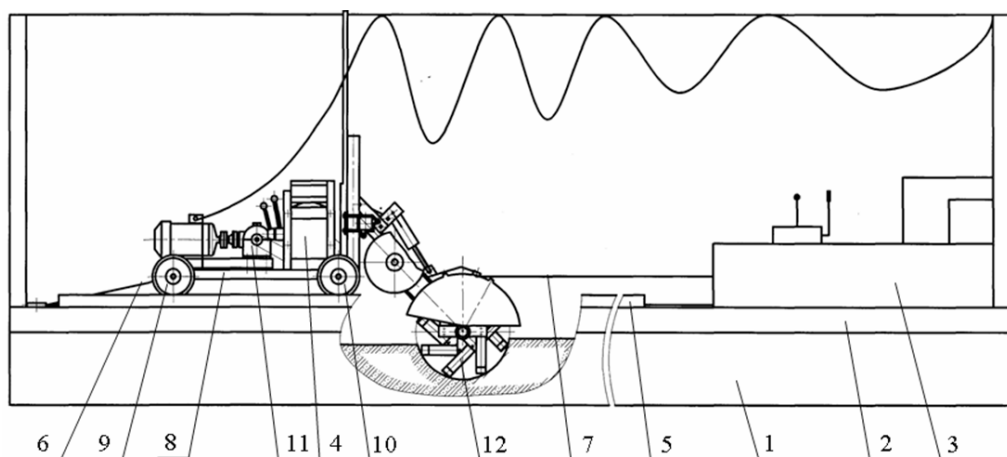
For citation: Kupryashkin VF, Naumkin NN, Knyazkov AS, Kupryashkina VN, Shlyapnikov MG, Kupryashkin VV, Terekhin YeYu. Justification for parameters of a dynamic stabilizer of the experimental stand mobile unit in studying of active rotational working tools of tiller machines. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):52-66. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.052-066

Введение

При проведении экспериментальных исследований активных рабочих органов (АРО) почвообрабатывающих машин широко применяются специализированные экспериментальные стенды – почвенные каналы, позволяющие проводить натурные испытания и имитировать реальные условия функционирования почвообрабатывающих машин

и их рабочих органов в лабораторных условиях [1–2].

Для проведения лабораторных исследований при испытании АРО почвообрабатывающих машин в Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» используется один из таких специализированных экспериментальных стендов, представляющий собой почвенный канал с подвижным модулем (рис. 1).



Р и с. 1. Общее устройство экспериментального стенда

F i g. 1. General structure of the experimental stand

Почвенный канал представляет собой яму 1, выложенную кирпичом и заполненную почвой [3]. В верхней части канала установлена рама 2, изготовленная из профиля. На ней находится тяговая станция 3, предназначенная для обеспечения поступательного движения подвижного модуля 4. Кроме этого, на раме 2 закрепляются крановые рельсы 5, которые служат для передвижения подвижного модуля 4. Возвратно-поступательное перемещение подвижного модуля осуществляется стальными канатами 6 и 7, которые соединены с одной стороны с рамой модуля в ее передней и задней частях соответственно, а с другой – с барабанами тяговой станции 3.

Подвижный модуль 4 экспериментального стенда представляет собой отдельную раму 8 с опорными колесами 9 и 10, а также с размещенными на ней независимым электрическим приводом 11, обеспечивающим вращение испытываемых АРО 12 конкретной почвообрабатывающей машины.

Практическое использование экспериментального стенда при проведении испытаний АРО почвообрабатывающих машин на некоторых определенных режимах, характеризующихся большими значениями глубины обработки, подачи на нож и твердости почвы [3], выявило нарушение устойчивости движения подвижного модуля –



отклонение поступательной скорости тележки от первоначально заданного программой эксперимента значения. Кроме этого, проведенные теоретические исследования [4–5] позволили подтвердить практические наблюдения в области устойчивости движения подвижного модуля, заключающиеся в нарушении следующего условия:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{хе}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{ст}}$ – суммарная сила сопротивления перекачиванию тележки, Н; $F_{\text{хе}}$ – значение подталкивающей силы взаимодействия АРО с почвой, приведенной к оси вращения опорных колес тележки, Н.

Таким образом, выявленный факт нарушения устойчивости движения подвижного модуля при проведении исследований АРО отрицательно сказывается на обеспечении постоянства переменных факторов, определяемых конкретной программой эксперимента, и, следовательно, на чистоте и объективности получаемых данных, что требует определенного конструкторского решения по его устранению.

Обзор литературы

Как показывают результаты многочисленных исследований АРО почвообрабатывающих машин, основными факторами, приводящими к нарушению устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда, являются силы, характеризующие их взаимодействие с почвой [4–9].

Задачу обеспечения устойчивости хода движения (постоянства поступательной скорости) экспериментальной тележки, как и в первом случае, исследователи решали традиционным способом – установкой тормозных устройств, позволяющих за счет тормозного момента обеспечить компенсацию подталкивающего усилия фрезерных рабочих органов. В конструкциях экспериментальных стендов многих исследователей нашли применение ленточные тормоза

[6–7]. Данная схема отличается простой конструкции, но при этом неудобна в эксплуатации. Неудобство заключается в необходимости постоянных регулировок по причине износа элементов. Кроме этого, данные тормозные устройства требуют систематических работ по тарировке тормозного момента.

Другим способом обеспечения стабилизации движения подвижного модуля является применение в его конструкции пассивного стабилизатора [10].

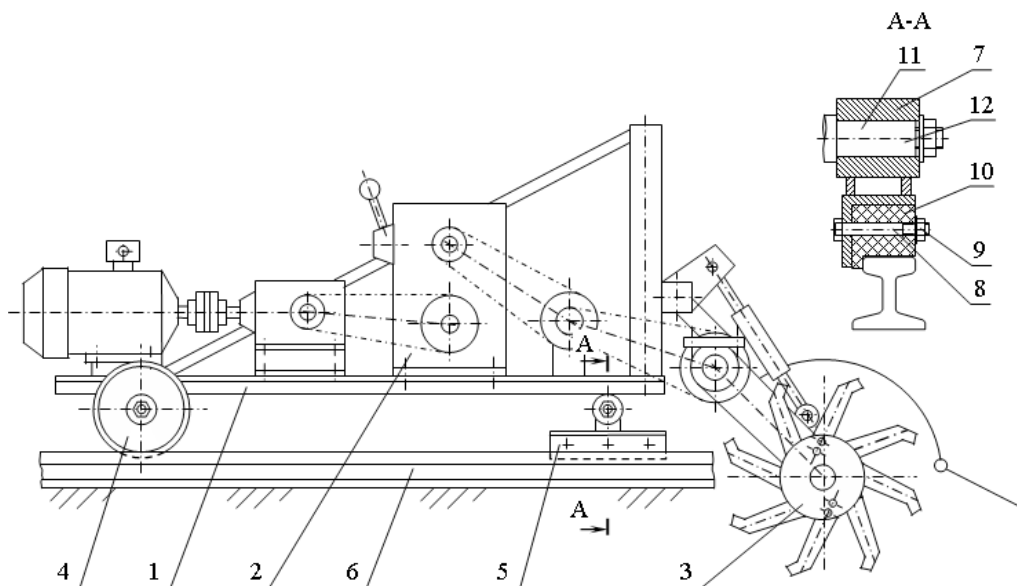
В этом случае конструкция подвижного модуля со стабилизатором устойчивости движения (рис. 2) представляет собой раму 1, на которой размещены привод 2 с АРО 3. Рама опирается опорными колесами 4 и стабилизаторами 5 на рельсовый путь 6. Стабилизатор устойчивости движения состоит из корпуса 7, на котором крепится при помощи болта 8 и гайки 9 ползун 10, изготовленный из антифрикционного материала (например, текстолита). Корпус стабилизатора 7 присоединен к оси 11 гайкой 12.

Пассивный стабилизатор устойчивости движения подвижного модуля испытательного стенда для исследования работы ротационных почвообрабатывающих машин работает следующим образом.

Во время работы экспериментального стенда подвижный модуль, опираясь на опорные колеса 4 и стабилизаторы 5, перемещается с заданной поступательной скоростью по рельсовому пути 6. Одновременно привод 2 обеспечивает вращательное движение АРО 3, которое направлено по ходу движения подвижного модуля. Вследствие обработки почвы АРО 3 возникает подталкивающая сила, которая ведет к увеличению заданной поступательной скорости подвижного модуля. Однако вследствие скольжения между ползуном 10 стабилизатора 5 и рельсом 6 возникает сила трения, которая компенсирует подталкивающую силу. Происходит

стабилизация поступательной скорости перемещения подвижного модуля и, таким образом, обеспечивается по-

стоянство ее значения, определяемого программой эксперимента в течение всего опыта.



Р и с. 2. Подвижный модуль с пассивным стабилизатором
Fig. 2. A mobile unit with a passive stabilizer

Несмотря на преимущества данной конструкции стабилизатора над рассмотренными ранее, она не лишена недостатков, таких как требование к постоянному уходу, заключающемуся в очистке ползуна и рельсового пути от пыли и грязи. Кроме этого, ползун стабилизатора подвержен износу.

Следующий вариант стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля позволяет исключить недостатки предыдущих конструкций за счет использования электромагнитного тормоза [11] (рис. 3). В этом случае подвижный модуль экспериментального стенда представляет собой раму 1, на которой размещен привод 2 с АРО 3. Рама опирается опорными колесами 4 и 5 на рельсовый путь 6. На раме 1 закреплен кронштейн 7, на котором уста-

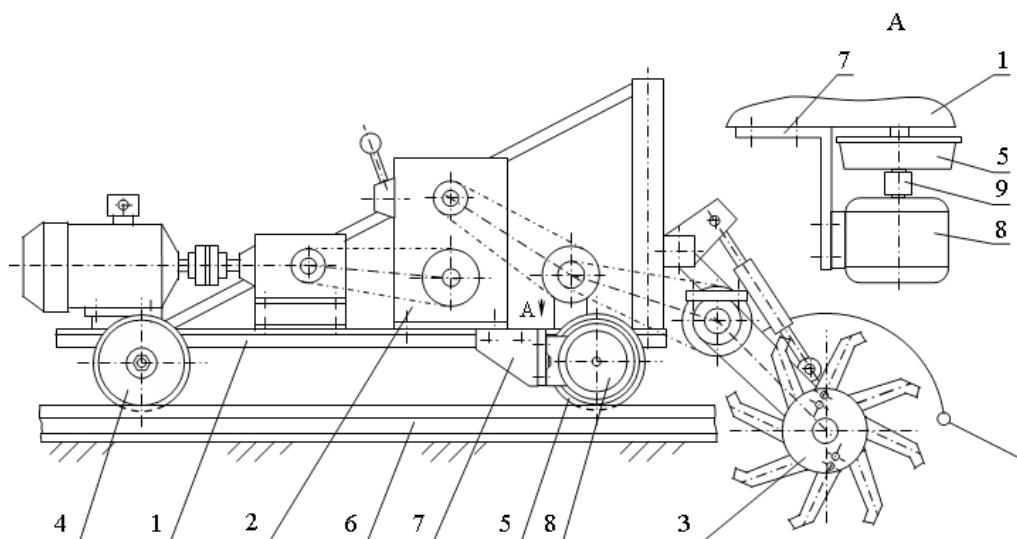
новлена электромагнитная муфта 8, соединенная при помощи соединительной муфты 9 с опорным колесом 5.

Электромагнитный стабилизатор движения подвижного модуля работает следующим образом. Во время работы экспериментального стенда подвижный модуль, опираясь на опорные колеса 4 и 5, перемещается с заданной поступательной скоростью по рельсовому пути 6. Одновременно привод 2 обеспечивает вращательное движение АРО 3. Вследствие их взаимодействия с почвой возникает подталкивающая сила, которая ведет к увеличению заданной поступательной скорости экспериментальной тележки. Однако вследствие работы электромагнитного тормоза 8 создается тормозной момент, который пере-



дается через соединительную муфту 9 опорному колесу 5, увеличивает тем самым сопротивление перекачиванию подвижного модуля и компенсирует

подталкивающую силу АРО 3. Таким образом, происходит стабилизация движения и поступательной скорости подвижного модуля.



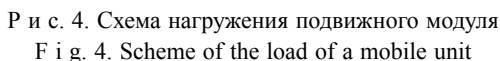
Р и с. 3. Подвижный модуль с электромагнитным стабилизатором
F i g. 3. A mobile unit with an electromagnetic stabilizer

Учитывая конструктивные особенности перечисленных устройств для обеспечения стабилизации движения подвижного модуля экспериментального стенда для исследования АРО почвообрабатывающих машин, наиболее приемлемым мы считаем вариант тележки с электромагнитным стабилизатором. Кроме описанных преимуществ, он позволяет обеспечить дистанционное управление электромагнитным тормозом и возможность регулирования тормозного момента на различных режимах проведения испытаний.

Материалы и методы

Рассмотрим обоснование местоположения предлагаемого электромагнитного тормоза в конструкции подвижного модуля. Учитывая ее особенности (см. рис. 3), электромагнитный тормоз можно расположить на осях его опорных передних или задних колес.

Выбор местоположения электромагнитного тормоза осуществлялся на основании условия (1), составленного с учетом сил, действующих на подвижный модуль и его рабочие элементы, а именно опорные передние 1 и задние 2 колеса, а также АРО 3, размещенные на раме 4 (рис. 4).



Используя условие (1) и данные рис. 4, получим следующие зависимости:

- при расположении тормоза на передней оси:

- при расположении тормоза на задней оси:

где F_{xe} – подталкивающая сила АРО F_x , приведенная к оси опорных колес подвижного модуля (т. E), Н (согласно рис. 4, $F_{xe} = F_x$); $F_{\text{сгб}}$ и $F_{\text{ста}}$ – силы сопротивлений перекатыванию задних и передних колес подвижного модуля соответственно, Н; $F_{\text{га}}$ и $F_{\text{гб}}$ –

Для определения силы F_x воспользуемся зависимостью, установленной в ходе экспериментальных исследований взаимодействия АРО с почвой [3]:

где p – твердость почвы, МПа; S – подача на нож, м.

Согласно условиям испытаний АРО по методике планирования эксперимента, значения параметров твердости почвы p изменяются в пределах от 0,25 МПа до 1,65 МПа, а значения подачи на нож S – от 0,03 м до 0,11 м [3; 12–13].

Для определения силы сопротивления перекачиванию задних $F_{\text{сзв}}$ и передних $F_{\text{ссл}}$ колес подвижного модуля воспользуемся уравнениями, учитывающими конструктивные особенности подвижного модуля, режимами его работы, а также силовыми характеристиками взаимодействия испытуемых АРО с почвой [5]:



$$F_{\text{сгВ}} = \left[gm_{\text{т}}(l_2 - l_1) - (23,2 + 42,2p - 66S + 49,2pS + 42,5p^2) \cdot \left(\frac{2\mu + fd}{D_{\text{к}}} \right) \frac{\beta}{l_2} \right] \cdot (l_2 + l_3) - (4,5 - 7p - 3S)l_4 \quad (5)$$

$$F_{\text{сгА}} = \left[gm_{\text{т}}l_1 + (23,2 + 42,2p - 66S + 49,2pS + 42,5p^2)l_3 + \left(\frac{2\mu + fd}{D_{\text{к}}} \right) \frac{\beta}{l_2} \right] + (4,5 - 7p - 3S)l_4 \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$); $m_{\text{т}}$ – масса подвижного модуля ($m_{\text{т}} = 380 \text{ кг}$); l_1 и l_2 – расстояние от центра масс (т. C) до оси задних колес (т. B) и база подвижного модуля соответственно (для рассматриваемой конструкции $l_1 = 300 \text{ мм}$, $l_2 = 1100 \text{ мм}$); l_3 и l_4 – расстояния от центра АРО (т. O) до оси задних опорных колес (т. B) в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно (с учетом анализа геометрии конструкции подвижного модуля и при условии фрезерования почвы на глубину $h = 12 \text{ см}$: $l_3 = 800 \text{ мм}$, $l_4 = 360 \text{ мм}$); μ – коэффициент трения качения (для чугунного колеса и стального рельса $\mu = 0,5 \text{ мм}$ [14]); f – коэффициент трения в подшипниках осей колес (для подшипников качения $f = 0,01$ [Там же]); d – диаметр оси колес под подшипник ($d = 35 \text{ мм}$); $D_{\text{к}}$ – диаметр колес ($D_{\text{к}} = 200 \text{ мм}$); β – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд ($\beta = 0,5 \text{ мм}$ [Там же]).

Значения сил трения на стыке колеса и рельса $F_{\text{сгА}}$ и $F_{\text{сгВ}}$ определим по формулам:

$$F_{\text{сгА}} = f_{\text{с}} R_{1\text{т}}; \quad (7)$$

$$F_{\text{сгВ}} = f_{\text{с}} R_{2\text{т}}; \quad (8)$$

где $f_{\text{с}}$ – коэффициент трения скольжения (при трении несмазанных чугунного колеса и стального рельса $f_{\text{с}} = 0,15$ [Там же]); $R_{1\text{т}}$ и $R_{2\text{т}}$ – силы давления на передних и задних колесах тележки соответственно, Н.

Для определения сил $R_{1\text{т}}$ и $R_{2\text{т}}$ воспользуемся следующими выражениями [5]:

$$R_{1\text{т}} = \frac{gm_{\text{т}}l_1 + F_{\text{зе}}l_3 + M_{\text{Фхе}}10^3}{l_2}; \quad (9)$$

$$R_{2\text{т}} = \frac{gm_{\text{т}}(l_2 - l_1) - F_{\text{зе}}(l_2 + l_3) - M_{\text{Фхе}}10^3}{l_2}, \quad (10)$$

где $F_{\text{зе}}$ – значение выталкивающей силы АРО F_z , приведенной к оси вращения опорных колес подвижного модуля (т. E) (согласно рис. 4, $F_{\text{зе}} = F_z$); $M_{\text{Фхе}}$ – момент пары сил при приведении подталкивающей силы АРО F_x к оси вращения опорных колес подвижного модуля (т. E), Н.

Для определения силы F_z воспользуемся зависимостью, установленной в ходе экспериментальных исследований взаимодействия АРО с почвой [3], а для определения момента $M_{\text{Фхе}}$ – уравнением, полученным при теоретическом исследовании [5]:

$$F_z = 23,2 + 42,2p - 66S + 49,21pS + 42,5p^2; \quad (11)$$

$$M_{F_{xe}} = (4,5 - 7p - 3S)l_4 \cdot 10^{-3}. \quad (12)$$

Подставляя последовательно (11) и (12) в (9) и (10), а затем в (5) и (6) с учетом ряда преобразований получим следующие уравнения:

$$F_{fA} = f_c \left[\frac{gm_1 l_1 + (23,2 + 42,2p - 66S + 49,21pS + 42,5p^2)l_3}{l_2} + \frac{(4,5 - 7p - 3S)l_4}{l_2} \right]; \quad (13)$$

$$F_{fB} = f_c \left[\frac{gm_1 (l_2 - l_1) - (23,2 + 42,2p - 66S + 49,21pS + 42,5p^2)(l_2 + l_3)}{l_2} - \frac{(4,5 - 7p - 3S)l_4}{l_2} \right]. \quad (14)$$

Результаты исследования

Для анализа динамики сил трения F_{fA} и F_{fB} соответственно подставим в зависимости (13) и (14) принятые и известные значения параметров, а также

минимальное и максимальные значения подачи на нож S ($S_{\min} = 0,03$ м; $S_{\max} = 0,11$ м) и значения твердости почвы p в диапазоне от 0,25 МПа до 1,65 МПа. Результаты расчетов сведем в таблицу.

Т а б л и ц а

Table

Значения сил, действующих на передние F_{fA} и задние F_{fB} колеса подвижного модуля при различных вариантах установки электромагнитного тормоза

Values of the forces effecting on the front F_{fA} and rear F_{fB} wheel of the mobile unit under different options of mounting electromagnetic brake

Значения сил, Н / Values of forces, Н	Подача на нож S , м / Supply on coultter, S , m	Твердость почвы p , МПа / Soil hardness, p , МПа				
		0,25	0,60	0,95	1,30	1,65
1	2	3	4	5	6	7
F_{xe}	0,03	21,4	45,1	68,9	92,7	116,4
	0,11	71,1	164,7	258,4	352,0	445,6
R_{1r}	0,03	1047,5	1027,2	999,5	964,6	922,7
	0,11	1050,4	1029,1	1000,5	964,6	921,4



Окончание таблицы / End of table

1	2	3	4	5	6	7
R_{2r}	0,03	2651,0	2604,3	2539,9	2457,7	2357,9
	0,11	2658,4	2609,3	2542,5	2458,1	2355,9
F_{ctB}	0,03	87,7	86,0	83,9	81,2	77,8
	0,11	87,8	86,3	83,9	81,2	77,8
F_{fA}	0,03	149,5	146,4	142,3	137,0	130,7
	0,11	149,9	146,7	142,4	137,0	130,6
$F_{ctB} + F_{fA}$	0,03	237,0	232,4	226,2	218,2	208,5
	0,11	237,7	233,1	226,4	218,2	208,3
Выполнение условия (знак «+» – условие выполняется; знак «-» – условие не выполняется) / Condition («+» – condition is met; «-» – condition is not met) $F_{xe} \leq F_{ctB} + F_{fA}$	0,03	+	+	+	+	+
	0,11	+	+	-	-	-
F_{ctA}	0,03	34,4	35,1	35,9	37,1	38,4
	0,11	34,3	35,0	35,9	37,1	38,4
F_{fB}	0,03	477,8	470,7	460,8	448,3	433,0
	0,11	478,9	471,5	461,2	448,3	432,7
$F_{ctA} + F_{fB}$	0,03	512,3	505,8	496,8	485,3	471,4
	0,11	513,3	506,5	497,2	485,4	471,2
Выполнение условия (знак «+» – условие выполняется; знак «-» – условие не выполняется) / Condition («+» – condition is met; «-» – condition is not met) $F_{xe} \leq F_{ctA} + F_{fB}$	0,03	+	+	+	+	+
	0,11	+	+	+	+	+

Из анализа таблицы следует, что размещение электромагнитного тормоза на оси передних колес не позволяет обеспечить выполнение требуемого условия на всех режимах работы подвижного модуля, а именно при $S_{max} = 0,11$ м и $p > 0,95$ МПа. Размещение электромагнитного тормоза на задней оси опорных колес, напротив, позволяет добиться выполнения условия на всех режимах функционирования подвижного модуля и, следовательно, обеспечить стабильность его движения по рельсовому пути экспериментального стенда.

Произведем выбор типоразмера электромагнитного тормоза по следующему условию:

$$T_{TP} \leq T_T, \quad (15)$$

где T_{TP} и T_T – расчетное и табличное значения тормозного момента соответственно, Н·м.

Значение момента T_{TP} определим по формуле [Там же]:

$$T_{TP} = K_T T_{pmin}, \quad (16)$$

где k_T – коэффициент запаса тормозного момента ($k_T = 1,5$); T_{pmin} – расчетный минимальный тормозной момент, Н·м.

Момент T_{pmin} определяем с учетом особенностей работы и нагружения подвижного модуля (см. рис. 3) по следующей формуле:

$$T_{pmin} = F_{fBpac} \frac{D_K}{2} 10^{-3}, \quad (17)$$

где F_{fBpac} – расчетная сила трения скольжения на тормозных колесах, Н; D_K – диаметр колеса ($D_K = 200$ мм).

Расчетное значение силы F_{fBpac} определим с учетом особенностей силового нагружения экспериментальной тележки и зависимости (3) по следующей формуле:

$$F_{fBpac} = F_{xei} - F_{cTAi}, \quad (18)$$

где F_{xi} и F_{cTAi} – значения подталкивающей силы на АРО и сила сопротивления перекачиванию на передних колесах подвижного модуля, соответствующие наиболее тяжелому режиму его работы, Н.

Исходя из анализа данных таблицы, наиболее тяжелый режим работы соответствует максимальным значениям твердости почвы ($p = 1,65$ МПа) и подачи на нож ($S = 0,11$ м), для которых $F_{xei} = 445,6$ Н и $F_{cTAi} = 38,4$ Н.

После последовательной подстановки известных и рассчитанных значений в (18), (17) и (16) получим:

$$F_{fBpac} = 445,6 - 38,4 = 407,2 \text{ Н};$$

$$T_{pmin} = 407,2 \frac{200}{2} 10^{-3} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{TP} = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Далее по каталогу [15] с учетом условия (15) выбираем тормоз: ПТ-6М1 с тормозным моментом $T_T = 60$ Н·м и рабочим диапазоном частот вращения от 1 до 4 000 мин⁻¹.

Кинематическая схема подвижного модуля с размещенным на оси задних колес электромагнитным тормозом представлена на рис. 3.

Обсуждение и заключения

Проведенное исследование позволило найти конструкторское решение по обеспечению стабилизации устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда при проведении испытаний АРО почвообрабатывающих машин. Кроме этого, было проведено обоснование выбора типоразмера и местоположения электромагнитного тормоза с учетом конструктивно-технологических параметров и режимов работы, а также особенностей проведения эксперимента. Достигнутые результаты в перспек-



тиве способствуют повышению чистоты экспериментальных исследований и позволят получать наиболее объективные данные в ходе их проведения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Купряшкин В. Ф.** Устойчивость движения и эффективное использование самоходных почвообрабатывающих фрез: теория и эксперимент : монография. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. 140 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23511099>
2. **Чаткин М. Н.** Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. 316 с.
3. **Купряшкин В. Ф.** Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы оптимизацией конструктивно-технологических параметров (на примере фрезы ФС-0,85) : дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2011. 220 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19247797>
4. Анализ устойчивости хода экспериментальной тележки испытательного стенда для исследования почвообрабатывающих машин с фрезерными рабочими органами / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2010. С. 372–378.
5. **Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Купряшкин В. В.** Исследование устойчивости движения подвижного модуля экспериментальной установки при испытании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник Мордовского университета. 2016. № 4. С. 246–258. URL: <http://vestnik.mrsu.ru/content/pdf/16-2/09.pdf>
6. **Андреев В. И.** Исследования динамических процессов ротационных почвообрабатывающих машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1972. 28 с.
7. **Борисов В. Н.** Исследование динамических характеристик и режимов работы почвообрабатывающих фрез : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1969. 26 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16150164>
8. Динамические условия обеспечения равномерного движения самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез с ходовыми колесами / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Нива Поволжья. 2011. № 4. С. 52–56. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17261700>
9. **Синеиков Г. Н., Панов И. М.** Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М. : Машиностроение, 1977. 328 с.
10. Пат. 114262 РФ, МПК⁷ A01B 33/00. Экспериментальная тележка для испытательного стенда / В. Ф. Купряшкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2011121198/13; заявл. 25.05.2011; опубл. 20.03.2012, бюл. № 8. 5 с., ил.
11. Пат. 109955 РФ, МПК⁷ A01B 33/00. Экспериментальная тележка для испытательного стенда / В. Ф. Купряшкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». № 2011115751/13; заявл. 20.04.2011; опубл. 10.11.2011, бюл. № 31. 5 с., ил.
12. Методика проведения стендовых испытаний самоходных почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : мат-лы Всерос. науч.-техн. конф. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. С. 385–389.
13. **Купряшкин В. Ф.** Обоснование факторного пространства исследования активных рабочих органов самоходных почвообрабатывающих фрез (на примере фрезы ФС-0,85) // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : мат-лы Всерос. науч.-техн. конф. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. С. 391–394.
14. **Александров М. П.** Грузоподъемные машины. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана ; Высш. шк., 2000. 552 с.
15. Электромагнитные порошковые нагрузочные тормоза серии ПТ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stancons.ru/pt.shtml>

Поступила 23.01.2017; принята к публикации 15.02.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Купряшкин Владимир Федорович, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Института 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/0000-0002-7512-509X>**, kupwf@mail.ru

Наумкин Николай Иванович, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1109-5370>**, NaumN@yandex.ru

Князьков Алексей Сергеевич, старший преподаватель кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), knjazkovaleksejj@rambler.ru

Купряшкина Валентина Николаевна, аспирантка Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), valentina.cupr@yandex.ru

Шляпников Михаил Геннадьевич, студент Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), mix.shlyapnickoff2015@yandex.ru

Купряшкин Владимир Владимирович, студент Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5327-4089>**, kupvovan@mail.ru

Терехин Евгений Юрьевич, студент Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), terehin-1994@mail.ru

Вклад соавторов: В. Ф. Купряшкин: научное руководство, формулирование основной концепции исследования, подготовка начального варианта текста и формирование выводов; Н. И. Наумкин: проведение критического анализа исследования и доработка текста; А. С. Князьков: проведение теоретических исследований по устойчивости движения подвижного модуля; В. Н. Купряшкина: компьютерные работы, визуализация, верстка и редактирование текста; М. Г. Шляпников: литературный и патентный анализ, участие в теоретическом исследовании устойчивости движения подвижного модуля; В. В. Купряшкин: литературный и патентный анализ, обработка результатов теоретических исследований; Е. Ю. Терехин: литературный анализ и теоретическое обоснование выбора типоразмера электромагнитного тормоза.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kupryashkin VF. Ustoychivost dvizheniya i effektivnoye ispolzovaniye samokhodnykh pochvoobrabatyvayushchikh frez: teoriya i eksperiment : monografiya [Movement resistance and effective use of self-propelled cutter tillage: theory and experiment: A monograph]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2014. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23511099> (In Russ.)
2. Chatkin MN. Kinematika i dinamika rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [The kinematics and dynamics of rotary tillers]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2008.
3. Kupryashkin VF. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya samokhodnoy malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy optimizatsiy konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov (na primere frezy FS-0,85): diss. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of functioning of the self-propelled cutter compact tillage with optimized design and technological parameters (case study of PS-0.85 mills): Ph.D. (Engineering) thesis]. Saransk; 2011. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19247797> (In Russ.)
4. Kupryashkin VF, et al. Analiz ustoychivosti khoda eksperimentalnoy telezhki ispytatelnogo stenda dlya issledovaniya pochvoobrabatyvayushchikh mashin s frezernymi rabochimi organami. [Stability analysis of the progress of the test stand experimental trolley for study of tillers with milling working bodies].



In: Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: mezhvuz. sb. nauch. tr. [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems: Proceedings.] Saransk: Mordovia State University Publ.; 2010; 372-378 (In Russ.)

5. Kupryashkin VF, Naumkin NI, Kupryashkin VV. Issledovaniye ustoychivosti dvizheniya podvizhnogo modulya eksperimentalnoy ustanovki pri ispytanii aktivnykh rotatsionnykh rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Stability of motion of mobile module of experimental setup in the study of active rotary working tools of machines for soil treatment]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4:246-258. Available from: <http://vestnik.mrsu.ru/content/pdf/16-2/09.pdf> (In Russ.)

6. Andreyev VI. Issledovaniya dinamicheskikh protsessov rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Research of dynamic processes of rotary tillers: Abstract of Ph.D. (Engineering) thesis]. Moscow; 1972. (In Russ.)

7. Borisov VN. Issledovaniye dinamicheskikh kharakteristik i rezhimov raboty pochvoobrabatyvayushchikh frez: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Research of dynamic characteristics and operating modes of tillage cutters: Abstract of Ph.D. (Engineering) thesis]. Kiev; 1969. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16150164> (In Russ.)

8. Kupryashkin VF, Chatkin MN, Naumkin NI, Bezrukov AV. Dinamicheskiye usloviya obespecheniya ravnomernogo dvizheniya samokhodnykh malogabaritnykh pochvoobrabatyvayushchikh frez s khodovymi kolesami [Dynamic conditions to ensure uniform movement of self-propelled small tillage cutters with running wheels]. *Niva Povolzhya*; 2011; 4:52-56. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17261700> (In Russ.)

9. Sinekov GN, Panov IM. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and design of tillers]. Moscow: Mashinostroeniye; 1977. (In Russ.)

10. Patent 114262 RF, MPK7 A01V 33/00. Kupryashkin VF, et. al. Eksperimentalnaya teleshka dlya ispytatelnogo stenda [Experimental trolley for experimental stand.]. No. 2011121198/13; publ. 20.03.2012, bulletin no. 8. (In Russ.)

11. Patent 109955 RF, MPK7 A01V 33/00. Kupryashkin VF, et. al. Eksperimentalnaya teleshka dlya ispytatelnogo stenda [Experimental trolley for experimental stand.]. No. 2011115751/13; publ. 10.11.2011, bulletin no. 31. (In Russ.)

12. Kupryashkin VF. Metodika provedeniya stendovykh ispytaniy samokhodnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin s aktivnymi rabochimi organami [Methods of bench tests of self-propelled tillers with active working tools]. In: Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya mekhanicheskikh i energeticheskikh sistem: Materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf [Improving the efficiency of mechanical and energy systems: Proceedings of the Russian scientific and technical conference]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2009; 385-389. (In Russ.)

13. Kupryashkin VF. Obosnovaniye faktornogo prostranstva issledovaniya aktivnykh rabochikh organov samokhodnykh pochvoobrabatyvayushchikh frez (na primere frezy FS-0,85) [Rationale for study of factor space of active working bodies of self-propelled soil-cutters (case study of PS-0.85 mills)]. In: Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya mekhanicheskikh i energeticheskikh sistem: Materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf [Improving the efficiency of mechanical and energy systems: Proceedings of the Russian scientific and technical conference]. Saransk: Mordovia State University Publ.; 2009; 391-394. (In Russ.)

14. Aleksandrov MP. Gruzopodemnyye mashiny [Hoisting machine]. Moscow: MGTU Publ.; 2000. (In Russ.)

15. Elektromagnitnyye poroshkovyye nagruzochnyye tormoza serii PT [Electromagnetic powder load brake PT Series]. Available from: <http://www.stancons.ru/pt.shtml> (In Russ.)

Submitted 23.01.2017; revised 15.02.2017; published online 31.03.2017

About the authors:

Vladimir F. Kupryashkin, Associated Professor of Chair of Machines and Mechanisms Design, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7512-509X>**, kupwfi@mail.ru



Nikolay I. Naumkin, Head of Chair of Machines and Mechanisms Design, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), Dr.Sci. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1109-5370>**, NaumN@yandex.ru

Aleksey S. Knyazkov, Senior Lecturer of Chair of Machines and Mechanisms Design, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), knjazkovaleksejj@rambler.ru

Valentina N. Kupryashkina, Postgraduate Student, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), valentina.cupr@yandex.ru

Mikhail G. Shlyapnikov, Student, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), mix.shlyapnickoff2015@yandex.ru

Vladimir V. Kupryashkin, Student, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5327-4089>**, kupvovan@mail.ru

Yevgeniy Y. Terekhin, Student, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), terehin-1994@mail.ru

Contribution of the co-authors: V. Kupryashkin managed the research project, developed the theoretical framework, revised the draft and pointed out the conclusions; N. Naumkin critically analyzed the research results and revised the draft; A. Knyazkov conducted theoretical research on stability of mobile unit; V. Kupryashkina printed text and made layout; M. Shlyapnikov reviewed literature and analyzed the patents, V. Kupryashkin reviewed literature, analyzed the patents, and processed data; Ye. Terekhin developed the theoretical framework for electromagnetic brake.

All authors have read and approved the final manuscript.



МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Е. В. Шешунова

*ФГБОУ ВО «Ярославская государственная
сельскохозяйственная академия» (г. Ярославль, Россия)
e.sheshunova@yarcx.ru*

Введение. В статье рассматриваются вопросы использования многокритериальных систем оптимизации, их преимущество перед однокритериальными. Впервые данная тема была рассмотрена итальянским экономистом В. Парето. В дальнейшем интерес ученых всего мира к изучению этого вопроса усилился, поскольку многокритериальные задачи, очевидно, присутствуют во всех сферах деятельности.

Материалы и методы. Для рассмотрения данного вопроса были составлены математические модели объекта оптимизации, выбраны критерии оптимальности, установлены возможные ограничения.

Результаты исследования. Задачи проектирования сложных систем всегда являются многокритериальными, поскольку при выборе достоверного варианта приходится учитывать множество различных требований, которые предъявляются к системе. Для получения более полной характеристики недостатков и достоинств проектируемого объекта было увеличено количество рассматриваемых критериев качества. Метод многокритериальной оптимизации предполагает возможность ранжирования критериев, т. е. определения преимуществ каждого предшествующего критерия перед следующим. В условиях неполноты информации, трудностей измерения значимости критериев оптимизации выбор лучшего представляет определенную сложность, которая, однако, частично нивелируется благодаря использованию рассмотренного в статье метода.

Обсуждение и заключения. В предыдущих исследованиях нами рассматривались задачи, в которых, как правило, был всего один основной критерий и, соответственно, единственная целевая функция. В случаях, когда качество решения оценивается по нескольким критериям, выбор лучшего решения представляет собой более сложную задачу, особенно учитывая, что неизвестно, какое именно из них будет лучшим. Именно поэтому окончательное решение должно учитывать важность каждой целевой функции. Основной сложностью при многокритериальной оптимизации является неоднозначность выбора «оптимального решения». Для ее преодоления необходимо учесть все требования, предъявляемые к рассматриваемому объекту.

Ключевые слова: оптимизация, многокритериальная система, критерий оптимальности, задача оптимизации, математическая модель, основы оптимизации

Для цитирования: Шешунова Е. В. Многокритериальные системы оптимизации в агропромышленном комплексе // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 67–76. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.067-076

Благодарности: Автор выражает благодарность своему научному руководителю С. А. Краснову, а также руководству ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» за помощь при подготовке научной статьи.

MULTICRITERIA SYSTEMS OF OPTIMIZATION IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Ye. V. Sheshunova

Yaroslavl State Agricultural Academy (Yaroslavl, Russia)

e.sheshunova@yarcx.ru

Introduction. The article deals with multicriteria systems of optimization and their advantage over one-criterion systems. This approach is based on the key ideas of the famous economist V. Pareto. Recent interest of many scientists to this area of knowledge is caused by emergence of multicriteria tasks in all spheres of human activities.

Materials and Methods. For consideration of this issue, the mathematical models of an optimization object are made, the optimal criteria are chosen, the possible restrictions are set.

Results. Design of difficult systems is always multicriteria challenge, because the designers take into account many requirements for the system. For a complete review of all positive qualities and defects of the proposed facility, the number of quality criteria taken into account was increased. Choosing the best option is burdened by incomplete information and difficulties of determining the significance of optimization criteria. The method, presented by the authors, can overcome most of the difficulties.

Discussion and Conclusions. In the previous studies we considered the tasks where there was one main criterion and, accordingly, only the objective function. The choice of the best solutions for several criteria is a more complex task on. The final decision must take into account the importance of each objective function. The main difficulty with multi-criteria optimization is the selection of the best solution. It is necessary to take into account all requirements for the object under considering.

Keywords: optimization, multicriteria system, optimal criterion, problem of optimization, mathematical model, optimization bases

For citation: Sheshunova YeV. Multicriteria systems of optimization in agro-industrial complex. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):67-76. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.067-076

Acknowledgements: I express my gratitude to Prof. Sergey Krasnov, and the management staff of Yaroslavl State Agricultural Academy for help in writing of the article.

Введение

Оптимизацией называется целенаправленная деятельность, которая заключается в получении наилучших результатов при заданных условиях [1].

Для нахождения оптимальных решений необходимы специальные математические методы, и уже в 18 в. ученые заложили математические основы оптимизации (численные методы, вариационное исчисление и др.) [Там же]. Кроме этого, введем понятие *критерия оптимальности* – количественной оценки оптимизируемого качества объекта [Там же].

На основании выбранного критерия оптимальности составляют целе-

вую функцию, которая представляет собой зависимость данного критерия от параметров, влияющих на ее значение. Вид критерия оптимальности или целевой функции определяется конкретной задачей оптимизации [2].

Для решения задачи оптимизации производят следующие операции:

- составление математической модели объекта оптимизации;
- выбор критерия оптимальности и составление целевой функции;
- установление возможных ограничений, которые накладываются на переменные;
- выбор метода оптимизации, позволяющего найти экстремальные значения искомых величин.



Обзор литературы

Вопросам, связанным с многокритериальной системой оптимизации, посвящено большое количество научных работ.

Например, А. Г. Трифонов уделял внимание множеству альтернативных методов; рассматривал метод достижения цели как задачу нелинейного программирования; анализировал стратегию взвешенных сумм, которая преобразует многокритериальную задачу минимизации в некую простую для всех выбранных объектов, чтобы в дальнейшем к ней можно было применить стандартный алгоритм оптимизации [3].

Учеными были предложены следующие методы многокритериальной оптимизации [4]:

- метод Ранга, предназначенный для поиска критериев на основе оценок экспертов;

- метод *Preobrazovanie* – для преобразования исходных данных по шкале Харрингтона;

- метод *Max*, представляющий собой поиск максимального значения и деление на него всех текущих значений;

- метод *Ves*, используемый в многомерной оптимизации (методе анализа иерархий);

- метод *PoiskMaxVesa* – для поиска максимального значения в методе многомерной оптимизации, позволяющий выбрать наилучшую альтернативу;

- метод *Proverka*, используемый в многомерной оптимизации (методе Ранга).

Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников рассматривали человеко-машинные процедуры решения задач многокритериального выбора. Основное внимание они уделяли анализу и использованию информации об относительной важности критериев оптимальности при принятии решений.

Исследования А. В. Лотова, И. И. Поспеловой посвящены теории много-

критериальной оптимизации и методам поддержки принятия решений при нескольких критериях.

В. В. Подиновским были рассмотрены основные идеи многокритериальных систем и дано представление о методах выбора оптимальных вариантов, оцениваемых по нескольким критериям с использованием информации об их относительной важности.

Мы предлагаем применить методы многокритериальной оптимизации в сельскохозяйственном производстве.

Материалы и методы

Рассмотрим теплообменник, который предназначен для охлаждения горячей жидкости, в данном случае молока, от температуры t_1 до температуры t_2 . В качестве хладагента использовалась вода с температурой t_3 . Функционирование теплообменника характеризовалось следующими информационными переменными: W_1 , W_2 – массовые расходы поступившего молока и хладагента; h – конструктивный тип теплообменника (противоточный, прямоточный пластинчатый); F – площадь поверхности теплообмена; Q – количество тепла, переданное потоком молока потоку хладагента; K – общий коэффициент теплопередачи; Δt – среднелогарифмическая разница температур; t_1 , t_2 , t_3 , t_4 – температуры молока и хладагента на входе и на выходе из теплообменника соответственно [5–7].

Математическую модель теплообменника представим в виде пяти информационных связей; основные уравнения теплопередачи приведем в следующих формулах [8]:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_4) - (t_2 - t_3)}{\ln \frac{(t_1 - t_4)}{(t_2 - t_3)}}, \quad (2)$$

$$K = f(t_1, t_2, t_3, t_4, W_1, W_2), \quad (3)$$

$$W_1 \cdot c \cdot (t_1 - t_2) - W_2 \cdot c_2 \cdot (t_4 - t_3) = 0, \quad (4)$$

$$Q = W_1 \cdot c \cdot (t_1 - t_2). \quad (5)$$

где c и c_b – теплоемкость молока и воды соответственно.

Перечислим оптимизирующие информационные переменные для исследуемого теплообменника: $n = 5$; $m = 11$; $F = m - n = 6$. Согласно технологическим условиям функционирования теплообменника, регламентированными информационными переменными в системе являются W_1, t_1, t_2, t_3 .

В качестве оптимизирующих переменных были выбраны конструктивный тип теплообменника h и массовый расход хладагента W_2 . Численные значения базисных (искомых) информационных переменных ($F, Q, K, \Delta t, t_4$) получим после решения математической модели теплообменника [9–11].

В качестве хладоносителя был выбран хладон R410A, который имеет следующие характеристики:

- температура кипения – $-51,4^\circ\text{C}$;
- давление насыщенного пара – $1,56\text{ МПа}$;
- воспламеняемость отсутствует;
- коэффициент разрушения озона равен 0 [12–13].

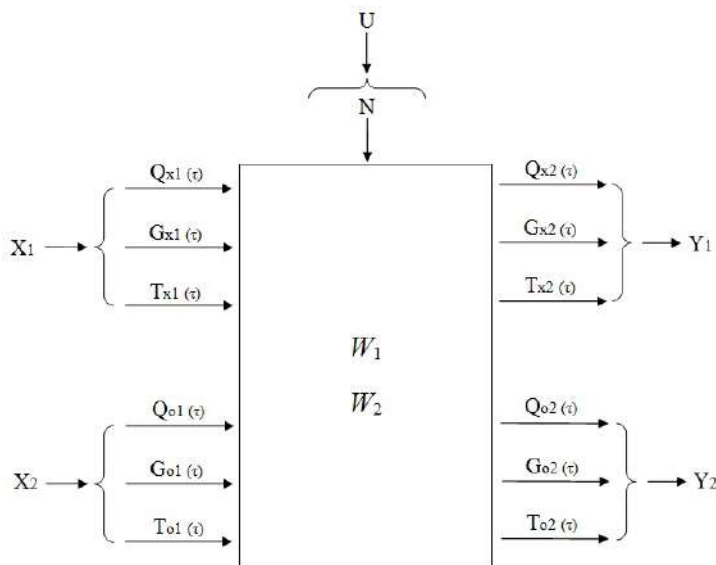
Также был использован тепловой насос, для которого применялись следующие критерии оптимизации:

- коэффициенты преобразования;
- температурные показатели (на входе и выходе из насоса);
- потребляемая мощность насоса;
- производительность;
- эксплуатационные показатели [14–33].

Многокритериальная оптимизация решает множество задач параметрической и структурной оптимизации.

Для расчета параметров нагрева воды и охлаждения молока с помощью теплового насоса была использована математическая модель с учетом переменных.

Схема моделирования установки, нагрева воды и охлаждения молока представлена на рис. 1 [34].



Р и с. 1. Схема моделирования установки нагрева воды и охлаждения молока

F i g. 1. Driving simulation of water heating and milk cooling installation



На данной схеме нагрев воды и охлаждение молока представлены в виде изменяющейся (динамической) системы, которая осуществляет преобразование входных воздействий в выходные переменные параметры.

Входной вектор X_1 и выходной вектор Y_1 относятся к грунтовой воде:

$$X_1 = \{Q_{x1}(\tau); G_{x1}(\tau); T_{x1}(\tau)\}, \quad (6)$$

$$Y_1 = \{Q_{x2}(\tau); G_{x2}(\tau); T_{x2}(\tau)\}, \quad (7)$$

где $Q_{x1}(\tau)$ – количество тепла, отбираемого грунтовой водой в единицу времени (холодопроизводительность), кВт; $G_{x1}(\tau)$ – расход грунтовой воды на входе в насос, кг/ч; $T_{x1}(\tau)$ – температура грунтовой воды на входе в насос, К; $Q_{x2}(\tau)$ – количество тепла, оставшегося у грунтовой воды, кВт; $G_{x2}(\tau)$ – расход грунтовой воды на выходе из насоса, кг/ч; $T_{x2}(\tau)$ – температура грунтовой воды на выходе из насоса, К.

Входной вектор X_2 и выходной вектор Y_2 относятся к воде, нагреваемой тепловым насосом:

$$X_2 = \{Q_{o1}(\tau); G_{o1}(\tau); T_{o1}(\tau)\}, \quad (8)$$

$$Y_2 = \{Q_{o2}(\tau); G_{o2}(\tau); T_{o2}(\tau)\}, \quad (9)$$

где $Q_{o1}(\tau)$ – количество тепла, которое переносится водой, поступающей для нагревания на входе в насос, кВт; $G_{o1}(\tau)$ – расход нагреваемой воды на входе в насос, кг/ч; $T_{o1}(\tau)$ – температура нагреваемой воды на входе в насос, К; $Q_{o2}(\tau)$ – количество тепла, которое передается в единицу времени нагреваемой воде, кВт; $G_{o2}(\tau)$ – расход нагреваемой воды на выходе из насоса, кг/ч; $T_{o2}(\tau)$ – температура нагреваемой воды на выходе из насоса, К;

Входной управляющий вектор U является мощностью компрессора N , кВт.

Выходные векторы Y_1 и Y_2 зависят от входных векторов F_1 и F_2 . Эта связь может быть выражена оператором W . При построении математической модели и ее технологического процесса необходимо установить вид и структуру оператора, который описывает зависимость выходных параметров от входных:

$$Y = W [X_1, X_2].$$

При нагреве воды и охлаждении молока с использованием теплового насоса мы получаем выражения:

$$Y_1 = W_1[X_1; X_2];$$

$$Y_2 = W_2[X_1; X_2],$$

$$Y_1 = \{Q_{x2}(\tau); G_{x2}(\tau); T_{x2}(\tau)\};$$

$$Y_2 = \{Q_{o2}(\tau); G_{o2}(\tau); T_{o2}(\tau)\}.$$

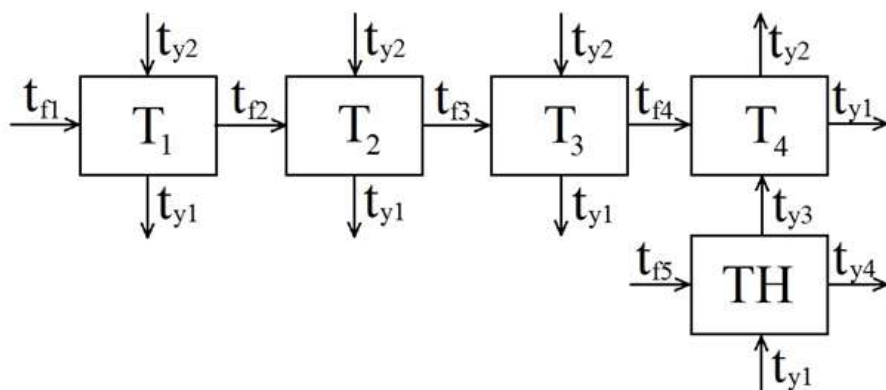
Входной управляющий вектор U представляет мощность компрессора N , кВт. Главная задача моделирования – получение математических зависимостей для определения холодо- $Q_{x1}(t)$ и теплопроизводительности $Q_{o2}(t)$ насоса:

$$Q_{x1}(t) = W_1[N; G_{x1}(t); T_{x1}(t)],$$

$$Q_{o2}(t) = W_2[N; G_{o1}(t); T_{o1}(t); T_{o2}(t);$$

$$G_{x1}(t); T_{x1}(t)].$$

Рассмотрим модель нагрева воды и охлаждения молока с использованием теплового насоса, которая будет являться функциональной (рис. 2) [7].



Р и с. 2. Модель нагрева воды и охлаждения молока с использованием теплового насоса

F i g. 2. Model of water heating and milk cooling using a heat pump

В качестве основных уравнений при расчете теплообмена, как известно, используются уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса.

Определяющим фактором работы теплового насоса является, как было отмечено ранее, мощность компрессора N , поэтому необходимо установить ее зависимость от всех остальных характеристик работы теплового насоса [7]:

$$N = W_3 [q_{x1}(t); q_{o2}(t); G(t)],$$

$$N = q_1 - q_2. \quad (10)$$

Коэффициент преобразования тепла вычисляется следующим образом:

$$K_T = \frac{q_1}{N}. \quad (11)$$

Также укажем формулу для определения коэффициента преобразования холода:

$$K_E = \frac{q_2}{N}. \quad (12)$$

Таким образом, тепловой насос можно считать многофункциональной системой.

Результаты исследования

Задачи однокритериальной минимизации представляют собой самую про-

стую математическую модель оптимизации, в которой основная функция зависит от одной переменной. Для получения более полной характеристики параметров проектируемого объекта необходимо увеличить количество рассматриваемых критериев качества. Таким образом, задачи проектирования сложных систем всегда многокритериальны, поскольку при выборе достоверного варианта приходится учитывать множество различных требований, предъявляемых к системе.

Обсуждение и заключения

Многокритериальная оптимизация решает множество задач параметрической и структурной оптимизации. Необходимо отметить, что при использовании многокритериальной системы найти оптимальное решение гораздо сложнее, чем при однокритериальной. Однако при этом значительно повышается качество решения, а получаемые результаты достаточно приближены к реальным ситуациям поведения изучаемого объекта. Чем больше критериев качества вводится в рассмотрение, тем более точную характеристику бъекта можно получить. По нашему мнению, задачи сложных систем всегда многокритериальны, поскольку при выборе оптимального варианта необходимо учитывать множество различных требований, предъявляемых к рассматриваемому объекту.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Алексеев Е. Л., Пахомов В. Ф.** Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности. М. : Агропромиздат, 1987. 272 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/2022138>
2. **Штойер Р.** Многокритериальная оптимизация / Пер. с англ. М. : Радио и связь, 1992. 504 с. URL: http://www.studmed.ru/shtoyer-r-mnogokriterialnaya-optimizaciya-teoriya-vychisleniya-i-prilozheniya_4232e774392.html
3. **Трифонов А. Г.** Многокритериальная оптимизация: руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: http://www.matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/16.php
4. **Черноруцкий И. Г.** Методы оптимизации и принятия решений. СПб. : Лань, 2001. 384 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26886474>
5. **Алексеев Ю. П., Голубчиков Н. И.** Геотермальные ресурсы России // Энергия. Экономика, техника, экология. 2004. № 3. С. 42–45. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17717242>
6. **Ахмедов Р. Б.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М. : О-во «Знание», 1988.
7. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии России / П. П. Безруких [и др.]. СПб. : Наука, 2002. 290 с. URL: http://www.intersolar.ru/books/renewable/re_resources.html
8. **Шешунова Е. В.** Использование теплового насоса на животноводческой ферме для получения холода и тепла : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ярославль, 2012. 8 с. URL: <http://www.docme.ru/doc/217780/tekhnosfera.com>
9. **Горшков В. Г.** Тепловые насосы : аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004. № 2. URL: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/9>
10. **Гликсон А. Л., Дорошенко А. В.** Гелиосистемы и тепловые насосы в системах автономного тепло- и хладоснабжения // АВОК. 2004. № 7. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2010_2/art215.htm
11. **Твайдел Дж., Уэйр А.** Возобновляемые источники энергии. М. : Энергоатомиздат, 1990. 392 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/172759>
12. Теоретические основы теплотехники: теплотехнический эксперимент : справочник / Под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. М. : Изд-во МЭИ, 2001. URL: <http://www.twirpx.com/file/445323>
13. **Быстрицкий Г. Ф.** Основы энергетики. М. : Инфра-М, 2007. 214 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/143091>
14. **Васильев Г. П., Шилкин Н. В.** Использование низкопотенциальной тепловой энергии в теплонасосных системах // АВОК. 2003. № 2. С. 52–60. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2008_4/art189.htm
15. **Ларин В.** Состояние и перспективы применения возобновляемых источников энергии в России. М. : LEAD CIS, 2006. 107 с. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2009_4/art154.pdf
16. **Елистратов В. В.** Мониторинг развития возобновляемой энергетики в мире и России // Академия энергетики. 2008. № 2.
17. **Федоренко В. Ф., Сорокин Н. Т., Буклагин Д. С.** Инновационное развитие альтернативной энергетики. М. : ФГНУ «Росинфоргапротех». 2010. 348 с. URL: <http://www.expobooks.ru/catalogue/show/152146802>
18. **Gipe P.** Soaring to new heights the world energy market // Renewable Energy World. 2002. P. 33–47.
19. 480 kw peak concentrator power plant using nuclides parabolic trough technology / G. Sala [et al.] // 2 WC PVSEC. Vienna, 1998.
20. **Mills D.** Multiple floating offshore wind farm (MUFOW) // Sol. Progr. 2000. Vol. 21, № 2. URL: <http://www.technology.stfc.ac.uk/ERU/pdfs/mufow.pdf>
21. **Taude J. O. G., Hansen J. C.** The economics of wind power in local power systems // Energy Procedia. 2012. Vol. 24. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.06.094
22. **Fearon J.** The history and development of the heat pump, refrigeration and air conditioning. 1978.

23. **Atkinson L.** Single pressure absorption heat pump analysis : a dissertation. Georgia Institute of Technology, 2000. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/3463/83d5cfd3b12d189de2963b264cbf06c9884.pdf>
24. **Rybach L.** Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and sustainability aspects of GHPS. International course of geothermal heat pumps, 2002. URL: <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2002/Rybach.pdf>
25. **Rubach L., Sanner B.** Ground-source heat pump systems – the European experience // Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. 2000. Vol. 21/1. URL: <https://www.sanner-geo.de/media/art4.pdf>
26. **Sanner B.** Ground heat sources for heat pumps (classification, characteristics, advantages). 2002. URL: <https://pangea.edu/ERE/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/I-9-01.pdf>
27. Saving energy with residential heat pumps in cold climates : maxi brochure. CADET, 1977.
28. Combined production of heat and electrical power // Bergbau. 1988. Vol. 39. № 7.
29. **Kelly P. J.** Practical guide to «free energy» devices [Электронный ресурс]. URL: <http://www.free-energy-info.co.uk/PJKbook.pdf>
30. **Rabin Y., Korin E.** Thermal analysis of a helical heat exchange for long-term thermal energy storage in the ground // International Journal Heat and Mass Transfer. 1996. Vol. 39, № 5. P. 1051–1065. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=491435>
31. **Svec O. J., Palmer J. H. L.** Performance of spiral ground heat exchanger for heat pump application // International Journal of Energy Research. 1989. Vol. 13. P. 503–510. DOI: 10.1002/er.4440130502
32. Livestocks long shadow / H. Steinfeld [et al.]. Rome : FAU, 2006. P. 345–367. URL: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
33. **Flachowsky G.** Potenziale zur reduzierung der methan-emission beiwiederfaern // Zuchtungskunde. 2007. Vol. 79 (6). P. 417–465. URL: http://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/methanreduzieren-zueku6-07_ODcyMDk0.pdf
34. **Шешунова Е. В.** Использование геотермального тепла с применением теплового насоса на животноводческой ферме // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5554>

Поступила 30.06.2016; принята к публикации 21.12.2016; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Шешунова Елена Владимировна, декан инженерного факультета ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, Россия, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д. 58), кандидат технических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7805-5656>, e.sheshunova@yarcx.ru

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. **Alekseyev YeL, Pakhomov VF.** Modelirovaniye i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v pishchevoy promyshlennosti [The modeling and optimization of technological processes in the food industry]. Moscow: Agropromizdat; 1987. Available from: <http://www.twirpx.com/file/2022138> (In Russ.)
2. **Shtoyer R.** Mnogokriterialnaya optimizatsiya [Multi-criteria optimization]. Moscow: Radio i svyaz; 1992. Available from: http://www.studmed.ru/shtoyer-r-mnogokriterialnaya-optimizaciya-teoriya-vychisleniya-i-prilozheniya_4232e774392.html (In Russ.)
3. **Trifonov AG.** Mnogokriterialnaya optimizatsiya: rukovodstvo polzovatelya [Multi-criteria optimization: User's guide]. Available from: http://www.matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/16.php (In Russ.)
4. **Chernorutskiy IG.** Metody optimizatsii i prinyatiya resheniy. St. Petersburg: Lan; 2001. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26886474> (In Russ.)



5. Alekseyev YuP, Golubchikov NI. Geotermalnyye resursy Rossii [Geothermal resources of Russia]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* = Energy: Economics, technology, ecology. 2004; 3:42-45. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17717242> (In Russ.)
6. Akhmedov RB. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemye istochniki energii [Alternative and renewable energy sources]. Moscow: Znaniye Publ.; 1988. (In Russ.)
7. Bezrukh PP, Arbuzov YuD, Borisov GA, Vissarionov VI, Yevdokimov VM, Malinin NK, et al. Resursy i effektivnost ispolzovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii Rossii [Resources and efficiency of the use of renewable sources of energy Russia]. St. Petersburg: Nauka; 2002. Available from: http://www.intersolar.ru/books/renewable/re_resources.html (In Russ.)
8. Sheshunova YeV. Ispolzovaniye teplovogo nasosa na zhivotnovodcheskoy ferme dlya polucheniya kholoda i tepla: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk [Using a heat pump on livestock farm to provide heat and cold: Abstract of Ph.D. (Engineering) thesis]. Moscow, 2012. Available from: <http://www.docme.ru/doc/217780/tekhnosfera.com> (In Russ.)
9. Gorskoy VG. Teplovyye nasosy: analiticheskiy obzor [Heat pumps: analytical review]. *Spravochnik promyshlennogo oborudovaniya* = Directory of Industrial Equipment. 2004; 2. Available from: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/9> (In Russ.)
10. Glikson AL, Doroshenko AV. Geliosistemy i teplovyye nasosy v sistemakh avtonomnogo teplo- i khladosnabzheniya [Solar and heat pump in autonomous heating and cooling systems]. *Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii "Ekologicheskkiye sistemy"* = Energy service company Ecological Systems electronic journal. 2004; 7. Available from: http://www.journal.esco.co.ua/2010_2/art215.htm (In Russ.)
11. Tvaydel Dzh., Ueyr A. Vozobnovlyayemye istochniki energii [Renewable energy sources]. Moscow: Energoatomizdat; 1990. Available from: <http://www.twirpx.com/file/172759> (In Russ.)
12. Klimenko AV, Zorina VM, editors. Teoreticheskiye osnovy teplotekhniki: teplotekhnicheskiiy eksperiment: spravochnik [Theoretical basics of heat: Thermal experiment: Guide] Moscow: MEI Publ.; 2001. Available from: <http://www.twirpx.com/file/445323> (In Russ.)
13. Bystritskiy GF. Osnovy energetiki [Basics of energy]. Moscow: Infra-M; 2007. Available from: <http://www.twirpx.com/file/143091> (In Russ.)
14. Vasilyev GP, Shilkin NV. Ispolzovaniye nizkopotentsialnoy teplovoy energii v teplonasosnykh sistemakh [Using the low-potential thermal energy into heat pump systems]. *Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii "Ekologicheskkiye sistemy"* = Energy service company Ecological Systems electronic journal. 2003; 2:52-60. Available from: http://www.journal.esco.co.ua/2008_4/art189.htm (In Russ.)
15. Larin V. Sostoyaniye i perspektivy primeneniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Rossii [Status and prospects of renewable energy in Russia]. Moscow: LEAD CIS; 2006. Available from: http://www.journal.esco.co.ua/2009_4/art154.pdf (In Russ.)
16. Yelistratov VV. Monitoring razvitiya vozobnovlyayemoy energetiki v mire i Rossii [Monitoring the development of renewable energy in the world and Russia]. *Bioenergetika* = Bioenergetics. 2008; 4:26-38. (In Russ.)
17. Fedorenko VF, Sorokin NT, Buklagin DS. Innovatsionnoye razvitiye alternativnoy energetiki [Innovative development of alternative energy]. Moscow: Rosinformagrotekh; 2010. Available from: <http://www.expobooks.ru/catalogue/show/152146802> (In Russ.)
18. Gipe P. Soaring to new heights the world energy market. *Renewable Energy World*. 2002; 33-47.
19. Sala G, et al. 480 kw peak concentrator power plant using nuclides parabolic trough technology. 2 WC PVSEC. Vienna, 1998.
20. Mills D. Multiple floating offshore wind farm (MUFOW). *Sol. Progr*. 2000; 2(21). Available from: <http://www.technology.stfc.ac.uk/ERU/pdfs/mufow.pdf>
21. Taude JOG, Hansen JC. The economics of wind power in local power systems. *Energy Procedia*. 2012; 24. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.06.094
22. Fearon J. The history and development of the heat pump, refrigeration and air conditioning. 1978.
23. Atkinson L. Single pressure absorption heat pump analysis: a dissertation. Atlanta: Georgia Institute of Technology; 2000. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/3463/83d5cfd3b12d189de2963b264cbf06c9884.pdf>

24. Rybach L. Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and sustainability aspects of GHPS. International course of geothermal heat pumps, 2002. Available from: <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2002/Rybach.pdf>
25. Rubach L, Sanner B. Ground-source heat pump systems – the European experience. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. 2000; 1(21). Available from: <https://www.sanner-geo.de/media/art4.pdf>
26. Sanner V. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). 2002. Available from: <https://pangea.edu/ERE/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/I-9-01.pdf>
27. Saving energy with residential heat pumps in cold climates: maxi brochure. CADET; 1977.
28. Combined production of heat and electrical power. Bergbau; 1988; 7(39).
29. Kelly PJ. Practical guide to “free energy” devices. Available from: <http://www.free-energy-info.co.uk/PJKbook.pdf>
30. Rabin Y, Korin E. Thermal analysis of a helical heat exchange for long-term thermal energy storage in the ground. International Journal Heat and Mass Transfer. 1996; 5(39):1051-1065. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=491435>
31. Svec OJ, Palmer JHL. Performance of spiral ground heat exchanger for heat pump application. International Journal of Energy Research. 1989; 13:503-510. DOI: 10.1002/er.4440130502
32. Steinfeld H, et al. Livestocks long shadow. Rome: FAO; 2006. Available from: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.htm>
33. Flachowsky G. Potenziale zur reduzierung der methan-emission beiwiederfaern. Zuchtungskunde. 2007; 79 (6):417-465. Available from: http://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/methanreduzieren-zueku6-07_ODcyMDk0.pdf
34. Sheshunova YeV. Ispolzovaniye geotermalnogo tepla s primeneniym teplovogo nasosa na zhi-votnovodcheskoy ferme [The use of geothermal heat with heat pump in the cattle farm]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2012; 2. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5554> (In Russ.)

Submitted 30.06.2016; revised 21.12.2016; published online 31.03.2017

About the author:

Yelena V. Sheshunova, Dean of Faculty of Engineering, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutayevskoye Rd., Yaroslavl 150042, Russia), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7805-5656>, e.sheshunova@yarcx.ru

The author have read and approved the final manuscript.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА КОНВЕЙЕРА В СИСТЕМЕ КОМПАС-3D

**М. Ю. Родиошкин, Л. В. Масленникова,
О. А. Арюкова, Ю. Г. Родиошкина***

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

**jgrim@mail.ru*

Введение. В современных условиях перед инженерами встают задачи сокращения сроков конструкторско-технологической подготовки производства с одновременным повышением качества разрабатываемой технической документации. Данные задачи могут быть решены при использовании CAD/CAE/CALS-технологий в промышленном производстве. Проектирование изделий машиностроения связано с моделированием деталей и трехмерных сборок в графических системах автоматизированного проектирования (САПР) с последующим инженерным анализом. В статье рассматривается последовательность проектирования привода конвейера с помощью прикладных библиотек КОМПАС.

Материалы и методы. При помощи прикладных библиотек КОМПАС были проведены расчет и моделирование механических передач, входящих в состав привода конвейера. Также были выполнены проектный расчет и построение в КОМПАС-3D трехмерной модели привода.

Результаты исследования. Была предложена последовательность проектирования привода конвейера с помощью библиотек КОМПАС-3D.

Обсуждение и заключения. В результате исследования была разработана методика создания трехмерной модели привода конвейера, включающая выбор необходимых параметров для проектирования, расчет и моделирование механических передач, входящих в проектируемое изделие. Данные факторы позволят использовать возможности современных САПР при проектировании изделий соответствующего типа, что обеспечит сокращение времени на подготовку производства, а следовательно, повысит экономическую эффективность работы.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, привод конвейера, трехмерная модель, механическая передача, КОМПАС-3D

Для цитирования: Проектирование привода конвейера в системе КОМПАС-3D / М. Ю. Родиошкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 77–92. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.077-092

CONVEYOR DRIVE DESIGN IN COMPAS 3D SYSTEM

**M. Yu. Rodioshkin, L. V. Maslennikova, O. A. Aryukova,
Yu. G. Rodioshkina***

Mordovia State National Research University (Saransk, Russia)

**jgrim@mail.ru*

Introduction. Engineers often face problems associated with design and technological preparation of production and with improving the technical documentation quality. These problems can be solved using CAD/CAE/CALS-technology in industrial production. Design engineering products is related to modeling parts and assemblies in 3D CAD graphics, followed by engineering analysis. The authors demonstrate the sequence of the conveyor drive design using COMPAS application libraries.

Materials and Methods. A conveyor drive mechanical transmission was calculated and simulated using COMPAS application libraries. Design calculation and construction of COMPAS 3D model are present in the article.

Results. The authors proposed their method of the conveyor drive design using COMPAS 3D libraries.

Discussion and Conclusions. The method of a 3D conveyor drive model design with the choice of the necessary parameters for design, calculation and simulation of mechanical transmissions as a part of the projected product was developed. The proposed technique allows using the capabilities of modern CAD software for product design related things ensuring time reduction for preparation of production, and promoting economic efficiency.

Keywords: computer-aided design, the conveyor drive, 3D model, mechanical transmission, COMPAS 3D

For citation: Rodioshkin MYu, Maslennikova LV, Aryukova OA, Rodioshkina YuG. Conveyor drive design in COMPAS 3D system. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):77-92. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.077-092

Введение

Комплексное внедрение CAD/CAM/CAE-технологий в процесс конструкторско-технологической подготовки производства и их развитие – в настоящее время не преимущество, а необходимость. При использовании САПР в машиностроении сокращаются сроки конструкторско-технологической подготовки производства, существенно повышается качество конструкторской и технологической документации, уменьшаются издержки или совсем исключается опытное производство изделий.

В Рузаевском институте машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» развернут информационно-технологический комплекс, оснащенный современным программным обеспечением для инженерных расчетов (T-flex, КОМПАС, SolidWorks, Siemens PLM) [1].

Считаем необходимым использование 3D-технологий и прикладных инструментальных средств проектирования, расчета и инженерного анализа, в частности, в среде КОМПАС, при конструкторско-технологической подготовке производства.

Целью исследования является разработка методики создания трехмерной модели привода конвейера с помощью системы прочностных расчетов и прикладных библиотек в среде КОМПАС.

Обзор литературы

В состав развитых машиностроительных САПР входят CAD-, CAM- и CAE-системы. Функции CAD-систем (Computer-Aided Design) в машиностроении подразделяют на функции двумерного и трехмерного проектирования. К функциям 2D относят черчение, оформление конструкторской



документации; к функциям 3D – получение трехмерных геометрических моделей, метрические расчеты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование 2D- и 3D-моделей. В ряде систем предусмотрено также выполнение процедур, называемых процедурами позиционирования: компоновка и размещение оборудования, проведение соединительных трасс и др.

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в САМ-системах (Computer-Aided Manufacturing). Основные функции САМ-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчет норм времени обработки.

Функции САЕ-систем (Computer-Aided Engineering) довольно разнообразны, поскольку связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных САЕ-систем включают программы для выполнения моделирования полей физических величин, в том числе анализ прочности, расчета состояний моделируемых объектов и имитационного моделирования сложных производственных систем.

В работе [2] освещен опыт использования возможностей системы SolidWorks Motion при исследовании рычажных механизмов. Результатом расчетов в SolidWorks Motion при выполнении кинематического и силового анализа рычажного механизма являются графики кинематических характеристик для основных точек

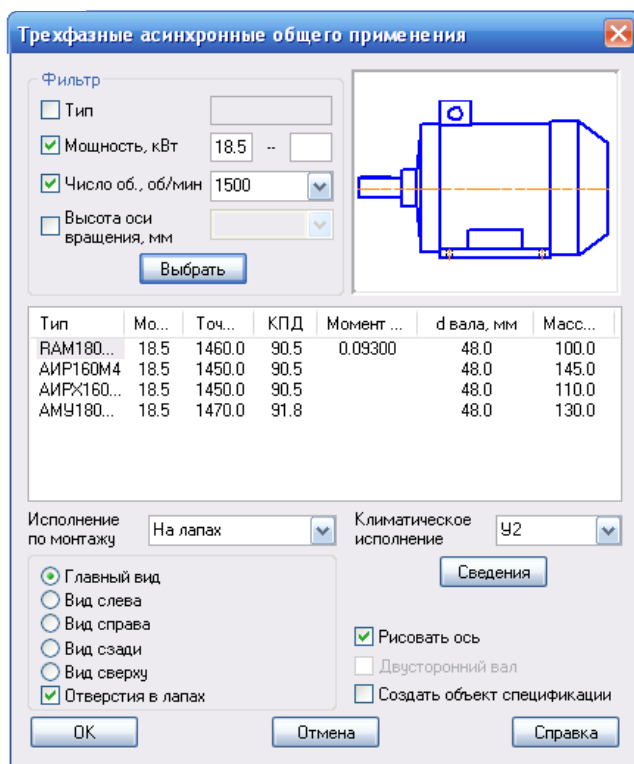
и звеньев механизма, а также динамическая визуализация схемы механизма. В исследовании [3] представлен опыт совместного применения в техническом университете КОМПАС-3D и системы управления электронным архивом конструкторской документации ЛОЦМАН:КБ при изучении дисциплины САПР.

В работе [4] описан подход к моделированию и анализу элементов механических передач в среде SolidWorks на базе API. В [5] проводится расчет прочности шестеренного насоса, реализуемого системой SolidWorks Simulation. Прочностные расчеты в приведенных примерах основаны на численных методах решения задач механики, в частности, методе конечных элементов. В [6] рассмотрены принципы работы библиотеки параметрических моделей зуборезных долбяков в системе КОМПАС. В [7–9] освещены основные вопросы автоматизации проектирования, расчета и оформления конструкторской и технологической документации (чертежей и 3D-моделей) осевого режущего инструмента и червячных зуборезных фрез средствами системы КОМПАС.

Материалы и методы

Рассмотрим последовательность проектирования привода конвейера с использованием библиотек КОМПАС-3D. Этапы проектирования привода конвейера выполняются согласно методике, изложенной в работах [10–11].

Первый этап – выбор электродвигателя, исходными параметрами для которого являются мощность и количество оборотов. Двигатель выбирается из прикладной библиотеки КОМПАС «Библиотека электродвигателей». Данная библиотека позволяет создавать двумерный чертеж всех основных видов двигателя. Диалоговое окно библиотеки представлено на рис. 1.



Р и с. 1. Диалоговое окно прикладной «Библиотеки электродвигателей»

F i g. 1. Dialog box of the application Library of Electronic Motors

Второй этап – расчет и моделирование клиноременной передачи. Исходными данными для проектирования являются следующие параметры:

- предварительное передаточное отношение передачи;
- предварительное межосевое расстояние, мм;
- предварительная мощность, кВт;

- частота вращения ведущего шкива, об/мин;
- количество ремней.

С помощью комплекса GEARS произведем расчет параметров для проектирования клиноременной передачи [Там же]. Сначала выполняется проектный расчет. Для этого выберем вкладку с одноименным названием (рис. 2).



Проектный расчёт

Страница 1 Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра		Значение
1. Предварительное передаточное отношение передачи	u_0	2
2. Предварительное межосевое расстояние, мм	a_0	520
3. Передаваемая мощность, кВт	N	16.93
4. Частота вращения ведущего шкива, об/мин	n_1	1450
5. Коэффициент динамичности нагрузки	k_f	1
6. Максимальное количество ремней	Z_{max}	7
7. Тип ремня	—	кордшнуровой

Р и с. 2. Диалоговое окно для проведения проектного расчета клиноременной передачи

F i g. 2. Dialog box for belt transmission design calculation

Подобранные передачи

Обозначение ремня	Диаметр ведущего шкива	Диаметр ведомого шкива	Длина ремня	Передаточное отношение	Межосевое расстояние	Число ремней	Коэффициент запаса
Z ГОСТ 1284.1-89	250	500	2240	2.02	516	7	1.083
Z ГОСТ 1284.1-89	280	560	2360	2.02	501	6	1.017
A ГОСТ 1284.1-89	125	250	1600	2.02	502	7	1.057
A ГОСТ 1284.1-89	140	280	1700	2.02	515	6	1.023
A ГОСТ 1284.1-89	160	315	1800	1.989	521	6	1.173
A ГОСТ 1284.1-89	180	355	1900	1.992	522	5	1.094
A ГОСТ 1284.1-89	200	400	2000	2.02	519	5	1.202
A ГОСТ 1284.1-89	224	450	2120	2.029	518	4	1.059
A ГОСТ 1284.1-89	250	500	2240	2.02	516	4	1.158
A ГОСТ 1284.1-89	280	560	2360	2.02	501	4	1.257
B ГОСТ 1284.1-89	125	250	1600	2.02	502	4	1.116
B ГОСТ 1284.1-89	140	280	1700	2.02	515	4	1.246
B ГОСТ 1284.1-89	160	315	1800	1.989	521	3	1.059
B ГОСТ 1284.1-89	180	355	1900	1.992	522	3	1.177

Р и с. 3. Подобранные передачи

F i g. 3. Selected transmission

Подбор геометрических параметров шкивов

Страница 1 Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра	Ведущий шкив	Ведомый шкив
Обозначение ремня	2 ГОСТ 1284.1-89	
0. Расчётная ширина канавки шкива, мм	8.5	
1. Расчётный диаметр шкива, мм	200	400
2. Угол канавки шкива, градус	40	40
3. Ширина канавки по наружному диаметру шкива, мм	10.32	10.32
4. Расстояние между осью крайней канавки и ближайшим торцом шкива, мм	8	8
5. Наружный диаметр шкива, мм	205	405
6. Количество ремней	7	
7. Глубина канавки шкива, мм	9.5	9.5
8. Расстояние между осями канавок, мм	12	12
9. Ширина шкива, мм	88	88

Р и с. 4. Подбор геометрических параметров шкивов
F i g. 4. The pulleys geometric parameters selection

Валы и механические передачи 2D

Внешний контур

- Модель
 - Шкив D=400, L=88
 - Кольцевой паз
 - Кольцевые отверстия

Внутренний контур

- Модель
 - Разделитель между ступенями
 - Цилиндр. D=48, L=88
 - Шпоночный паз

Общая длина модели = 88

Шпоночный паз

Под призматическую шпонку ГОСТ 23360-78

Шпонка 14x9x6

☐ Снять ограничения по диаметру вала

Глубина паза 3.8

Вариант отрисовки

☐ Отрисовка шпонки

☐ Симметричная шпонка

☐ Параллельно образующей

Угол поворота шпоночного паза 0.00

OK Применить Отмена

Р и с. 5. Диалоговые окна программы GEARS
F i g. 5. GEARS program dialog boxes



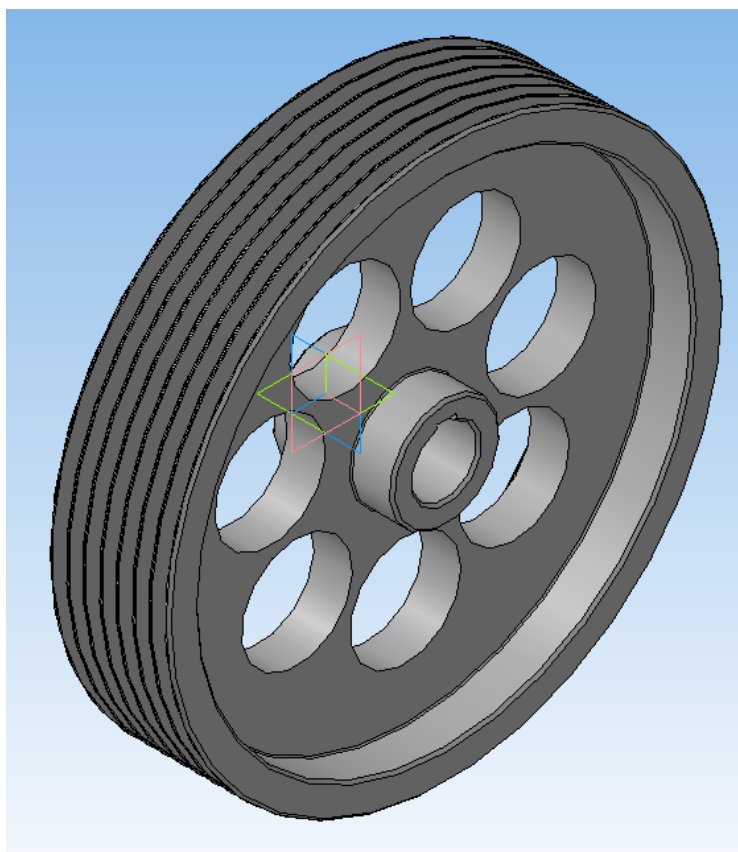
На рис. 3 представлены расчетные подобранные передачи.

После этого происходит подбор геометрических параметров шкивов. На рис. 4 представлено окно с полученными параметрами ведущего и ведомого шкива.

Третий этап – построение твердотельной трехмерной модели шкивов с помощью прикладной библиотеки «КОМПАС SHAFT-2D». Для этого войдем во вкладку «Валы и механические передачи 2D» и создадим двухмерный чертеж. Укажем, что создаем первую ступень и выберем шкив. Внесем параметры рассчитанного шкива. Во вкладке

«Дополнительные построения» укажем кольцевой паз и все требуемые размеры, а также кольцевые отверстия, их диаметры и местоположение. В центре выполним отверстие и шпоночный паз по ГОСТ 233608-78. Чертеж шкива генерируется автоматически. Построение модели шкива происходит после нажатия кнопки «Дополнительные построения» и выбора вкладки «Генерация твердотельной модели». Диалоговые окна программы представлены на рис. 5.

Модель шкива показана на рис. 6. Аналогичные операции проводим с ведущим шкивом.

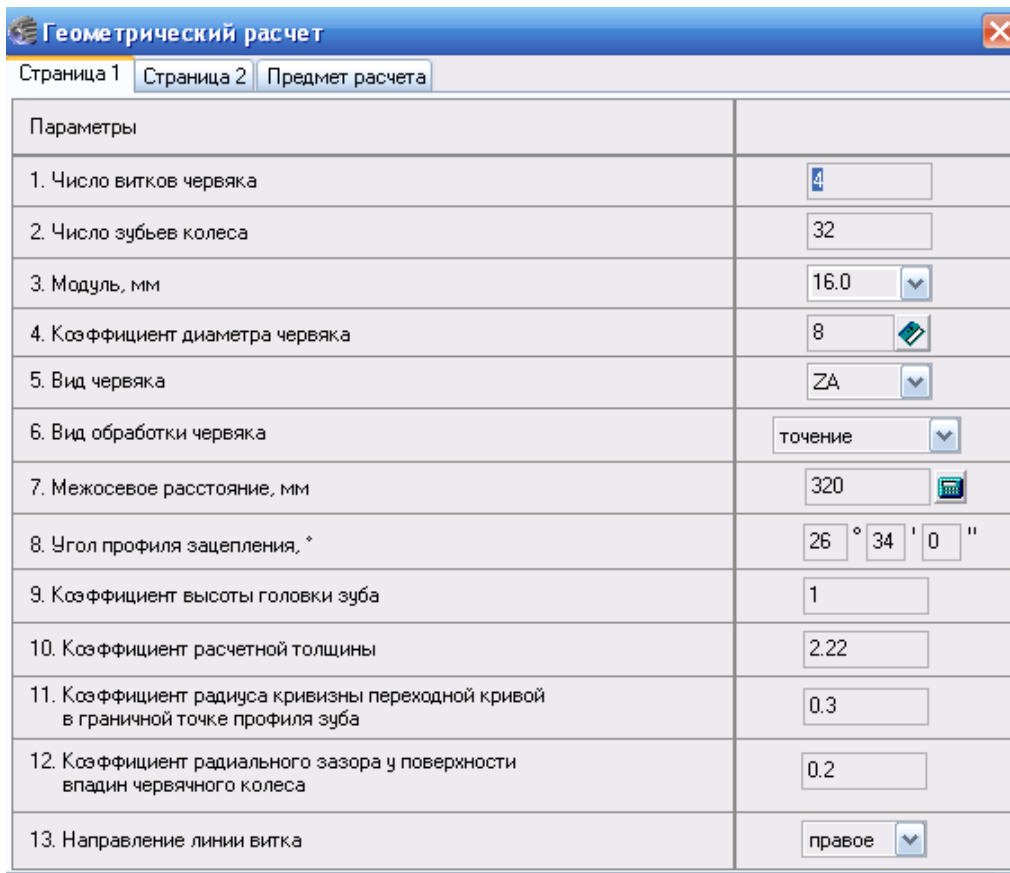


Р и с. 6. Модель ведомого шкива
F i g. 6. The model of the driven pulley

После этого уточняем подобранную передачу с помощью этой же библиотеки. Проверочный расчет выполняется аналогичным образом.

Четвертый этап – моделирование червячной передачи при помощи

прикладной библиотеки «КОМПАС SHAFT-2D». Для выполнения данной операции создаем новый чертеж и запускаем библиотеку. Выбираем геометрический расчет по межосевому расстоянию (рис. 7).



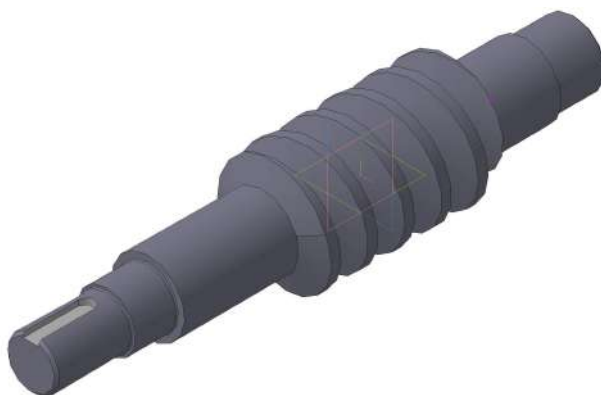
Геометрический расчет	
Страница 1 Страница 2 Предмет расчета	
Параметры	
1. Число витков червяка	4
2. Число зубьев колеса	32
3. Модуль, мм	16.0
4. Коэффициент диаметра червяка	8
5. Вид червяка	ZA
6. Вид обработки червяка	точение
7. Межосевое расстояние, мм	320
8. Угол профиля зацепления, °	26 ° 34 ' 0 "
9. Коэффициент высоты головки зуба	1
10. Коэффициент расчетной толщины	2.22
11. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба	0.3
12. Коэффициент радиального зазора у поверхности впадин червячного колеса	0.2
13. Направление линии витка	правое

Р и с. 7. Диалоговое окно программы «КОМПАС SHAFT-2D»

F i g. 7. The COMPAS SHAFT-2D dialog program box

Вносим исходные данные (число витков, число зубьев, модуль и т. д.), рассчитанные согласно [Там же] и формируем результаты расчета. Следующий расчет на прочность выполняется аналогичным образом. В результате проектирования и построения чертежа библиотека предусматривает постро-

ение твердотельной модели: следует указать способ отрисовки – и модель сгенерируется автоматически. Библиотека выполняет расчет одновременно для червяка и червячного колеса, но моделирование деталей зацепления происходит поэтапно. Сначала по расчетам строится червяк и его модель (рис. 8).



Р и с. 8. Твёрдотельная трехмерная модель червяка
F i g. 8. Solid-state three-dimensional model of the worm

Далее производится расчет червячного зацепления с помощью комплекса программ GEARS. Для этого используем геометрический расчет по межосевому расстоянию. Создаем новый чертеж и запускаем библиотеку. Строится

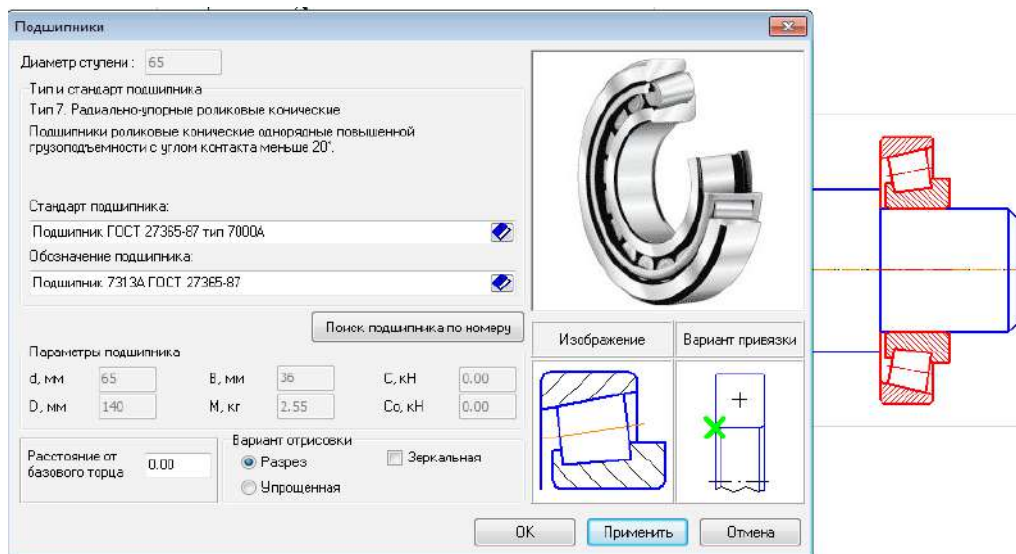
двумерный чертеж венца червячного колеса с возможностью последующей генерации в твердотельную модель червячного колеса (рис. 9). Данный расчет производится одновременно с расчетом червяка и полностью аналогичен ему.



Р и с. 9. Модель червячного колеса в сборе
F i g. 9. Model of assembled worm gear

Расчет и выбор подшипников качения производится аналитически согласно [Там же] и с помощью GEARS,

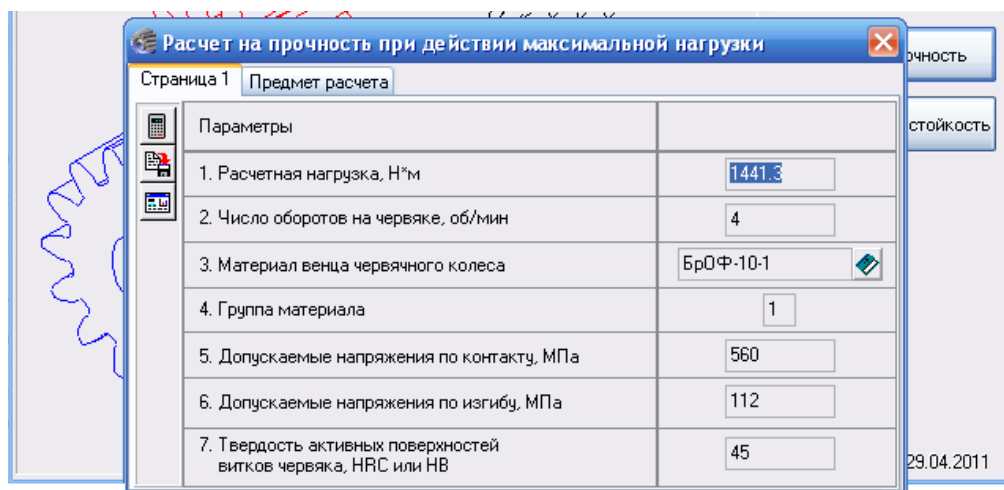
а твердотельные модели строятся по рассчитанным значениям с помощью библиотеки «Подшипники-3D» (рис. 10).



Р и с. 10. Диалоговое окно программы выбора подшипников
F i g. 10. Bearing selection program dialog box

С помощью комплекса GEARS также можно произвести расчет на прочность и теплостойкость редуктора.

Вносим исходные данные; формируем результаты расчета (рис. 11). На рис. 12 представлено окно расчета.



Р и с. 11. Расчет на прочность
F i g. 11. Strength analysis



Расчет на теплостойкость

Страница 1 Предмет расчета

Параметры	
1. Режим работы передачи	Без искусственного охлаждения
2. Масса редуктора, кг	120
3. К.П.Д. в опорах	0.88
4. Марка масла	Трансмиссионное
5. Масса масла в ванне, кг	5
6. Кинематическая вязкость масла при 50°C, (•10 ^{mm} ·с) м ^{mm} 2/с	400
7. Кинематическая вязкость масла при 100°C, (•10 ^{mm} ·с) м ^{mm} 2/с	32
8. Температура окружающего воздуха, °C	20
9. Площадь свободной поверхности охлаждения корпуса, м ^{mm} 2	2.56
10. Коэффициент теплопередачи корпуса, (Вт/м ^{mm} 2·°C)	13.1
11. Диаметр вентилятора, мм	358
12. Площадь части поверхности корпуса, обдуваемой вентилятором, м ^{mm} 2	0.768

Р и с. 12. Расчет на теплостойкость
F i g. 12. Thermal resistance calculation

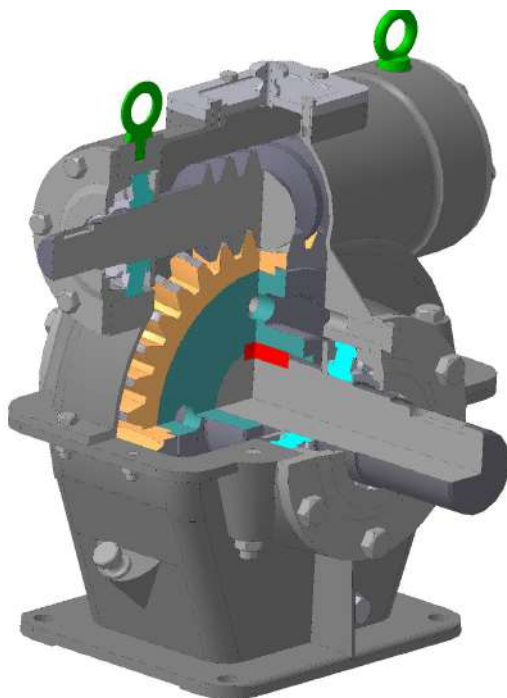
Моделирование редуктора произведем с помощью библиотеки «Редуктор-3D», предназначенной для проектного расчета и построения в КОМПАС-3D трехмерной модели одноступенчатых редукторов общего назначения трех видов: конического, цилиндрического или червячного. Запускаем библиотеку, выбираем тип «Червячный редуктор» (рис. 13).

Вводим исходные данные. Программа корректирует расчетные значения, и если они нас не удовлетворяют, появляется диалоговое окно с коррек-

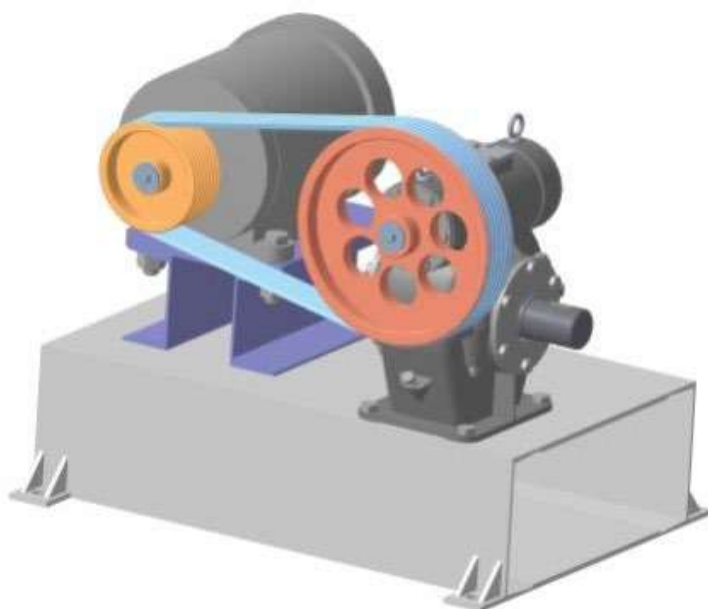
тировкой параметров по расчету. После чего предлагается выбрать необходимые разрезы и сечения. Далее происходит построение деталей редуктора и его сборка. На рис. 14 представлена трехмерная модель редуктора в разрезе.

Пятый этап – сборка привода в системе КОМПАС-3D. Добавляем в сборку ранее спроектированные модели редуктора, электродвигателя, клиноременной передачи, детали «Рама» и «Рама двигателя». На рис. 15 представлена трехмерная модель привода конвейера.

Fig. 13. “Reducer-3D” Library window



Р и с. 14. Редуктор червячный
F i g. 14. Worm reducer



Р и с. 15. Привод конвейера
F i g. 15. Conveyor drive

По сборочной модели привода можно выполнить чертеж общего вида привода с помощью команды «ассоциативные виды». Спецификация формируется автоматически.

Результаты исследования

В ходе исследования была разработана последовательность проектирования привода конвейера с помощью прикладных библиотек КОМПАС-3D. В статье представлены возможности проектного и проверочного расчетов разработанных трехмерных моделей деталей, входящих в проектируемое изделие, моделирование механических передач. Выполнение данных операций обеспечивает многократное использование разработанной конструкторской документации для изделий соответствующего типа, а следовательно, сокращение времени на подготовку производства.

Обсуждение и заключения

Таким образом, была разработана методика создания трехмерной модели привода конвейера, включающая выбор необходимых параметров для проектирования, расчет и моделирование механических передач для проектируемого изделия. Данная методика может быть применима при проектировании изделий машиностроения, выполнения производственного проектирования деталей машин и выполнении выпускных квалифицированных работ технического профиля. Использование современных графических САПР при проектировании машиностроительных изделий позволяет сократить сроки конструкторско-технологической подготовки производства, повысить качество разрабатываемой технической документации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кечемайкин В. Н., Майкова С. Э., Масленикова Л. В., Родиошкина Ю. Г. Особенности организации подготовки студентов инженерных специальностей в современных условиях развития машиностроения // Вестник Мордовского университета. 2015. № 1. С. 44–51. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23338429>
2. Родиошкина Ю. Г. Кинематический анализ рычажного механизма в среде SolidWorks // SWorld : сб. науч. тр. 2014. Т. 7, № 1. С. 40–42. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21349554>
3. Исаев А., Федорова Д. Изучение дисциплины САПР на основе программных продуктов АСКОН // САПР и графика. 2015. № 12 (230). С. 78–80. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25732981>
4. Чугунов М. В., Щёкин А. В. Моделирование и анализ элементов механических передач в среде SolidWorks на базе API // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1. С. 148–153. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21474954>
5. Душин И. Ф., Маскайкина С. Е., Полушина Н. И., Ваваева Н. Г. Прочностной расчет корпуса шестеренного насоса с использованием SolidWorks Simulation // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1. С. 154–160. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21474955>
6. Щёкин А. В., Митин Э. В., Сульдин С. П. Описание структуры библиотек параметрических моделей зуборезных долбяков в системе КОМПАС // СТИН. 2014. № 4. С. 6–9. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21836470>
7. Сульдин С. П., Митин Э. В., Щёкин А. В. Автоматизация проектирования технологической документации с использованием системы КОМПАС // Вестник машиностроения. 2013. № 7. С. 80–83. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20737002>
8. Щёкин А. В., Митин Э. В., Сульдин С. П. Автоматизация проектирования спиральных сверл в системе КОМПАС // САПР и графика. 2013. № 1 (195). С. 90–94. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21307461>
9. Щёкин А. В., Митин Э. В., Сульдин С. П. Автоматизация проектирования червячных зуборезных фрез в системе КОМПАС // САПР и графика. 2011. № 12 (182). С. 101–104. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21307379>



10. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Детали машин: курсовое проектирование : учеб. пособие ; доп. Мин. обр-я РФ. 5-е изд., доп. М. : Машиностроение. 2004. 560 с., ил. URL: <http://lib-bkm.ru/12875>
11. Шейнблит А. Е. Курсовое проектирование деталей машин. 2-е изд., перераб. и доп. Калининград : Янтарный Сказ. 2002. 454 с. URL: <http://lib-bkm.ru/12743>

Поступила 22.11.2016; принята к публикации 13.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Родиошкин Михаил Юрьевич, преподаватель отделения среднего профессионального образования Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3745-8643>, rmrim@mail.ru

Масленникова Людмила Васильевна, профессор кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), доктор педагогических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8696-2256>, maslennikova-lv@mail.ru

Арюкова Ольга Александровна, преподаватель отделения среднего профессионального образования Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат педагогических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1157-1613>, aryukowa@mail.ru

Родиошкина Юлия Григорьевна, доцент кафедры общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (431440, Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат педагогических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1320-8973>, jgrim@mail.ru

Вклад соавторов: М. Ю. Родиошкин: компьютерные работы, верстка и редактирование текста; Л. В. Масленникова: изучение концепции, научное руководство, критический анализ; О. А. Арюкова: участие в подготовке текста; Ю. Г. Родиошкина: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kechemaykin VN, Maykova SE, Maslennikova LV, Rodioshkina YuG. Osobennosti organizatsii podgotovki studentov inzhenernykh spetsialnostey v sovremennykh usloviyakh razvitiya mashinostroeniya [Features of training of engineering students in the modern conditions of engineering development]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2015; 1:44-51. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23338429> (In Russ.)
2. Rodioshkina YuG. Kinematicheskiy analiz rychazhnogo mekhanizma v srede SolidWorks [Kinematic analysis of the linkage in SolidWorks]. *SWorld: sb. nauch. tr.* = SWorld: Collection of Scientific Papers. 2014; 1(7):40-42. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21349554> (In Russ.)
3. Isayev A, Fedorova D. Izucheniye distsipliny SAPR na osnove programmykh produktov ASKON [Study of CAD discipline based ASCON software]. *SAPR i grafika* = CAD and Graphics. 2015; 12(230):78-80. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25732981> (In Russ.)
4. Chugunov MV, Shchekin AV. Modelirovaniye i analiz elementov mekhanicheskikh peredach v srede SolidWorks na baze API [Modeling and analysis of elements of mechanical transmissions in SolidWorks based on API]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2014; 1:148-153. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21474954> (In Russ.)
5. Dushin IF, Maskaykina SYe, Poluyeshina NI, Vavayeva NG. Prochnostnoy raschet korpusa sheshterennogo nasosa s ispolzovaniyem SolidWorks Simulation [Strength calculation of gear pump housing with SolidWorks Simulation]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2014; 1:154-160. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21474955> (In Russ.)

6. Shchekin AV, Mitin EV, Suldin SP. Opisaniye struktury bibliotek parametricheskikh modeley zuboreznykh dolbyakov v sisteme KOMPAS [Description of structure library of parametric models of gear cutting cutters in COMPAS system]. STIN. 2014; 4:6-9. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21836470> (In Russ.)
7. Suldin SP, Mitin EV, Shchekin AV. Avtomatizatsiya proektirovaniya tekhnologicheskoy dokumentatsii s ispolzovaniyem sistemy KOMPAS [Automation of technological documentation design using COMPAS system]. *Vestnik mashinostroeniya* = Engineering Bulletin. 2013; 7:80-83. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20737002> (In Russ.)
8. Shchekin AV, Mitin EV, Suldin SP. Avtomatizatsiya proektirovaniya spiralnykh sverl v sisteme KOMPAS [Computer-aided design of spiral drills in COMPAS system]. *SAPR i grafika* = CAD and Graphics. 2013; 1(195):90-94. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21307461> (In Russ.)
9. Shchekin AV, Mitin EV, Suldin SP. Avtomatizatsiya proektirovaniya chervyachnykh zuboreznykh frez v sisteme KOMPAS [Computer-aided design of worm gear cutting mills in COMPAS system]. *SAPR i grafika* = CAD and Graphics. 2011; 12(182):101-104. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21307379>
10. Dunayev PF, Lelikov OP. Detali mashin: kursovoye proektirovaniye: ucheb. posobiye [Machine parts. Course design: Textbook.]. 5th ed. Moscow: Mashinostroeniye; 2004. Available from: <http://lib-bkm.ru/12875> (In Russ.)
11. Sheynblit AYe. Kursovoye proektirovaniye detaley mashin [Course design of machine parts]. 2nd ed. Kaliningrad: Yantarnyy Skaz. 2002. Available from: <http://lib-bkm.ru/12743> (In Russ.)

Submitted 22.11.2016; revised 13.01.2017; published online 31.03.2017

About the authors:

Mikhail Yu. Rodioshkin, Lecturer of Vocational Education Department, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3745-8643>**, rmrim@mail.ru

Lyudmila V. Maslennikova, Professor of Social Studies Department, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), Dr.Sci. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8696-2256>**, maslennikova-lv@mail.ru

Olga A. Aryukova, Lecturer of Vocational Education Department, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1157-1613>**, aryukowa@mail.ru

Yuliya G. Rodioshkina, Associated Professor of Social Studies Department, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (93 Lenina St., Ruzayevka 431440, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1320-8973>**, jgrim@mail.ru

Contribution of the co-authors: M. Rodioshkin compiled the draft; L. Maslennikova developed a theoretical framework; coordinated activities of the co-authors, and critically revised the manuscript; O. Aryukova took part in writing of the draft; Yu. Rodioshkina wrote the draft, and reviewed the scholarly literature.

All authors have read and approved the final manuscript.



МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / MEDICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

УДК 61:577.2

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.093-107

НАПРАВЛЕННАЯ ДОСТАВКА ДОКСОРУБИЦИНА С ПОМОЩЬЮ ЭКЗОГЕННЫХ БИОСОВМЕСТИМЫХ НАНОВЕКТОРОВ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НЕОПЛАЗИЯХ

**А. В. Заборовский^{1*}, А. В. Кокорев², Е. П. Бродовская³,
С. А. Фирстов³, О. В. Минаева³, О. А. Куликов³,
Н. Н. Червякова³, В. Ю. Медвежонков³**

¹ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России
(г. Москва, Россия)

²Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ» (г. Москва, Россия)

³ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

*azabor@mail.ru

Введение. В статье предложен метод получения конъюгата противоопухолевого химиопрепарата доксорубицина с экзогенной двухцепочечной ДНК осетровых рыб (источник – коммерческий препарат «Деринат»). Были подобраны оптимальные условия синтеза конъюгата (рН, температура и массовое соотношение компонентов), обеспечивающие наибольшую степень связывания химиопрепарата с носителем. Проведено исследование токсичности и специфической противоопухолевой активности синтезированного комплекса.

Материалы и методы. Синтез конъюгатов ДНК-доксорубицина проводили смешиванием раствора ДНК, водного раствора доксорубицина и фосфатного буфера. Смесь инкубировали 60 мин при постоянной температуре и непрерывном шейкении. Очистку конъюгата от невключившегося химиопрепарата проводили методом ультрафильтрации. Показатели токсичности препарата установлены на интактных мышцах в соответствии с принятыми стандартами. Противоопухолевая активность оценивалась по индексу торможения роста опухоли и индексу ингибирования метастазирования на мышцах с трансплантированной карциномой Льюис. Специфическая противоопухолевая активность была исследована в эквитоксических дозах препарата.

Результаты исследования. Было установлено, что при введении в эквитоксических дозах конъюгат обладает большей противоопухолевой активностью, чем водорастворимый препарат (на 35 % по объему опухоли и на 51 % по индексу торможения роста опухоли). Все исследованные формы, за исключением водорастворимого доксорубицина в дозе 0,5 LD₅₀, достоверно уменьшали количество метастазов опухоли в легкие. Метастазов в группах, получавших ДНК-конъюгированный препарат, было меньше, чем в группах, которым проводили лечение водным доксорубицином, однако эти различия не были статистически значимыми.

Обсуждение и заключения. Наиболее вероятным механизмом увеличения противоопухолевой активности доксорубицина при его конъюгации с ДНК является избирательное накопление химиопрепарата в опухолевой ткани, обусловленное эндоцитозом комплекса ДНК-доксорубицина.

Ключевые слова: доксорубин, противоопухолевый препарат, направленная доставка лекарств, ДНК-конъюгат, токсичность

Для цитирования: Направленная доставка доксорубина с помощью экзогенных биосовместимых нановекторов при экспериментальных неоплазиях / А. В. Заборовский [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 93–107. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.092-107

TARGETED DELIVERY OF DOXORUBICIN BY EXOGENOUS BIOCOMPATIBLE NANOVEKTORS IN EXPERIMENTAL NEOPLASIA

A. V. Zaborovskiy^{1*}, A. V. Kokorev², Ye. P. Brodovskaya³,
S. A. Firstov³, O. V. Minayeva³, O. A. Kulikov³,
N. N. Chervyakova³, V. Yu. Medvezhonkov³

¹A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and
Dentistry (Moscow, Russia)

²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow, Russia)

³National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

*azabor@mail.ru

Introduction. The article presents the method of obtaining the conjugate of the anticancer chemotherapeutic agent doxorubicin with the exogenous double-stranded DNA of the sturgeons is proposed (the source: commercial drug “Derinat”). The optimal conditions for synthesis of conjugate (pH, temperature and the mass ratio of the components), ensuring the highest degree of binding the chemotherapeutic agent to a carrier, were picked out. The investigation of the toxicity and specific antineoplastic activity of the synthesized complex was conducted.

Materials and Methods. The synthesis of DNA-doxorubicin conjugates was performed by mixing of the aqueous DNA solution, phosphate buffer and aqueous doxorubicin solution. The mixture was incubated for 60 minutes at constant temperature and continuous shaking. Clearing of the conjugate from the non-encapsulated chemotherapeutic agent was made by ultrafiltration method. The performance of the drug toxicity was established on the intact mice in compliance with the accepted standards. The antineoplastic activity was evaluated upon the Tumor Growth Inhibition Index and Metastasis Inhibition Index in mice with the transplanted lung Lewis carcinoma (LLC). Specific anti-tumor activity was studied in the toxically equivalent doses of the drug.

Results. It is found that administered in the toxically equivalent doses conjugate has a higher antitumor activity than soluble drug (up to 35 % by volume of the tumor and 51 % by the index of tumor growth inhibition). It is found that all investigated forms except the water soluble doxorubicin 0,5 LD10, significantly reduced the number of tumor metastases in the lungs. The number of metastases in animals treated with DNA-conjugated drug was lower than in the animals that were treated with aqueous doxorubicin, but these differences were not statistically significant.

Discussion and Conclusions. The most probable mechanism of increasing antitumor activity of the DNA-conjugated doxorubicin is a selective accumulation of the drug in the tumor tissue, due to the endocytosis of the DNA complex.

Keywords: doxorubicin, anticancer drug, targeted drug delivery, DNA conjugate, toxicity



For citation: Zaborovskiy AV, Kokorev AV, BrodovskayaYeP, Firstov SA, Minayeva OV, Kulikov OA, Chervyakova NN, Medvezhonkov VYu. Targeted delivery of doxorubicin by exogenous biocompatible nanovectors in experimental neoplasia. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):93-107. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.093-107

Введение

Повышение избирательности противоопухолевых химиотерапевтических агентов является одной из наиболее актуальных задач онкофармакологии. Наиболее распространенный путь ее решения – связывание цитостатического химиопрепарата с тем или иным вектором, который может обеспечить специфическое связывание с рецепторами на поверхности опухолевой клетки и последующий эндоцитоз. Наше внимание привлекла возможность использования в качестве такого вектора нативной экзогенной ДНК.

Обзор литературы

Известно, что экзогенная ДНК может фагоцитироваться клетками животных [1–8]. Установлено, что эндоцитоз ДНК имеет рецептор-опосредованный характер [2–6]. Этот механизм внутриклеточного проникновения ДНК был выявлен также для опухолевых клеток [7–8]. Данные факты послужили основанием для использования экзогенной ДНК в качестве вектора для направленной доставки противоопухолевых химиопрепаратов [9–12]. Однако в приведенных работах для синтеза конъюгата ДНК с доксорубицином (Докс) использовали не чистый химиопрепарат, а его комплекс с человеческими альбумином. Фактически альбумин выступал в роли линкера при связывании химиопрепарата с ДНК. Необходимо отметить, что в водной среде при температуре тела ДНК образует прочные комплексы только с катионными полимерами, а конъюгат с нативным альбумином, имеющим сравнимое количество анионных и катионных групп, является недостаточно стабильным [13–15]. Поскольку альбумин в условиях стресса может

достаточно интенсивно поглощаться клетками [16–17], в том числе опухолевыми [18], невозможно установить роль каждого из векторов в транспорте химиопрепарата, то ставит под сомнение необходимость использования ДНК. В связи с этим нами был разработан и апробирован метод синтеза конъюгата ДНК-Докс, не требующий использования альбумина.

Цель работы – разработка метода синтеза конъюгата противоопухолевого химиопрепарата доксорубицина с ДНК, исследование токсичности и специфической противоопухолевой активности синтезированного конъюгата.

Материалы и методы

Материалы

В работе были использованы следующие реактивы:

- ДНК-На (источник – коммерческий препарат «Деринат», ЗАО «Техномедсервис», Россия);
- доксорубицина гидрохлорид (Dox), > 98 % (Sigma-Aldrich, США);
- вода Milli-Q;
- фосфатный буфер (PBS) (Sigma-Aldrich, США);
- раствор Хенкса (ООО «Биолот», Россия).

Синтез конъюгатов ДНК-Докс

В стерильных условиях смешивали 2 мл раствора ДНК с содержанием субстанции 15 мг/мл, 2 мл водного раствора Докс с содержанием препарата 7,5, 10 или 15 мг/мл (в зависимости от серии) и 2 мл фосфатного буфера с pH 7.0 либо 8.0 (в зависимости от серии). Описание серий приведено в разделе «результаты». Смесь инкубировали 60 минут при постоянной температуре (4 °C, 20 °C и 37 °C) и непрерывном шейкировании. Полученный конъюгат очищали от свободного Докс методом

ультрафильтрации на оригинальной установке [19] с использованием целлюлозной мембраны Q1210-55 F3 («Orange scientific», Бельгия) с диаметром пор 12–14 кДа; продолжительность процедуры – 4 ч. Для каждого переменного параметра (рН, температура, соотношение реагентов) выполняли по 3 синтеза. Степень включения препарата в конъюгат рассчитывали по формуле:

$$\omega = (m_0 - m) / m_0 \cdot 100 \%,$$

где m_0 – исходное количество Докс, m – количество невключившегося Докс (рассчитывали по концентрации в ультрафильтрате).

Концентрацию препарата в ультрафильтрате определяли спектрофотометрически на спектрофотометре UV-2600 Shimadzu (Япония) при длине волны 490 нм по предварительно построенному калибровочному графику.

Эксперименты на животных

Животные для исследования были получены из питомника «Столбовая» и содержались в стандартных условиях вивария. Эксперименты на животных проводились с соблюдением норм биоэтики после одобрения локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва».

Исследование острой токсичности

Исследование токсичности было выполнено на 240 белых мышах линии BALB. Животные были разделены на 4 группы (1 контрольную и 3 опытных). В контрольной группе животным внутривенно вводили 0,2 мл изотонического раствора натрия хлорида. В 1-й опытной группе вводили внутривенно Докс; в 2-й – Докс, конъюгированный с ДНК; в 3-й – 1,5%-ный раствор ДНК. Внутри опытных групп было выделено по 6 подгрупп (в каждой 5 особей мужского пола и 5 – женского), в которых вводили препараты в дозах 2, 4, 8, 16, 24, и 32 мг/кг в пересчете на чистый Докс соответственно. Животные наблюдались в течение 30 дней,

ежедневно фиксировалась летальность. Определение показателей токсичности проводилось с помощью probit-analysis. Также были рассчитаны LD_{10} , LD_{50} и LD_{100} исследуемых субстанций и их 95%-ные доверительные интервалы.

Исследование противоопухолевой активности

Исследование противоопухолевой активности было проведено на 60 мышах обоего пола линии C57Bl/6. Противоопухолевую активность изучали на сингенной опухолевой системе из банка опухолевых штаммов ФГБУ «РОНЦ им. Н.Н. Блохина» Минздрава России – карциноме легкого Льюис (LLC).

Опухолевую ткань LLC трансплантировали животным внутримышечно в бедро задней лапки слева в количестве 1×10^6 клеток в растворе Хенкса. На 22-е сут. после трансплантации опухолевых клеток животные выводились из эксперимента.

Противоопухолевое и антиметастатическое действие оценивали в соответствии с методическими рекомендациями по изучению специфической активности противоопухолевых препаратов, действующими в РФ [20–21].

В процессе эксперимента определяли объем первичного опухолевого узла, а в конце эксперимента – его массу. Количество метастазов в легких подсчитывали после фиксации их в растворе Карнуа с помощью бинокулярной лупы МБС-9 (увеличение 16х). Размеры опухолей на месте трансплантации определяли с помощью штангенциркуля и рассчитывали их объем по формуле эллипсоида:

$$V = 0,131 \cdot L \cdot (D_1 + D_2)^2,$$

где L – длина опухоли; D_1 и D_2 – два взаимно перпендикулярных диаметра.

Инъекции препаратов производились внутривенно трехкратно с интервалом в 72 ч сут. начиная с 7-х сут. после перевивки штамма LLC. Выбор



доз был сделан на основе проведенных токсикологических исследований (сравнивались эквитоксические дозы). В 1-й и 3-й группах дозы препаратов

составили половину LD_{10} , во 2-й и 4-й – LD_{10} . Доза ДНК в 5-й группе соответствовало дозе в группе с высшей дозой конъюгата (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Схемы проводимой терапии

Schemes of the therapy

Группа / Group	N	Препарат / Drug	Доза / Dose	
			% от LD	mg
Контрольная / Control	10	–	–	–
1-я опытная / 1 st experimental	10	Водорастворимый Докс / Water solvable Dox	0,5 LD_{10}	2 mg/kg
2-я опытная / 2 nd experimental	10	Водорастворимый Докс / Water solvable Dox	LD_{10}	4 mg/kg
3-я опытная / 3 rd experimental	10	Конъюгат ДНК-Докс / DNA conjugated Dox	0,5 LD_{10}	6 mg/kg (Dox)
4-я опытная / 4 th experimental	10	Конъюгат ДНК-Докс / DNA conjugated Dox	LD_{10}	12 mg/kg (Dox)
5-я опытная / 5 th experimental	10	ДНК / DNA	–	7,5 mg/kg (DNA)

Противоопухолевую активность оценивали по индексу торможения роста опухоли (ИТРО), который рассчитывали по формуле:

$$\text{ИТРО} = (V_k - V_o) / V_k \cdot 100 \%,$$

где V_k и V_o – средний объем опухоли в контрольной и опытных группах соответственно.

Об антиметастатическом действии препаратов судили по следующим показателям.

1. Частота метастазирования опухоли – процент животных с метастазами по отношению к общему количеству животных в группе;

2. Среднее количество метастазов на одно животное в каждой группе.

3. Индекс ингибирования метастазирования (ИИМ):

$$\text{ИИМ} = ((A_k \cdot B_k) -$$

$$- (A \cdot B)) / A_k \cdot B_k \cdot 100\%,$$

где A_k и A – частота метастазирования в легкие у мышей контрольной и опытной групп; B_k и B – среднее количество метастазов в легких на одно животное в контрольной и опытной группах соответственно.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента и критерия хи-квадрат. Критический уровень значимости различий принимался равным 5 % ($p < 0,05$).

Результаты исследования

Разработка метода синтеза конъюгата ДНК-Докс

Исследовано влияние концентрационных отношения ДНК-Докс, pH и температуры на эффективность связывания ДНК с Докс (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Table 2

Эффективность связывания Докс ДНК при различных параметрах синтеза

Efficiency of doxorubicin-DNA conjugation at different synthesis parameters

рН	Массовое соотношение ДНК/Докс / Mass ratio DNA/Dox	Температура, °С / Temperature, °C	Степень конъюгации / Conjugation level	Содержание Докс (мг на 1 мг ДНК) / Dox contents (mg per 1 mg of DNA)
7,0	2:1	4	74 ± 3	0,37 ± 0,02
		21	64 ± 3	0,32 ± 0,01
		37	48 ± 4	0,24 ± 0,01
	3:2	4	71 ± 5	0,47 ± 0,02
		21	66 ± 4	0,44 ± 0,02
		37	61 ± 6	0,41 ± 0,03
	1:1	4	Комплекс нестабилен / Complex is unstable	
		21	42 ± 3	0,42 ± 0,01
		37	38 ± 4	0,38 ± 0,02
8,0	2:1	4	43 ± 5	0,22 ± 0,03
		21	39 ± 5	0,20 ± 0,03
		37	34 ± 6	0,17 ± 0,03
	3:2	4	44 ± 3	0,29 ± 0,01
		21	42 ± 4	0,28 ± 0,02
		37	38 ± 6	0,25 ± 0,03
	1:1	4	Комплекс нестабилен / Complex is unstable	
		21	32 ± 6	0,32 ± 0,03
		37	29 ± 5	0,29 ± 0,02



В кислой среде коллоидная система была нестабильной, в связи с чем исследовалась эффективность синтеза при нейтральном и слабощелочном значении pH. Из табл. 2 видно, что оптимальным для синтеза конъюгата является нейтральное значение pH, причем по мере понижения температуры степень включения Докс в конъюгат увеличивалась. Наибольшее содержание химиопрепарата на единицу массы носителя отмечалось при массовом соотношении ДНК/Докс 3:2. Таким образом, для синтеза конъюгата, использованного в данной работе, были выбраны следующие условия: pH = 7,0; температура 4 °C; массовое соотношение ДНК/Докс = 3:2. Последовательность операций синтеза описана выше.

Известно, что одним из главных механизмов противоопухолевого эффекта Докс является интеркаляция между нуклеотидами во время синтеза ДНК, что прерывает последний. В связи с этим возникает вопрос

о том, не будет ли потеряна активность препарата при взаимодействии с ДНК *in vitro*? Однако результаты ранее проведенных исследований [10–12], а также полученные в настоящей работе показывают, что Докс, связанный с экзогенной ДНК, сохраняет свою противоопухолевую активность. Этот феномен, видимо, объясняется тем, что в использованных условиях синтеза не происходит необратимого связывания Докс с нуклеотидами; данные связи с нуклеотидами в составе ДНК имеют не ковалентный, а водородный характер (средняя энергия связи – 4,9 ккал/моль) [22–23]. Фагоцитированные комплексы ДНК-Докс разрушаются эндонуклеазами, что сопровождается высвобождением химиопрепарата внутри клетки.

Исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс

Результаты исследования острой токсичности Докс представлены в табл. 3–4.

Таблица 3

Table 3

Летальность животных при введении различных лекарственных форм Докс

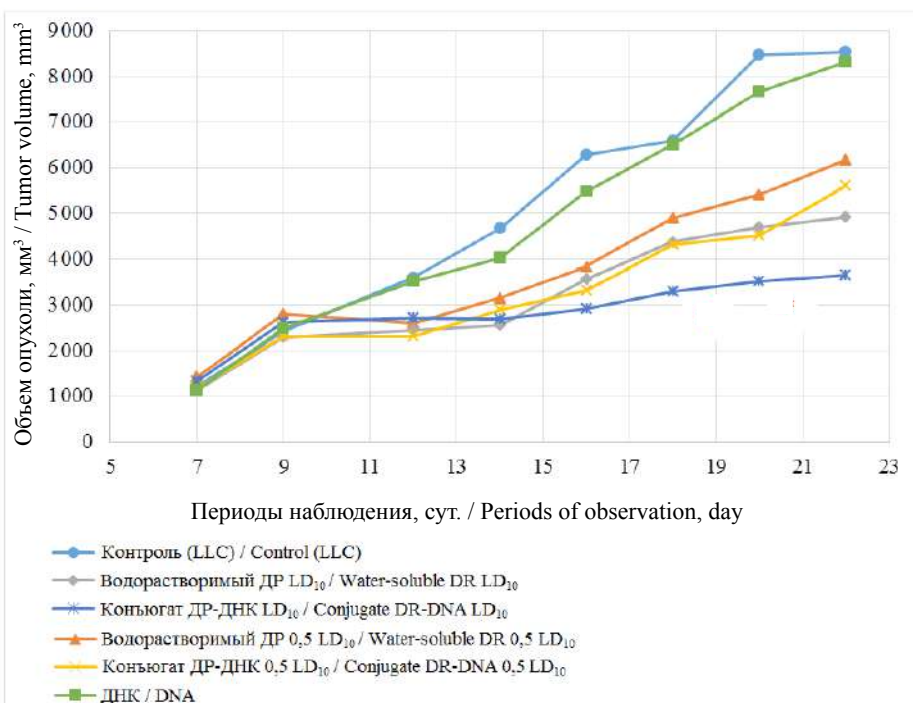
Lethality of animals when injecting different doxorubicin forms

Группа / Group	Исследуемая субстанция / Substance	Летальность (абс. %) в зависимости от дозы Докс, мг/кг / Lethality (abs %) depending on dose of Dox, mg/kg					
		2	4	8	16	24	32
1	Водорастворимый Докс / Water solvable Dox	0	1	3	7	10	10
2	Конъюгат ДНК-Докс / DNA-Dox conjugate	0	0	2	5	8	10
3	ДНК / DNA	0	0	0	0	0	0

Показатели острой токсичности различных лекарственных форм Докс
Acute toxicity markers for different doxorubicin forms

Показатели / Markers	Водный раствор Докс / Water solution of Dox		Конъюгат ДНК-Докс / DNA-Dox conjugate	
	Доза, мг / Dose, mg	U ₉₅ *	Доза, мг / Dose, mg	U ₉₅ *
1	2	3	4	5
LD ₁₀	4,4	2,1–6,4	6,2	2,7–9,0
LD ₅₀	9,9	7,1–13,4	14,6	10,5–19,9
LD ₁₀₀	43,9	27,7–118,2	69,5	41,1–256,8

Примечание: * – 95%-ный доверительный интервал / Note: * – 95% confidence interval



Р и с у н о к. Динамика объема опухоли в группах (* – достоверное отличие объема опухоли в группе водорастворимого Докс от аналогичного показателя в группе ДНК-конъюгированного Докс в дозе LD₁₀)

F i g u r e. Dynamics of tumor volume in groups. For all groups except the group treated with DNA, the tumor volume is significantly different from that of the control group starting from the 14th day.

* – significant difference in tumor volume in the group of water-soluble Dox and the group of DNA conjugated Dox in LD₁₀ doses)



Из табл. 4 видно, что токсические дозы конъюгата в среднем в 1,5 раза выше по сравнению с водорастворимым Докс. Причиной снижения токсичности может быть неполная диссоциация конъюгата в соматических клетках, меньшее накопление в миокарде, а также ингибирование прооксидантного эффекта Докс нуклеиновой кислотой. Учитывая, что уменьшение токсично-

сти может сопровождаться снижением специфической противоопухолевой активности химиопрепарата, для дальнейшего исследования были использованы эквитоксические дозы химиопрепарата.

Исследование противоопухолевой активности

Результаты оценки объема опухоли представлены на рисунке; индекс торможения роста опухоли – в табл. 5.

Таблица 5

Table 5

Значения индекса торможения роста опухоли в группах
The values of Tumor Growth Inhibition Index (TGII) in the groups

Группы животных / Groups of animals	Значения ИТРО на этапах наблюдения / Values of the TGII at various stages						
	9 сут. / 9 th day	12 сут. / 12 th day	14 сут. / 14 th day	16 сут. / 16 th day	18 сут. / 18 th day	20 сут. / 20 th day	22 сут. / 22 th day
Водорастворимый Докс 0,5 LD ₁₀ / Water-soluble doxo- rubicin, 0,5 of LD ₁₀	-15,9	27,5	32,7	38,9	25,7	36,0	27,9
Конъюгат ДНК- Докс 0,5 LD ₁₀ / DNA-Dox conju- gate, 0,5 of LD ₁₀	4,1	35,7	38,1	47,4	34,7	46,6	34,3
Водорастворимый Докс LD ₁₀ / Water- soluble Dox, LD ₁₀	5,0	32,1	45,4	43,2	33,7	42,4	44,1
Конъюгат ДНК- Докс LD ₁₀ / DNA- Dox conjugate, LD ₁₀	-8,7	24,3	42,7	53,6	50,0	64,0	67,4
ДНК / DNA	-3,4	2,1	13,8	12,8	1,5	9,6	2,6

Видно, что на фоне химиотерапии происходило торможение роста опухоли во всех группах животных. На 14-е сут. наблюдения появились статистически значимые различия в объеме

опухоли между контрольной и всем опытными группами. Между опытными группами достоверных различий в данных показателях не было зарегистрировано до 20-х сут. наблюде-

ния. На 20-е и 22-е сут. объем опухоли в группе, получавшей ДНК-конъюгированный Докс, в дозе LD₁₀, был меньше аналогичного показателя в группе, получавшей водорастворимый Докс на 34,3 и 35,0 % (p < 0,05 для обеих точек). Для этой дозы разница по ИТРО между группой ДНК-Докс и группой водораств-

воримого Докс на 20 и 22 сут. составляла 14,1 и 15,0 процентных пунктов (или 50,9 и 52,8 %) соответственно.

Аналогичная тенденция отмечалась также для групп животных, получавших препарат в дозе 0,5 LD₁₀, однако статистически эти различия подтверждены не были.

Таблица 6

Table 6

Результаты оценки антиметастатической активности

Results of antimetastatic activity investigation

Группы животных / Groups of animals	Масса опухоли на 22-е сут., г (M ± сигма) / Tumor mass on the 22nd day, g (M ± sigma)	Частота метастази- рования % / Frequency of metasta- ses, %	Среднее число поверхностных метастазов (M ± сигма) / Average number of metastases on the surface (M ± sigma)	Индекс ин- гибирования метастазиро- вания / Metas- tasis Inhibition Index
Контрольная (без лечения) / Control (no treatment)	8,8 ± 2,9	100	94,7 ± 4,2	—
Водорастворимый Докс, 0,5 LD ₁₀ / Water-soluble doxorubicin, 0,5 of LD ₁₀	6,4 ± 2,1	100	71,2 ± 6,9	24,8
Конъюгат ДНК-Докс, 0,5 LD ₁₀ / DNA-Dox conjugate, 0,5 LD ₁₀	5,8 ± 2,4	100	65,3 ± 11,2	31,0
Водорастворимый Докс, LD ₁₀ / Water-soluble doxo- gubicin, LD ₁₀	5,1 ± 2,2	90	44,5 ± 12,1	57,7
Конъюгат ДНК-Докс, LD ₁₀ / DNA-Dox conjugate, LD ₁₀	4,1 ± 1,8	80	35,6 ± 9,8	69,9
ДНК / DNA	8,6 ± 3,1	100	90,2 ± 8,5	4,8

Примечание: полужирный шрифт – достоверные отличия от контрольной группы / Note: bold is significant differences from the control group



При оценке антиметастатической активности было установлено, что все исследованные формы, за исключением водорастворимого Докс в дозе 0,5 LD₅₀, достоверно снижали количество метастазов опухоли в легкие. Число метастазов в группах, получавших ДНК-конъюгированный препарат, было меньше, чем в группах, которым проводили лечение водным Докс, однако эти различия не были статистически значимыми. Наиболее вероятным механизмом увеличения противоопухолевой активности Докс при его конъюгации с ДНК является избирательное накопление химиопрепарата в опухолевой ткани, обусловленное эндцитозом комплекса ДНК-Докс.

Обсуждение и заключения

В результате исследования был предложен метод получения конъюгата противоопухолевого химиопрепарата Докс с экзогенной двухцепочечной ДНК; проведено исследование токсичности и специфической противоопухолевой активности синтезированного комплекса; показано, что токсичность конъюгата ниже, чем у свободного Докс (LD₅₀ были равны 14,6 мг/кг и 9,9 мг/кг для конъюгата и Докс соответственно). Введение в эквитоксических дозах конъюгата обладает большей противоопухолевой активностью, чем водорастворимый препарат (максимум на 35 % по объему опухоли и на 51 % по ИТРО).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lamers M. C., De Groot E. R., Roos D. Phagocytosis and degradation of DNA-anti-DNA complexes by human phagocytes. I. Assay conditions, quantitative aspects and differences between human blood monocytes and neutrophils // *Eur. J. Immunol.* 1981. Vol. 11 (10). P. 757–764. DOI: 10.1002/eji.1830111005
2. Receptor-Mediated Endocytosis and Nuclear Transport of a Transfecting DNA Construct / A. A. Rosenkranz [et al.] // *Experimental cell research.* 1992. Vol. 199. P. 323–329. DOI: 10.1016/0014-4827(92)90441-A
3. Guy J., Drabek D., Antoniou M. Delivery of DNA into mammalian cells by receptor-mediated endocytosis and gene therapy // *Mol. Biotechnol.* 1995. Vol. 3. P. 237–248. DOI: 10.1007/BF02789334
4. Таргетный транспорт противоопухолевых химиопрепаратов: современные технологии и перспективы развития / Н. А. Пятаев [и др.] // *Поволжский онкологический вестник.* 2012. № 2. С. 60–71. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18903294>
5. Hypothesis: naked plasmid DNA is taken up by cells in vivo by a receptor-mediated process / V. Budker [et al.] // *J. Gene. Med.* 2000. Vol. 2. P. 76–88. DOI: 10.1002/(SICI)1521-2254(200003/04)2:2<76::AID-GM97>3.0.CO;2-4
6. Kensuke M., Masahiro O. Endocytosis-free DNA sensing by cell surface TLR9 in neutrophils: Rapid defense with autoimmune risks // *Eur. J. Immunol.* 2013. Vol. 43. P. 2006–2009. DOI: 10.1002/eji.201343882
7. Witttrup A., Belting M. Characterizing peptide-mediated DNA internalization in human cancer cells // *Methods Mol. Biol.* 2009. Vol. 480. P. 101–112. DOI: 10.1007/978-1-59745-429-2_7
8. Orava E. W., Cicmil N., Gariépy J. Delivering cargoes into cancer cells using DNA aptamers targeting internalized surface portals // *Biochimica et Biophysica Acta.* 2010. Vol. 1798. P. 2190–2200. DOI: 10.1016/j.bbame.2010.02.004
9. Comparative study in mice of the toxicity, pharmacology, and therapeutic activity of daunorubicin-DNA and doxorubicin-DNA complexes / D. Deprez-de Campeneere [et al.] // *Cancer Chemother. Pharmacol.* 1979. Vol. 2. P. 25–30. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Deprez-De+Campeneere+D.%2C+Baurain+R.%2C+Huybrechts+M+and+Trouet+A+%2F%2F>
10. Self-assembled, aptamer-tethered DNA nanotrains for targeted transport of molecular drugs in cancer theranostics / G. Zhu [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2013. Vol. 110 (20). P. 7998–8003. DOI: 10.1073

11. Особенности тканевого распределения и противоопухолевой активности доксорубина при введении в форме конъюгата с ДНК у крыс с трансплантированной карциномой PC-1 / Н. А. Пятаев [и др.] // Российский биотерапевтический журнал. 2011. № 10 (2). P. 55–59. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18884986>
12. Эффективность ДНК-конъюгированных форм доксорубина и цисплатина при холангиоцеллюлярной карциноме у крыс / Н. А. Пятаев [и др.] // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-5. P. 959–963. URL: <https://www.fundamental-research.ru/pdf/2014/10-5/35773.pdf>
13. **Fried M. G., Bromberg J. L.** Factors that affect the stability of protein-DNA complexes during gel electrophoresis // Electrophoresis. 1997. Vol. 18, no. 1. P. 6–11. DOI: 10.1002/elps.1150180103
14. Effect of Albumin and Polyanion on the Structure of DNA Complexes with Polycation Containing Hydrophilic Nonionic Block / D. Oupický [et al.] // Bioconjugate Chem. 1999. Vol. 10 (5). P. 764–772. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10502341>
15. Cationized human serum albumin as a non-viral vector system for gene delivery? Characterization of complex formation with plasmid DNA and transfection efficiency / D. Fischer [et al.] // Int. J. Pharm. 2001. Vol. 225. P. 97–111. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11489558>
16. Albumin-based drug delivery as novel therapeutic approach for rheumatoid arthritis / A. Wunder [et al.] // J. Immunol. 2003. Vol. 170. P. 4793–4801. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=16.%09Albumin-based+drug+delivery+as+novel+therapeutic+approach+for+rheumatoid+arthritis>
17. Native albumin for targeted drug delivery / E. Neumann [et al.] // Expert Opin. Drug Deliv. 2010. Vol. 7. P. 915–925. DOI: 10.1517/17425247.2010.498474
18. **Frei E.** Albumin binding ligands and albumin conjugate uptake by cancer cells // Diabetology and Metabolic Syndrome. 2011. Vol. 1. P. 3–11. DOI: 10.1186/1758-5996-3-11
19. Пат. на полезную модель 154660 (РФ), МПК B01D61/14; B01D63/16; B01D61/18. Устройство для ультрафильтрации жидкостей / Н. А. Пятаев [и др.]. Опубл. 26.11.2014. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23929187>
20. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Под ред. Р. У. Хабриева. Москва : Медицина, 2005. 832 с. URL: <http://www.booksmed.com/farmakologiya/275-rukovodstvo-po-yeksperimentalnomu-doklinicheskomu.html>
21. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под ред. А. Н. Миронова. Москва : Гриф и К°, 2012. Ч. 1. 944 с. URL: <http://www.regmed.ru/Content/Page.aspx?id=30e5e2b2-74a6-4616-9624-b796f00d0a9b>
22. Intercalation of antitumor drug doxorubicin and its analogue by DNA duplex: Structural features and biological implications / D. Agudelo [et al.] // International journal of biological macromolecules. 2014. Vol. 66. P. 144–150. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.02.028
23. New Insights into the Mechanism of the DNA/Doxorubicin Interaction / C. Pérez-Arnaiz [et al.] // J. Phys. Chem. B. 2014. Vol. 118 (5). P. 1288–1295. DOI: 10.1021/jp411429g

Поступила 18.01.2017; принята к публикации 23.02.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Заборовский Андрей Владимирович, доцент кафедры фармакологии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава России (127473, Россия, г. Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7923-9916>, azabor@mail.ru

Кокорев Александр Викторович, заведующий кафедрой физиологии медицинского факультета ИАТЭ Обнинского филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (249030, Россия, г. Обнинск, Студгородок 1), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3316-1639>, kav2972@yandex.ru

Бродовская Екатерина Павловна, аспирантка кафедры анестезиологии и реаниматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1060-9843>, kitten77@mail.ru



Фирстов Сергей Александрович, аспирант кафедры анестезиологии и реаниматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1961-7708>**, surgeonruz@yandex.ru

Минаева Ольга Владимировна, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6154-3434>**, polinanew@mail.ru

Куликов Олег Александрович, доцент кафедры фармакологии и клинической фармакологии с курсом фармацевтической технологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4411-677X>**, oleg-kulikov-84@mail.ru

Червякова Наталья Николаевна, ассистентка кафедры анестезиологии и реаниматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7904-3948>**, zygm-natalya@yandex.ru

Медвежонков Вячеслав Юрьевич, аспирант кафедры нормальной и патологической анатомии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4373-6566>**, medvejonkov.v@gmail.com

Вклад соавторов: А. В. Заборовский: анализ данных литературы, синтез конъюгатов ДНК-Докс, исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс, статистическая обработка данных, написание текста статьи; А. В. Кокорев: анализ данных литературы, синтез конъюгатов ДНК-докс, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс, написание текста статьи; Е. П. Бродовская: исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс; С. А. Фирстов: перевивка опухоли, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс; О. В. Минаева: анализ данных литературы, исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс, статистическая обработка данных, написание текста статьи; О. А. Куликов: перевивка опухоли, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс; Н. Н. Червякова: исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс, исследование противоопухолевой активности конъюгата ДНК-Докс; В. Ю. Медвежонков: исследование острой токсичности конъюгата ДНК-Докс.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Lamers MC, De Groot ER, Roos D. Phagocytosis and degradation of DNA-anti-DNA complexes by human phagocytes. I. Assay conditions, quantitative aspects and differences between human blood monocytes and neutrophils. *Eur. J. Immunol.* 1981; 11(10):757-764. DOI: 10.1002/eji.1830111005
2. Rosenkranz AA, Yachmenev SV, Jans DA, Serebryakova NV, Muravev VI, Peters R, et al. Receptor-mediated endocytosis and nuclear transport of a transfecting DNA construct. *Experimental Cell Research.* 1992; 199:323-329. DOI: 10.1016/0014-4827(92)90441-A
3. Guy J, Drabek D, Antoniou M. Delivery of DNA into mammalian cells by receptor-mediated endocytosis and gene therapy. *Mol. Biotechnol.* 1995; 3:237-248. DOI: 10.1007/BF02789334
4. Pyatayev NA, Myeltsayev GG, Skopin PI, Minayeva OV, Shchukin SA. Targetnyy transport protivopukholevykh khimioterapevtov: sovremennyye tekhnologii i perspektivy razvitiya [Targeted transport of anticancer chemotherapeutic agents: modern technology and development prospects]. *Povolzhskiy onkologicheskii vestnik = Volga Cancer Bulletin.* 2012; 2:60-71. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18903294> (In Russ.)
5. Budker V, Budker T, Zhang G, Subbotin V, Loomis A, Wolff JA. Hypothesis: naked plasmid DNA is taken up by cells in vivo by a receptor-mediated process. *J. Gene. Med.* 2000; 2:76-88. DOI: 10.1002/(SICI)1521-2254(200003/04)2:2<76::AID-JGM97>3.0.CO;2-4

6. Kensuke M, Masahiro O. Endocytosis-free DNA sensing by cell surface TLR9 in neutrophils: Rapid defense with autoimmune risks. *Eur. J. Immunol.* 2013; 43:2006-2009. DOI: 10.1002/eji.201343882
7. Witttrup A, Belting M. Characterizing peptide-mediated DNA internalization in human cancer cells. *Methods Mol. Biol.* 2009; 480:101-112. DOI: 10.1007/978-1-59745-429-2_7
8. Orava EW, Cicmil N, Gariépy J. Delivering cargoes into cancer cells using DNA aptamers targeting internalized surface portals. *Biochimica et Biophysica Acta.* 2010; 1798:2190-2200. DOI: 10.1016/j.bbame.2010.02.004
9. Deprez-De Campeneere D, Baurain R, Huybrechts M, Trouet A. Comparative study in mice of the toxicity, pharmacology, and therapeutic activity of daunorubicin-DNA and doxorubicin-DNA complexes. *Cancer Chemother. Pharmacol.* 1979; 2:25-30. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Deprez-De+Campeneere+D.%2C+Baurain+R%2C+Huybrechts+M+and+Trouet+A+%2F%2F>
10. Zhu G, Zheng J, Song E, Donovan M, Zhangb K, Lue C, et. al. Self-assembled, aptamer-tethered DNA nanotrans for targeted transport of molecular drugs in cancer theranostics. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2013; 110(20):7998-8003. DOI: 10.1073/pnas.1220817110
11. Pyatayev NA, Skopin PI, Minayeva OV, Shchukin SA, Korovina YeYu, Zyrnyayeva NN. Osobenosti tkanevogo raspredeleniya i protivopukholevoy aktivnosti doksorubitsina pri vvedenii v forme konyugata s DNK u kryss s transplantirovannoy kartsinomoy RS-1 [Features and tissue distribution Dox antitumor activity when administered in the form of a conjugate with DNA in rats with transplanted carcinoma RS-1]. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal* = Russian Journal of Biotherapeutic. 2011; 10(2):55-59. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18884986> (In Russ.)
12. Pyatayev NA, Minayeva OV, Zyrnyayeva NN, Kokorev AV, Gurevich KG, Zaborovskiy AV. Effektivnost DNK-konyugirovannykh form doksorubitsina i tsisplatina pri kholangiotsellyulyarnoy kartsinome u kryss [Efficiency of DNA-conjugated forms of doxorubicin and cisplatin in rats with cholangiocellular carcinoma RS-1]. *Fundamentalnye issledovaniya.* 2014; 10(5):959-963. Available from: <https://www.fundamental-research.ru/pdf/2014/10-5/35773.pdf> (In Russ.)
13. Fried MG, Bromberg JL. Factors that affect the stability of protein-DNA complexes during gel electrophoresis. *Electrophoresis.* 1997; 18(1):6-11. DOI: 10.1002/elps.1150180103
14. Oupický D, Konák C, Dash PR, Seymour LW, Ulbrich K. Effect of Albumin and Polyanion on the Structure of DNA Complexes with Polycation Containing Hydrophilic Nonionic Block. *Bioconjugate Chem.* 1999; 10(5):764-772. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10502341>
15. Fischer D, Bieber T, Brüsselbach S, Elsässer H, Kissel T. Cationized human serum albumin as a non-viral vector system for gene delivery? Characterization of complex formation with plasmid DNA and transfection efficiency. *Int. J. Pharm.* 2001; 225:97-111. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11489558>
16. Wunder A, Müller-Ladner U, Stelzer EH, Funk J, Neumann E, Stehle G, et al. Albumin-based drug delivery as novel therapeutic approach for rheumatoid arthritis. *J. Immunol.* 2003; 170:4793-4801. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=16.%09Albumin-based+drug+delivery+as+novel+the+rapeutic+approach+for+rheumatoid+arthritis>
17. Neumann E, Frei E, Funk D, Becker MD, Schrenk HH, Müller-Ladner U, et al. Native albumin for targeted drug delivery. *Expert Opin. Drug Deliv.* 2010; 7: 915-925. DOI: 10.1517/17425247.2010.498474
18. Frei E. Albumin binding ligands and albumin conjugate uptake by cancer cells. *Diabetology and Metabolic Syndrome.* 2011; 1:3-11. DOI: 10.1186/1758-5996-3-11
19. Pyatayev NA, et al. Pat. na poleznuyu model [Utility patent] 154660 (RF), MPK B01D61/14; B01D63/16; B01D61/18. *Ustroystvo dlya ultrafiltratsii zhidkostey* [Apparatus for ultra filtration of liquids]. Publ. 2014; no. 26 Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23929187> (In Russ.)
20. Khabriyev RU, editor. *Rukovodstvo po eksperimentalnomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv* [Manual on experimental (preclinical) study of new pharmacological substances]. Moscow: Meditsina; 2005. Available from: <http://www.booksmed.com/farmakologiya/275-rukovodstvo-po-yeksperimentalnomu-doklinicheskomu.html> (In Russ.)
21. Mironov AN. *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv.* Moscow: Grif i Ko Publ.; 2012. Available from: <http://www.regmed.ru/Content/Page.aspx?id=30e5e2b2-74a6-4616-9624-b796f00d0a9b> (In Russ.)



22. Agudelo D, Bourassa P, Bérubé G, Tajmir-Riahi HA. Intercalation of antitumor drug doxorubicin and its analogue by DNA duplex: Structural features and biological implications. *International journal of biological macromolecules*. 2014; 66:144-150. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.02.028

23. Pérez-Arnaiz C, Busto N, Leal JM, García B. New Insights into the Mechanism of the DNA/Doxorubicin Interaction. *J. Phys. Chem. B*. 2014; 118(5):1288-1295. DOI: 10.1021/jp411429g

Submitted 18.01.2017; revised 23.02.2017; published online 31.03.2017

About the authors:

Andrey V. Zaborovskiy, Associated Professor of Chair of Pharmacology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry (20 bd. 1 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7923-9916>, azabor@mail.ru

Aleksandr V. Kokorev, Head of Chair of Physiology, Medical Faculty, Obninsk Branch of National Research Nuclear University (1 Studgorodok, Obninsk 249030, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3316-1639>, kav2972@yandex.ru

Yekaterina P. Brodovskaya, Postgraduate Student, Chair of Anesthesiology and Rheumatology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1060-9843>, kitten77@mail.ru

Sergey A. Firstov, Postgraduate Student, Chair of Anesthesiology and Rheumatology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1961-7708>, surgeonruz@yandex.ru

Olga V. Minayeva, Associated Professor of Chair of Anesthesiology and Rheumatology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6154-3434>, polinanew@mail.ru

Oleg A. Kulikov, Associated Professor of Chair of Pharmacology and Clinical Pharmacology with a course of Pharmaceutical Technology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4411-677X>, oleg-kulikov-84@mail.ru

Natalya N. Chervyakova, Associated Professor of Chair of Anesthesiology and Rheumatology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7904-3948>, zyrn-natalya@yandex.ru

Vyacheslav Yu. Medvezhonkov, Postgraduate Student, Chair of Normal and Pathological Anatomy, (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4373-6566>, medvejonkov.v@gmail.com

Contribution of the co-authors: A. Zaborovskiy reviewed relevant literature, synthesized DNA-Dox conjugates, investigated the acute toxicity of DNA-Dox conjugates and antitumor activity of DNA-Dox conjugate, processed statistics, wrote the draft; A. Kokorev analyzed literary sources, synthesized DNA-Dox conjugates, investigated the antitumor activity of DNA-Dox conjugates, wrote the draft; Ye. Brodovskaya investigated the acute toxicity of DNA-Dox conjugates and antitumor activity of DNA-Dox conjugates; S. Firstov transplanted tumors, investigated the antitumor activity of the conjugate DNA Docks; O. Minayeva analyzed literary data, investigated the acute toxicity of DNA-Dox conjugate, processed statistics, wrote the draft; A. Kulikov transplanted tumors, investigated the antitumor activity of DNA-Dox conjugate; N. Chervyakova investigated the acute toxicity of DNA-Dox conjugate and anti-tumor activity of DNA-Dox conjugate; V. Medvezhonkov investigated the acute toxicity of DNA-Dox conjugate.

All authors have read and approved the final manuscript.



MAGNETIC BACTERIA AND THEIR POTENTIAL APPLICATIONS: A REVIEW ARTICLE

**S. R. Eljmalı, S. I. Alshikhi, N. M. Abed Alkreem,
S. A. Hamouda***

University of Benghazi (Benghazi, Libya)

**dr_s_hamouda@yahoo.ie*

Introduction. This outline explores the scientific discovery concerning the magnetotactic bacteria (MTB). The results of the discovery are used in microbiology, mineralogy, limnology, physics, biophysics, chemistry, biochemistry, geology, crystallography, and astrobiology. Magnetosomes of the MTB are organized in linear chains and orient the cell body along geomagnetic field lines while flagella actively propel the cells, resulting in so-called magnetotaxis.

Materials and Methods. The review article about the magnetotactic bacteria is a collection of many research papers from different institutes. The emerging important points about this review lie in: (1) any biological system is capable of producing magnetic biomaterials such as magnetite (Fe_3O_4) and greigite (Fe_3S_4); (2) the navigation of these nano-crystals in the biological system is interconnected with the Earth's magnetic field.

Results. The researchers involved in the study have shown that the magnetotactic bacteria do respond to a magnetic field. This makes them attractive for biomedical and industrial applications because of the availability of superior electromagnets, superconducting magnets and permanent magnet. Magnetic bacteria can also be used as a diagnostic tool in the detection of imperfections even at the nanoscale.

Discussion and Conclusions. Although the importance of this issue is still limitedly used in medical area, more performance is necessary to explore the world of these bacteria that are candidate for new industry and new therapy strategies in biotechnology and medical fields.

Keywords: magnetic bacteria, biophysics, nanoparticles, construction of biological cells, cancer, medicine, earth's magnetic field, nanoparticles technological applications

For citation: Eljmalı SR, Alshikhi SI, Abed Alkreem NM, Hamouda SA. Magnetic bacteria and their potential applications : A review article. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):108-122. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.108-122

Acknowledgements: We would like to thank the reviewer for his valuable points concerning our paper. His points were well taken.



МАГНЕТИЧЕСКИЕ БАКТЕРИИ И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ: ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

С. Р. Эльджмали, С. И. Альшихи, Н. М. Абед Алькрем, С. А. Хамуда

Университет Бенгази (г. Бенгази, Ливия)

**dr_s_hamouda@yahoo.ie*

Введение. Статья предоставляет обзор научных открытий, касающихся магнитотактических бактерий (МТБ). Результаты открытий используются в микробиологии, минералогии, лимнологии, физике, биофизике, химии, биохимии, геологии, кристаллографии и астробиологии. Магнитосомы МТБ организованы в линейные цепи и ориентируют клеточные тела вдоль силовых линий геомагнитного поля, причем вращательные движения жгутиков приводят к т. н. магнитотаксису.

Материалы и методы. Обзорная статья о бактериях, чувствительных к магнитному полю, является компиляцией нескольких научных работ из различных научных учреждений. Наиболее важные моменты этого обзора сводятся к следующим положениям: 1) любая биологическая система способна создавать магнитные биоматериалы, такие как магнетит (Fe_3O_4) и грегит (Fe_3S_4); 2) навигация этих нанокристаллов в биологической системе взаимосвязана с магнитным полем Земли.

Результаты исследования. Исследователи, участвующие в изучении данной темы, показали, что магнитотактические бактерии действительно реагируют на магнитное поле. Это делает их привлекательными для медико-биологического и промышленного использования из-за наличия сильных электромагнитов, сверхпроводящих магнитов и постоянного магнита. Магнетические бактерии также могут быть использованы в качестве диагностического инструмента при обнаружении дефектов даже на наноуровне.

Обсуждение и заключения. Несмотря на важность этой темы, которая пока находит лишь ограниченное применение в медицинской области, необходимо исследовать мир этих бактерий, которые являются кандидатами для использования в новых промышленных технологиях и терапевтических стратегий в медицине.

Ключевые слова: магнитотактические бактерии, биофизика, наночастица, строение биологических клеток, рак, медицина, магнитное поле земли, техническое использование наночастиц

Для цитирования: Магнетические бактерии и их потенциальное применение: обзорная статья / С. Р. Эльджмали [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 108–122. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.108-122

Благодарности: Благодарим рецензента за указание на важные моменты, касающиеся нашей статьи. Его точка зрения была принята с пониманием.

Introduction

Magnetotactic Bacteria (MTB) – magnetic microorganisms were discovered in 1963 by Salvatore Bellini in an obscure publication of the Instituto di Microbiologia at the University of Pavia, Italy. Bellini was investigating water and sediments from potholes and shallow lakes when he noticed that in many of his samples, a peculiar group of bacteria always swam in one direction, accumulat-

ing on one side of the microscope slide. He also observed that some of these microorganisms, when suspended in a droplet of collected water, swam towards the arm of his microscope. Wondering if the composition of the microscope influenced this behavior, he sequentially replaced the microscope arm, lenses, and stage with metals, followed by wood and then cardboard. However, the organisms' behaviors did not alter regardless of the

changes Bellini, made for either the parts or the materials of the microscope.

Distrustful that the bacteria were being guided by an external stimulus, he attempted to manipulate them with a magnet, discovering that they immediately followed the magnet. Further experiments with both live and dead cells exhibited the same ability to follow a magnet, leading Bellini to intuition that these “magneto sensitive bacteria”, as he called them, contained an internal compass that oriented them to a magnetic field. Bellini’s findings remained largely hidden until Richard Blakemore rediscovered these magnetic bacteria in 1975. Blakemore named these bacteria “magnetotactic bacteria”, MTB an elicitation from the biological term “magneto taxis”. Blakemore described these bacteria as aquatic prokaryotes which grow at ambient and mesophilic conditions. Blakemore had spent some time investigating microorganisms living in mud, and he too realized that these cells also could be repelled or attracted to a magnet, depending on the pole that faced the cells [1–2].

The discovery of MTB caused a significant impact on research fields such as microbiology, physics, biophysics, chemistry, biochemistry, geology, limnology, crystallography, and even in astrobiology. This strange behavior attracted a great deal of interest from other scientists, bringing magnetic bacteria into laboratories as a research specimen. Although magnetic bacteria can be found in any environment, especially in lake and seawater habitats, due to their unique life, it is not easy to isolate and cultivate MTB. However, the fast advances in biotechnology, magneto technology and in other fields have eased the cultivation of MTB in laboratories.

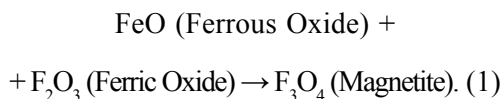
The formation and physiological function of magnetic crystals in these organisms are still not known sufficiently. However, thorough understanding of bacterial magnetosome formation will

serve as a model to uncover the mechanism of magnetosome formation and function in other species. It is also noted that functional analysis of several genes involved in magnetosome formation, such as, *mamJ*, *mamK*, *magA* have revealed the roles of membrane associated proteins in transport and bio mineralization. Current research at present time focuses on the molecular mechanisms of bacterial magnetosome formation and its practical applications in biotechnology and medicine.

However, two developments during the past decade have changed this perception dramatically, the first being the discovery that many organisms, including bees, algae, pigeons, and humans, are also capable of biochemically precipitate the ferrimagnetic mineral magnetite (Fe_3O_4). In the MTB, the geomagnetic response is based on either biogenic magnetite or greigite (Fe_3S_4). Second, the development of simple behavioral conditioning experiments for training honey bees to discriminate magnetic fields demonstrates conclusively that at least one terrestrial animal is capable of detecting earth-strength magnetic fields through a sensory process [3].

Materials and Methods

Magnetosome formation is the mineralization process under strict biochemical mechanisms control, including four steps: iron accumulation, membrane formation, transportation and controlled bio mineralization of magnetite (Fe_3O_4). Magnetite contains both ferrous (reduced) and ferric (oxidized) iron species. Magnetite is oftentimes described as iron II,III oxide. Fe ions exist in both the +2 and +3 valence states. Equation 1. Shows an oversimplified synthesis reaction demonstrates the chemical makeup of the compound [4].





The formation mechanism of magnetosomes is a complex process and is not entirely understood. It includes the formation of magnetosome vesicles, taking the iron mineral into the cell, carrying the iron in the magnetosome vesicles and the control of magnetite or greigite biomineralisation within the vesicle. However, there are some other views that explain the process. In these views, it was proposed that three major steps were present in magnetosome biomineralisation. The first step involves the cytoplasm folding inwards, creating a pocket to form the magnetosome membrane by GTPase, and the organization of these vesicles along a line to form the magnetosomes' carrier fiber. The second step is involving the carrying of iron into the cell by carrier proteins and siderophores and collecting them in the vesicles by transmembrane iron carriers. The iron within the cell is strictly controlled by oxidation and reduction mechanisms, as too much iron is highly dangerous for the cell. The last step is the formation of magnetite in the magnetosome and the organization of the morphology.

In MTB, magnetite formation takes place in microaerobic and anaerobic conditions, as high oxygen content has an inhibiting effect. However, the relation between magnetite formation and low oxygen levels are unclear. While the relation between magnetosome formation and sources of iron is unclear, it is known that iron is the basic element for magnetosome production. MTB require more iron compared to other bacteria for the biomineralisation of the magnetite crystal.

Magnetite (Fe_3O_4) is the main chemical component of magnetosomes characterized by the high chemical purity, fine grain size uniformity, and good biocompatibility. These properties can be used as a new kind of nano-magnetic materials applied in many fields of biochemistry, magnetic materials, clinical medicine and wastewater treatment [5]. The various types of (Fe_3O_4) and (Fe_3S_4) magnetosome crystal morphologies are shown in fig.1.

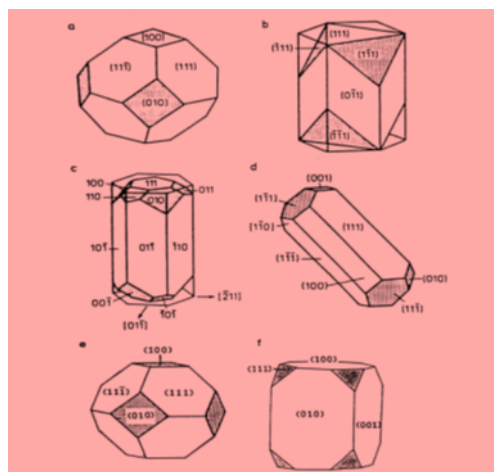


Fig. 1. a–d) Fe_3O_4 ; a) cubo-octahedron (equilibrium form); b–c) hexahedral prisms; d) elongated cubo-octahedron; e–f) Fe_3S_4 ; a) cubo-octahedron (equilibrium form); b) rectangular prismatic crystal [6]

Р и с. 1. а–д) Fe_3O_4 ; а) кубо-октаэдр (равновесная форма); б–с) шестигранные призмы; д) удлинённый кубо-октаэдр; е–ф) Fe_3S_4 ; а) кубо-октаэдр (равновесная форма); б) прямоугольный призматический кристалл [6]

MTB produce crystals that are the smallest crystals that can be formed of (Fe_3O_4) or (Fe_3S_4) and still be permanently magnetic at ambient temperature. Figure 2 describes the magnetic domains for the magnetosomes. Magnetosomes contain crystals that are Stable Single-Magnetic-Domains.

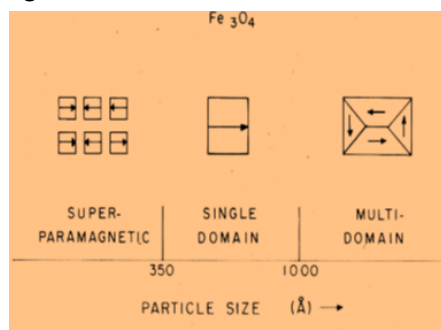


Fig. 2. Magnetosomes contain crystals that are Stable Single-Magnetic-Domains [6].

Р и с. 2. Магнитосомы содержат кристаллы, являющиеся стабильными отдельными магнитными доменами [6]

Magnetotactic bacteria arrange their Magnetosomes in chain(s) along long axis of cell. These bacteria have a unique feature of consuming soluble salts of iron from growth media to form intracellular chains of single magnetic crystals (30–40 nm) of magnetite (Fe_3O_4) and greigite (Fe_3S_4). These intracellular nano-crystals, each encapsulated by its own biological membrane about 3–4 nm

thick are known as magnetosomes. Magnetosomes are organized in linear chains and orient the cell body along geomagnetic field fig. 3. Shows the arrangement of magnetosomes surrounding a biological cell. However, the magnetosome proteins such as MamK and MreB play an essential role in the Construction of the Magnetosome Chain (fig. 4.) [6].

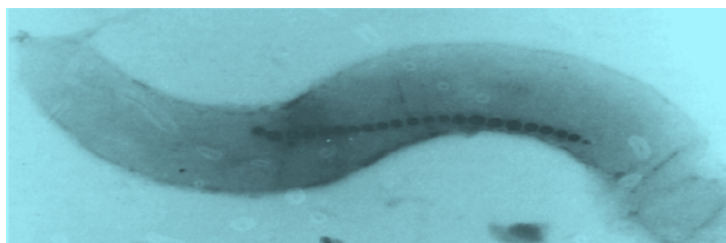


Fig. 3. Magnetospirillum magneticum with single magnetosome chain.
The magnetosome chain acts like a single magnetic dipole [14]

Р и с. 3. Magnetospirillum magneticum с одной магнитосомной цепью.
Магнитосомные цепи действуют как единый магнитный диполь [14]

The magnetosome chain acts like a single magnetic dipole. In the chain motif, the total cell magnetic dipole moment is the sum of that of the individual crystals. This implies that by forming chains, the bacterium has maximized its

magnetic dipole moment (remanence). Magnetosomes are vesicles that are in a membrane within the cytoplasm that is full of magnetite and greigite, which help the bacteria align themselves according to the Earth's magnetic field [6].

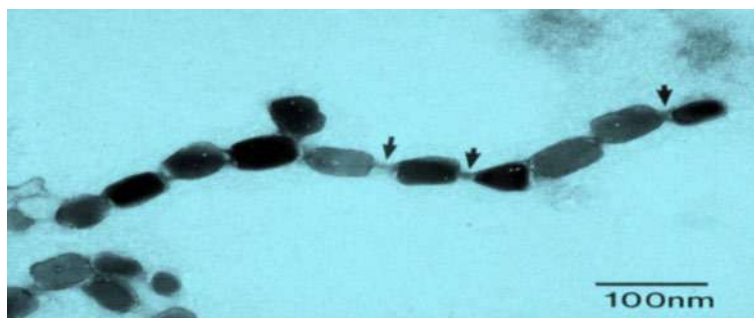


Fig. 4. Purified magnetosomes with membranes. Magnetosome membranes contain unique proteins which are involved in construction of the magnetosome chain [6]

Р и с. 4. Магнитосомные белки играют важную роль в построении магнитосомной цепи [6]

It can be added that current research have revealed the same features that are shared by the magnetite crystals extracted

from magnetotactic bacteria and by some of those extracted recently from the soft tissues of the human brain (fig. 5).

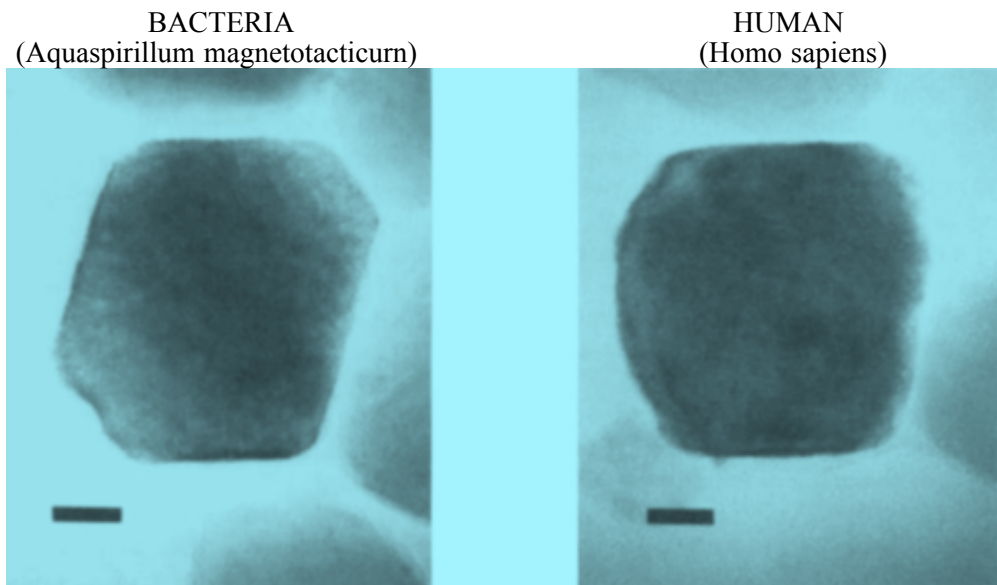


Fig. 5. Shows a comparison of high-resolution (HR) TEM images of single-domain magnetite extracted from the magnetotactic bacterium, *Aquaspirillum Magnetotacticum* and from the human cerebellum [7]

Р и с. 5. Сравнение изображений, полученных с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), однодоменного магнетита, извлеченного из магнитотактической бактерии *Aquaspirillum magnetotacticum* и из человеческого мозжечка [7]

Magnetite crystals formed within these magnetosome vesicles have three main features which serve to distinguish them from magnetites formed through geological processes. First, high-resolution TEM studies reveal that bacterial magnetites are nearly perfect crystals, usually elongate in the [111] direction. Inorganic magnetites are usually small octahedral crystals, often with lattice dislocations and other crystal defects. The elongation of biogenic crystals in the [111] direction serves to maximize the net magnetic moment of the particle, and presumably is the result of natural selection for their magnetic properties. Second, bacterial magnetite crystals are restricted to a size range from 30 to about 500 nm, with shapes which confine them to the single-domain magnetic stability field. Inorganic magnetites tend to have log-normal size distributions, and range from super-

paramagnetic to multi-domain in size. Third, bacterial magnetites tend to be rather pure iron oxide, with no detectable concentrations of the element titanium which is typically present in geologically produced magnetite.

It can be concluded that many higher organisms including humans possess the biochemical ability to form magnetite. The knowledge of the biological functions of magnetite are as yet incomplete. Magnetite is the hardest known biogenic material formed by an organism. Magnetite also seems to be involved in the ability of many animals to use the geomagnetic field as an orientational or navigational cue. The magnetosome chains in the salmon, which strongly resemble those in the bacteria and algae, could certainly be used for this purpose. Recent behavioral work with honeybees, showing that north-seeking bees can be changed

into south-seekers with a brief magnetic pulse, confirms that a ferromagnetic material like magnetite is indeed part of the honeybee magnetic sensory system [7].

However, Magnetite is now known to form commonly in a variety of tissues for which a sensory function is rather unlikely because magnetite was also found in human and mouse tumors. Biogenic magnetite has been found in many organisms ranging

from bacteria to higher vertebrates, including humans. The high levels of magnetite in rapidly growing mouse tumors hints that it may have a role in cell division. This implies that magnetite has as yet unknown roles in eukaryotic biochemistry, perhaps as a localized source of iron for activating iron-based enzymes [7]. It is also present in many tumor materials. The physical properties of magnetite are shown in table.

Т а б л и ц а

T a b l e

Some Physical Properties of magnetite
Некоторые физические свойства магнетита

Magnetite melting / Температура плавления	1 590 °C
Boiling points are observed / Наблюдаемая точка кипения	2 623 °C
Density / Плотность	5.18 g/cm ³
Heats of fusion (at 2 623 °C) / Теплота плавления при 2 623 °C	138.16 kJ/mol
Decomposition (at 2 623 °C) / Энергия разложения при 2 623 °C	605.0 kJ/mol
Vaporization (at 2 623 °C) / Энергия парообразования при 2 623 °C	298.0 kJ/mol
Curie temperature / Точка Кюри	850 K
Enthalpy / Энтальпия	1 115.7 kJ/mol
Entropy of formation / Энтропия образования	146.1 kJ/mol/K
Magnetite particles are not porous / Частицы магнетита не пористы	
Dissolution is much faster than other pure ferric oxides / Растворение происходит гораздо быстрее по сравнению с другими чистыми оксидами железа	

Magnetotactic bacteria are obligate micro-aerophiles and need narrow range of dissolve oxygen for growth as well as magnetosome formation. For producing magnetosomes from magnetotactic bacteria, oxygen and its concentration are crucial. Many are microaerophilic, meaning that they prefer low oxygen levels for growth. Despite the diversity in these

crystals (see fig. 6), they also exhibit motility, directed by the earth's geomagnetic field to swim either up or down in water, presumably to reach regions where oxygen levels are optimal., however, the magnetosomes' ability to interact with magnetic fields and their miniscule size makes them nanoparticles with many potential applications.

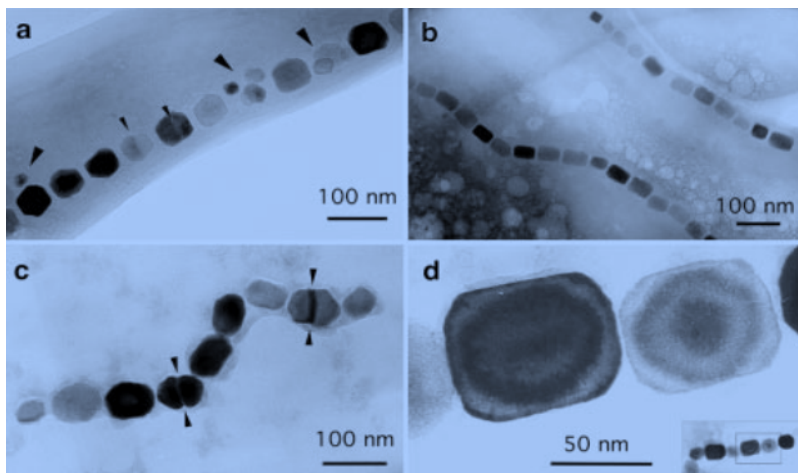


Fig. 6. TEM micrographs of chains of magnetosomes, showing various morphologies: a) cubic twinned crystals (small arrows), and clusters of small crystals (large arrows) magnetotacticum; b) rectangular crystals in strain; c) elongated crystals, characteristic of twinning (arrowed); d) rectangular crystals with thickness fringes in strain [8]

Р и с. 6. Микрофотографии цепей магнитосом, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), показывают различную морфологию: а) кубические спаренные кристаллы (маленькие стрелки), и кластеры мелких кристаллов (большие стрелки) бактерий *M. magnetotacticum*; б) прямоугольные кристаллы; в) вытянутая форма кристаллов, характерная для спаренных кристаллов (показаны стрелками); д) прямоугольные кристаллы со слоем окантовки [8]

Results

Magnetism is the phenomenon by which some materials attract or repel other materials from a distance. Examples of such materials include iron, lodestone and some steels. Magnetic forces are generated by moving charged particles, leading to magnetic fields. If a material is placed in an external magnetic field, the atoms in this material possess an atomic moment which responds to this external field (see fig. 7). Magnetic materials also possess magnetic dipoles. These dipoles can be considered to be small bar magnets with north and south poles. The magnetic dipole moment can respond to the external magnetic field.

The external magnetic field strength is denoted by H (units A/m), the magnetic induction in the material is denoted by B (units tesla) and the magnetization by M (units A/m). B , H and M are related by:

$$B = \mu_0 (H + M), \quad (2)$$

where μ_0 is the permeability of free space (its magnitude is 1.257×10^{-6} H/m) and M is the magnetic moment m per unit volume of the material. The value of M depends on the type of material and the temperature and can be related to the field H through the volumetric magnetic susceptibility χ by the relation:

$$M = \chi H. \quad (3)$$

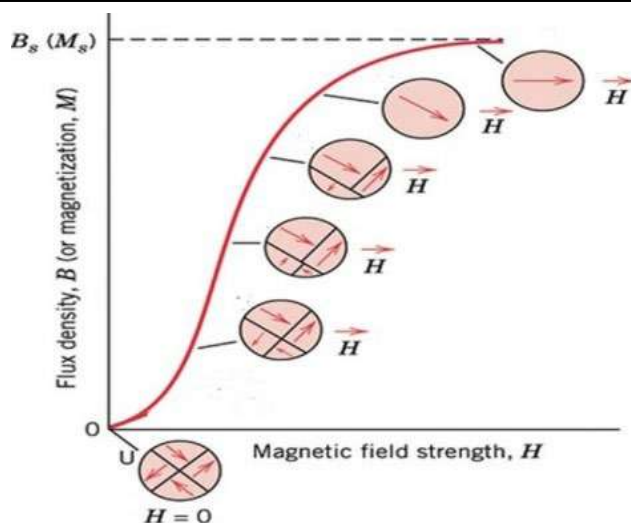


Fig. 7. The B-versus-H behavior for a ferromagnetic material that was initially unmagnetized [9]

Р и с. 7. Соотношение между плотностью потока (B) и силой магнитного поля (H) для ферромагнитного материала, который не был первоначально намагничен [9]

The magnetic response results in materials being classified as either diamagnetic (repelled weakly from a magnetic field, as is water and almost any fatty substance). Paramagnetic (weakly at-

tracted to a magnetic field, as is deoxyhemoglobin in blood cells fig. 8). Shows the magnetic dipoles configuration for a diamagnetic and paramagnetic material with and without a magnetic field.

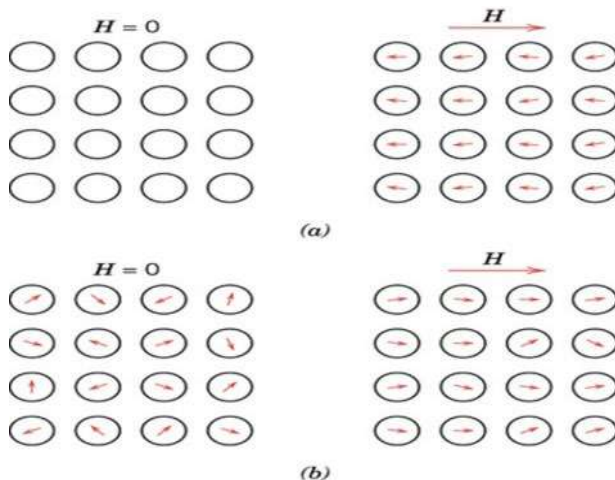


Fig. 8. a) The magnetic dipole configuration for a diamagnetic material with and without a magnetic field. In the absence of an external field, no dipoles exist; in the presence of a field, dipoles are induced that are aligned opposite to the field direction; b) magnetic dipole configuration with and without an external magnetic field for a paramagnetic material [9]

Р и с. 8. а) Магнитная конфигурация диполя для диамагнитного материала при наложении и без наложения магнитного поля. При отсутствии внешнего поля не диполя существует; при наложении поля диполи индуцируются и выравниваются противоположно направлению поля; б) магнитная конфигурация диполя при наличии и отсутствии внешнего магнитного поля для парамагнитного материала [9]



Ferromagnetic (interact very strongly with the magnetic field) (see fig. 9.).

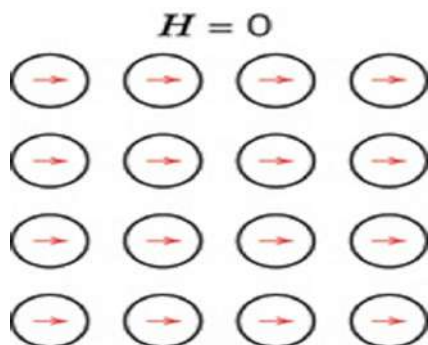


Fig. 9. Schematic illustration of the mutual alignment of magnetic dipoles for a ferromagnetic material, which will exist even in the absence of an external magnetic field [9]

Р и с. 9. Схематическая иллюстрация взаимного расположения магнитных диполей для ферромагнитного материала, который будет существовать даже при отсутствии внешнего магнитного поля [9]

Antiferromagnetism and ferrimagnetism fall within the broad category of ferromagnetism. Some materials, including the magnetic biomaterial magnetite (Fe_3O_4), exhibit ferrimagnetic behavior. In the case of Fe_3O_4 , Fe ions exist in both the +2 and +3 valence states. The magnetic moments of the two types of Fe ions differ; in this case, there is a net magnetic moment because for the solid as a whole the spin moments are not completely cancelled.

The Earth can be considered as a large magnet surrounded by a magnetic field. It is thought that the Earth's magnetic field is caused by convection flows (vertical movement caused by the temperature differences in the inner and outer layer) in the liquid crust. The outer core is the area between the inner core and the mantle, which is 1 260 km thick and is made of iron and nickel. While the temperature in the outer parts of the outer mantle is 4 400 °C, the temperature goes up to 6 100 °C in the parts close to the inner core. The regular displace-

ment of the atoms in a sufficient power causes the forming of magnetic fields and this causes a permanent magnetism around the Earth. It is also thought that the eddy flows in liquid iron and nickel affects the Earth's magnetic field. However, there is an 11° difference between the Earth's rotation axis and the dipole magnet's rotation. The Earth's magnetic field is about 5×10^{-5} T.

The Earth's magnetic field is like a dipole magnet that has north and south poles (see fig. 10.). The earth is pictured as a large magnet, a dipole with the positive pole at the south pole and a negative pole at the north pole. Field lines from outside the earth connecting from the south (+) pole to the north (-) pole. In the northern hemisphere, the field lines are oriented downward into the earth, and vice-versa in the southern hemisphere.

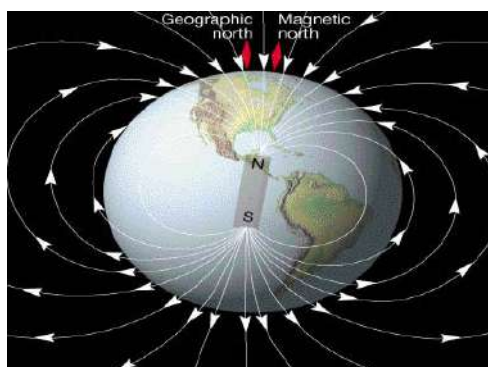


Fig. 10. Magnetic field lines of a bar magnet.

An ideal shape for the magnetic field close to the surface of Earth planet, as produced inside this body by fluid motions

Р и с. 10. Магнитные силовые линии магнитного стержня. Идеальная форма магнитного поля Земли, образованная токами в жидком металлическом ядре планеты

Like most other free-swimming bacteria, magnetotactic bacteria propel themselves through the water by rotating their helical flagella. Because of their magnetosomes, magnetotactic bacteria are passively oriented and actively migrate along the local magnetic field B , which in natural

environments is the geomagnetic field. The original model for the function of magnetotaxis was based on the assumption that all magnetotactic bacteria are micro-aerophilic and indigenous in sediments.

The geomagnetic field is inclined downward from horizontal in the Northern Hemisphere and upward in the Southern hemisphere, with the inclination magnitude increasing from the equator to the poles. NS Cells which swim northward in the Northern hemisphere and SS cells which swim southward in the Southern hemisphere would migrate downward towards the sediments along the inclined geomagnetic field lines. Thus magnetotaxis helps to guide cells in each hemisphere downward to less oxygenated regions of aquatic habitats. Once cells have reached their preferred microhabitat they would presumably stop swimming and adhere to sediment particles until conditions changed, as for example, when additional oxygen was introduced, or when disturbance of the sediments caused them to be displaced into the water column.

This theory is supported by the predominant occurrence of North-seeking (NS) magnetotactic bacteria in the Northern hemisphere and South-seeking (SS) magnetotactic bacteria in the Southern hemisphere, as determined by the magnetotaxis assay under oxic conditions. Due to the negative and positive sign of the geomagnetic field inclination in the Northern and Southern hemispheres, respectively, magnetotactic bacteria in both hemispheres therefore swim downward toward the sediments under oxic conditions [10].

It is a known fact how the magnetic field of the Earth is very important for life on Earth. Relation between living systems and the earth magnetic field has been investigated for many years. The Earth's magnetic field is still accepted to be the main factor for birds and other flying living beings to complete their travels correctly. The changes in migration routes, which are observed from time to time, are sometimes said to be due to the changes

in the Earth's magnetic field. However, the Earth's magnetic field has not been sufficiently studied, and its role on small living models such as bacteria has not been adequately discussed.

One of the best examples in this field is the relation between the Earth's magnetic field and magnetotactic bacteria which were discovered by Salvatore Bellini in 1963. Most materials found in organisms are generally thought of as being nonmagnetic, either diamagnetic or paramagnetic. For materials of these types, the direct physical influence of the earth's magnetic field is extraordinarily weak with the energy of magnetic interaction being many orders of magnitude below that of the background thermal energy, kT (where k is the Boltzmann constant and T the absolute temperature) [11].

However, another category of materials, termed ferromagnetic, interact very strongly with the earth's magnetic field. Unlike diamagnetic and paramagnetic substances, quantum-mechanical interactions acting on unpaired electrons within ferromagnetic materials force the electron magnetic moments (Bohr magnetons) to form long-range alignments. The magnetic moment from each Bohr magneton within such a crystal is added vectorially, and in some materials a crystal of only a few tens of nanometers in size will have magnetic interaction energies with the 50 microtesla (μT) geomagnetic field in excess of the background thermal energy.

Motion of this material in response to external magnetic fields can in principle account for a variety of magnetic effects at the cellular level, such as the magnetic alignment of magnetotactic bacteria and algae. Under some conditions the induced motions of magnetosomes can be large enough to open mechanically sensitive transmembrane ion channels, which in turn have the potential to influence a wide range of cellular processes.

At present, 12 iron minerals have been identified in organisms although only two of these (Fe_3O_4 , Fe_3S_4) have been found



so far as biochemical precipitates in vertebrates. Of these materials, magnetite has a variety of ferromagnetism termed ferri-magnetism. These properties make magnetite interact over 10^6 times more strongly with external magnetic fields than does any other biological material. Magnetite is the first novel material to be discovered as a biochemical precipitate in human tissues through the medical science and everything else in human bones and soft tissue is either diamagnetic or paramagnetic. Magnetite is also the only known metallic compound to be made by living organisms and has the highest electrical conductivity of any cellular material. Although the total amount of magnetite in an adult human is small (a few hundred micrograms), there are several million crystals per gram, each of which interact rather strongly with external magnetic fields. Because magnetite is the only known biogenic mineral in higher organisms which is ferromagnetic at room temperature, it is important for human health to know what is the biological function of this material in human tissues and how it forms [7].

Many of the effects reported in biomagnetic experiments suggest that the magnetic field acts somehow to alter the electrical properties of biological membranes. In order to understand this interaction, it would be worth viewing Maxwell-Boltzmann distribution. Maxwell-Boltzmann distribution states that the probability $f(E)$ that a particle will have energy E is given by:

$$f(\Delta E) = A \exp(-\Delta E/kT), \quad (4)$$

where A is normalization constant. e the probability for occupying a given energy state decreases exponentially with energy. K is Boltzmann's constant times the absolute temperature T . the application of this term is that for a higher temperature, it is more probable that a given particle can be found with energy ΔE .

One of several possible mechanisms for producing dramatic biological effects from

mechanical motions within a cell is the opening and closing of mechanically sensitive trans-membrane ion channels. These structures operate essentially at the kT limit, and external input of mechanical energy of ΔE will change the probability of a channel being open or closed by a Boltzmann factor of $\exp(-\Delta E/kT)$. If coupled perfectly, a magnetosome with a magnetic thermal energy ratio of 10 in the geomagnetic field could act to change the probability of a gate being closed by a factor of $\exp(-10)$ (e.g., the probability at any time of the gate being closed could shift from a value near 0.99999 to a value of 0.00005).

On the other hand, acquired knowledge have indicated that magnetosomes are unequivocally responsible for the magnetotactic response of microorganisms. Mutants of magnetotactic bacteria have been obtained which do not synthesize magnetosomes. These are fully motile but not magnetotactic. With both bacteria and algae, the arrangement and volume of magnetite present within each cell is more than enough to align it passively in the Earth's field of $5 \times 10^{-5} T$. The ratio of magnetic to thermal energy ($-\mu B/kT$) is greater than 10 for the bacteria and greater than 100 for the algae. Thus, each cell's magnetic moment easily overrides the effect of Brownian motion caused by thermal agitation which tends to randomize cell orientation.

There are two basic types of motions that external magnetic fields might produce on an intracellular magnetosome: a translational force on the particle produced by gradients in the field, and a rotational torque generated as a particle tries to line up like a compass with the applied field. The translational force for a sub-micron magnetite particle is well below thermal noise in virtually all situations encountered by human; Moreover, the ability to re-magnetize the cells by means of a brief, monophasic magnetic pulse of several hundred teslas and thereby instantaneously reverse their swimming direction without cell turning provided unequivocal proof that the magnetotactic

behavior of these organisms is due to ferromagnetism [7].

Discussion and Conclusions

Magnetism and magnetic materials have been used for many decades in many modern medical applications. Several new applications are being developed in part because of the availability of superior electromagnets, superconducting magnets and permanent magnet. Magnetic materials can be applied to cell separation, immunoassay, magnetic resonance imaging (MRI), drug and gene delivery, minimally invasive surgery, radionuclide therapy, hyperthermia and artificial muscle applications.

Current research areas in medicine to which magnetic biomaterials can be applied include molecular and cell biology, cardiology, neurosurgery, oncology and radiology. The physical properties which make magnetic materials attractive for biomedical applications are: (1) they can be manipulated by an external magnetic field. This feature is useful for separation, immunoassay and drug targeting, and (2) hysteresis and other losses occur in alternating magnetic fields. This is useful in hyperthermia applications.

Nanoparticles made from magnetic materials are referred to as "magnetic nanoparticles". These particles can be moved by applying magnetic fields, which allows them to be controlled inside the body. Magnetic nanoparticles suspended in solution are called "ferrofluids" and have many applications in medicine, acoustics, and electronics. There are two ways that magnetotactic bacteria might be useful. One approach takes advantage of the cells' abilities to align to a magnetic field. A second approach would be to extract the magnetosomes from the bacteria to use as small, uniformly sized magnets in devices that require such nanoscale particles. In the human body, there is a constant movement of ions within and outside the cells as well as across cellular membranes. This electrical activity is responsible for magnetic fields, called biomagnetic fields. In order to study and use

these magnetosomes, scientists must be able to grow these magnetosome containing bacteria in a reliable fashion.

In biology, there has been much interest in the possible use by bees and pigeons of magnetic materials as biological compasses for navigation. Some magnetotactic bacteria are known to respond to a magnetic field, they contain chains of small magnetite particles and they can navigate to the surface or bottom of the pools that they live in using these particles. These particles can be obtained by disruption of the cell wall followed by magnetic separation; the presence of the lipid layer makes these particles biocompatible and they can be readily functionalized for a variety of biomedical applications. The benefit of using biologically-derived nanomagnets made of iron oxides, like magnetosomes, is that they can be taken up by the body with minimal toxic side effects.

One consideration for these magnetic nanoparticles is in cancer treatments. In one type of treatment, magnetic particles are used to generate heat and kill cancerous cells in a technique known as magnetic hyperthermia. Magnetic particles can either be injected locally into the cancerous tissue or by using antibodies tagged with these magnetic particles that attach to cancerous tissues. Then, the magnets can be turned in a magnetic field to generate heat, effectively destroying the cancerous cells. Currently, clinical and research studies are being performed using magnetosomes of different sizes and shapes to determine the most optimal particles that will efficiently conduct magnetic hyperthermia. This research takes advantage of the wide range of shapes and sizes of magnetosomes produced in magnetic bacteria.

Another medical application of magnetosomes is to use them for drug delivery, which is the transportation of drug molecules to specific regions of the body. The advantage of using magnetosomes for drug delivery in the body, rather than other methods, is the ability to control and direct their path to



wards particular tissues that require treatment through a magnetic field treatment and minimize the impact of chemotherapy drugs on surrounding cells. The same technique could be used to carry anti-inflammatory, anti-bacterial, or blood clotting drugs to localized regions. Another valuable application would be the use of magnetosomes as contrast agents in magnetic resonance imaging (MRI).

In industry, industrial production requires the use of toxic or heavy metals, which are often difficult to handle. Since magnetotactic bacteria can be easily manipulated by the turn of a magnet, the entire cells themselves would be useful as microscopic “shovels” or “carpets” with which to move layers of substances. For example, when bacteria are grown in media, or food sources, containing certain metals and minerals, the metals are taken up by the bacteria. In this way, certain metals can be accumulated in the bacteria. Then the bacteria can be drawn away from the remaining mixture by applying a magnetic field. This technique would effectively remove chemicals from a mixture. In addition, bacteria can be attached to larger particles that need to be separated or isolated but cannot be taken up inside the bacteria. This technique of fixing bacteria to these particles could be useful for removing the particles, as one could then direct the bacteria and their attached cargo to swim in a certain direction along a magnetic field to a separate area [4; 12–13].

This review article about Magnetic Bacteria is a collection of many research papers from different institutes. The emerging important points about this review lie in: (1) any biological system is capable of producing magnetic biomaterials such as magnetite (Fe_3O_4) and greigite (Fe_3S_4). These intracellular nano-crystals are termed magnetosome. Owing to the numerous proteins that are present in the magnetosome membrane and the lack of information about their function, it is expected to see many studies focused on the characterization of these proteins, as well as site-directed mutagenesis studies to determine the role of these proteins in magnetite synthesis. (2) the navigation of these nano-crystals in the biological system is interconnected with the Earth's magnetic field.

In addition, researchers involved in the study of magnetotactic bacteria have shown that magnetotactic bacteria do respond to a magnetic field. This makes them attractive for biomedical and industrial applications because of the availability of superior electromagnets, superconducting magnets and permanent magnet. Magnetic bacteria can also be used as a diagnostic tool in the detection of imperfections even at the Nanoscale. Although the importance of this issue is still limitedly used in medical area, more performance is necessary to explore the world of these bacteria that are candidate for new industry and new therapy strategies in the medical field.

REFERENCES

1. Low E. Magnetic bacteria: A future in industry and medicine. Berkeley Scientific Journal. 2011; 14(2). Available from: <http://escholarship.org/uc/item/1n3575xm>
2. Naresh M, Das S, Mishra P, Mittal A. The chemical formula of a magnetotactic bacterium. Biotechnology and Bioengineering. 2012; 5(109):1205. Available from: http://web.iitd.ac.in/~amittal/2012_Narsh_etal_Biotechnol_Bioeng.pdf
3. Blakemore R. Magnetic bacteria. Science: New Series. 1975; 190(4212):377-379. Available from: <http://www.calpoly.edu/~rfrankel/RPBScience75.pdf>
4. Blaney L. Magnetite (Fe_3O_4): Properties, synthesis, and applications. Lehigh review. 2007; 5(15):33-81. Available from: <http://preserve.lehigh.edu/cas-lehighreview-vol-15/5>
5. Bazyliński DA, Frankel RB. Magnetosome formation in prokaryotes. Nature reviews. Microbiology. 2004; 2:217-230. Available from: <http://www.calpoly.edu/~rfrankel/NatRevMicro.pdf>

6. Bazyliniski DA. Small magnetism, big attraction: the magnetotactic bacteria. Available from: http://www.irm.umn.edu/SantaFe9/Bazyliniski_SF9.pdf
7. Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Diaz-Ricci JC, Kirschvink JS. Magnetite in human tissues: a mechanism for the biological effects of weak ELF magnetic fields. Bioelectromagnetics Supplement. 1992; 1:101-113. Available from: <http://web.gps.caltech.edu/~jkirschvink/pdfs/KirschvinkBEMS92.pdf>
8. Devouard B, Pósfai M, Hua X, Bazyliniski DA, Frankel RB, Buseck PR. Magnetite from magnetotactic bacteria: Size distributions and twinning. American Mineralogist. 1998; 83(11-12, part 2):1387-1398. Available from: http://minsocam.org/MSA/ammin/toc/Articles_Free/1998/Devouard_p1387-1398_98.pdf
9. Magnetism. California State University, Northridge, Magnetism MSE 630. 2008. Available from: <http://www.freeppt.website/free-ppt/magnetism-ppt.html#>
10. Bazyliniski DA, Frankel RB. Magnetotaxis in bacteria. Available from: <http://www.calpoly.edu/~rfrankel/magbac101.html>
11. Dasdag S, Bektas H. Magnetotactic bacteria and their application in medicine. J. Phys. Chem. Biophys. 2014; 2(4): doi:10.4172/2161-0398.1000141
12. Siores E, Lamb AS, Swallow LM. Bacterial magnetic particles for potential applications in nanoscale NDT&E. 4th International Conference on NDT, Hellenic Society for NDT. Chania, Crete, Greece. 2007. Available from: <http://www.ndt.net/article/hsndt2007/files/Siores.pdf>
13. Blakemore RP, Blakemore NA, Frankel RB. Bacterial biomagnetism and geomagnetic field detection by organisms. Available from: http://andrewamarino.com/PDFs/MB/MB_Ch02.pdf
14. Bolender R. Magnetosirillum magneticum genes MamB and MamM and a possible agent for bioremediation. Available from: http://digitalcommons.colby.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/clas/article/1813/type/native/&path_info=

Submitted 27.11.2016; revised 26.01.2017; published online 31.03.2017

About the author:

Sara Rajab Eljmali, BSc. Student of Department of Physics of Faculty of Science, University of Benghazi (Benghazi, Libya), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Salma Abraham Alshikhi, BSc. Student of Department of Physics of Faculty of Science, University of Benghazi (Benghazi, Libya), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Naeima Mohamed Abed Alkreem, BSc. Student of Department of Physics of Faculty of Science, University of Benghazi (Benghazi, Libya), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Samir Ahmed Hamouda, Professor of Department of Physics of Faculty of Science, University of Benghazi (Benghazi, Libya), Ph.D. (Physics), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9958-0257>, dr_s_hamouda@yahoo.ie

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила 27.11.2016; принята к публикации 26.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Сара Раджаб Эльджмали, бакалавр кафедры физики факультета науки Университета Бенгази (г. Бенгази, Ливия), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Сальма Абрахам Альшихи, бакалавр кафедры физики факультета науки Университета Бенгази (г. Бенгази, Ливия), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Наема Мохамед Абед Алькрем, бакалавр кафедры физики факультета науки Университета Бенгази (г. Бенгази, Ливия), dr_s_hamouda@yahoo.ie

Самир Ахмед Хамуда, профессор кафедры физики факультета науки Университета Бенгази (г. Бенгази, Ливия), кандидат физических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9958-0257>, dr_s_hamouda@yahoo.ie

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



МОНИТОРИНГ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВИЧ-ИНФЕКЦИЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ (ПО ДАННЫМ 2015 г.)

Д. С. Блинов¹, М. Г. Ласеева^{1,2}, Н. Н. Чернова^{1*},

О. П. Балыкова¹, Л. И. Китаева¹, О. М. Тумутолова^{1,3}

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

²ГБУЗ РМ «Мордовский республиканский центр профилактики
и борьбы со СПИД» (г. Саранск, Россия)

³ГБУЗ РМ «Родильный дом» (г. Саранск, Россия)

*chernovanatascha@yandex.ru

Введение. ВИЧ-инфекция является медленно прогрессирующим вирусным заболеванием иммунной системы, которое приводит к ослаблению иммунной защиты от опухолей и инфекций. Это одна из важнейших инфекционных патологий человека, отличающаяся пандемическим распространением и приводящая к значительным социально-экономическим потерям. К сожалению, темпы развития эпидемии ВИЧ/СПИД в Российской Федерации являются самыми стремительными в мире.

Материалы и методы. В данной работе представлены показатели заболеваемости и смертности населения Республики Мордовия за 2015 г., обусловленных ВИЧ-инфекцией; определены возрастная, половая и социальная структуры заболеваемости.

Результаты исследования. Эпидемическая ситуация по ВИЧ-инфекции в Республике Мордовия имеет тенденцию к ухудшению. До настоящего времени сохраняется высокий уровень заболеваемости; увеличивается общее количество смертей ВИЧ-инфицированных. Наблюдается высокий уровень инфицированных в возрастных категориях 21–30 лет и 31–40 лет, т. е. у лиц трудоспособного возраста. Несмотря на это, РМ имеет статус относительно благополучного региона ПФО и продолжает оставаться в числе территорий РФ с низким уровнем распространения ВИЧ-инфекции.

Обсуждение и заключения. Увеличение случаев заражения и показателей заболеваемости могут свидетельствовать о втором пике заболеваемости ВИЧ-инфекцией на территории РМ.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, заболеваемость, смертность ВИЧ-инфицированных, структура заболеваемости, эпидемическая ситуация по ВИЧ-инфекции

Для цитирования: Мониторинг заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Республике Мордовия (по данным 2015 г.) / Д. С. Блинов [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 123–130. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.123-130

MONITORING OF HIV-INFECTION IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA (UPDATED 2015)

**D. S. Blinov¹, M. G. Laseyeva^{1,2}, N. N. Chernova^{1*},
O. P. Balykova¹, L. I. Kitayeva¹, O. M. Tumutolova^{1,3}**

¹*National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)*

²*Center for Prevention and Control of AIDS of the Republic of Mordovia (Saransk, Russia)*

³*State Maternity Hospital of the Republic of Mordovia (Saransk, Russia)*

**chernovanatascha@yandex.ru*

Introduction. HIV-infection is a slowly progressing viral disease of the immune system with a trend to a weakening of the immune defence against infections and tumours. This is one of the most important infectious pathologies with pandemic spread and result in significant social and economic losses. The pace of the HIV/AIDS epidemic in Russia is the most rapid in the world.

Materials and Methods. The indexes of morbidity and mortality of the population of Republic of Mordovia in 2015 as a result of HIV-infection are represented in the paper. The age, sex and social distribution of morbidity are determined.

Results. The epidemiological situation of HIV-infection in the Republic of Mordovia tends to deteriorate. A high level of morbidity remains; the total number of deaths and the number of HIV-infected patients increases. There is a high level of infection in the age groups of 21-30 years old and 31-40 years old, that is of people of working age. In spite of this situation, Mordovia has a relatively favorable status of HIV-infection in the Volga Federal District and continues to be among the territories of the Russian Federation with a low prevalence of HIV-infection.

Discussion and Conclusions. The growing number of new cases of infection and increasing morbidity may be an indication of a second "peak" of HIV-infection in Republic of Mordovia.

Keywords: HIV-infection, morbidity, mortality of HIV-infected patients, morbidity structure, epidemic situation of HIV-infection

For citation: Blinov DS, Laseyeva MG, Chernova NN, Balykova OP, Kitayeva LI, Tumutolova OM. Monitoring of HIV-infection in the Republic of Mordovia (Updated 2015). *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):123-130. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.123-130

Введение

ВИЧ-инфекция является медленно прогрессирующим вирусным заболеванием иммунной системы, которое приводит к ослаблению иммунной защиты человека от опухолей и инфекций. Стадия, при которой у человека появляются вторичные инфекционные или опухолевые заболевания, связанные со снижением иммунитета, называется синдромом приобретенного иммунодефицита (СПИД) [1–2].

ВИЧ-инфекция является одной из важнейших инфекционных патологий

человека, отличающаяся пандемическим распространением и приводящей к значительным социально-экономическим потерям. Изучение особенностей эпидемического процесса, его качественных и количественных характеристик является одной из главных задач по профилактике и борьбе со СПИД [3].

Обзор литературы

К сожалению, в РФ темпы развития эпидемии ВИЧ/СПИД являются самыми быстрыми. Изначально случаи заражения фиксировались преимущественно у лиц, потребляющих



инъекционные наркотики (ПИН), в настоящее время эпидемия начинает охватывать и другие категории граждан, в том числе социально благополучные. В частности, участились случаи передачи вируса при гетеросексуальных контактах. При этом группу риска составляет молодежь в возрасте 15–25 лет, а также молодые женщины, подавляющее большинство которых «заражаются ВИЧ-инфекцией в результате незащищенного полового контакта» [4–5].

Таким образом, эпидемическая ситуация стремительно ухудшается. Эпидемия продолжает превалировать в наиболее уязвимых группах населения, а именно среди ПИН. Ощутимый подъем заболеваемости в других группах населения связан, в первую очередь, с ростом участвовавших случаев передачи вируса половым путем, преимущественно при гетеросексуальных контактах. За короткий период времени данный показатель увеличился более чем в 2 раза. Несмотря на то, что до 80 % новых случаев ВИЧ-инфицирования в РФ диагностируются у молодых людей (15–29 лет), не перестает расти доля инфицированных людей старшего возраста (> 40 лет). Кроме того, наблюдается увеличение общего количества смертей ВИЧ-инфицированных. Эпидемия увеличила охват и из уязвимых групп населения стала выходить в общую популяцию [6–7].

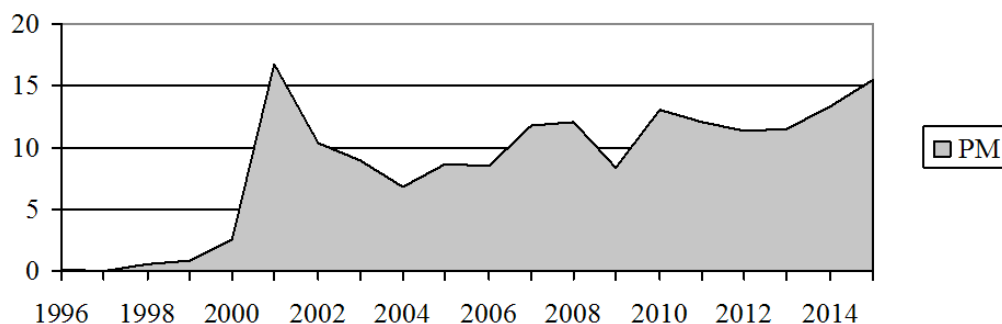
По данным статистики за 2014–2015 гг., РМ относится к тем территориям РФ, где зафиксирован низкий уровень распространения ВИЧ-инфекции. Среди 14-и территорий ПФО РМ занимает 12-е место по показателям инцидентности и prevalence [7–8].

Материалы и методы

При изучении показателей заболеваемости и смертности населения РМ за 2015 г., обусловленных ВИЧ-инфекцией, а также определении их возрастной, половой и социальной структур, были использованы данные официального годового отчета об эпидемиологической обстановке по ВИЧ-инфекции в РМ в 2015 г. Статистический анализ данных выполнялся с помощью пакета программ Excel, Statistica 8.0., SPSS11.5.

Результаты исследования

На территории РМ ВИЧ-инфекция впервые была выявлена в 1996 г. (среди иногородних). Среди местного населения случаи ВИЧ-инфицирования были зафиксированы только в 1998 г. Показатели заболеваемости ВИЧ в первые 5 лет наблюдений были наиболее низкими и имели спорадический характер. Началом эпидемии ВИЧ-инфекции в РМ считается 2001 г., когда был зафиксирован первый и самый высокий пик заболеваемости (16,7 на 100 тыс. населения) – выявлено 153 случая болезни; при этом доля местного населения составила 85,6 % (рис. 1) [9].



Р и с. 1. Уровень заражения ВИЧ-инфекцией в РМ за 20 лет (на 100 тыс. населения)

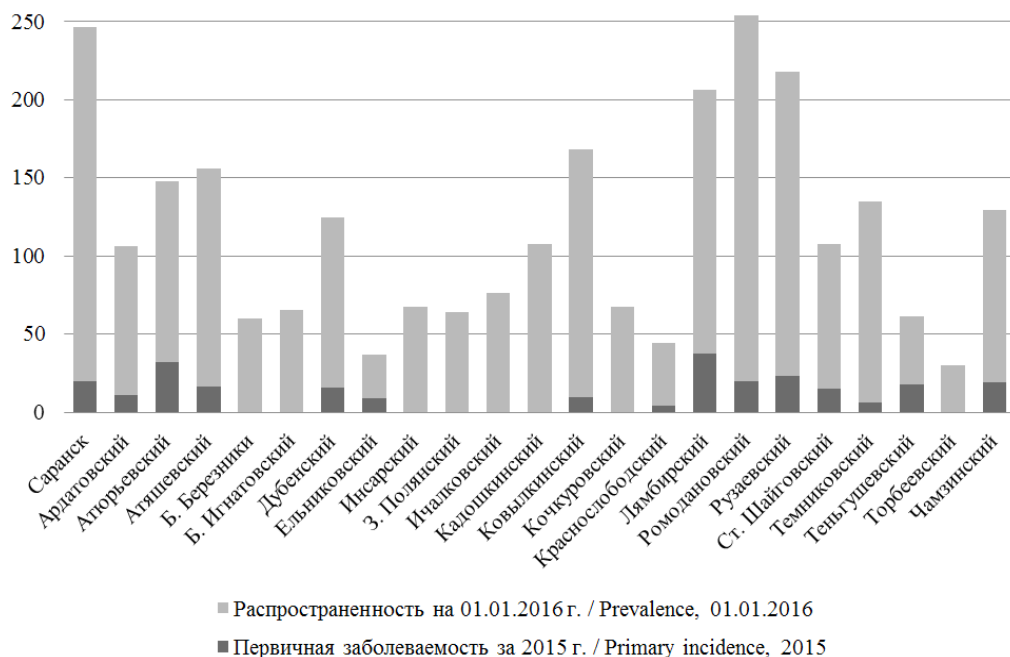
F i g. 1. The level of HIV-infection in the Republic of Mordovia during 20 years (per 100 thousand of population)

Второй пик заболеваемости ВИЧ в РМ был отмечен в 2015 г. (15,5 на 100 тыс. населения): впервые было выявлено 149 случаев заражения; доля местных жителей составила 84,6 % (126 чел.). По сравнению с 2014 г. количество заболевших увеличилось на

26,2 % в общем и на 22,3 % среди жителей РМ.

По состоянию на 01.01.2016 г. было зарегистрировано 1 512 ВИЧ-инфицированных, из которых 1 463 чел. – жители РМ. Данные о распределении заболеваемости представлены на рис. 2.

300



Р и с. 2. Показатели первичной заболеваемости и распространенности ВИЧ-инфекции в районах РМ (на 100 тыс. населения)

F i g. 2. Indicators of primary incidence and prevalence of HIV-infection in Republic of Mordovia areas (per 100 thousand of population)

Как видно из рис. 2, наибольший показатель распространенности заболевания на 100 тыс. населения был зарегистрирован в Ромодановском р-не (234,2 случая), наименьший – в Ельниковском (27,7); средний показатель по РМ составил 186,2 случая.

В 2015 г. сохранился высокий уровень инфицированных в возрастной категории от 21 до 30 лет – 33,6 % (2014 г. – 38,9 %, 2013 г. – 34,7 %, 2012 г. – 51,1 %); наблюдалось увеличение доли инфицированных и в возрастной категории 31–40 лет (с 38,0 %

в 2014 г до 43 % в 2015 г.); произошел незначительный рост числа пациентов с выявленной ВИЧ-инфекцией в возрасте 41–50 лет (с 15,7 % в 2014 г. до 17,5 % в 2015 г.).

Социальная структура выявленных случаев заболевания выглядит следующим образом: 54,3 % приходится на работающее население, в т. ч. 11,4 % – находящихся на заработках в г. Москве; 38,9 % – неработающих; 0,7 % – учащихся колледжа [10–11].

В 2015 г. было зарегистрировано 34 случая смерти от ВИЧ (1 случай – по-

Медико-биологические науки



смертно), из них с диагнозом СПИД – 13 чел. Наибольшее количество смертей было зарегистрировано у пациентов в возрасте от 31 до 40 лет (таблица).

Т а б л и ц а

Table

Возрастная структура пациентов с ВИЧ-инфекцией и количество смертей

The age structure of patients with HIV-infection and the number of deaths

Возраст, лет / Age	0–14	15–17	18–20	21–30	31–40	41–50	> 51
Заболееваемость (на 100 тыс.) / Morbidity (100 thousand)	0,7	0,7	0,7	33,6	43,0	17,5	4,0
Количество случаев смерти (абс.) / Num- ber of deaths (abs.)	–	–	–	2	21	9	2

По состоянию на 01.01.2015 г. на диспансерном учете состояло 857 больных ВИЧ-инфекцией (429 – мужского пола и 428 – женского), среди которых 12 детей. Доля жителей г. Саранска в общем количестве больных составляла 48,3 %. На 01.01.2016 г. на учете стояло 942 чел. (489 – мужского пола и 453 – женского), среди которых 14 детей. Доля жителей г. Саранска – 48 %. В обоих случаях соотношение между инфицированными людьми мужского и женского пола составляет приблизительно 1:1.

В 2015 г. от ВИЧ-инфицированных матерей родилось 30 детей, при этом был зарегистрирован 1 случай отказа от ребенка. Из 453 женщин, стоящих

на диспансерном учете в Центре-СПИД, по данным на 01.01.2016 г., 10 – беременные.

Обсуждение и заключения

Рост числа новых случаев заражения и увеличение показателей заболеваемости свидетельствуют о втором скачке заболеваемости ВИЧ-инфекцией в РМ. Большинство случаев заболевания было зарегистрировано у лиц в возрасте 21–40 лет среди работающего населения. Показатели заболеваемости у мужчин и женщин находятся в равном соотношении, что вызывает тревогу в связи с высоким риском выхода эпидемии за рамки ключевых групп и ее переходом в генерализованную стадию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ВИЧ-инфекция и СПИД [Электронный ресурс]. URL: <http://medportal.ru/enc/venerology/aids> (дата обращения: 28.02.2016).
2. Сандыкбаева М. Женское лицо ВИЧ/СПИДа в Казахстане [Электронный ресурс] // Голос свободы. URL: <http://golos.kg/?p=18964> (дата обращения: 25.01.2017).
3. ВИЧ-инфекция в Приволжском Федеральном округе / Н. Н. Зайцева [и др.] // Медицинский альманах. 2010. № 3. С. 124–126. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15203091>

4. Алексеева Е. Г., Баркалова О. Г. Влияние современных информационных технологий на поведение молодежи, ассоциированное с ВИЧ // Инфекция и иммунитет. 2012. Т. 2, № 1-2. С. 409. URL: <http://elibrary.ru/download/67749307.pdf>
5. Семелёва Е. В. Healthy lifestyle of women of reproductive age // Сб. конф. НИЦ «Социосфера». 2016. № 23. С. 48–49. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25869416>
6. Динамика заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Приморском крае: состояние проблемы и прогноз / Л. Ф. Скляр [и др.] // Фундаментальные исследования. 2012. № 12-1. С. 137–141. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30780>
7. ВИЧ-инфекция : информационный бюллетень № 40 / В. В. Покровский [и др.]. М. : ФНМИЦ ПБ «СПИД», 2015. 57 с. URL: http://hivrussia.ru/files/bul_40.pdf
8. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Республике Мордовия в 2014 году : государственный доклад. Саранск, 2015. 141 с. URL: http://13.rosпотrebnadzor.ru/documents/regional/gos_doklady/145256
9. Алферина Е. Н., Терентьева Л. П. ВИЧ-инфекция в Республике Мордовия // Медицинский альманах. 2011. № 4. С. 43–46. URL: http://www.medalmanac.ru/uploads/shared/old/archive/year2011/number_17/epidemiology/2297/alferina.pdf
10. Медико-социальные аспекты формирования репродуктивного поведения молодежи / О. П. Балыкова [и др.] // Мат-лы XVII Всерос. науч.-образ. форума «Мать и дитя – 2016». М., 2016. С. 291–292. URL: http://mediexpo.ru/fileadmin/user_upload/content/pdf/thesis/thesis_md16.pdf
11. Балыкова О. П., Чернова Н. Н., Ласеева М. Г. Медико-педагогические аспекты формирования ВИЧ-отрицательного поведения // Репродуктивное здоровье детей и подростков. 2016. № 2 (67). С. 43–44. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25983501>

Поступила 13.10.2016; принята к публикации 30.01.2017; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторах:

Блинов Дмитрий Сергеевич, главный научный сотрудник Центра перспективных исследований инновационных лекарственных средств Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8385-4356>, blinov-pharm@yandex.ru

Ласеева Мария Геннадьевна, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии с курсом гигиены ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68), заведующая отделением диспансерного наблюдения и лечения ГБУЗ РМ «МРЦПБС» (430008, Россия, г. Саранск, ул. Щорса, д. 35), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3503-373X>, laseevamaria@yandex.ru

Чернова Наталья Николаевна, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии с курсом гигиены ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат педагогических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0165-4706>, chernovanatascha@yandex.ru

Балыкова Оксана Павловна, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии с курсом гигиены ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3921-4930>, balykova.oxana@yandex.ru

Китаева Людмила Ивановна, ассистент кафедры нормальной и патологической физиологии с курсом гигиены ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2509-1036>, nik-ita_kit@mail.ru

Тумутолова Оксана Михайловна, доцент кафедры акушерства и гинекологии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68), акушер-гинеколог ГБУЗ РМ «Родильный дом» (430024, Россия, г. Саранск, ул. Косарева, д. 86а), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5657-0868>, Tumutol@rambler.ru

Вклад соавторов: Д. С. Блинов: научное руководство, определение замысла и методологии статьи, критический анализ и доработка текста; М. Г. Ласеева: определение замысла и методологии



статьи, сбор литературных данных и их анализ; Н. Н. Чернова: сбор литературных данных и доказательств и их формализованный анализ, курирование данных; О. П. Балыкова: сбор литературных данных на иностранных языках и их анализ, курирование данных; Л. И. Китаева: сбор литературных данных, подготовка первоначального варианта текста статьи, компьютерная работа с текстом; О. М. Тумутолова: сбор литературных данных, подготовка первоначального варианта текста статьи, компьютерные работы с текстом.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. VICH-infektsiya i SPID [HIV-infection and AIDS]. Available from: <http://medportal.ru/enc/venerology/aids> (In Russ.).
2. Sandykbayeva M. Zhenskoye litso VICH/SPIDA v Kazakhstane [Female image of HIV/AIDS in Kazakhstan]. *Golos svobody* = Voice of Liberty. Available from: <http://golos.kg/?p=18964> (In Russ.).
3. Zaytseva NN, Yefimov YeI, Altova YeYe, Nosov NN. VICH-infektsiya v Privolzhskom Federalnom okruge [HIV-infection in Volga Federal District]. *Meditsinskiy almanakh* = Medical Almanac. 2010; 3:124-126. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15203091> (In Russ.).
4. Alekseyeva YeG, Barkalova OG. Vliyaniye sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy na povedeniye molodezhi, assotsirovannoye s VICH [Influence of modern information technologies on young people's behavior associated with HIV]. *Infektsiya i immunitet* = Infection and Immunity. 2012; 2(1-2):409. Available from: <http://elibrary.ru/download/67749307.pdf> (In Russ.).
5. Semeleva YeV. Healthy lifestyle of women of reproductive age. *Sbornik konferentsii NITs "Sotsiosfera"* = Proceedings of Sociosphere research center conference. 2016; 23:48-49. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25869416> (In Russ.).
6. Sklyar LF, Li YuA, Gerets AG, Yakovleva ND, Metalnikova IN, Matskevich MV. Dinamika zabolevaemosti VICH-infektsiy v Primorskom kraye: sostoyaniye problemy i prognoz [Dynamics of HIV-infection in the Primorye Territory: the state of the problem and the prognosis]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2012; 12-1:137-141. Available from: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30780> (In Russ.).
7. VICH-infektsiya: informatsionnyy byulleten № 40 [HIV-infection: Bulletin, no. 40]. Moscow: SPID, 2015. URL: http://hivrussia.ru/files/bul_40.pdf (In Russ.).
8. O sanitarno-epidemiologicheskoy obstanovke v Respublike Mordoviya v 2014 godu: Gosudarstvennyy doklad [On the sanitary-epidemiological situation in the RM of Mordovia in 2014: State Report]. Saransk; 2015. Available from: http://13.rosпотренадзор.ru/documents/regional/gos_doklady/145256 (In Russ.).
9. Alferina YeN, Terenteva LP. VICH-infektsiya v Respublike Mordoviya [HIV-infection in Republic of Mordovia]. *Meditsinskiy almanakh* = Medical Almanac. 2011; 4:43-46. Available from: http://www.medalmanac.ru/uploads/shared/old/archive/year2011/number_17/epidemiology/2297/alferina.pdf (In Russ.).
10. Balykova OP, Chernova NN, Laseyeva MG, Kitayeva LI. Mediko-sotsialnyye aspekty formirovaniya reproduktivnogo povedeniya molodezhi [Medical and social aspects of the formation of the reproductive behavior of young people]. In: Mat-ly XVII Vseros. nauch.-obraz. foruma "Mat i ditya – 2016" [Proceedings of 17th Mother and Child Russian scientific-educational forum, 2016 (Moscow)]. Moscow; 2016. p. 291-292. Available from: http://mediexpo.ru/fileadmin/user_upload/content/pdf/thesis/thesis_md16.pdf (In Russ.).
11. Balykova OP, Chernova NN, Laseyeva MG. Mediko-pedagogicheskiye aspekty formirovaniya VICH-otritsatelnogo povedeniya [Medical and pedagogical aspects of the formation of HIV-negative behavior]. *Reproduktivnoye zdorovye detey i podrostkov* = Reproductive health of children and adolescents. 2016; 2(67):43-44. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25983501> (In Russ.).

Submitted 13.10.2016; revised 30.01.2017; published online 31.03.2017

About the authors:

Dmitriy S. Blinov, Chief Researcher, Center for Advanced Study of Innovative Medicines, Institute of Medicine, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Medicine), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8385-4356>**, blinov-pharm@yandex.ru

Mariya G. Laseyeva, Associate Professor of Chair of Normal and Pathological Physiology with Course of Hygiene, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3503-373X>**, laseevamaria@yandex.ru

Natalya N. Chernova, Associate Professor of Chair of Normal and Pathological Physiology with Course of Hygiene, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0165-4706>**, chernovanatascha@yandex.ru

Oksana P. Balykova, Associate Professor of Chair of Normal and Pathological Physiology with Course of Hygiene, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3921-4930>**, balykova.oxana@yandex.ru

Lyudmila I. Kitayeva, Assistant of Chair of Normal and Pathological Physiology with Course of Hygiene, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2509-1036>**, nik-ita_kit@mail.ru

Oksana M. Tumutolova, Associate Professor of Chair of Obstetrics and Gynecology, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5657-0868>**, Tumutol@rambler.ru

Contribution of the co-authors: D. Blinov managed the research project, developed a theoretical framework and methods of research, critically reviewed and revised the final text of the article; M. Laseyeva developed the concept and methods of research, reviewed relevant medical literature and analyzed data; N. Chernova reviewed data from medical literature and analyzed findings in processed data; O. Balykova reviewed relevant medical literature and analyzed data; L. Kitayeva analyzed data, wrote the draft; O. Tumutolova analyzed data, participated in writing the draft.

All authors have read and approved the final manuscript.



**ПЕРВАЯ НАХОДКА *MUTINUS RAVENELII*
(BERK. & M. A. CURTIS) E. FISCH. (PHALLACEAE)
В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ**

А. В. Ивойлов

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

ivoilov.av@mail.ru

Введение. При изучении микобиоты Республики Мордовия летом 2016 г. был найден необычный по внешнему виду и запаху гриб – *Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch., 1888 (мутинус Равенеля), относящийся к грибам отдела Basidiomycota. Гриб представляет несомненный интерес для микологов-флористов и систематиков как редкий адвентивный вид, имеющий значительный, но прерывистый (дизъюнктивный) ареал. Цель исследования – дать описание найденных базидиом, координаты находок, провести их морфометрию.

Материалы и методы. При установлении систематической принадлежности гриба использовались соответствующие современные определители, атласы и электронные базы данных «Index Fungorum» и «Mycobank».

Результаты исследования. В статье приведена информация о первой находке в РМ мутинуса Равенеля, или собачьего гриба Равенеля (*M. ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch.). Изложена история описания вида, его систематическая принадлежность, этимология названия, описание плодовых тел, общее распространение на земном шаре, особенности его экологии. Приведены сведения о времени появления этого американского вида на европейском континенте и в отдельных европейских странах. Показано, что в последние годы *M. ravenelii* стал довольно часто встречаться в странах Европы, в том числе в Российской Федерации. Этому способствует как потепление климата, так и процессы глобализации (перевозка грузов – семян, растений, животных, садово-огородных субстратов, путешествия людей), увеличение площади закрытого грунта и полевых культур с использованием плодородных субстратов, мульчирование посевов и посадок овощных культур корой, опилками, соломой. В статье указаны местонахождения макромицетов, приведены их координаты и даты находок.

Обсуждение и заключения. Размеры найденных плодовых тел были типичными для вида. В связи с тем, что *M. ravenelii* считается инвазионным видом с непредсказуемой стратегией поведения, дана рекомендация о включении его в список грибов, нуждающихся в мониторинге.

Ключевые слова: микобиота России, Республика Мордовия, гриб-базидиомицет, *Mutinus ravenelii*, мутинус Равенеля, инвазионный вид, мониторинг

Для цитирования: Ивойлов А. В. Первая находка *Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. (*Phallaceae*) в Республике Мордовия // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 27, № 1. С. 131–140. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.131-140.

FIRST FINDING OF *MUTINUS RAVENELII* (BERK. & M. A. CURTIS) E. FISCH. (*PHALLACEAE*) IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

A. V. Ivoylov

Nationa Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

ivoilov.av@mail.ru

Introduction. An unusual fungus for Mordovia *Mutinus ravenelii* (Berk & M. A. Curtis) E. Fisch, 1888 related to the Basidiomycota mushrooms was found in 2016 during the research of microbiota of the Republic of Mordovia. The fungus is the subject of the interest for mycologists-florists and systematics as a rare adventive species with a significant but intermittent (disjunctive) area. The purpose of the study is to describe the basidia, to locate the findings and to make their morphometry.

Materials and Methods. The author used reference books, atlases and databases Index Fungorum and MycoBank for ascertaining the origin of the fungus.

Results. This article contains information about the first finding in the Republic of Mordovia the stinkhorn mushroom (*Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch). Then the author describes the form species definition history, its systematic identity, name etymology, fruiting bodies, general spread on the earth, especially its ecology, and the appearance of the American species in Europe. *M. ravenelii* has been often found in European countries, including Russia in recent years. This is caused by climate warming and globalization processes (cargo of seeds, plants, animals, gardening substrates, traveling) the increase of the greenhouse area and field crops with using the fertile substrates, mulching crops and planting of vegetable crops bark, sawdust, straw. The article indicates macromycetes location, gives their coordinates and finding dates.

Discussion and Conclusions. Dimensions of the founded fruiting bodies were typical for the species. *M. ravenelii* is considered to be an invasive species with unpredictable behavior strategies, so it is should be included into the list of the fungi monitored in Russia.

Keywords: mycobiota of Russia, Republic of Mordovia, basidiomycete mushroom, *Mutinus ravenelii*, invasive species, monitoring

For citation: Ivoylov AV. First finding of *Mutinus Ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. (*Phallaceae*) in the Republic of Mordovia. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 1(27):131-140. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.131-140

Введение

При изучении микобиоты Республики Мордовия летом 2016 г. был найден необычный по внешнему виду и запаху гриб – *Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch., 1888 (мутинус Равенеля), относящийся к грибам отдела Basidiomycota, подотдела Agaricomycotina, класса Agaricomycetes, подкласса Phallomycetidae Носака, Castellano & Spatafora (2006), порядка Phallales E. Fisch. (1898), семейства Phallaceae Corda (1842), рода *Mutinus* Fr. (1849). Его находка явля-

ется первым достоверным подтверждением данного вида для республики. Гриб представляет несомненный интерес для микологов (флористов и систематиков) как редкий адвентивный вид, имеющий значительный, но прерывистый (дизъюнктивный) ареал. В связи с этим нами было выполнено описание найденных базидиом и проведена их морфометрия.

Материалы и методы

При установлении систематической принадлежности гриба использовались определители [1–2], атласы [3–4]



и электронные базы данных «Index Fungorum» и «Mycobank» [5–6].

Результаты исследования

Род *Mutinus* насчитывает по разным источникам от 12 до 31 видов [5–8]. Его представители населяют в основном тропические и субтропические экосистемы [9]. Из общего количества видов два отмечены на территории Российской Федерации – это *M. caninus* (мутинус собачий) и *M. ravenelii* (мутинус Равенеля). *M. caninus* обычен для умеренной зоны северного полушария, особенно часто он встречается в южной ее части [9], *M. ravenelii*, выходец из Северной Америки, как правило, попадает реже [10]. Следует отметить, что долгое время этот вид не отличали от *M. caninus*, что отражено в определителе гастеромицетов XX в. [11]. В этом издании в диагнозе *M. caninus*, кроме типичного желтовато-белого цвета рецептакула приводится также розовая окраска, более характерная для *M. ravenelii*.

Считается, что *M. ravenelii* был завезен в Евразию из Северной Америки вместе с интродуцированными растениями. Он появился в Европе в конце XIX в. Впервые был обнаружен в 1888 г. в Англии [цит. по 12]. На европейском континенте первая находка зафиксирована в 1943 г. в г. Берлине, в коттеджном саду [13]. В Нидерландах гриб впервые зарегистрировали в 1950 г., в Норвегии – в 1954 г., в Латвии и на юге Финляндии – в 1961 г., в Литве и Эстонии – около 1980 г. [12–15]. В Польше впервые он был обнаружен в 1967 г. в г. Кракове [16], а в настоящее время в нем насчитывается более 50 местонахождений макромицета [12; 17]. На Украине первая находка *M. ravenelii* датируется 2001 г. [18]. Следует отметить, что в последние годы этот вид стал довольно часто встречаться в странах Европы [19]. Этому способствует как потепление климата [19], так и процессы глобализации (перевозка грузов – семян, растений, животных, садово-огородных субстратов и путешествия людей), увеличение площади закрытого

грунта и полевых культур с использованием плодородных субстратов, мульчирование посевов и посадок овощных культур корой, опилками, соломой [12; 20]. Кроме того, расширению ареала *M. ravenelii* способствуют особенности биологии данного вида – сапротрофность, предпочтение произрастать на нарушенных человеком территориях, распространение спор гриба с помощью насекомых и, возможно, перелетных птиц [21].

Ретроспективно установлено, что впервые *M. ravenelii* был описан в 1855 г. как *Corynites ravenelii* английским ботаником и микологом М. Дж. Беркли (M. J. Berkeley, 1803–1889) и американским ботаником и микологом М. Э. Кёртисом (M. A. Curtis, 1808–1872). Позже, в 1886 г., швейцарский миколог и фитопатолог Э. Фишер (E. Fisher, 1861–1939) переименовал его в *Ithyphallus ravenelii*, а в 1896 г. американский миколог Э. Э. Берт (E. A. Burt, 1859–1939) – в *Dictyophora ravenelii*. В настоящее время гриб имеет научное название *Mutinus ravenelii* (мутинус Равенеля). Так его называли в честь американского ботаника и миколога Г. У. Равенеля (H. W. Ravenel, 1814–1887). В популярной литературе гриб также иногда называют собачьим грибом Равенеля.

Примечательно, что научное родовое название гриба – *Mutinus* – переводится с латыни как «мужской половой член» либо «пенис» (от лат. *muto*, *mutto*). На европейских языках его наименование также тесно связано с характерными особенностями гриба – внешним видом или смердящим запахом. Например, по-английски его название звучит как crimson Stinkhorn (малиновый воноющий рожок), по-испански – Carmesí zakur-zakila (малиновый собачий пенис), по-датски – Rød stinksvamp (красный воноющий гриб), по-шведски – Stinksvampar (воноющий гриб), по-фински – Pökösienet (воноющий гриб), по-польски – Madziak malinowy (малиновый собачий пенис), по-украински – Мутин малиновий.

M. ravenelii – относительно редкий голарктический вид, является гумусным сапротрофом, встречается с июля по октябрь чаще всего в синантропных (связанных с человеком) местообитаниях: парках, теплицах, оранжереях, на огородах. Иногда его находят в лесах искусственного и естественного происхождения. Растет небольшими группами, но нередко образует более крупные скопления. Предпочитает богатые перегноем почвы. Относится к типичным термофильным видам. Распространение спор происходит при помощи насекомых, которые поедают глебу, имеющую сильный неприятный запах гниющего мяса.

M. ravenelii встречается в Северной Америке, Европе (Дания, Голландия, Германия, Латвия, Литва, Норвегия, Польша, Украина, Чехия, Эстония), Азии (Индия, Казахстан), всюду редок [14; 18; 22–28]. В РФ был отмечен в Подмосковье, Республике Карелия, Липецкой, Тульской, Ленинградской, Вологодской, Кировской, Кемеровской, Иркутской, Новосибирской, Тюменской и других обл-тях, Алтайском и Хабаровском краях, Республике Хакасия [29–37]. Его также находили в соседних с РМ Рязанской и Пензенской обл-тях [31].

Гриб включен в Красные книги Алтайского края (3), Республики Карелия (3), Кемеровской (3), Кировской (3), Липецкой (4), Новосибирской (3) и Саратовской (3) обл-тей [38–44]. На сопредельных с РМ территориях не имеет статуса охраняемых видов. Внесен в Красные списки (Red List) Германии (Бавария, Саксония-Анхальт), Дании, Украины [45–48].

Обсуждение и заключения

Mutinus ravenelii (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch., *Syloge. funorum* (Abellini) 7:13 (1888) – **Corynites ravenelii** Berk. & M. A. Curtis [as ‘ravenelli’], *Transactions of the Linnean Society of London* 21:151 (1853) [1852] – **Ithyphallus ravenelii** (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch., *Jahrbuch*

des Königlichen Botanischen Gartens und des Botanischen Museums zu Berlin 4:88 (1886) – **Dictyophora ravenelii** (Berk. & M. A. Curtis) Burt, *Botanical Gazette* 22:385 (1896).

Этикетки гербарных образцов.

1. РМ, г. Саранск, ул. Евсевьева, д. 10, приусадебный участок, на плодородной почве (грядка с луком репчатым – *Allium cepa* L. и лесной земляникой – *Fragaria vesca* L.) (N 54°09'149, E 45°09'29"). 26 VI 2016. Собр. С. В. Апарин, опр. А. В. Ивойлов.

2. РМ, ГО Саранск, участок между дачным массивом и бывшим лесопитомником «Горзеленстрой» восточнее коттеджного пос. Чистые пруды, (N 54°10'53", E 45°06'29"), на земле рядом с гниющим хворостом под черемухой обыкновенной (*Padus avium* Mill.). 29 VII 2016. Собр. В. Ф. Баранов, А. В. Ивойлов, опр. А. В. Ивойлов.

Молодые плодовые тела овальные или яйцевидные, 1–3 см в диаметре. Оболочка (перидий) белая или бледно-желтоватая, при созревании разрывается на вершине двумя-тремя лопастями и сохраняется у основания плодового тела. Рецептакул (ножка) цилиндрический, губчатый (сетчатый), полый, 6–12 см высотой и 0,5–1,0 см толщиной, заостренный на вершине, в нижней части беловато-розовый, в верхней – темно-кармино-красный (малиновый). Вершина рецептакула без шляпки, покрыта почти гладкой темно-оливковой жидкостью, быстро исчезающей, содержащей в себе споры и обладающей неприятным запахом падали (гниющего мяса). Плодовые тела сохраняются 1–2 дня [4–5; 37–38]. Вид хорошо определяется по макропризнакам благодаря малиновому (вишнево-красному) цвету верхней части рецептакула.

У найденных экземпляров (в 1-м местонахождении – около 10 шт., во 2-м – 18 шт.) размеры плодовых тел были типичными для вида (рисунк).



Р и с у н о к. Плодовые тела *Mutinus ravenelii* (фото автора)

F i g u r e. Fruit body *Mutinus ravenelii* (author's photo)

В связи с тем, что *M. ravenelii* является синантропным инвазионным видом с непредсказуемой стратегией поведения, рекомендуется включить

его в список видов, подлежащих мониторингу. Необходимы поиски новых местонахождений этого макромицета, контроль состояния его популяций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Nordic macromycetes: heterobasidioid, aphyllorphoroid and gasteroid basidiomycetes / Eds. L. Hansen, H. Knudsen. Copenhagen : Nordsvamp, 1997. Vol. 3. 445 p.
2. Pegler D. N., Læssøe T., Spooner B. M. British puffballs, earthstars and stinkhorns : An account of the British gasteroid fungi. Kew : Royal Botanic Garden, 1995. 255 p.
3. Грибы / В. Антонин [и др.] ; пер. с чеш. ; под науч. ред. В. П. Прохорова // Большая энциклопедия. М. : Ридерз Дайджест, 2012. 368 с.
4. Грибы России // Большая иллюстрированная энциклопедия. Вильнюс : Bestiary, 2012. 224 с.
5. Index Fungorum [Электронный ресурс]. URL: <http://www.indexfungorum.org>
6. MycoBank [Электронный ресурс]. URL : <http://www.mycobank.org>
7. Грибы / Под ред. М. В. Горленко // Мир растений. М. : Просвещение, 1991. Т. 2. 475 с.
8. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi / P. M. Kirk [et al.]. Tenth Edition. Wallingford : CAB International, 2008. 782 p.

9. *Mutinus albotruncatus* (Phallales, Agaricomycetes), a new phalloid from the Brazilian semiarid, and a key to the world species / B. D. B. Silva [et al.] // Phytotaxa. 2015. Vol. 236, no 3. P. 237–248.
10. **Julich W.** Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze (Aphyllphorales, Heterobasidiomycetes, Gasteromycetes) // G. Fischer, Klein Kryptogamenflora, Bd 2b/2, T. 2. Stuttgart. New York, 1984. 626 p.
11. **Сосин П. Е.** Определитель гастеромицетов СССР. Л. : Наука, 1973. 164 с.
12. **Szczepkowski A., Obidziński A.** Obce gatunki sromotnikowatych Phallaceae w lasach Polski // Studia i materiały CEPL w Rogowie. 2012. Vol. 14, no. 33/4. P. 279–295. URL: http://cepl.sggw.waw.pl/sim/pdf/sim33_pdf/sim33_Szczepkowski_Obidzinski.pdf
13. **Ulbrich E.** *Mutinus ravenelii* (Berk. & Curtis) E. Fischer, eine für Europa neue Phallaceae // Notizblatt des Botanischen Garten und Museum zu Berlin-Dahlem. 1943. Vol. XV, no. 7. P. 820–824. URL: <https://www.bgbm.org/sites/default/files/documents/3994873.pdf>
14. **Вимба Э., Ярва Л.** *Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. в Советском Союзе // Микология и фитопатология. 1981. Т. 15, вып. 5. С. 372–374.
15. **Batvik J. I. I.** Hagestanksopp *Mutinus ravenelii* i Østfold, utbredelse og økologi // Natur i Østfold. 2000. Vol. 19 (1). P. 70–76. URL: <http://nhm2.uio.no/botanisk/nbf/ofa/nio200001/10-hagestanksopp.pdf>
16. **Gumińska B.** *Mutinus ravenelii* (Berk. et Curt.) E. Fischer (Phallales, Mycota) – nowy gatunek dla flory Polsk / B. Gumińska // Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. 1985. Vol. 752, Prace Bot. 13. P. 97–103.
17. **Pliszko A.** Nowe stanowisko mądziała malinowego *Mutinus ravenelii* (Phallaceae) na Wyżynie Śląskiej / A. Pliszko // Przegląd Przyrodniczy. 2014. Vol. XXV, no. 2. P. 110–112. URL: http://www.kp.org.pl/pp/pdf2/PP_XXV_2_NOTATKA_pliszko.pdf
18. **Гелюта В. П., Висоцька О. П.** Нові знахідки видів роду *Mutinus* Fr. (Phallaceae) в Україні // Український ботанічний журнал. 2007. Т. 64, № 3. С. 454–459.
19. **Kreisel H.** Global warming and mycoflora in the Baltic Region // Acta Mycologica. 2006. Vol. 41, no. 1. P. 79–94. URL: <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-2e027d55-fe6c-4570-a167-957a2158e29b/c/kreisel.pdf>
20. **Wojewoda W., Karasiński D.** Invasive macrofungi Ascomycota and Basidiomycota in Poland / Red. Mirek Z. // Biological Invasions in Poland. 2010. Vol. 1. P. 7–21.
21. **Тан Н. Н.** A sighting of a stinkhorn fungus, Dictyophora species // Nature in Singapore. 2008. No. 1. P. 165–169.
22. **Нам Г. А.** Находка редкого гриба *Mutinus ravenelii* (Berk. et Curt.) E. Fischer в Казахстанском Алтае // Современная микология в России : мат-лы II съезда микологов России. М. : Нац. Академия микологии, 2008. Т. 2. С. 81–82.
23. **Benkert D., Yentsch H.** *Mutinus ravenelii* und *Mutinus elegans* in Brandenburg // Gleditschia. 1985. Band. 13, no. 2. P. 231–234.
24. Flora ČSR. Gasteromycetes. Houby – Břichatky / A. Pilat [et. al.]. Praha : Nakladatelství Československé Akademie, 1958. 63 p.
25. **Gumińska B., Wojewoda W.** Grzyby i ich oznaczanie. Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1988. 508 p.
26. **Knudsen H.** *Mutinus ravenelii* – en ny dansk stinksvamp // Svampe. 1986. No. 14. P. 64–65.
27. **Rudnicka-Jeziarska W.** Grzyby (Mycota): Podstawczaki (Basidiomycetes). Warszawa : Instytut Botaniki PAN, 1991. T. XXIII. 210 p. + 28 tabl.
28. **Tagade W. Y., Kawale M. V.** Diversity of Wild Macrofungi in forests of Bhandara District, (MS), India // International Journal of Life Sciences (National Conference on Biodiversity Conservation & Role of Microbes in Sustainable Environment Management). 2014. Special Issue A2. October 2014. P. 125–127.
29. **Болотская Ю. А.** Редкие виды грибов Алтайского края // Современная микология в России : тез. докл. I съезда микологов России. М. : Нац. акад. микологии, 2002. С. 103–104.
30. **Заузолкова Н. А.** Агарикоидные и гастероидные базидиомицеты лесостепных сообществ Минусинских котловин : дис. ... канд. биол. наук. Абакан, 2015. 68 с.
31. **Иванов А. И., Сашенкова С. А.** Гастеромицеты лесостепи правобережного Поволжья (видовой состав и экология) // Микология и фитопатология. 1998. Т. 32, вып. 1. С. 7–13.



32. **Казанцева М. Н.** *Mutinus ravenelii* в Тюменской области // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35, вып. 4. С. 34–35.
33. **Коваленко А. Е., Морозова О. В.** Агарикоидные и гастероидные макромицеты Ленинградской области // Биоразнообразие Ленинградской области (Водоросли. Грибы. Лишайники. Мохообразные. Беспозвоночные животные. Рыбы и рыбообразные): тр. СПб. общества естествоиспытателей. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1999. Т. 2, сер. 6. С. 89–140.
34. **Перова Н. В.** Материалы к флоре гастеромицетов Западной Сибири // Новости систематики низших растений. 1986. Т. 23. С. 150–152.
35. **Петров А. Н.** Конспект флоры макромицетов Прибайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 81 с.
36. **Ширяев А. Г.** Видовое разнообразие гастеромицетов Свердловской области // Микология и фитопатология. 2008. Т. 42, вып. 4. С. 330–341.
37. MacroClub [Электронный ресурс]. URL: http://macroclub.ru/macroid/index_class.php?id=69183
38. Красная книга Алтайского края: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений / Под науч. ред. Р. В. Камелина, А. И. Шмакова. Барнаул: Алтай, 2006. Т. 1. 262 с.
39. Красная книга Кемеровской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. 2-е изд., перераб. и доп. Кемерово: Азия принт, 2012. Т. 1. 208 с.
40. Красная книга Кировской области: Животные, растения, грибы. 2-е изд. / Под ред. О. Г. Барановой [и др.]. Киров: Киров. обл. типография, 2014. 336 с.
41. Красная книга Липецкой области: Растения, грибы, лишайники. 2-е изд., перераб. / Под ред. А. В. Щербакова. Липецк: Веда социум, 2014. 696 с.
42. Красная книга Новосибирской области. 2-е изд. Новосибирск: Арта, 2008. 528 с.
43. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
44. Красная книга Саратовской области: Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов: Изд-во Торгово-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
45. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я. П. Дідухи. Киев: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
46. Rote Liste der Großpilze des Landes Sachsen-Anhalt / U. Täglic [et al.] // Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. 2004. No. 39. P. 74–90. URL: <https://www.pilzfreunde.eu/images/Downloads/RL-Sachsen-Anhalt.pdf>
47. Karasch B. P., Hahn Ch. Rote Liste gefährdeter Großpilze Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt Oberkotzau: Medienservice Schulz, 2010. 108 p.
48. Rødliste 1997 over planter og dyr i Danmark / Red. M. Stoltze, St. Pihl. Copenhagen: Schultz Grafisk, 1998. 220 p.

Поступила 18.10.2016; принята к публикации 07.12.2016; опубликована онлайн 31.03.2017

Об авторе:

Ивойлов Александр Васильевич, профессор кафедры почвоведения, агрохимии и земледелия Аграрного института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Больше-вистская, д. 68), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5355-6251>, iwoilov.av@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Hansen L, Knudsen H. Nordic macromycetes: heterobasidioid, aphyllorphoroid and gasteroid basidiomycetes. Copenhagen: Nordsvamp; 1997. Vol. 3.
2. Pegler DN, Læssøe T, Spooner BM. British puffballs, earthstars and stinkhorns: An account of the British gasteroid fungi. Kew: Royal Botanic Garden; 1995.
- Medical and biological sciences*

3. Antonin V, Kotlaba F, Kluzak Z, Ostry V, Shkubla P, Vesely I. Griby [Fungi]. In: Bolshaya entsiklopediya [Great encyclopedia]. Moscow: Riderz Daydzhest; 2012. (In Russ.)
4. Griby Rossii [Fungi of Russia]. In: Bolshaya illyustrirovannaya entsiklopediya [Great illustrated encyclopedia]. Vilnyus: Bestiary, 2012. (In Russ.)
5. Index Fungorum. Available from: <http://www.indexfungorum.org>
6. MycoBank. Available from: <http://www.mycobank.org>
7. Gorlenko MV, editor. Griby [Fungi]. In: Mir rasteniy [World of plants]. Moscow: Prosveshcheniye Publ.; 1991. Vol. 2. (In Russ.)
8. Hawksworth DL, Kirk PM, Sutton BC, Pegler DN. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi. 10th ed. Wallingford: CAB International; 2008.
9. Silva BDB, Cabral TS, Martín MP, Marinho P, Calonge FD, Baseia IG. *Mutinus albotruncatus* (Phallales, Agaricomycetes), a new phalloid from the Brazilian semiarid, and a key to the world species. Phytotaxa. 2015; 3(236):237-248.
10. Julich W. Die Nichtblatterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze (Aphyllorphales, Heterobasidiomycetes, Gasteromycetes). In: Fischer G. Klein Kryptogamenflora. Bd 2b/2. Stuttgart, New York; 1984.
11. Sosin PYe. Opredelitel gasteromitsetov SSSR [Determinant of gasteromycetes in USSR]. Leningrad: Nauka; 1973. (In Russ.)
12. Szczepkowski A, Obidziński A. Obce gatunki sromotnikowatych Phallaceae w lasach Polski. Studia i materiały CEPL w Rogowie. 2012; 14(33/4):279-295. Available from: http://cepl.sggw.waw.pl/sim/pdf/sim33_pdf/sim33_Szczepkowski_Obidzinski.pdf
13. Ulbrich E. *Mutinus ravenelii* (Berk. & Curtis) E. Fischer, eine für Europa neue Phallaceae. Notizblatt des Botanischen Garten und Museum zu Berlin-Dahlem. 1943; 7(15):820-824. Available from: <https://www.bgbm.org/sites/default/files/documents/3994873.pdf>
14. Vimba E, Yarva L. *Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. v Sovetskom Soyuze [*Mutinus ravenelii* (Berk. & M. A. Curtis) E. Fisch. in the USSR]. Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology. 1981; 5(15):372-374. (In Russ.)
15. Batvik JII. Hagestanksopp *Mutinus ravenelii* i Østfold, utbredelse og økologi. Natur i Østfold. 2000; 19 (1):70-76. Available from: <http://nhm2.uio.no/botanisk/nbf/ofa/nio200001/10-hagestanksopp.pdf>
16. Gumińska B. *Mutinus ravenelii* (Berk. et Curt.) E. Fischer (Phallales, Mycota) – nowy gatunek dla flory Polski. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. 1985; 13(752):97-103.
17. Pliszko A. Nowe stanowisko mądziaka malinowego *Mutinus ravenelii* (Phallaceae) na Wyżynie Śląskiej. Przegląd Przyrodniczy. 2014; 2(15):110-112. Available from: http://www.kp.org.pl/pp/pdf/2_PP_XXV_2_NOTATKA_pliszko.pdf
18. Gelyuta VP, Visotska OP. Novi znakhidki vidiv rodu *Mutinus* Fr. (Phallaceae) v Ukraïni [New findings of species *Mutinus* Fr. (Phallaceae) in Ukraine]. Ukraïnskiy botanichniy zhurnal = Ukrainian Botanical Journal. 2007; 3(64):454-459. (In Ukr.)
19. Kreisel H. Global warming and mycoflora in the Baltic Region. Acta Mycologica. 2006; 1(41):79-94. Available from: <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-2e027d55-fe6c-4570-a167-957a2158e29b/c/kreisel.pdf>
20. Wojewoda W, Karasiński D. Invasive macrofungi Ascomycota and Basidiomycota in Poland. Biological Invasions in Poland. 2010; 1:7-21.
21. Tan NN. A sighting of a stinkhorn fungus, Dictyophora species. Nature in Singapore. 2008; 1:165-169.
22. Nam GA. Nakhodka redkogo griba *Mutinus ravenelii* (Berk. et Curt.) E. Fischer v Kazakhstanskoy Altai [Finding of a rare fungus *Mutinus ravenelii* (Berk. et Curt.) E. Fischer in Kazakhstan Altai]. In: Sovremennaya mikologiya v Rossii: mat-ly II syezda mikologov Rossii [Modern Mycology in Russia: Proceedings of 2nd Congress of Russian mycologists]. Moscow: National Academy of Mycology; 2008. Vol. 2. p. 81-82. (In Russ.)
23. Benkert D, Yentsch H. *Mutinus ravenelii* und *Mutinus elegans* in Brandenburg. Gleditschia. 1985; 2(13):231-234.
24. Pilat A, et al. Flora ČSR. Gasteromycetes. Houby – Břichatky. Praha: Nakladatelství Československé Akademie; 1958.



25. Gumińska B, Wojewoda W. Grzyby i ich oznaczanie. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne; 1988.
26. Knudsen H. *Mutinus ravenelii* – en ny dansk stinksvamp. Svampe. 1986; 14:64-65.
27. Rudnicka-Jeziarska W. Grzyby (Mycota): Podstawczaki (Basidiomycetes). Warszawa: Instytut Botaniki PAN; 1991. Vol. 23.
28. Tagade WY, Kawale MV. Diversity of wild macrofungi in forests of Bhandara District, (MS), India. International Journal of Life Sciences (National Conference on Biodiversity Conservation & Role of Microbes in Sustainable Environment Management). Special Issue. 2014; A2:125-127.
29. Bolotskaya YuA. Redkiye vidy gribov Altayskogo kraya [Rare species of fungi in Altayskiy Kray]. In: Sovremennaya mikologiya v Rossii: tezisy dokladov I syezda mikologov Rossii [Modern Mycology in Russia: Proceedings of 1st Congress of mycologists in Russia]. Moscow: National Academy of Mycology; 2002; 103-104. (In Russ.)
30. Zauzolkova NA. Agarikoidnyye i gasteroidnyye bazidiomitsety lesostepnykh soobshchestv Minusinskikh kotlov: dissertatsiya kandidata biologicheskikh nauk [Agarikoid and gasteroid basidiomycetes in steppe communities of Minusinsk basin: Ph.D. (Biology) thesis]. Abakan; 2015. (In Russ.)
31. Ivanov AI, Sashenkova SA. Gasteromitsety lesostepi pravoberezhnogo Povolzhya (vidovoy sostav i ekologiya) [Gasteromycetes in the right bank of the Volga steppe (species composition and ecology)]. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 1998; 1(32):7-13. (In Russ.)
32. Kazantseva MN. *Mutinus ravenelii* v Tyumenskoy oblasti [*Mutinus ravenelii* in Tyumen region]. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2001; 4(35):34-35. (In Russ.)
33. Kovalenko AYe, Morozova OV. Agarikoidnyye i gasteroidnyye makromitsety Leningradskoy oblasti [Agarikoid and gasteroid macromycetes in Leningrad region]. In: Bioraznoobrazie Leningradskoy oblasti (Vodorosli. Griby. Lishayniki. Mokhoobraznyye. Bespozvonochnyye zhivotnyye. Ryby i ryboobraznyye): Trudy Sankt-Peterburgskogo obshchestva estestvoispytateley [Biodiversity of the Leningrad region (Algae. Fungi. Lichens. Bryophytes. Invertebrates. Fish and fish-like): Proceedings of St. Petersburg Society of Naturalists]. 1999. 2(6):89-140. (In Russ.)
34. Perova NV. Materialy k flore gasteromitsetov Zapadnoy Sibiri [Materials to flora of gasteromycetes in Western Siberia]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* = News of Systematics of Lower Plants. 1986; 23:150-152. (In Russ.)
35. Petrov AN. Konspekt flory makromitsetov Pribaykalya [Abstract of macromycetes flora in Pribai-kalye]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1991. (In Russ.)
36. Shiryayev AG. Vidovoye raznoobrazie gasteromitsetov Sverdlovskoy oblasti [Species diversity of gasteromycetes in Sverdlovsk region]. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2008; 4(42):330-341. (In Russ.)
37. MacroClub. Available from: http://macroclub.ru/macroid/index_class.php?id=69183 (In Russ.)
38. Macelina RV, Shmakova AI. Krasnaya kniga Altayskogo kraya: Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy [The Red List of Altayskiy Kray: Rare and endangered species of plants]. Altay; 2006. Vol. 1. (In Russ.)
39. Krasnaya kniga Kemerovskoy oblasti: Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov [The Red List of Kemerovo Region: Rare and endangered species of plants]. 2nd ed. Kemerovo: Aziya Publ.; 2012. Vol. 1. (In Russ.)
40. Krasnaya kniga Kirovskoy oblasti: Zhivotnyye, rasteniya, griby [The Red List of Kirov Region: animals, plants, fungi]. 2nd ed. Kirov: Kirov Print; 2014. (In Russ.)
41. Krasnaya kniga Lipetskoy oblasti : Rasteniya, griby, lishayniki [The Red List of Lipetsk Region: Plants, fungi, lichens]. 2nd ed. Lipetsk: Veda Sotsium; 2014. (In Russ.)
42. Krasnaya kniga Novosibirskoy oblasti [The Red List of Novosibirsk Region]. 2nd ed. Novosibirsk: Arta; 2008. (In Russ.)
43. Krasnaya kniga Respubliki Kareliya [The Red List of Republic of Kareliya]. Petrozavodsk: Ka-reliya; 2007. (In Russ.)
44. Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Griby. Lishayniki. Rasteniya. Zhivotnyye [The Red List of Saratov Region: Fungi. Lichens. Plants. Animals]. Saratov: Chamber of Commerce and Industry Publ.; 2006. (In Russ.)



45. Didukha YaP, editor. Chervona kniga Ukraïni. Roslinniy svit [The Red List of Ukraine: Plant world]. Kiev: Globalkonsalting; 2009. (In Ukr.)
46. Täglic U. Rote Liste der Großpilze des Landes Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. 2004; 39:74-90. Available from: <https://www.pilzfreunde.eu/images/Downloads/RL-Sachsen-Anhalt.pdf>
47. Karasch BP, Hahn Ch. Rote Liste gefährdeter Großpilze Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt Oberkotzau: Medienservice Schulz, 2010.
48. Stoltze M, Pihl S, editors. Rødliste 1997 over planter og dyr i Danmark. Copenhagen: Schultz Grafisk; 1998.

Submitted 18.10.2016; revised 17.12.2016; published online 31.03.2017

About the author:

Aleksandr V. Ivoylov, Professor of Soil Science, Agrochemistry and Agriculture Chair, Institute of Argiculture, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Agriculture), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5355-6251>, ivoilov.av@mail.ru

The author have read and approved the final 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. 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 10.03.2017 г. Дата выхода в свет 31.03.2017 г.

Формат 70 × 100 1/16. Усл. печ. л. 11,70.

Тираж 250 экз. Заказ № 336. 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. 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 10.03.17. Date of publishing 31.03.17.

Sheet size $70 \times 100 \frac{1}{16}$. Conventional printed sheets 11,70.

Number of copies 250. Order no. 336. Free price.

Publishing House of Mordovia State University

24 Sovetskaya St., Saransk 430005, Republic of Mordovia