

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604 ISSN 0236-2910 (Print), 2313-0636 (Online)

Том 26, № 4. 2016

Научный журнал
Основан в январе 1990 г.
Выходит один раз в квартал



Vol. 26, no. 4. 2016

SCHOLARLY JOURNAL
Founded in January 1990
Issued quarterly

16+

**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., 430005, Saransk,
Republic of Mordovia, Russia
Phone, fax: +7 (8342) 48-14-24

© ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2016



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, kafedra507@yandex.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 – 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 – 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 численного моделирования физико-механических процессов механико-математического факультета ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», доктор физико-математических наук, профессор (Ниžний Новгород, Россия)

Калашников 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)

Калинин Ариан Павлович – член-корреспондент Российской академии медицинских наук, профессор кафедры эндокринологии ФУВ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского», доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

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

Когляров 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)
- Нищев Константин Николаевич** – директор Института физики и химии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID ID: 0000-0001-7905-3700 (Саранск, Россия)
- Прытков Юрий Николаевич** – директор Аграрного института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
- Скрябин Владимир Александрович** – профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, профессор, ORCID ID: 0000-0001-7156-9198 (Пенза, Россия)
- Чучаев Иван Иванович** – декан факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
- Ямашкин Анатолий Александрович** – заведующий кафедрой землеустройства и ландшафтного планирования ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор географических наук, профессор (Саранск, Россия)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Аллахвердиев Сурхай Рагим оглы** – профессор кафедры лесной индустрии Бартынского государственного университета, доктор биологических наук, профессор (Бартын, Турция)
- Бобрышев Юрий Веннаминович** – 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 общества 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 конопля опытной станции лубяных культур Института сельского хозяйства Северо-востока Национальной академии аграрных наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Глухов, Украина)
- Радованович Милан Милошевич** – высший научный сотрудник Географического института «Јован Свјиќ» 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 under 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, kafedra507@yandex.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** – 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** – 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 Physical and Mechanical Processes chair of Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Nizhniy 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)
- Arian P. Kalinin** – member-correspondent of Russian Academy of Medical sciences, professor of Endocrinology chair of Moscow Regional Clinical Research Institute “MONIKI”, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
- Vladimir N. Kechemaykin** – director of Ruzayevka campus of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Economy) (Saransk, Russia)
- Aleksandr V. Kotin** – head of Mechanization of Agriproduct Processing 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 (Bartın, 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)
- Gans 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)
Еремينا 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)
Аириатов 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)
Кудаев 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)
Vasily 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. Uraikov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Izhevsk, Russia)
Aleksey 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)
David 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)
Aleksey 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)
Aleksey 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 Medicobiological 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

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Хамуда С. А. Анализ данных в комптоновской гамма-спектроскопии	428
Мамедова Т. Ф., Егорова Д. К., Десяев Е. В., Хесс Р. Асимптотическое интегрирование дифференциальных уравнений типа Эмдена-Фаулера	440

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Макаркин Н. П. Экономическая оптимизация количества запасных элементов технических систем с учетом фактора надежности	448
Рыскин К. Э., Аль Аскари М. А., Федосин С. А. Реализация алгоритма Гейла-Шепли для автоматизации приема абитуриентов в высшее учебное заведение	462

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Скрябин В. А. Камерная обработка деталей типа дисков и кулачков	475
Мионов Е. Б., Лисунов Е. А., Крупин А. Е., Тарукин Е. М. Устройство для приготовления защитных составов при консервации сельскохозяйственной техники	490
Ивлиев С. Н. Исследование утечек конфиденциальной информации по акустоэлектрическому каналу	499

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Гончарова Л. Н., Антипова В. Н., Сергутова Н. П., Анисимов Д. А., Мурхаф А. Диагностика атеросклероза мезентереальных сосудов, клинически протекающего под «масками» гастропатий	505
Барванян Г. М., Власов А. П. Гастроэнтеростомия при нерезектабельных опухолях билиопанкреатодуоденальной зоны	522
Столяров М. В., Любовцева Л. А., Московский А. В., Кандейкина Н. В. Иммуногистохимическое исследование дефекта челюстной костной ткани после проведения зубосохраняющих операций	533
Кондюрова Е. В., Трофимов В. А., Дерябина Е. В., Адамчик Р. А., Полозова Э. И., Акимов В. В., Прытков В. А. Лазеротерапия в коррекции липидного обмена при хроническом пародонтите	548
<i>Информация для авторов и читателей (на рус. яз.)</i>	561
<i>Информация для авторов и читателей (на англ. яз.)</i>	563



CONTENTS

PHYSICS AND MATHEMATICS

Hamouda S. A. Data analysis in gamma-ray compton spectroscopy	428
Mamedova T. F., Yegorova D. K., Desyayev Ye. V., Hess R. Asymptotic integration of differential equations of Emden-Fowler	440

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Makarkin N. P. Economic optimization of the number of spare elements of technical systems regarding the reliability factor	448
Ryskin K. E., Al Askari M. A., Fedosin S. A. Implementation of the Gale-Shapley algorithm for automating reception of university applicants	462

ENGINEERING

Skryabin V. A. Chamber treatment process of disks and fists	475
Mironov Ye. V., Lisunov Ye. A., Krupin A. Ye., Tarukin Ye. M. A device for making protective compounds at the agricultural equipment conservation	490
Ivliyev S. N. Experimental study of confidential information leakage through acoustoelectric channel	499

MEDICAL SCIENCES

Goncharova L. N., Antipova V. N., Sergutova N. P., Anisimov D. A., Mourchaf A. The diagnosis of atherosclerosis of mesenteric vessels clinically occurs under the guise of gastropathy	505
Barvanyan G. M., Vlasov A. P. Gastroenterostomy in patients with irresectable periampullary carcinoma	522
Stolyarov M. V., Lyubovtseva L. A., Moskovskiy A. V., Kandeykina N. V. Immunohistochemical exploration of jaw bone tissue defect after toothprotecting operations	533
Kondyurova Ye. V., Trofimov V. A., Deryabina Ye. V., Adamchik R. A., Polozova E. I., Akimov V. V., Prytkov V. A. Laser therapy in correction of lipid metabolism in chronic periodontitis	548
<i>Information for authors and readers of the journal (in Russian)</i>	561
<i>Information for authors and readers of the journal (in English)</i>	563



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

УДК 539.166.2

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.428-439

DATA ANALYSIS IN GAMMA-RAY COMPTON SPECTROSCOPY

S. A. Hamouda*University of Benghazi (Benghazi, Libya)**dr_s_hamouda@yahoo.ie*

Compton scattering is a technique for determining the momentum distribution of electrons in condensed matter. Therefore, in the Compton scattering experiment all the available data about the electron's initial state is contained in the distribution of the inelastically scattered radiation, i.e. the Compton profile. However, before the data can be interpreted, a series of energy dependent corrections have to be applied. In this paper, general aspects of the Compton Scattering theory are introduced. Data analysis procedure for the γ -ray experiment is outlined and the sensitivity of these corrections on the quality of the final results is discussed.

Keywords: high energy gamma-ray spectroscopy, methods and technologies, material characterization, Compton data reduction procedure, materials properties, measuring methods and applications, detection techniques

For citation: Hamouda SA. Data analysis in gamma-ray Compton spectroscopy. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):428-439. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.428-439

Acknowledgements: We would like to express our gratitude to the Compton group at the University of Warwick for providing the Monte Carlo simulation software package used in this work, and to Dr. M. J. Cooper for his fruitful discussions about this work.

АНАЛИЗ ДАННЫХ В КОМПТОНОВСКОЙ ГАММА-СПЕКТРОСКОПИИ

С. А. Хамуда*Университет Бенгази (г. Бенгази, Ливия)**dr_s_hamouda@yahoo.ie*

Введение. Комптоновское рассеяние является методом оценки распределения электронов по импульсам в конденсированных средах. В статье рассматриваются общие аспекты теории комптоновского рассеяния.

Материалы и методы. Для изучения комптоновского рассеяния были применены данные, полученные с помощью нового комптоновского гамма-спектрометра высокой энергии. Статья описывает влияние поправок в зависимости от мощности энергии в ходе эксперимента с использованием вольфрама на источнике ^{137}Cs .

Результаты исследования. В ходе эксперимента по изучению рассеяния по Комптону все имеющиеся данные о начальном состоянии электрона были получены из распределения неупругого рассеянного излучения, т. е. профиля Комптона.

Обсуждение и заключение. В статье обсуждается необходимость внесения корректировки для точного понимания конечных результатов; доказываемая необходимость подобного уточнения в ходе интерпретации данных эксперимента в зависимости от мощности энергии.

© Hamouda S. A., 2016

Физико-математические науки



Ключевые слова: гамма-спектроскопия высокой энергии, методы и технологии, характеристика материалов, процедура редукции данных Комптона, свойства материалов, методы измерения и приложений, методы обнаружения

Для цитирования: Хамуда С. А. Анализ данных в комптоновской гамма-спектроскопии // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 428–439. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.428-439

Благодарности: Автор выражает благодарность Комтоновской группе при Университете Уорика за предоставление программы-симулятора «Monte Carlo», использованную в данной работе, и доктора М. Дж. Купера за плодотворное обсуждение данной работы.

Introduction

When monochromatic photons are Compton scattered (inelastically scattered) in a fixed direction, the observed energy spectrum of the scattered photons is Doppler-broadened due to the motion of the target electrons. This broadened line shape, referred to as the Compton profile, $\mathbf{J}(\mathbf{p}_z)$, can be analyzed to yield detailed information about the electron momentum distribution, $\mathbf{n}(\mathbf{p})$, in the sample under study. Within the impulse approximation [1], the Compton profile, $J(p_z)$, is defined as the projection of the ground state electron momentum density distribution, $n(\mathbf{p})$, along the scattering vector (chosen as the p_z axis) and is given by;

$$J(p_z) = \int \int n(p_x, p_y, p_z) dp_x dp_y. \quad (1)$$

Therefore, in the Compton scattering experiment all the available information about the electron's initial state is contained in the distribution of the inelastically scattered radiation, i.e. the Compton profile. A detailed review of this topic can be found in [2–3].

Over the range of energies below 1MeV, the Compton cross-section is proportional to the atomic number Z whereas the photoelectric cross-section is approximately proportional to Z^4 / ω_1^3 where ω_1 is the incident photon energy. This implies that the ratio of Compton to photoelectric cross section is approximately proportional to ω_1^3 / Z^3 . For 662 keV gamma ray radiation, the Compton cross section is greater than the photoelectric cross section up to about $Z = 90$ [4]. As a result, the higher energy of the

gamma ray makes Compton profile measurements to be performed on a wide range of high Z -materials and their alloys which are completely impractical at the present x-ray energies.

However, before the data can be interpreted, a series of energy dependent corrections have to be applied [5]. In this paper an outline of the data corrections is presented and the sensitivity of these corrections on the quality of the final results is discussed.

An outline of data process

The order of data corrections is illustrated schematically in Fig. 1.

When enough counts have been accumulated in the Compton profile, the obtained primary data are the measured spectrum, $M(\omega)$. When these corrections shown in Fig. 1, are applied to the measured spectrum, they can be either additive, multiplicative or convolutive. The measured Compton energy spectrum can be described in terms of these corrections as,

$$M(\omega) = R(\omega) * E(\omega) G(\omega) * S(\omega) * A(\omega) [D(\omega) + B(\omega)], \quad (1)$$

where $*$ represents a convolution and these corrections are defined in Fig. 1. The Compton profile is then extracted from the measured Compton data, $M(\omega)$ by rearrangement of Eq. 1, and can be expressed as,

$$J(p_z) = N C^{-1}(\omega) A^{-1}(\omega) E^{-1}(\omega) S^{-1}(\omega) * G^{-1}(\omega) * R^{-1}(\omega) [M(\omega) - B(\omega)], \quad (2)$$

where $^{-1}$ represents a deconvolution and N is the normalization constant characterized by the sample (i. e. number of



electrons for normalization) and all other corrections are defined in Fig. 1. The order of corrections illustrated schematically in Fig. 1, has been adopted for the analysis of Compton data obtained from the new high energy gamma-ray Comp-

ton spectrometer. The following sections describe the effect of the energy dependent corrections on measurement made on tungsten sample using the ¹³⁷Cs source spectrometer employed in the present study.

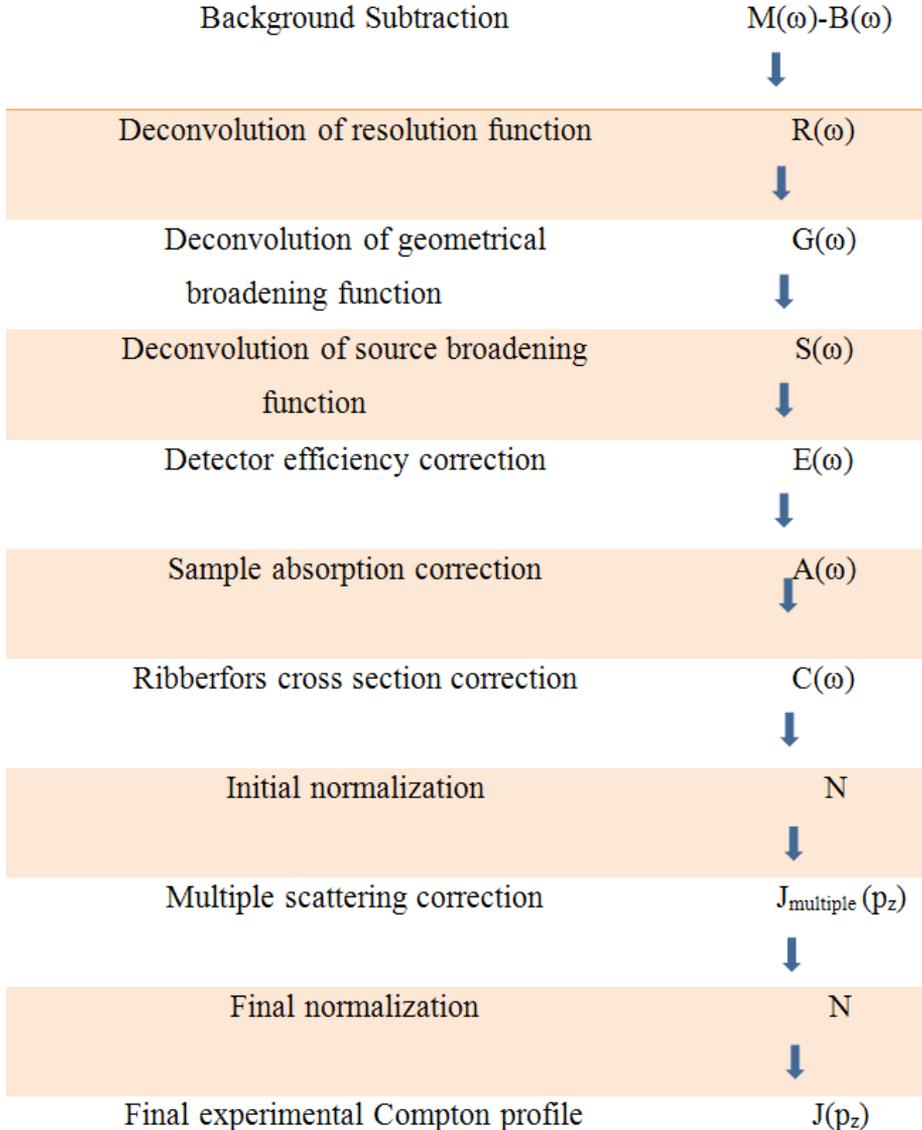


Fig. 1. Flow chart of the data reduction procedure used to extract the Compton profile $J(p_z)$ from the measured energy spectrum, $M(\omega)$

Р и с. 1. Блок-схема процедуры сжатия данных, используемых для извлечения Комптоновского профиля $J(p_z)$ из измеренного энергетического спектра, $M(\omega)$



The Background Subtraction

The background is defined as the signal obtained with the source opened and no sample in position. The main sources of the background are: (1) the natural radioactivity such as cosmic rays; (2) stray radiation from the source; (3) scattering from the sample chamber, sample holder, air in the scattering chamber, and detector collimator. Therefore, it is necessary to measure the background spectrum and then subtract this from the Compton scattering data before the remaining data processing procedures can be used.

Fortunately, in gamma-ray experiments the background can be measured independently compared with x-ray experiments. Since the background can be measured in an independent experiment an appropriate energy calibration of the spectra is required. It is important to emphasize the point that the experimental condition (i. e. geometry, collimation, shielding arrangement) in which the Compton data are obtained should not differ from the experimental condition in which the background is measured. But unfortunately it does because the sample itself masks off part of the scattering volume of the scattering chamber. In the background measurement only the sample is removed, and everything else must remain the same. This will allow for the background measurement to be consistent and minimize the systematic error. Because the ^{137}Cs source has a long half-life (30 years), the background contribution is considered to be time-independent. Since the background spectrum is subtracted from the Compton data on point-by-point basis, the background measurement should have good statistics so that time scaling is properly performed.

Detector Response Function Correction

The detector response function is defined as a measure of the amount of broadening of a monoenergetic radiation line in the Compton peak range. Its

main features are a Gaussian peak and an extended tail on the low energy side of the line. The low energy tail originates from partial absorption processes such as imperfect charge collection within the germanium crystal. The existence of the low energy tail in the detector response function influences the shape of the true symmetric Compton profile in such a way that the measured Compton peak is the convolution of the detector response function and the true symmetric Compton profile [6]. When the resolution function is convoluted with the true symmetric Compton profile it produces a progressive asymmetric broadening on the low energy side of the profile, leaving the high energy side of the profile largely unaffected. Therefore, the extraction of the true symmetric Compton profile from the measured data requires the removal of the low energy tail (i.e. deconvolution) from the measured data.

In the present studies, the detector resolution function was measured using a ^{201}Tl 203.9 keV point source. The point source is placed at the sample position in order to mimic the experimental geometrical condition. The measured resolution function is shown in Fig. 2. Since the Compton energy is located at 288 keV the error involved in the resolution function measurement is about 1%. This error is eliminated by shifting the energy of the resolution function peak to the Compton energy with the corresponding FWHM at Compton energy. On the other hand, the height of the tail shown in Fig. 2, and its detailed shape measured with ^{123}I source at 203.9 keV is not expected to differ had the measurement been made at Compton energy (288 keV). This is because the detector efficiency remains almost the same in the energy range between the two energy points (i. e. 10,17 % at 203,9 keV and 10 % at 288 keV). Therefore, the measured resolution function is considered reliable and is used in the present studies for data analysis.

However, it is important to point out that the correction on the low energy side of the measured Compton line is very sensitive to the exact form of the resolution function. The deconvolution correction was found to be very sensitive to the height of the low energy tail

with respect to the peak height. The tail height of the resolution function shown in Fig. 2, extends from 0,3 % to about 1 % of the peak height. The increase of the tail height at the low energy side of the line simply reflects the efficiency curve of the detector.

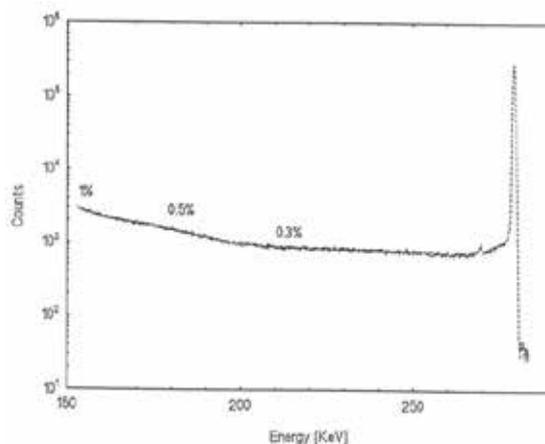


Fig. 2. The detector resolution function measured with the 123-Hg line.
The tail/peak ratio (%) is shown

Р и с. 2. Функция разрешения детектора, измеренная с линией 123-Hg.
Показано отношение хвост/пик (%)

As can be seen from Fig. 2, the tail height to peak height ratio of the measurement was 0,3 %. The task now is what tail height should be selected that can reduce the asymmetry of the measured Compton profile to a minimum. This can be done by using different tail heights and looking for the minimum asymmetry produced by the deconvolution correction procedure. This empirical approach is based on the fact that after all corrections have been made the profile must be centrosymmetric. Fig. 3, shows the results of the Compton profiles for a tungsten sample as a function of the tail height (in % of the peak height). The asymmetry of the Compton profile is referred to the difference (%) between the high energy side and the low energy side of the Compton profile.

As can be seen from Fig. 3, that the minimum asymmetry was obtained (i. e. 1 % asymmetry) when the tail height was 0,3 % of the peak height which reflects the true ratio of the measurement. When the tail height increases above 0,3 % of the peak height the asymmetry of the Compton profile becomes worse. If the height of the tail is higher than a certain limit (i. e. > 0,3 % of the peak height) the deconvolution (removal of the tail) correction becomes large. When the Compton profile is normalized the high energy side of the Compton profile is lifted up, thus increases the asymmetry of the resulted Compton profile. This can be seen in Fig. 3, which shows that the deconvolution correction is in fact very sensitive to the height of the resolution function tail.

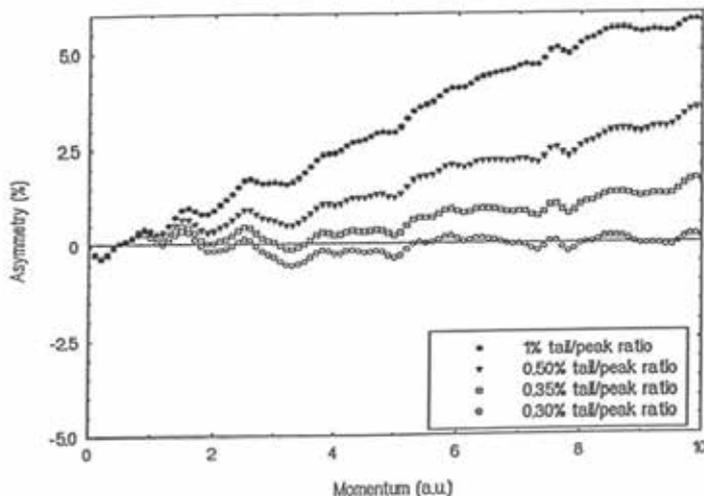


Fig. 3. The asymmetry of the Compton profiles (%) produced as a function of the tail/peak ratio of the resolution function

Р и с. 3. Асимметрия комптоновского профиля (%) в зависимости от отношения хвост/пик функции разрешения

Geometrical Broadening Function Correction

The geometrical broadening results from the beam divergence due to finite collimation. The uncertainty of the scattering angle, due to beam divergence, results in an energy dispersion which broadens the experimental profile. Therefore, in order to minimize the asymmetry as well as improving the accuracy of the experimental profile, the effects produced by the geometrical broadening must be removed from the measured profile [7].

Since the geometrical broadening can not be measured in an independent experiment, it is calculated by Monte Carlo simulation of the ray path. In this calculation only one slit collimator for both source and detector was considered. Fig. 4. shows the shape of the geometri-

cal resolution function obtained from the simulation for 100 000 photons. The simulated angular intensity distribution curve is approximated by a polynomial of an 8th order in order to remove the random statistical fluctuations from the calculated intensity distribution.

As can be seen from Fig. 4, the geometrical resolution function is a Gaussian with FWHM = 0,5 a.u. (1 a.u. Of momentum is 2.0×10^{-24} kg m s⁻¹). The objective of data correction discussed in this section is to deconvolute the geometrical resolution function from the experimental profile. In the data analysis, the geometrical resolution function is convoluted with the detector resolution function (discussed in section 4) and then deconvoluted from the experimental data by means of the fast Fourier transform method.

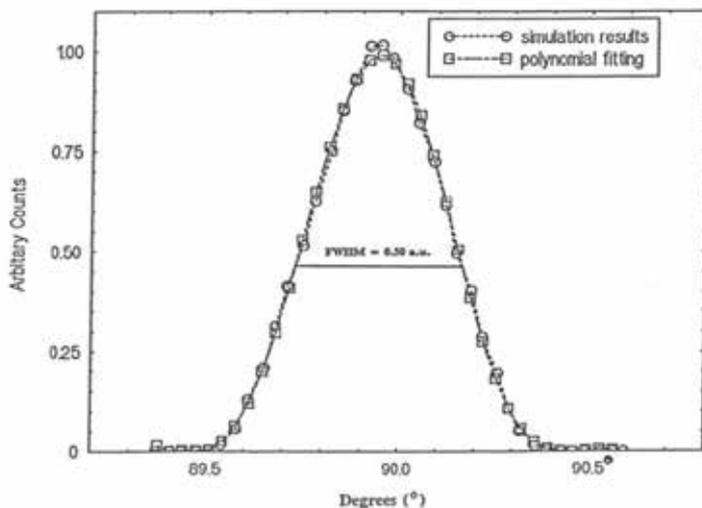


Fig. 4. The calculated geometrical resolution function for the ^{137}Cs spectrometer

Рис. 4. Расчетная геометрическая функция разрешения для спектрометра ^{137}Cs

Source Broadening Function Correction

The source broadening arises from the fact that the incident mono-energetic photon radiation can be degraded by inelastic scattering within the source and emerge with a wide range of lower energies, thus contributing to Compton profile asymmetry [7]. Therefore, in order to minimize the Compton profile asymmetry, the spectral distribution of the inelastic scattering within the source has to be calculated and removed from the experimental profile. In the present studies, the source broadening function of the ^{137}Cs disc source (of 6 mm diameter and 4 mm thick) was calculated by Monte Carlo simulation developed by [8]. To remove the effects produced by the inelastic scattering within the source, an additional deconvolution correction is required. When this correction is applied, the deconvoluted profile is then convoluted with a Gaussian of FWHM equal to the experimental resolution. The overall effect of all the deconvolution corrections discussed in the present data analy-

sis procedure is to remove the low energy asymmetry and smooth the experimental data. Accordingly, the theoretical profile must also be convoluted with a Gaussian of FWHM equal to the experimental resolution before comparing it with experimental profile.

Detector Efficiency Correction

The need to apply a detector efficiency correction to Compton data when using high gamma-ray energy (> 60 keV) is well established [9]. In the low gamma-ray energy range (i. e. < 60 keV) a detector efficiency correction is unnecessary because the efficiency of a solid state detector is 100 %. However, at higher gamma-ray energies (> 60 keV) the efficiency curve of a solid state detector falls rapidly, decreasing from 100 % at 60 keV to 31 % at 160 keV to 10 % at 288 keV (Compton energy). This is shown in Fig. 5. Therefore, the efficiency correction formulated in this section is only applicable to Compton data measured with the 662 keV ^{137}Cs spectrometer.

The main result of the rapid variation in the detector efficiency for the Cs-



spectrometer is to produce an asymmetrical Compton profile. In order to restore the symmetry of Compton profile, it is necessary to determine accurate efficiency curve of the solid state detector in the region of interest. This is because efficiency corrections to the measured data are large, and a consequently small error in the efficiency curve will be amplified when the data is normalized.

The detector efficiency correction procedure is as follows; (i) energy calibration for the multi-channel analyzer (MCA). (ii) determining the detector efficiency function, $E(\omega)$. (iii) dividing the data (point-by-point) by the detector efficiency function. In the familiar way the detector efficiency is calculated using the expression,

$$E(\omega) = 1 - \exp[-(\mu) t], \quad (3)$$

where (μ) is the energy dependent photoelectric attenuation coefficient of the detector crystal and t is the effective detector crystal thickness. In the present case the detector crystal was germanium (Ge) with an effective thickness of 7 mm. In order to test whether the calculated detector efficiency function given by Eq. 3, is a proper function and can be used for detector efficiency correction, it is necessary to carry out actual detector efficiency measurement and then to compare the measured efficiency with the efficiency calculated using Eq. 3. In the present study the detector efficiency was determined experimentally by comparing the measured intensities of the 8 most noticeable gamma-lines of the ^{133}Ba point source, with the known relative intensities of the gamma-emission taken from [10]. The ^{133}Ba point source was placed at the sample position as to mimic the actual experimental situation.

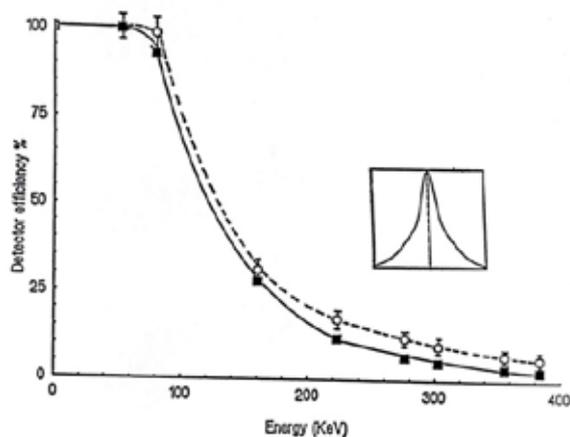


Fig. 5. The measured detector efficiency from the emission lines of ^{133}Ba (dashed line, open circles) and the calculated efficiency using eq. 3 (solid line, filled squares). The schematic Compton profile shown in the figure indicates the profile peak position for the ^{137}Cs spectrometer

Р и с. 5. Измеренная эффективность детектора от линий излучения ^{133}Ba (пунктирная линия, полые кружочки) и расчетная эффективность с использованием формулы 3 (сплошная линия, сплошные квадраты). Схематический профиль Комптон, показанный на рисунке, указывает на пик положения профиля для спектрометра ^{137}Cs

The experimentally determined detector efficiency and the calculated efficiency using Eq. 3, are shown in Fig. 5. As can be seen from the figure, the efficiency curve determined experimentally gave higher efficiency values than that predicted by Eq. 3. This implies that the behavior of the efficiency curve of the solid state detector may not be as simple as that described by Eq. 3, which depends only on the photoelectric absorption coefficients and the crystal thickness. A calculation of efficiency is difficult because of the complicated way in which the photon interaction processes contribute to the total photopeak. At high γ -ray energy Compton scattering within the crystal may also contribute to the photopeak and therefore Compton absorption coefficients may need to be included in Eq. 3.

However, in order to find an efficiency function which can describe to a very good approximation the determined effi-

ciency curve, one must look for an empirical analytical function of the photon energy. The empirical analytic function that is found to describe the behavior of the experimental efficiency curve over a limited energy range centered around the Compton profile and is used for data analysis is of the form,

$$E(\omega) = a \exp(-b\omega), \quad (4)$$

where ω is the photon energy, a and b are the fitted parameters determined from the straight line that fits the measured efficiency points best (see Fig. 6). Since the Compton energy is located at 288 keV, the fitted parameters a and b were chosen in such a way that the analytical efficiency function given by Eq. 4, describes very well the experimental efficiency in the energy range from (223 keV – 356 keV).

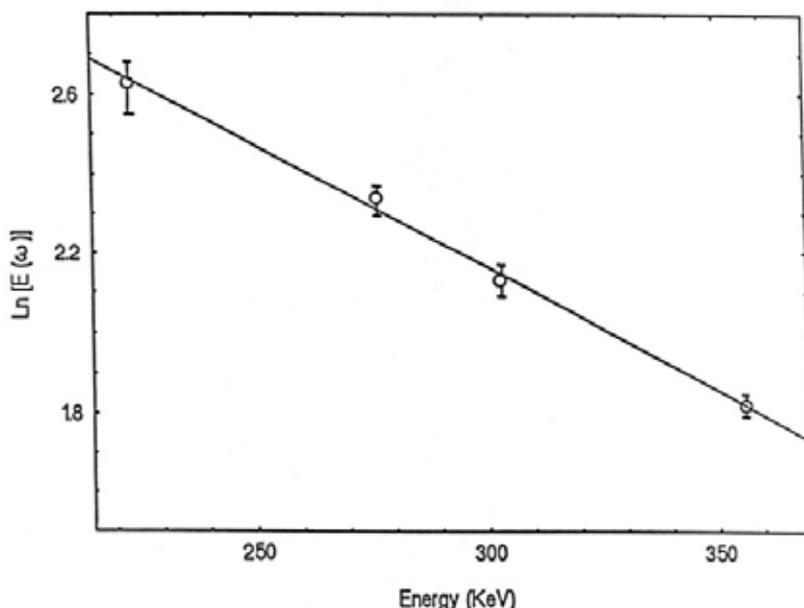


Fig. 6. The detector efficiency function used for the 137-Cs experiment. The parameters a and b are determined from the curve shown and are applied in Eq. 4, which is used for efficiency correction

Р и с. 6. Функция эффективности детектора используется для эксперимента с 137-Cs. Параметры a и b определяются из кривой, показанной и применяются в уравнении (4), которое используется для коррекции эффективности



Multiple Scattering Correction

One of the main energy dependent corrections is that the experimentally observed Compton profile consists of unavoidably a significant amount (10–20 %) of multiply scattered events occurred in a specimen. Fig. 7 (a), shows the reflection geometry for a single scattering events and Fig. 7 (b) shows the double scattering events. The presence of multiple scattering events within the same energy range as the single scattering events is the main difficulties in interpreting the Compton spectra.

The multiple scattering events and their wide energy distribution tends to enhance the high momentum component

of the observed Compton profile. However, experimental methods to minimize multiple scattering are impracticable [11–14]. The complexity of multiple scattering together with the variation in experimental conditions i.e. scattering angle, collimation, energy, sample thicknesses, and sample density make analytical solutions almost impossible. Currently corrections for multiple scattering in Compton profiles use Monte Carlo techniques originally developed by [15]. The correction for multiple scattering in the sample is performed by subtracting the simulated spectra of the multiply scattered photons from the experimental profile.

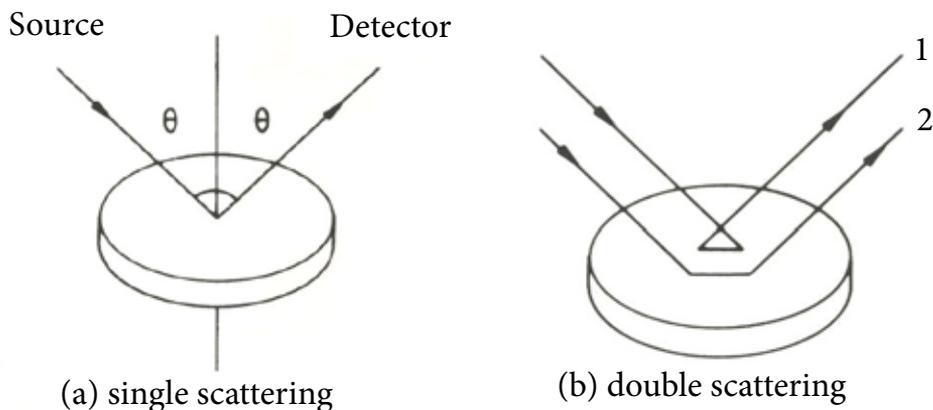


Fig. 7. Reflection and sample orientations showing (a) single scattering events and (b) double scattering events. Paths 1 and 2 refer to the most probable double scattering events within a thin sample

Р и с. 7. Отражение и ориентация образца, показывающие (а) события однократного рассеяния и (б) события двойного рассеяния. Контуры 1 и 2 относятся к наиболее вероятным событиям двойного рассеяния в тонком образце

The angular distribution of the multiple scattering depends on the scattering angle. At a scattering angle θ the angular distribution of the multiple scattering extends from θ to $(360-\theta)$. The shape of the multiple scattering distribution and magnitude depend on material thickness and the incident photon energy. Fig. 8, shows the multiple scattering distribution produced by tungsten sample of 1mm thickness scattered at 90° with an inci-

dent gamma-ray energy of 662 keV [13]. The spectral distribution of the multiply scattered photons shown in Fig. 8, was determined by a Monte Carlo simulation and contained 2×10^4 photons from an input of 38 million photons. Since the photoelectric absorption in tungsten is high at lower energies, photons with energy range around 288 keV are able to escape absorption in the sample (see the inset Fig. 8).

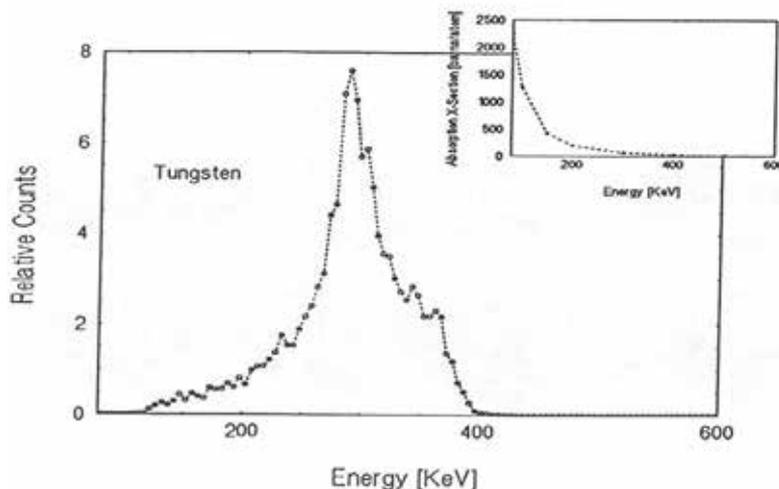


Fig. 8. The multiple scattering distribution from tungsten at 90° scattering angle with 662 KeV incident photon

Р и с. 8. Распределение многократного рассеяния вольфрама под углом 90° с рассеянием падающего фотона энергией 662 KeV

Summary

Gamma-ray Compton spectroscopy is a technique for determining the momentum distribution of electrons in condensed matter. Therefore, in the Compton scattering experiment all the available information about the electron's initial state is contained in the distribution of the inelastically scattered radiation, i.e. the Compton profile. However, before the data can be

interpreted, a series of energy dependent corrections have to be applied. These corrections can be either additive, multiplicative or convolutive. In this paper, only an outline of the data corrections is presented and the effect of these corrections on the final Compton lineshape are discussed in detail. If undetected error is introduced in these corrections it will make the interpretation of the final results very difficult.

REFERENCES

1. Eisenberger P, Platzman PM. Compton Scattering of x-ray from Bound Electrons. Phys. Rev. 1970; A2:415.
2. Williams B, editor. Compton Scattering. New York : McGraw-Hill, 1977.
3. Hamouda SA. Compton Scattering Theory. Tajora (Scientific Journal Issued by Renewable Energies and Water Desalination Research Center). 2006; 6(8):36.
4. DuBard JL. Compton profile measurements of aluminum and iron with 662 KeV γ -radiation. Phil. Mag. 1978; B37:273-283.
5. Timms DN. Ph.D. Thesis (unpublished). Warwick: University of Warwick; 1989.
6. Hamouda SA. The influence of the Detector Response Function of Gamma-Ray Spectrometer on the asymmetry of Compton Profiles. Al-Nawah (Scientific Journal Issued by Nuclear Research Center). 2008. 7(11):66-74.
7. Hamouda SA. Geometrical and Source Broadening Corrections for High Gamma-Ray Compton Spectrometer. Al-Nawah (Scientific Journal Issued by Nuclear Research Center). 2010; 9(13):48.
8. Rollason AJ, Felsteiner J, Bauer GEW, Schneider JR. Nucl. Instr. and Meth. 1987; A256:532.



9. Hamouda SA. Detector Efficiency Correction for High Energy γ -ray Compton Scattering Studies. Journal of Sciences Garyounis University: Second Symposium. 2005;236.
10. Lederer CM, Hollander JM, Perlman I. Tables of Isotopes. 6th ed. New York: Wiley Publ., 1967.
11. Felsteiner J, Pattison P. Nucl. Instr. and Meth. 1980; 173:323.
12. Reed WA, Eisenberger P, Pandey KC, Snyder LC. Phys. Rev. 1974; B10:1507.
13. Hamouda SA. Multiple Scattering Correction for High Gamma-Ray Compton Experiments. The 2nd International Conference on Science and Technology (JIPMA 2009/MATERIAUX 2009). IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 2010; 13:1.
14. Hamouda SA. Gamma-Ray Compton Spectroscopy of Tungsten Using 662 KeV Gamma-Ray Radiation. Mordovia University Bulletin. 2016; 2(26):211-217.
15. Felsteiner J, Pattison P, Cooper MJ. Phil. Mag. 1974; 30:537.

Submitted 31.05.2015; revised 16.06.2016; published online 30.12.2016

Поступила 31.05.2016; принята к публикации 16.06.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

About the author:

Samir A. 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

Об авторе:

Самир А. 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



АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА ЭМДЕНА-ФАУЛЕРА

Т. Ф. Мамедова^{1*}, Д. К. Егорова¹, Е. В. Десяев¹, Р. Хесс²
¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)
²Гёттингенский университет имени Георга-Августа
(г. Гёттинген, Германия)
**tamedovatf@yandex.ru*

Введение. В статье рассматривается новый подход к исследованию уравнений типа Эмдена-Фаулера.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи применяется метод асимптотической эквивалентности, разработанный Е. В. Воскресенским. Понятие асимптотической эквивалентности дифференциальных уравнений не имеет однозначного трактования. Однако все существующие значения объединяет указание на отношение эквивалентности, определенном через асимптотические свойства решений. В общем случае данное отношение определяется полугруппой преобразований с единицей некоторого класса дифференциальных уравнений в себя.

Результаты исследования. В статье приводятся асимптотические формулы для решения нелинейного дифференциального уравнения; формулируются необходимые для решения задачи теоремы и следствия из них; проводится полное доказательство сформулированных теорем. В результате исследований были получены более точные формулы для решения уравнения Эмдена-Фаулера.

Обсуждение и заключения. Полученные результаты согласуются с аналогичными исследованиями других авторов и дополняют их. Дальнейшая работа по данной тематике предполагает применение полученных результатов в различных областях, например, исследовании математических моделей в экономике и экологии.

Ключевые слова: уравнение Эмдена-Фаулера, асимптотическое интегрирование, асимптотическая эквивалентность, дифференциальные уравнения, математическая модель

Для цитирования: Асимптотическое интегрирование дифференциальных уравнений типа Эмдена-Фаулера / Т. Ф. Мамедова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 440–447. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.440-447

Благодарности: Авторы выражают свою признательность и благодарность анонимному рецензенту журнала, чьи подробные комментарии и рекомендации помогли улучшить статью.



ASYMPTOTIC INTEGRATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EMDEN-FOWLER

T. F. Mamedova^{a*}, D. K. Yegorova^a, Ye. V. Desyayev^a, R. Hess^b

^aNational Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

^bGeorg-August University of Goettingen (Goettingen, Germany)

*mamedovatf@yandex.ru

Introduction. This article examines a new approach to the analysis of Emden-Fowler equations. *Materials and Methods.* In this article, which is based on the methods proposed by V. Ye. Voskresensky [Comparison methods in nonlinear analysis? Saransk, 1990], a new approach to the analysis of Emden-Fowler equations was found. The concept of asymptotic equivalence of the differential equations has no unequivocal meaning. Various authors have different views on it. Nevertheless, all authors discuss about the equivalence relation defined by the asymptotic properties of the solutions. In general, this ratio is determined by the transformation semigroup with identity of a certain class of differential equations into itself.

Results. The paper contains asymptotic formula for the solution of nonlinear differential equations. The procedure outlined is required to solve the problem of the theorem and their implications. Also a complete proof of these theorems was conducted. These studies obtained more accurate formula for the solution of the equation of Emden-Fowler.

Discussion and Conclusions. The obtained results are consistent with similar studies of other authors and complement them. Further work on this topic involves the use of the results in a variety of applications, namely an application to the study of mathematical models in the field of economy and ecology.

Keywords: Emden-Fowler equation, asymptotic integration, asymptotic equivalence, differential equations, mathematical model

For citation: Mamedova TF, Yegorova DK, Desyayev YeV, Hess R. Asymptotic integration of differential equations of Emden-Fowler. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin.* 2016; 4(26):440-447. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.440-447

Acknowledgments: The authors express their appreciation and gratitude to the anonymous reviewer of the journal, whose detailed comments and recommendations helped to improve the article.

Введение

Решение уравнений типа Эмдена-Фаулера изучалось во многих работах. Интерес к этой задаче не теряется и в настоящее время. Данное уравнение находит свое применение при решении многих прикладных задач. Например, в работе [1] оно лежит в основе математической модели конкурентоспособности и производительности некоторого предприятия. Конкурентоспособность $F(P(n))$ является степенной функцией от производительности $P(n)$, причем существуют такие константы $p > 0$ и k , при которых

$$F(P(n)) = P(n)^p n^k,$$

где n – номер исследуемой структуры предприятия.

Производительность $P(n) > P_0$ и F пропорционально второй производной P по n . Для

$F(P(n)) = M(n) \frac{\partial^2 P(n)}{\partial n^2}$, как правило, $M(n) = n$. В результате получим уравнение с начальными условиями:

$$\begin{cases} nP(n)'' - P(n)^p n^k = 0, n \geq n_0, \\ P(n_0) = P_0 \geq 0, P'(n_0) = P_1. \end{cases}$$

Обзор литературы

Для уравнений типа Эмдена-Фаулера получены существенные резуль-

таты, которые не только дополняют классические исследования, изложенные в монографии Р. Беллмана [2], но и демонстрируют практическое применение полученных результатов. Постоянный интерес обусловлен также тем, что уравнение широко применяется в различных областях, от экономики до математической физики.

Первоначально уравнение рассматривалось в виде:

$$(t^\delta u')' \pm t^\gamma u^n = 0,$$

где δ, γ, n – постоянные.

Оно было получено Р. Эмдоном в связи с изучением условий равновесия политропного газового шара. Новые свойства решений уравнения Эмдена-Фаулера, касающиеся их продолжимости, были получены в исследованиях китайских математиков Чанга и Ли [1; 3–6]. Систематическое изложение результатов анализа продолжимости решения приведено в работах В. С. Самовола [7–8]. Вопрос существования решений для квазилинейных дифференциальных уравнений типа Эмдена-Фаулера высокого порядка исследуется в работе И. В. Асташовой [9].

Материалы и методы

Для исследования решений уравнения Эмдена-Фаулера применялся метод асимптотической эквивалентности. Нами было исследовано дифференциальное уравнение n -ого порядка, которое при $n = 2$ превращается в уравнение Эмдена-Фаулера.

Рассмотрим данное дифференциальное уравнение:

$$y^{(n)} = \phi(t) |y|^\lambda \operatorname{sgn} y, \quad (1)$$

где $t \in [T, +\infty)$, $T \geq 1$, $\lambda > 0$, $n \geq 1$ – целое $\phi \in C([T, +\infty))$.

Докажем асимптотическую эквивалентность по Брауэру уравнения (1) и уравнения

$$x^{(n)} = 0. \quad (2)$$

Ясно, что выражения (1–2) представляются соответствующими системами, при этом можно было бы прибегнуть к результатам работы [4]. Однако новые методы доказательства асимптотической эквивалентности были применены именно для уравнения (1). При этом для простоты изложения в данной статье не рассматривается задача покомпонентной асимптотической эквивалентности.

Обратимся к условиям, при которых существуют решения уравнения (1), имеющие при $t \rightarrow +\infty$ вид:

$$y(t) = a_0 t^{n-1} + a_1 t^{n-2} + \dots + a_{n-2} t + a_{n-1} + o(1). \quad (3)$$

Некоторые асимптотические свойства этого уравнения были рассмотрены в работе Р. Беллмана [2]; при $n = 2$, $a_0 \neq 0$ эта задача была решена Е. В. Воскресенским. В данном случае она решается при произвольном натуральном n и произвольном наборе чисел (a_0, \dots, a_{n-1}) на основе метода асимптотической эквивалентности [10–13].

Результаты исследования

Результаты проведенного исследования сформулируем в виде следующих теорем.

Теорема 1

Если $0 < \lambda \leq 1$ и

$$\int_t^{+\infty} \dots \int_{S_{n-1}}^{+\infty} |\phi(S_n) |S_n^{\lambda(n-1)} \alpha^\lambda ds_1 \dots ds_n = o(1)$$

при $t \rightarrow +\infty$, то все решения уравнения (1) имеют вид (3).

Доказательство:

На множестве $T \leq t_0 \leq t < +\infty$ запишем уравнение

$$y(t) = a_0 t^{n-1} + a_1 t^{n-2} + \dots + a_{n-2} t + a_{n-1} + \frac{1}{(n-1)!}$$

$$\int_{t_0}^t (t-s)^{n-1} \phi(s) |y(s)|^\lambda \operatorname{sgn} y(s) ds. \quad (4)$$



Тогда $\frac{|y(t)|}{t^{n-1}} \leq c + c_0 \int_{t_0}^t |\phi(s)| |y(s)|^\lambda ds$,

где $c, c_0 \geq 0$, и на основании теоремы 1.1 из работы [13] запишем:

$$|y(t)| \leq c_1 t^{n-1}, t \geq t_0, \quad (5)$$

где

$y(t_0) = y_0, y'(t_0) = y'_0, \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)}$; t_0 – достаточно большое число, зависящее от чисел $y_0, \dots, y_0^{(n-1)}$.

Поскольку

$$\frac{1}{(n-1)!} \int_{t_0}^t (t-s)^{n-1} \phi(s) |y(s)|^\lambda \operatorname{sgn} y(s) ds = \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{s_1} \dots \int_{t_0}^{s_{n-1}} \phi(s_n) |y(s_n)|^\lambda \operatorname{sgn} y(s_n) ds_1 \dots ds_n,$$

то из равенства (4), неравенства (5) и условия теоремы получим:

$$y(t) = b_0 t^{n-1} + b_1 t^{n-2} + \dots + b_{n-2} t + b_{n-1} + o(1).$$

Приняв в качестве уравнения сравнения уравнение вида:

$$\frac{dz}{dt} = c_0 |\phi(t)| t^{\lambda(n-1)} z^\lambda \quad (6)$$

и, применяя теорему 1.1 из работы [Там же], убедимся в равномерной ограниченности решений этого уравнения при любом $c_0 \geq 0$ на множестве $D = \{z : 0 \leq z \leq K, t \geq T > 1\}$, где K – произвольное фиксированное число, $0 < \lambda < 1$.

На основании теоремы сравнения и равномерной ограниченности решений уравнения (6) неравенство (5) справедливо при достаточно большом T и произвольных, но достаточно малых $y_0, \dots, y_0^{(n-1)}$. Поэтому оценка (5) равномерна относительно t , и при достаточно большом T все решения уравнения (1)

$y(t_0) = y_0, y'(t_0) = y'_0, \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)}$ имеют вид (3).

Доказательство закончено.

Теорема 2

Пусть выполняются условия теоремы 1, а

$$Y_j(\lambda) = \int_1^{+\infty} \dots \int_{S_{j-1}}^{+\infty} |\phi(s_j)| s_j^{\lambda(n-1)} \alpha^\lambda ds_1 \dots ds_j$$

существует и интегрируема на любом компакте из $[\beta, +\infty)$ при всех $j = \overline{1, n}$. Тогда для любого набора действительных чисел $(a_0, a_1, \dots, a_{n-1})$ существует такое решение $y(t)$ уравнения (1), при котором

$$y(t) = a_0 t^{n-1} + a_1 t^{n-2} + \dots + a_{n-2} t + a_{n-1} + o(1)$$

при $t \rightarrow +\infty$.

Доказательство:

При $t_0 \geq T$ рассмотрим семейство решений уравнения (1):

$$y(t) = a_0 t^{n-1} + \dots + a_{n-2} t + a_{n-1} + (-1)^{n-1} \int_t^{+\infty} \int_{S_1}^{+\infty} \dots \int_{S_{n-1}}^{+\infty} \phi(S_n) |y(S_n)|^\lambda \operatorname{sgn} y(S_n) ds_1 \dots ds_n,$$

при котором выполняются все условия теоремы 1.1 из работы [Там же]. Отсюда следует равномерная ограниченность семейства $\{v(t)\}$. Поскольку при любых $\bar{t}, t \geq 1$

$$|v(\bar{t}) - v(t)| \leq \int_{\bar{t}}^t \int_{S_1}^{+\infty} \dots \int_{S_{n-1}}^{+\infty} |\phi(S_n)| S_n^{\lambda(n-1)} c^\lambda ds_1 \dots ds_n,$$

то это семейство равностепенно непрерывно и, таким образом, компактно. Поэтому существует последовательность $\{t_0^m\}$, сводящаяся к функции $y(t)$ равномерно на каждом компакте

$$|y(t) - a_0 t^{n-1} - \dots - a_{n-1}| \leq \int_{t_0^m}^t \int_{S_1}^{+\infty} \dots \int_{S_{n-1}}^{+\infty} |\phi(S_n)| S_n^{\lambda(n-1)} c^\lambda ds_1 \dots ds_n.$$



Из этого следует доказательство теоремы.

Доказательство закончено.

Следствие 1

При условиях теоремы 2 уравнение (1) имеет равномерно ограниченные решения с начальными данными $y(t_0) = y_0$,

$$y'(t_0) = (-1)^{n+1} \times$$

$$\times \int_{t_0}^{+\infty} \int_{s_1}^{+\infty} \dots \int_{s_{n-1}}^{+\infty} \phi(S_{n-1}) |y(S_{n-1})|^2 \operatorname{sgn} y(s_{n-1}) ds_1 \dots ds_{n-1}$$

$$y^{(n-1)}(t_0) =$$

$$= - \int_{t_0}^{+\infty} \phi(S_{n-1}) |y(S_{n-1})|^2 \operatorname{sgn} y(s_{n-1}) ds_1 \dots ds_{n-1},$$

удовлетворяющее данному условию $y(t_0) = y_0$. Справедливость следствия вытекает из теоремы 2 и теоремы 1 работы [5].

Следствие 2

Теорему 2 можно сформулировать в терминах асимптотической эквивалентности: уравнения (1–2) асимптотически эквивалентны по Брауэру, если выполняются условия теоремы 1 и

$$Y_j(\lambda) = \int_1^{+\infty} \int_{s_1}^{+\infty} \dots \int_{s_{j-1}}^{+\infty} |\phi(s_j)| s_j^{\lambda(n-1)} \alpha^\lambda ds_1 \dots ds_j$$

существует и интегрируема на любом компакте из $[\beta, +\infty)$ при всех $j = \overline{1, n}$.

Применим полученные результаты непосредственно к уравнению Эмдена-Фаулера:

$$u'' \pm t^\sigma u^n = 0, \tag{7}$$

где $n = \frac{a}{b} > 1$, a – натуральное число, b – нечетное натуральное число. Уравнение (7) можно записать в виде системы:

$$\frac{dz}{dt} = Az \pm L(t, z), \tag{8}$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; L(t, z) = t^\sigma z_2^n \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$z = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u' \\ u \end{pmatrix}.$$

Пусть $z = \operatorname{diag}\{1, t\} e^A y$. Тогда уравнение (8) перейдет в уравнение

$$y' = t^{-1} \Lambda y \pm g(t, y), \tag{9}$$

где $\Lambda = \operatorname{diag}\{0, -1\}; g(t, y) = e^{-A} \operatorname{diag}\{1, t^{-1}\} \cdot R(t, \operatorname{diag}(1, t) e^A y),$

$$R(t, z) = \begin{pmatrix} t^\sigma z_2^n \\ 0 \end{pmatrix} \text{ и}$$

$$\|g(t, y)\| \leq c_1 t^\sigma t^n c_2 |y_2|^n \leq c t^\sigma z^{\sigma+n} \cdot \|y\|^n, \quad c > 0.$$

Для определенности в уравнении (9) примем знак плюс, в противном случае рассуждения будут аналогичными. Пусть $\sigma + n = -q$.

Теорема 3

Если $q > 2$, то уравнения (9) и

$$\frac{d\eta}{dt} = t^{-1} \Lambda \eta \tag{10}$$

в некоторой окрестности нулевого решения $y = 0$ асимптотически эквивалентны по Брауэру относительно функции $\psi = t^{2-q}$ при $t \rightarrow +\infty$, то есть

$$y(t : t_0, y_0) = \eta(t : t_0, z_0) + o(t^{2-q}), \quad t \geq t_0. \tag{11}$$

Доказательство этой теоремы вытекает из теоремы 2, поскольку в этом случае все условия выполняются. Действительно, асимптотическую формулу (11) запишем в следующем виде:

$$y(t : t_0, y_0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t^{-1} \end{pmatrix} z_0 + o(t^{2-q}), \quad t \geq t_0.$$

Тогда

$$y(t : t_0, y_0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t^{-1} \end{pmatrix} z_0 + o(t^{2-q}), \quad t \geq t_0,$$



ТО ЕСТЬ

$$z(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t^{-1} \end{pmatrix} z_0 + o(t^{2-q}) \right], \quad t \geq t_0.$$

Тогда, если $c_1 = z_2^0$, $c_2 = z_1^0$, то $u^n = c_1^n + o(t^{2-q}) + t^n(c_2^n + o(t^{2-q}))$, $t \geq t_0$.

Поэтому при малых c_1, c_2 получим:

$$\begin{aligned} u'(t) &= c_2 - \int_t^{+\infty} s^\sigma u^n(s) ds = \\ &= \frac{t^{\sigma+n+1}}{\sigma+n+1} (c_2^n + o(t^{2-q})) + \\ &+ \frac{t^{\sigma+1}}{\sigma+1} (c_1^n + o(t^{2-q})) + c_1 + tc_2, \quad t \geq t_0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{t^{\sigma+n+2}}{(\sigma+n+2)(\sigma+n+1)} (c_2^n + o(t^{2-q})) + \\ &+ \frac{t^{\sigma+2}}{(\sigma+2)(\sigma+1)} (c_1^n + o(t^{2-q})) + \\ &+ c_1 + tc_2, \quad t \geq t_0. \end{aligned} \quad (12)$$

Доказательство закончено.

Обсуждение и заключения

На основании представленных в статье теорем и проведенного доказательства можно сделать вывод, что полученная асимптотическая формула (12) является более точной, чем соответствующие формулы П. Беллмана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Chang Y., Mengroag Li.** A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through Emden-Fowler equation for some enterprises // Acta Mathematica Scientia. 2015. Vol. 35 (5). P. 1014–1022. URL: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2015/V35/I5/1014>
2. **Беллман Р.** Теория устойчивости решений дифференциальных уравнений. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 216 с.
3. **Chang Y., Mengroag Li.** A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through Emden-Fowler equation (II) // Acta Mathematica Scientia. 2013. Vol. 33 (4). P. 1127–1140. URL: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2013/V33/I4/1127>
4. A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through a particular Emden-Fowlerequation / Y. Chang [et al.] // Acta Mathematica Scientia. 2011. Vol. 31B (5). P. 1749–1764. URL: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2011/V31/I5/1749>
5. **Mengroag Li.** Blow-up results and asymptotic behavior of the Emden-Fowler equation $u'' = |u|^p$ // Acta Mathematica Scientia. 2007. Vol. 27 (4). P. 703–734. URL: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2007/V27/I4/703>
6. **Muatjetjeja B., Khalique C. M.** Emden-Fowler type system: noether symmetries and first integrals // Acta Mathematica Scientia. 2012. Vol. 32 (5). P. 1959–1966. URL: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2012/V32/I5/1959>
7. **Самовол В. С.** О решениях уравнений типа Эмдена-Фаулера // Математические заметки. 2014. Т. 95, № 5. С. 77–789. URL: <http://mi.mathnet.ru/rus/mz/v95/i5/p775>
8. **Самовол В. С.** Об асимптотических оценках решений уравнений типа Эмдена-Фаулера // Математические заметки. 2015. Т. 97, № 1. С. 103–114. URL: <http://mi.mathnet.ru/rus/mz/v97/i1/p103>
9. **Асташова И. В.** О колеблемости решений квазилинейных дифференциальных уравнений типа Эмдена-Фаулера высокого порядка // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 6 (128). С. 12–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24307586>
10. **Мамедова Т. Ф., Черноivanова Е. А.** Исследование математических моделей электрических цепей методом асимптотической эквивалентности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1772. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25325553>

11. Мамедова Т. Ф., Ляпина А. А. Алгоритм исследования моделей нелинейной динамики // Известия высших учебных заведений: Поволжский регион: Физико-математические науки. 2013. № 3 (27). С. 48–57. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21315164>
12. Мамедова Т. Ф., Егорова Д. К. Об асимптотическом равновесии некоторых экономических систем // Журнал Средневолжского математического общества. 2013. Т. 15, № 2. С. 55–58. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19832782>
13. Мамедова Т. Ф., Ляпина А. А. Об исследовании динамических моделей социально-экономических систем на устойчивость по части переменных // Журнал Средневолжского математического общества. 2010. Т. 12, № 4. С. 152–157. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16035194>

Поступила 31.05.2016; принята к публикации 16.06.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Мамедова Татьяна Фанадовна, профессор кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, доцент, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7582-216X>**, mamedovatf@yandex.ru

Егорова Дарья Константиновна, доцент кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3392-6761>**, egorovadk@mail.ru

Десяев Евгений Васильевич, доцент кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2583-6966>**, desyaev@rambler.ru

Хесс Рамин, магистр экономического факультета Гёттингенского университета имени Георга-Августа (Германия, г. Гёттинген, ул. Вильгельмплац, д. 1), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6347-9528>**, ramin.hess@stud.uni-goettingen.de

Вклад соавторов: Т. Ф. Мамедова сформулировала постановку задачи, доказала Теорему 1 и обобщила итоги реализации коллективного проекта; Д. К. Егорова сформулировала и доказала Теорему 2; Е. В. Десяев сформулировал и доказал Теорему 3; Р. Хесс сделал обзор литературы по зарубежным источникам, сформулировал следствие из Теоремы 2. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Chang Y, Mengroag Li. A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through Emden-Fowler equation for some enterprises. *Acta Mathematica Scientia*. 2015; 35(5):1014-1022. Available from: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2015/V35/I5/1014>
2. Bellman R. *Teoriya ustoychivosti resheniy differentsialnykh uravneniy* [The theory of the stability of solutions of differential equations]. Moscow: Izdatelstvo inostrannoy literatury; 1954.
3. Chang Y, Mengroag Li. A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through Emden-Fowler equation (II). *Acta Mathematica Scientia*. 2013; 33(4):1127-1140. Available from: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2013/V33/I4/1127>
4. Chang Y, Mengroag Li, Pai J, Chiu S. A mathematical model of enterprise competitive ability and performance through a particular Emden-Fowler equation. *Acta Mathematica Scientia*. 2011; 31B(5):1749-1764. Available from: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2011/V31/I5/1749>
5. Mengrong Li. Blow-up results and asymptotic behavior of the Emden-Fowler equation $u'' = |u|^p$. *Acta Mathematica Scientia*. 2007; 27(4):703-734. Available from: <http://manu45.magtech.com.cn/sxwlbB/EN/Y2007/V27/I4/703>



6. Muatjetjeja B, Khalique CM. Emden-Fowler type system: noether symmetries and first integrals. *Acta Mathematica Scientia*, 2012; 32(5):1959-1966. Available from: <http://manu45.magtech.com.cn/sxw1xbB/EN/Y2012/V32/I5/1959>

7. Samovol VS. O resheniyakh uravneniy tipa Emdena-Faulera [On solutions of Emden-Fowler-type equations]. *Matematicheskkiye zametki* = Mathematical Notes. 2014; 5(95):775-789. Available from: <http://mi.mathnet.ru/rus/mz/v95/i5/p775> (In Russ.)

8. Samovol VS. Ob asimptoticheskikh otsenkakh resheniy uravneniy tipa Emdena-Faulera [On the asymptotic estimates of solutions of Emden-Fowler type equations]. *Matematicheskkiye zametki* = Mathematical Notes. 2015; 1(97):103-114. Available from: <http://mi.mathnet.ru/rus/mz/v97/i1/p103> (In Russ.)

9. Astashova IV. O koleblemosti resheniy kvazilineynykh differentsialnykh uravneniy tipa Emdena-Faulera vysokogo poryadka [On oscillation of solutions to quasi-linear Emden-Fowler type higher-order differential equations]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* = Samara State University Bulletin. 2015; 6 (128):12-22. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24307586> (In Russ.)

10. Mamedova TF, Chernovanova YeA. Issledovaniye matematicheskikh modeley elektricheskikh tsepey metodom asimptoticheskoy ekvivalentnosti [The study of mathematical models of electrical circuits using asymptotic equivalence]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2015; 1-1:1772. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25325553> (In Russ.)

11. Mamedova TF, Lyapina AA. Algoritm issledovaniya modeley nelineynoy dinamiki [The algorithm of the nonlinear dynamics models study]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Povolzhskiy region: Fiziko-matematicheskkiye nauki* = Higher Educational Institutions Bulletin. Volga region. Physics and mathematics. 2013; 3(27):48-57. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21315164> (In Russ.)

12. Mamedova TF, Yegorova DK. Ob asimptoticheskom ravnovesii nekotorykh ekonomicheskikh sistem [About asymptotic equilibrium of some economic systems]. *Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva* = Middle Volga Mathematical Society Bulletin. 2013; 2(15):55-58. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19832782> (In Russ.)

13. Mamedova TF, Lyapina AA. On the investigation of dynamic models of socio-economic systems on the stability of some of the variables. *Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva* = Middle Volga Mathematical Society Bulletin. 2010; 4(12):152-157. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16035194> (In Russ.)

Submitted 31.05.2016; revised 16.06.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Tatyana F. Mamedova, professor of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics chair, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Physics and Mathematics), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7582-216X>**, mamedovtf@yandex.ru

Darya K. Yegorova, docent of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics chair, National Research Mordovia State University, (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Physics and Mathematics), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3392-6761>**, egorovadk@mail.ru

Yevgeniy V. Desyayev, docent of Applied Mathematics, Differential Equations and Theoretical Mechanics chair, National Research Mordovia State University, (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Physics and Mathematics), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2583-6966>**, desyaev@rambler.ru

Ramin Hess, master of Economical faculty, University of Goettingen (1, Wilhelmplatz, Goettingen, Germany), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6347-9528>**, ramin.hess@stud.uni-goettingen.de

The contribution of the authors: T. F. Mamedova formulated and proved Theorem 1 and summarized the results of the collective project; D. K. Yegorova formulated and proved the Theorem 2; Ye. V. Desyayev formulated and proved the Theorem 3; R. Hess gave an overview of the literature, formulated the corollary of Theorem 2. All authors have read and approved the final manuscript.



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

УДК 330:338.4

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.448-461

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ФАКТОРА НАДЕЖНОСТИ

Н. П. Макаркин

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

makarkin@mrsu.ru

Введение. Статья посвящена изложению авторского подхода к решению одной из задач теории управления запасами – оптимизации количества запасных элементов технических систем (ЗИП).

Материалы и методы. В статье раскрываются особенности задач оптимизации потребности в ЗИП для проведения плановых и аварийных ремонтов восстанавливаемой техники и соответствующие им методы решения. Экономические методы позволяют с достаточно высокой степенью точности моделировать изменение потребности в объеме и структуре ЗИП. В качестве критерия их оптимальности выступает минимум суммарных затрат потребителя на приобретение, оформление заказа и издержки хранения ЗИП. Приводятся методы расчета отдельных составляющих критерия оптимальности.

Результаты исследования. Предложенная в статье методика определения экономически оптимального количества ЗИП основывается на представленных функциональных зависимостях, наиболее важных для данной задачи, и на том очевидном, но часто игнорируемом факте, что движение к оптимуму в данном случае следует рассматривать как двухшаговую задачу, предполагающую поиск оптимального количества ЗИП для устранения аварийных отказов технических систем и оптимального его количества для проведения их плановых профилактических ремонтов и осмотров.

Обсуждение и заключения. Представленная методика, решая задачу определения оптимального количества ЗИП по каждой группе элементов техники, позволяет оптимизировать также состав их запаса.

Ключевые слова: запасные элементы, аварийный отказ техники, плановый ремонт техники, объем заказа, средний уровень запаса

Для цитирования: Макаркин Н. П. Экономическая оптимизация количества запасных элементов технических систем с учетом фактора надежности // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 448–461. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.448-461

Благодарности: Автор выражает признательность доктору экономических наук, профессору В. Н. Лившицу за ценные пожелания и замечания в ходе обсуждения статьи.



ECONOMIC OPTIMIZATION OF THE NUMBER OF SPARE ELEMENTS OF TECHNICAL SYSTEMS REGARDING THE RELIABILITY FACTOR

N. P. Makarkin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

makarkin@mrsu.ru

Introduction. The article deals with optimization of the number of spare parts of technical systems. This is one of the tasks of the inventory management theory.

Materials and Methods. The article reveals the peculiarities of optimization problems of spare parts kit (SPK) for scheduled and emergency repairs of the restored equipment and appropriate solution methods for them. The economic methods allow patterning the change of volume and structure of SPK with sufficient enough fine precision. As optimality criterion serves the minimum of total expenditures, ordering and cost of storage of SPK. The methods of calculation of separate components of the optimality criterion are presented.

Results. The mentioned method determining the economically optimal number of spare elements is based on presented functional dependencies and an obvious but often ignored fact that the motion towards the optimum in this case should be considered as a two-step task that search the optimal number of SPK for elimination of emergency (sudden) failures of technical systems and optimal amount for their planned preventive repairs and inspections.

Discussion and Conclusions. Solving the problem of definition of optimum quantity of SPK on each group of elements of equipment the presented method allows optimizing the structure of their stock.

Keywords: spare parts, emergency failures, scheduled repairs of equipment, order volume, stocks average level

For citation: Makarkin NP. Economic optimization of the number of spare elements of technical systems regarding the reliability factor. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):448-461. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.448-461

Acknowledgements: The author expresses his gratitude to Prof. V. N. Livshitz for constructive comments and remarks during the research.

Введение

По мере усложнения структуры и функций технических систем, используемых в производственной и иных сферах деятельности, все большее значение приобретает обеспечение их надежной и эффективной работы. Проблема поиска оптимального количества ЗИП (деталей, узлов, блоков и т. д.) справедливо рассматривается как частная задача теории управления запасами, решение которой имеет важное значение для обеспечения непрерывности и эффективности производства, а в ряде случаев и для достижения требуемой безопасности. Специфика данной проблемы состоит в том, что если потребность

в используемых материалах зависит от объемов и стабильности производства, то необходимость ЗИП определяется количеством техники, ее исходной надежностью, интенсивностью и условиями эксплуатации и качеством технического обслуживания. Определяющими для поиска оптимального количества ЗИП являются факторы, формирующие потребность для проведения плановых ремонтов, осмотров и аварийных отказов техники.

Обзор литературы

В научной и учебной литературе в области теории управления запасами, эксплуатации сложных технических систем и логистики вопросы

оптимизации количества ЗИП или не рассматриваются, или излагаются поверхностно, или упрощаются, например, использованием для решения данной задачи традиционных моделей оптимизации запаса, характерных для производства материалов. Например, в работе Д. Шрайбфедера рекомендации по определению объема ЗИП изложены кратко и крайне обобщенно [1]. Универсальные вербальные рекомендации, несомненно, ценны, но они не позволяют решить указанную задачу в конкретных условиях эксплуатации различных классов технических систем.

Среди российских авторов, уделявших внимание вопросам снабжения ЗИП и минимизации затрат, следует прежде всего выделить Ю. И. Рыжикова – одного из тех, кто стоял у истоков российской школы теории запасов [2–3]. Кроме этого, в конце XX в. в России было опубликовано множество работ представителей теории надежности: В. К. Дедкова и Н. А. Северцева [4], Г. Н. Черкесова [5–6] и др.

К сожалению, во многих исследованиях, посвященных обеспечению технических систем запасными элементами, не всегда учитывается тот факт, что для восстанавливаемых систем общая потребность в ЗИП формируется как суммарная потребность независимых друг от друга потребностей в элементах для устранения аварийных отказов техники и для проведения их плановых профилактических ремонтов. Пренебрежение этим обстоятельством является одним из препятствий на пути к принятию объективных решений при определении объема запаса.

Материалы и методы

Особенности формирования потребности в ЗИП для двух видов

восстановительных работ (плановых и внеплановых), определяют свои подходы и методы оптимизации объема запаса. Ключевым является вопрос выбора критерия его оптимизации. Американские специалисты в области методологии исследования операций Р. Акоф и М. Сасиени, говоря о задачах управления запасами, писали: «...целевая функция в задачах такого рода сводится к минимизации общих (фактических или ожидаемых) затрат. Но если запас оказывает влияние на спрос (т. е. на объем ресурса, требующийся потребителю), то целевая функция может выражаться в максимизации (фактической или ожидаемой) прибыли» [7]. В работе [8] нами было показано, что поиск экономически оптимальных решений при соблюдении ряда условий критерии (целевые функции) минимизации затрат и максимизации прибыли приводят к тождественным результатам. При этом отмечается преимущество целевой функции в виде минимума затрат, которое выражается в упрощении методов расчета, что имеет важное значение для практической работы.

Анализ показывает, что при оптимизации количества ЗИП, предназначенных для устранения аварийных отказов, при экспоненциальном законе их распределения могут быть применены методы, используемые при управлении запасами равномерно расходуемых материалов. В данном случае приемлемые результаты может дать использование формулы Ф. В. Харриса, позволяющей определить экономически оптимальный размер заказа, при котором минимизируется стоимость заказа материалов и их хранения в запасе¹. Однако она неприемима для решения задач оптимизации

¹ Популярную формулу расчета экономически оптимального размера заказа в литературе часто называют формулой Р. Уилсона (или Вилсона) [9], что противоречит истине. На самом деле ее автором, по мнению Дж. Ригса, является американский инженер-технолог Ф. В. Харрис, который разработал ее в 1913 г., а не в 1915 г. [10]. Его консультант Р. Уилсон помог только в ее распространении.



ции количества ЗИП, предназначенных для проведения плановых ремонтов и замен, в виду неравномерного изменения во времени объема потребности в них. По этой причине требуется использование другого методического подхода к формированию оптимальной политики управления запасами элементов для восстановления техники.

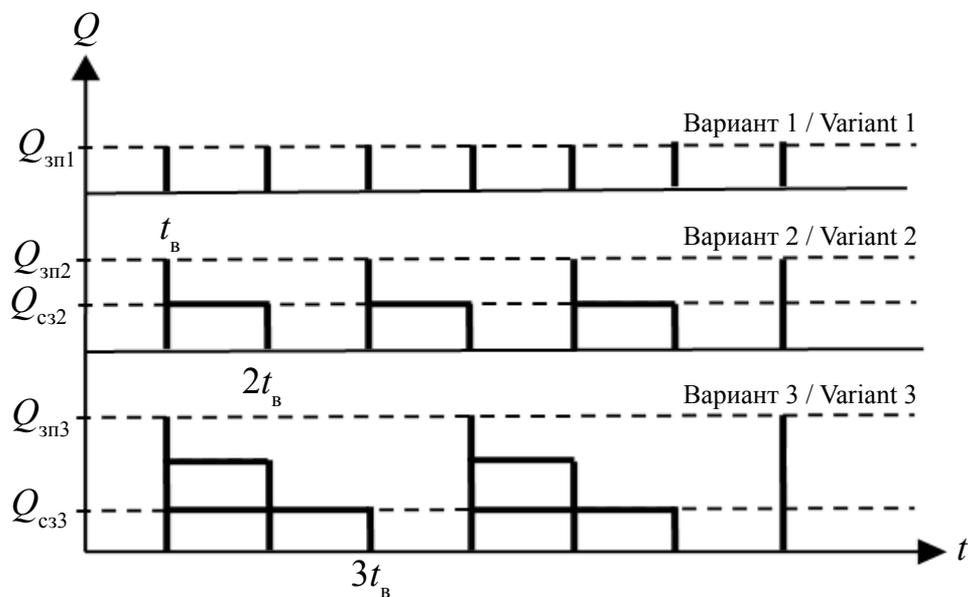
Результаты исследования

Изложение подхода к поиску оптимального количества ЗИП начнем с рассмотрения основных зависимостей, которые необходимо учитывать в процессе управления запасами. Пусть имеется некая техническая система, одна группа элементов которой, получаемая от одного поставщика, имеет средний ресурс, равный t_B . На рис. 1 для 3-х интервалов времени между по-

ступлениями заказов показана динамика количества ЗИП во времени².

Анализ представленных вариантов позволяет сделать некоторые выводы, важные для понимания особенностей решения подобных задач.

Вариант 1 исходит из того, что интервал между поступлениями заказов равен среднему ресурсу элементов – t_B , а подача заказа осуществляется в момент $t = 0$. В этом случае экономически целесообразный размер заказа равен количеству заменяемых элементов по истечении их среднего ресурса (периода нормальной работы). При данных условиях количество ЗИП для полной замены, хранящихся у потребителя, равно нулю. Подобный вариант полного отсутствия запаса недопустим при управлении запасами материалов, поскольку прерывает процесс производства.



Р и с. 1. Графические модели изменения запасов элементов для различных интервалов времени между поставками

F i g. 1. Graphical models of changes of stock elements for various time intervals between deliveries

² В данном случае рассматривается динамика ЗИП, используемых только для замены всей группы элементов по истечении времени t_B , без учета спроса на ЗИП для устранения аварийных отказов техники.

Второй вариант соответствует условиям, когда интервал между поставками (поступлениями заказов) равен двум средним ресурсам элементов, а размер заказа в связи с этим равен удвоенному количеству элементов данной группы, т. е.

$$t_{зэi2} = 2t_{эi};$$
$$Q_{зэi2} = 2\beta_{эi},$$

где $t_{зэi2}$ – интервал между поставками запасных элементов при 2-м варианте; $Q_{зэi2}$ – объем заказа; $\beta_{эi}$ – количество i -х элементов, содержащихся в технической системе.

Таким образом, для равных или кратных среднему ресурсу интервалов между поставками запасных элементов запишем:

$$t_{зэik} = Kt_{эi};$$
$$Q_{зэik} = K\beta_{эi}, \quad (1)$$

где K – коэффициент кратности увеличения интервала поставки и объем заказа по сравнению со средним ресурсом элементов и их количеством в технической системе соответственно ($K \geq 1$).

Представленный график демонстрирует 2 особенности процесса движения ЗИП, предназначенных для плановых замен. Во-первых, при равенстве интервала поставки и среднего ресурса отсутствует необходимость иметь на складе ЗИП для проведения плановых ремонтов. Во-вторых, при различных интервалах поставки, превышающих средний ресурс элементов, завершающий межремонтный период протекает также без наличия ЗИП.

Для выбора экономически оптимального решения в процессе управления запасами элементов большое значение имеет расчет их среднего уровня, для которого, как будет показано ниже, не всегда существует прямая зависимость от объема заказа. При любом ин-

тервале и объеме поставки она выглядит следующим образом:

$$Q_{о_зэiк} = \frac{KQ_{о_зэi1} - Q_{о_зэiк}}{2} =$$
$$= 0,5Q_{о_зэi1}(K - 1), \quad (2)$$

где $Q_{зэi1}$ – объем заказа при интервале поставки, равном среднему ресурсу элементов.

Учитывая, что в рассматриваемых условиях $Q_{зэi1} = \beta_{эi}$, выражение (2) примет вид:

$$Q_{о_зэiк} = 0,5\beta_{эi}(K - 1). \quad (3)$$

Максимальное количество ЗИП достигается в момент поступления заказа и сохраняется в течение первого после этого момента межремонтного периода. В отличие от запасов материалов, он не равен размеру заказа, поскольку часть заказа, равная $\beta_{эi}$ незамедлительно используется для замены данной группы элементов. Следовательно, для максимального уровня запаса запишем:

$$Q_{мзк} = \beta_{эi}(K - 1). \quad (4)$$

Спецификой потребности в ЗИП для полной замены является ее дискретность, поэтому даже незначительное отклонение интервала поставки от величин, кратных межремонтному периоду, может привести к существенному изменению объема заказа.

Рассмотрим, как изменяется средний размер запаса элементов при интервалах поставки, не кратных межремонтному периоду. На практике это возможно в случаях, когда от одного поставщика осуществляются одновременные поставки по нескольким типам элементов, потребность в каждом из которых незначительна, и отдельные поставки экономически невыгодны.

Сделаем некоторые предварительные пояснения и сформулируем

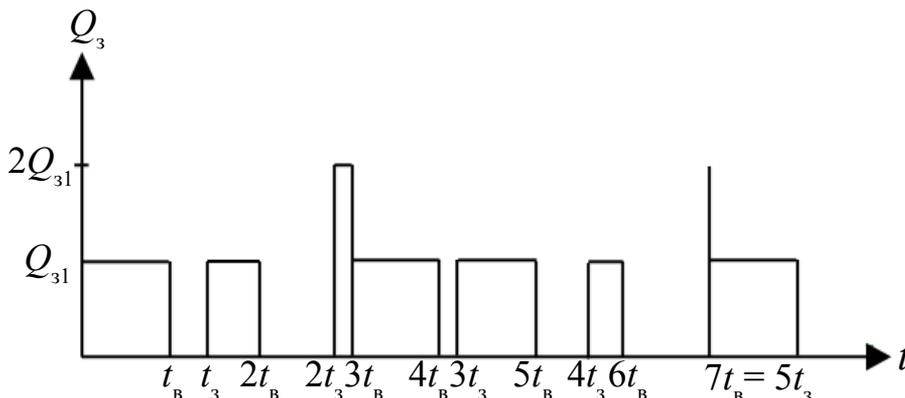


основные закономерности, характерные для данных условий. Отклонение интервала поставки от длительности межремонтного периода или нарушение кратности этих временных отрезков сохраняет неизменным то правило, что объемы поставок (заказа) или равны, или кратны количеству ЗИП, содержащихся в технике. В рассматриваемых условиях

$$t_3 = \alpha t_B, \quad (5)$$

где α – коэффициент, который в условиях неограниченности объема поставок (заказа) принимает любые положительные значения.

В качестве примера рассмотрим динамику объемов заказа при $t_3 = 1,4 t_B$. На рис. 2 показано изменение во времени объемов хранения.



Р и с. 2. Динамика объемов заказа и хранения при $t_3 = 1,4t_B$

F i g. 2. Dynamics of order volumes and storage if $t_3 = 1,4t_B$

При принятом нами соотношении между интервалом поставки и межремонтным периодом в начальный момент времени объем заказа должен быть равен потребности в одной замене данных элементов, содержащихся в технике (назовем объем этой потребности одним комплектом ЗИП). Данный комплект будет находиться в запасе до момента времени t_B . В момент времени t_3 поступит новый комплект ЗИП, который будет использован в момент времени $2t_B$. В момент первой поставки, т. е. в момент времени t_3 , должен быть осуществлен заказ на 2 комплекта запасных элементов, поскольку в период $2t_3 - 3t_3$ должны быть осуществлены замены элементов $3t_B$ и $4t_B$. В период $2t_3 - 3t_B$ на складе будет находиться максимальный запас, равный двум комплектам. В момент $4t_3$ объем заказа так-

же должен быть равен двум комплектам запасных элементов, поскольку в момент $7t_B = 5t_3$ один комплект будет использован сразу, а другой – по истечении следующего межремонтного периода. Моментом $7t_B = 5t_3$ завершается первый цикл движения запасов элементов для интервала поставки, равного $1,4t_B$. Все последующие циклы идентичны первому. Из анализа следует, что объемы заказов в течение цикла непостоянны: принимают значения Q_{31} и $2Q_{31}$. Максимальный размер заказа равен $2Q_{31}$, а средний уровень запаса – $0,6Q_{31}$.

Анализ движения запасов элементов для других интервалов поставки показывает, что при движении запчастей, предназначенных для плановых замен, характерны явления, не свойственные процессам движения запасов равномерно используемых материалов. Это при-

водит к следующим выводам о запасе элементов для полной замены:

– объем заказа изменяется во времени даже при постоянстве интервала поставки и объема потребности;

– не существует прямой пропорциональной зависимости между объемом заказа и средним уровнем запаса;

– существуют циклы движения запасов элементов, повторяющиеся через равные промежутки времени; каждый цикл завершается моментом, когда время поступления заказа и замены элементов совпадает, т. е. когда

$$nt_3 = ant_3, \quad (6)$$

где n и an – целые числа.

Решение поставленной задачи требует получения значений среднего размера запаса элементов для большого количества различных интервалов поставок. В работе [9] приводятся расчетные значения среднего размера запаса для значений α от 0,05 до 4,00, которые могут быть использованы для разных видов ЗИП.

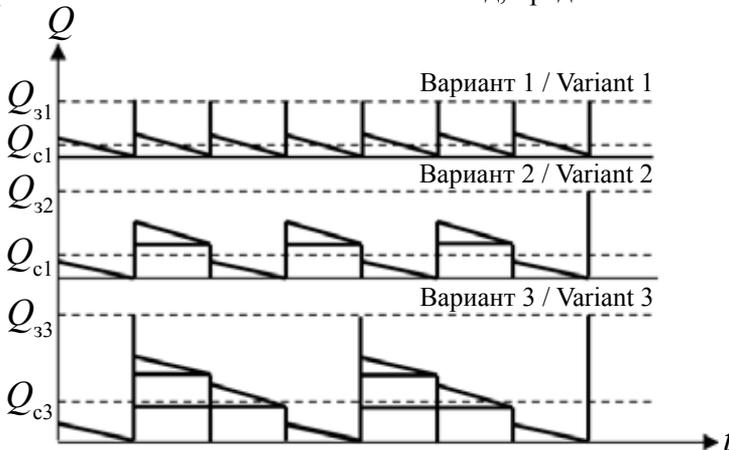
Анализ динамики среднего уровня запаса под влиянием изменения интервала поставки (значения коэффициента α) показывает, что он сохраняет общую тенденцию роста.

Совершенно иначе происходит движение другой части запасов элементов, которая предназначена для устранения аварийных отказов. Спрос на них в условиях экспоненциального закона распределения отказов является постоянным, а динамика объема аналогична изменению запасов материалов.

Максимальное количество ЗИП, как и в прежних моделях, достигается в момент поступления заказа. Однако в данном случае, в отличие от ЗИП для замены всей группы элементов, максимальное количество запаса равно размеру заказа.

Последняя модель в чистом виде характерна для техники производственного назначения, стратегия обслуживания которой предусматривает в процессе эксплуатации проведение только аварийных ремонтов, без плановых ремонтов и замен.

Однако в реальных условиях, как правило, имеет место сочетание планово-предупредительных ремонтов (замен) и аварийных, поэтому для любой группы элементов техники общая динамика совокупного запаса элементов (для полной плановой замены и устранения аварийных отказов) для трех ранее рассмотренных вариантов имеет вид, представленный на рис. 3.



Р и с. 3. Графические модели управления совокупными запасами элементов для полной замены и устранения аварийных отказов

F i g. 3. Graphical models of aggregate stock items control for complete substitution and elimination of crashes



Рассмотренные нами основные зависимости позволяют перейти непосредственно к изложению методов измерения показателей, с помощью которых осуществляется оптимизация управления запасами элементов.

Объем годовой потребности в ЗИП, влияя на объем заказа, средний уровень запаса и определяя затраты потребителя на приобретение ЗИП, является одним из важных показателей в рассматриваемой нами задаче.

Суммарная годовая потребность – результирующий показатель, объединяющий спрос на ЗИП для плановых и аварийных замен, для замен вышедших из строя элементов в процессе их хранения и, при необходимости, – потребность в страховом запасе.

Годовая потребность в ЗИП для проведения плановых ремонтов (замен) определяется исходя из годового количества ремонтов и количества данных элементов в технической системе, т. е.

$$Q_{\text{пз}} = n_{\text{гвз}} \beta_{\text{з}}, \quad (7)$$

где $n_{\text{гвз}}$ – годовое количество плановых замен i -х элементов.

Спрос на ЗИП для плановых замен для известного количества элементов в технике зависит от их среднего ресурса (долговечности), который определяет годовое количество плановых замен. Интервалы между поставками и плановыми заменами элементов определяются временем работы техники в часах, поскольку ресурс элементов оценивается рабочим временем, а интервал поставки равен или кратен длительности этого времени.

При необходимости перевода интервала между поставками и заменами в календарное исчисление можно воспользоваться коэффициентом, характеризующим отношение возможного годового фонда работы техники к реальному, т. е.

$$K_{\text{и}} = \frac{T_{\text{гв}}}{T_{\text{гр}}} \geq 1. \quad (8)$$

где $T_{\text{гв}}$ и $T_{\text{гр}}$ – возможный и фактический годовой фонд работы техники, ч.

Годовое количество плановых замен i -х элементов определяется следующим равенством:

$$n_{\text{гвз}} = \frac{T_{\text{гр}}}{t_{\text{вз}}}. \quad (9)$$

Спрос на ЗИП для проведения аварийных ремонтов при известной вероятности безотказной работы рассчитывается следующим образом³:

$$Q_{\text{газ}} = \beta_{\text{з}} n_{\text{гвз}} [1 - P_{\text{з}}(t_{\text{в}})]. \quad (10)$$

Для показателя безотказности в виде интенсивности отказов запишем:

$$Q_{\text{газ}} = \beta_{\text{з}} n_{\text{гвз}} \lambda_{\text{з}}(t_{\text{в}}) t_{\text{в}}. \quad (11)$$

Следовательно, общий годовой спрос на ЗИП для проведения плановых и аварийных ремонтов выражается уравнением:

$$Q_{\text{гоз}} = \beta_{\text{з}} n_{\text{гвз}} [2 - P_{\text{з}}(t_{\text{в}})], \quad (12)$$

или

$$Q_{\text{гоз}} = \beta_{\text{з}} n_{\text{гвз}} [1 + \lambda_{\text{з}}(t_{\text{в}}) t_{\text{в}}]. \quad (13)$$

Дополнительный спрос потребителя на ЗИП для замены вышедших из строя элементов, находящихся в запасе, определяется следующим образом:

$$Q_{\text{хз}} = Q_{\text{сзозик}} n_{\text{гвз}} \lambda_{\text{хз}}(t_{\text{в}}) t_{\text{в}}, \quad (14)$$

где $Q_{\text{сзозик}}$ – средний общий уровень запаса элементов для проведения плановых и аварийных ремонтов в течение года; $\lambda_{\text{хз}}(t_{\text{в}})$ – интенсивность отказов i -х элементов в процессе хранения в течение периода $t_{\text{в}}$.

³ В моделях оптимизации ЗИП используются разные показатели надежности, например, в работах [11–13] поиск оптимального комплекса ЗИП проводится на основе коэффициента готовности и наработки до отказа.



Выражение (14) указывает на то, что определению суммарной потребности в ЗИП должен предшествовать расчет среднего общего уровня запаса элементов для проведения плановых и аварийных ремонтов. Он осуществляется по формуле:

$$Q_{сз\text{о}и\text{к}} = Q_{сз\text{п}и\text{к}} + Q_{сз\text{а}и\text{к}} \quad (15)$$

где $Q_{сз\text{п}и\text{к}}$ и $Q_{сз\text{а}и\text{к}}$ – средний уровень запаса элементов для устранения плановых и аварийных отказов соответственно.

Средний уровень запаса элементов для проведения плановых замен определяется по формуле (2). В условиях, когда интервалы поставок кратны или равны среднему ресурсу элементов, этот показатель должен определяться для значений интервалов поставок от $t_{вз}$ до $Kt_{вз}$. При этом объемы заказов, как показано ранее, изменяются от $Q_{зп\text{з}1}$ до $KQ_{зп\text{з}1}$. В таблице представлена взаимосвязь перечисленных показателей и даны значения среднего уровня запаса элементов у потребителя для различных значений коэффициента K .

Т а б л и ц а

Table

Значения среднего уровня запаса элементов для различных интервалов и объемов поставок

Values of the average level of stock elements for various intervals and volumes of supplies

Значение коэффициента K / Factor K	Интервал поставки (заказа) / Delivery interval (order)	Объем поставки (заказа) / Volume of delivery (order)	Средний уровень запаса элементов / Average level of spare elements
1	$t_{вз}$	$Q_{зп\text{з}1} = \beta_{з}$	0
2	$2t_{вз}$	$2Q_{зп\text{з}1} = 2\beta_{з}$	$0,5Q_{зп\text{з}1} = 0,5\beta_{з}$
3	$3t_{вз}$	$3Q_{зп\text{з}1} = 3\beta_{з}$	$Q_{зп\text{з}1} = \beta_{з}$
...
K	$Kt_{вз}$	$KQ_{зп\text{з}1} = K\beta_{з}$	$0,5Q_{зп\text{з}1}(K-1) = 0,5\beta_{з}(K-1)$

Для ЗИП, предназначенных для устранения аварийных отказов, объем заказа равен потребности в них в интервале между поставками:

$$Q_{з\text{а}з} = K\beta_{з}\lambda_{з}(t_{вз})t_{вз} \quad (16)$$

Средний уровень запаса равен половине объема заказа⁴:

$$Q_{сз\text{а}и\text{к}} = 0,5K\beta_{з}\lambda_{з}(t_{вз})t_{вз} \quad (17)$$

В развернутом виде для общего случая и с учетом того, что $Q_{зп\text{з}1} = \beta_{з}$, средний общий уровень запаса вычисляется по следующей формуле:

$$Q_{сз\text{а}и\text{к}} = 0,5\beta_{з} [K\lambda_{з}(t_{вз})t_{вз} + (K-1)]. \quad (18)$$

Подставляя значение среднего уровня запаса элементов для плановых и аварийных ремонтов в выражение (14), найдем размер дополнительного спроса потребителя на ЗИП для замены вышедших из строя при хранении, что позволит определить объем суммарной потребности:

$$Q_{г\text{с}з} = Q_{г\text{п}з} + Q_{г\text{а}з} + Q_{г\text{х}з} \quad (19)$$

Найдем суммарный объем заказа:

⁴ При условии, что интенсивность отказов элементов остается неизменной во времени, т. е. при экспоненциальном законе распределения отказов.



$$Q_{зсэi} = \frac{Q_{гсэi}}{n_{гзэi}}, \quad (20)$$

где $n_{гзэi}$ – количество поставок (заказов) i -х элементов в течение года.

Годовое количество заказов определяется следующим образом:

$$n_{гзэi} = \frac{T_{гп}}{t_{зэi}}. \quad (21)$$

Учитывая, что $t_{зэi} = Kt_{вэi}$, получим:

$$n_{гзэi} = \frac{T_{гп}}{Kt_{вэi}}, \quad (22)$$

или

$$n_{гзэi} = \frac{n_{гвэi}}{K}. \quad (23)$$

При $K = 1$ количество заказов равны количеству плановых замен. Используя последнее выражение, запишем формулу (20) в следующем виде:

$$Q_{зсэi} = \frac{Q_{гсэi} K}{n_{гвэi}}. \quad (24)$$

Из изложенного следует, что суммарный объем заказа может быть рассчитан или по формуле (20), или таким образом:

$$Q_{зсэi} = Q_{зпэi} + Q_{завэi} + Q_{зхэi}. \quad (25)$$

В выражении (25) нами не был раскрыт подход к определению величины последнего слагаемого – объема заказа ЗИП, предназначенных для замены элементов, вышедших из строя при хранении. Расчет данной величины производится аналогично расчету размера заказа элементов для аварийных ремонтов с учетом других объемов и показателей безотказности. Размер заказа на данные ЗИП равен объему потребности в данных элементах в период между поставками.

Рассмотрим основные составляющие затрат на создание и хранение ЗИП.

Наиболее весомым компонентом издержек потребителя на указанные цели являются затраты на приобретение (включая затраты на доставку) или производство ЗИП. Чаще всего они приобретаются у внешнего поставщика, но в некоторых случаях их выпуск может быть налажен в рамках общего производства. Цена приобретения образует дополнительный компонент издержек, который определяется величиной несостоявшегося дохода в связи с инвестированием капитала в ЗИП. Он определяется произведением цены и нормы эффективности (нормы прибыли) в долях единицы.

Две другие составляющие затрат – стоимость оформления заказа и издержки хранения ЗИП. Применительно к запасам, используемым в производстве материалов и комплектующих, и запасам элементов для восстановления техники, справедливо утверждение: оптимальный объем заказа «...увеличивается по мере увеличения стоимости оформления заказа и уменьшается соответственно стоимости хранения запасов» [14]. Издержки на оформление и выдачу поставщику заказа на ЗИП и их получение можно называть затратами на материально-техническое снабжение, обеспечивающее движение ЗИП от поставщика до потребителя.

Другим значимым компонентом издержек потребителя являются издержки хранения ЗИП. К ним относятся:

- капитальные вложения на строительство помещений для складского хозяйства (или арендная плата при аренде складских помещений) и приобретение складского оборудования;

- текущие издержки на содержание складского хозяйства: отопление, освещение, налоги на имущество, заработная плата складского персонала, содержание складского оборудования;

– обесценивание ЗИП в результате их физического и морального износа в процессе хранения;

– страхование запасов.

Эти издержки могут составлять более половины затрат на приобретение ЗИП. Например, согласно данным В. В. Волгина, издержки английских дилеров на содержание запасных частей составляют 65 % от закупочной цены [15].

Подводя итог, перейдем к количественному выражению годовых суммарных затрат потребителя и их отдельных составляющих на создание запаса элементов и их хранение. При известной годовой потребности в ЗИП и стабильности цен на них годовые затраты потребителя на приобретение таких элементов с общепринятых позиций должны определяться как произведение цены и годовой потребности в ЗИП. Обозначив эти затраты $Z_{гспз}$, получим:

$$Z_{гспз} = Q_{гспз} \cdot C_{зг}, \quad (26)$$

Известно, что с увеличением объема закупаемой продукции устанавливаются определенные скидки с ее оптовой стоимости, т. е. цены на ЗИП зависят от объема заказа. Рассматривая цену как функцию объема заказа, представим формулу (26) в следующем виде:

$$Z_{гспз} = Q_{гспз} \cdot C_{зг}(Q_{зг}). \quad (27)$$

Другими словами, по мере увеличения количества заказываемых элементов величина годовых затрат потребителя на их приобретение будет снижаться.

Издержки на оформление и выдачу заказа поставщику состоят из расходов, связанных с содержанием персонала, занятого данной работой, а также канцелярских и экспедиторских расходов. В укрупненных расче-

тах их величину можно считать не зависящей от размера заказа, поскольку заказы оформляются по многим видам элементов различным поставщикам и в разное время, что ведет к определенной стабильности этих издержек. Однако для получения более объективных результатов расчетов в составе этих затрат необходимо выделить 2 части: зависящую от объема заказа и не зависящую от него. Первая часть включает канцелярские и экспедиторские расходы, вторая – остальные. С учетом этого запишем:

$$Z_{овзг} = Z_{овзг}(Q_{зг}) + Z_{овзг}, \quad (28)$$

где $Z_{овзг}$ – затраты потребителя на оформление и выдачу заказа на запасные элементы; $Z_{овзг}(Q_{зг})$ – часть затрат потребителя на оформление и выдачу заказа, зависящая от объема заказа; $Z_{овзг}$ – часть затрат потребителя на оформление и выдачу заказа, не зависящая от объема заказа.

Чем больше объем заказа, тем меньше количество заказов оформляется в течение года и тем ниже затраты переменной части. Графически данную динамику можно представить в виде кривой, асимптотически приближающейся к оси, которая показывает изменение объема заказа.

Издержки хранения, как было отмечено ранее, включают капитальные и текущие издержки, годовая величина которых в целом в расчете на единицу хранения определяется по формуле:

$$Z_{ехзг} = K_{ехзг} \cdot E + I_{гхзг}, \quad (29)$$

где $K_{ехзг}$ – стоимость складских помещений и оборудования, необходимых для хранения одного элемента i -й группы; E – норма эффективности в долях единицы; $I_{гхзг}$ – годовые текущие издержки хранения одного элемента i -й группы.

В практике компаний общие издержки хранения, как правило, вычисля-



ют исходя из среднего уровня запаса⁵. В этом случае годовые издержки хранения запасов i -х элементов находят по следующей формуле:

$$Z_{хоэi} = Z_{ехэi} Q_{сз}. \quad (30)$$

В традиционных моделях управления запасами, как известно, средний уровень запаса принимается равным половине объема заказа, поэтому для данного случая

$$Z_{хоэi} = Z_{ехэi} 0,5Q_{сз}. \quad (31)$$

Приведенная зависимость издержек хранения от объема заказа применима только для ЗИП, используемых для аварийных ремонтов техники.

Согласно вышеизложенному, годовые издержки на хранение данных ЗИП определяются по формуле:

$$Z_{хаэi} = 0,5Z_{ехэi} K\beta_{эi} \lambda_{эi}(t_{эi})t_{эi}. \quad (32)$$

Отсутствие непрерывности в использовании ЗИП для плановых ремонтов формирует особую зависимость между объемом заказа, средним уровнем запаса и интервалом поставки. В ее основе лежит тот факт, что объемы поставок таких элементов должны быть кратными количеству элементов, содержащихся в технике, а интервалы поставок в силу целого ряда причин – различными. Следовательно, издержки хранения ЗИП для полной замены, могут быть определены по одной из следующих формул:

$$Z_{хпэi} = Z_{ехэi} 0,5(Q_{эпэi} - \beta_{эi}); \quad (33)$$

$$Z_{хпэi} = Z_{ехэi} 0,5Q_{эпэi} (K - 1); \quad (34)$$

$$Z_{хпэi} = Z_{ехэi} 0,5\beta_{эi} (K - 1). \quad (35)$$

Если интервал поставки не кратен среднему ресурсу элементов, то издержки хранения будут изменяться

в соответствии с изменением среднего уровня запаса, расчетные значения которого приводятся в таблице.

Известно, что в составе запаса находятся элементы, используемые для замены вышедших из строя в процессе хранения. Средний уровень запаса данных элементов с учетом их равномерного расходования равен половине объема заказа (17), т. е.

$$Q_{сэхэik} = 0,5KQ_{сэоэik} \lambda_{хэi}(t_{эi})t_{эi}. \quad (36)$$

В общем случае издержки хранения элементов вычисляются по следующей формуле:

$$Z_{ххэi} = Z_{ехэi} Q_{сэхэik}. \quad (37)$$

Следовательно, для суммарных издержек хранения запасных элементов различного назначения запишем:

$$Z_{хсэi} = Z_{хаээ} + Z_{хпэi} + Z_{ххэi}. \quad (38)$$

Таким образом, суммарные годовые издержки потребителя на создание запаса и хранение запасных элементов определяются в следующем виде:

$$Z_{сгэi} = Z_{гсэi} + D_{нзэi} + Z_{овэi} + Z_{хоэi}. \quad (39)$$

Минимальное значение суммарных затрат является критерием выбора экономически оптимального количества ЗИП. Поиск минимального уровня затрат осуществляется путем сопоставления их значений для различных интервалов поставок и соответствующих им объемов заказов, т. е. для различных значений K . Для этого последовательно определяется уровень суммарных затрат для различных интервалов поставки до момента, когда снижение затрат сменится их ростом. Минимальный уровень показателя определит экономически наиболее выгодный размер заказа и среднего уровня запаса для единицы и совокупности эксплуатируемой техники.

⁵ Используют более упрощенный метод в виде вычисления определенного процента от среднегодовой стоимости запасов.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами / Пер. с англ. М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. С. 71–72. URL: <http://www.lobanov-logist.ru/upload/iblock/e8b/e8b7866b63a219ef94f7666984c1987d.pdf>
2. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управления запасами. СПб. : Питер, 2001. 384 с.
3. Рыжиков Ю. И. Планирование восстанавливаемого ЗИПа // Интегрированная логистика. 2011. № 1. С. 34–36. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15583131>
4. Дедков В. К., Северцев Н. А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. школа, 1976. 406 с. URL: http://www.studmed.ru/dedkov-vk-severcev-na-osnovnyye-voprosy-ekspluatatsii-slozhnyh-sistem_fedeb3200af.html
5. Черкесов Г. Н. Проблема ЗИП и задача формирования нового раздела теории надежности восстанавливаемых систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ (Сер. «Информатика. Телекоммуникации. Управление»). 2011. № 6 (138). С. 136–153. URL: ntv.spbstu.ru/issue/T6-1.138.2011.pdf
6. Черкесов Г. Н. О критериях выбора комплектов ЗИП // Надежность. 2013. № 2 (45). С. 3–18. URL: www.gcherkesov.com/articles/reliability.pdf
7. Акоф Р., Сасени М. Основы исследования операций / Пер. с англ. ; под ред. И. А. Ушакова. М. : Мир, 1971. 212 с. URL: <http://www.razym.ru/naukaobraz/disciplini/matem/191174-akof-r-sasieni-m-osnovy-issledovaniya-operaciy.html>
8. Макаркин Н. П. Экономика надежности техники. М. : Экономика, 2001. С. 295–297.
9. Рогов В. А., Чудаков А. Д. Управление запасами. Старый Оскол : ТНТ, 2013. 216 с. URL: <http://opac.mpei.ru/notices/index/IdNotice:183709>
10. Риггс Дж. Производственные системы: планирование, анализ, контроль / Пер. с англ; под общ. ред. А. И. Анчишкина. М. : Прогресс, 1972. 343 с. URL: <http://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=104515>
11. Антонов А. В. К вопросу оптимизации комплекта запасных изделий с учетом частичной выработки их ресурса // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5547>
12. Карасев В. О. Модель и методика оптимизации объема оборотного фонда запасных частей, обеспечивающего заданные показатели готовности парка воздушных судов // Технологии PLM и ИЛП. № 5. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/792013.html>
13. Чуркин В. В. Оценка и оптимизация комплекта ЗИП с помощью метода статистического моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2015. Вып. 2(217)-3(222). С. 79–92. URL: <http://www.mathnet.ru/links/0fead55a28650811ed8e13e02ebbe56a/ntitu105.pdf>
14. Гаррисон А., Ван Гок Р. Логистика: стратегия управления и конкурентирования через цепочки поставок. М. : Дело и Сервис, 2010. С. 223. URL: <http://www.bookvoed.ru/book?id=616107>
15. Волгин В. В. Запасные части: особенности маркетинга и менеджмента. М. : Ось-89, 1997. С. 46. URL: <http://absopac.rea.ru/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:56408>

Поступила 12.05.2016; принята к публикации 30.05.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторе:

Макаркин Николай Петрович, президент, заведующий кафедрой экономики и организации производства экономического факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор экономических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3952-5811>**, makarkin@mrsu.ru

REFERENCES

1. Schreibfeder J. Effektivnoye upravleniye zapasami [Achieving effective inventory management]. Moscow: Alpina Books; 2005. Available from: <http://www.lobanov-logist.ru/upload/iblock/e8b/e8b7866b63a219ef94f7666984c1987d.pdf> (In Russ.)



2. Rizhikov UI. Teoriya ochere dey i upravlyeniya zapasami [Queues theory and inventory management]. St. Petersburg: 2001. (In Russ.)
3. Rizhikov UI. Planirovaniye vosstanavlivayemogo ZIPa [Planning recoverable Spare Parts Kit]. *Integririvanaya logistika* = Integrated Logistics. 2011; 1:34-36. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15583131> (In Russ.)
4. Dedkov VK, Severtsev NA. Osnovnyye voprosy ekspluatatsii slozhnykh sistem [The main issues of complex systems operations]. Moscow: Vysshaya shkola; 1976. Available from: http://www.studmed.ru/dedkov-vk-severcev-na-osnovnye-voprosy-ekspluatatsii-slozhnykh-sistem_fedeb3200af.html (In Russ.)
5. Cherkesov GN. Problema ZIP i zadacha formirovaniya novogo razdela teorii nadezhnosti vosstanavlivayemykh sistem [Spare parts kit and the theory of restorable systems reliability]. *Nauchno-tekhnicheskoye vedomosti SPbGPU: Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* = Scientific and Technical Annals of SPbGPU: Informatics. Telecommunications. Management. 2011; 6(138):136-153. Available from: ntv.spbstu.ru/issue/T6-1.138.2011.pdf (In Russ.)
6. Cherkesov GN. O kriteriyakh vybora komplektov ZIP [Some Criteria of Selecting of Spare Parts Kit Sets]. *Nadezhnost* = Reliability. 2013; 2(45):3-18. Available from: www.gcherkesov.com/articles/reliability.pdf (In Russ.)
7. Ackoff RL, Sasieni MW. Osnovy issledovaniya operatsiy [Fundamentals of Operation Research]. Moscow: Mir; 1971. Available from: <http://www.razym.ru/naukaobraz/disciplini/matem/191174-akof-rsasieni-m-osnovy-issledovaniya-operatsiy.html> (In Russ.)
8. Makarkin NP. Ekonomika nadezhnosti tekhniki [Reliability engineering economics]. Moscow: Ekonomika; 2001. (In Russ.)
9. Rogov VA, Chudakov AD. Upravlyeniye zapasami [Inventory management]. Stariy Oskol: TNT; 2013. Available from: <http://opac.mpei.ru/notices/index/IdNotice:183709> (In Russ.)
10. Riggs JL. Proizvodstvennyye sistemy: planirovaniye, analiz, kontrol [Manufacturing systems: planning, analysis, and supervision]. Moscow: Progress; 1972. Available from: <http://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=104515> (In Russ.)
11. Antonov AV. K voprosy optimizatsii komplekta zapasnykh izdeliy s uchetom chastichnoy vyrabotki ikh resursa [Optimization issues of spare part products with a glance of partial resource output]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2012; 1. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5547> (In Russ.)
12. Karasev VO. Model i metodika optimizatsii obyema oborotnogo fonda zapasnykh chastey obespechivayushchego zadannyye pokazateli gotovnosti parka vozdushnykh sudov [Model and methods of the revolving fund volume optimization of spare parts providing air fleet availability indicator]. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskyy vestnik* = Youth Science and Technology Gazette. 2015; 6. Available from: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/792013.html> (In Russ.)
13. Churkin VV. Otsenka i optimizatsiya komplekta ZIP s pomoshchyu metoda statisticheskogo modelirovaniya [Estimation and optimization of spare parts kit using the method of statistical modeling estimation and optimization of spare parts kit using the method of statistical modeling]. *Nauchno-tekhnicheskoye vedomosti SPbGPU: Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* = Scientific and Technical Annals of SPbGPU: Informatics. Telecommunications. Management. 2015. 2(217)-3(222):79-92. Available from: <http://www.mathnet.ru/links/0fead55a28650811ed8e13e02ebbe56a/ntitu105.pdf> (In Russ.)
14. Harrison A, Hoek R. Logistika: strategiya upravleniya i konkurirovaniya cherez tsepochnykh postavok [Logistics Management and Strategy. Competing Through the Supply Chain]. Moscow: Delo i Servis Publ.; 2010. Available from: <http://www.bookvoed.ru/book?id=616107> (In Russ.)
15. Volgin VV. Zapasnyye chasti: osobennosti marketinga i managementa [Spare parts: marketing features]. Moscow: Os-89 Publ.; 1997. Available from: <http://absopac.rea.ru/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:56408/Source:default> (In Russ.)

Submitted 12.05.2016; revised 30.05.2016; published online 30.12.2016

About the author:

Nikolay P. Makarkin, president, head of Economics and Operation Management chair, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Economics), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3952-5811>**, makarkin@mrsu.ru



РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ГЕЙЛА-ШЕПЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИЕМА АБИТУРИЕНТОВ В ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ

К. Э. Рыскин, М. А. Аль Аскари, С. А. Федосин*
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)
**fedosinsa@mrsu.ru*

Введение. В статье анализируются быстрдействие и стабильность компьютерной реализации алгоритма зачисления абитуриентов в ВУЗ на базе алгоритма Гейла-Шепли с различными сторонами инициации; рассматриваются качественные и количественные различия полученных размещений на одинаковых наборах данных.

Результаты исследования. Предлагается 2 варианта алгоритма зачисления абитуриентов, отличающихся сторонами инициации: «абитуриент» или «специальность». Для алгоритма со стороны инициации «абитуриент» производится размещение по специальностям по мере внесения данных об абитуриенте и обеспечение, таким образом, актуальности информации о размещении. Однако стоит заметить, что при удалении или изменении данных об абитуриенте необходимо запустить алгоритм с самого начала с использованием уже внесенных данных. Для алгоритма с иницирующей стороной «специальность» приоритеты специальностей относительно абитуриентов выстраиваются по мере подачи их заявлений и по требованию запуска алгоритма зачисления. Стоит заметить, что полученное размещение является более выгодным для стороны инициации. Кроме этого, рассматриваются характеристики среднего времени исполнения алгоритма в зависимости от изменения таких величин как количество абитуриентов, квота специальности, количество приоритетов у абитуриента, количество специальностей. Отметим, что различия результатов выполнения алгоритмов с разными сторонами инициации имеют не только качественное, но и количественное выражение (последнее обусловлено «равенством» поступающих в рамках какой-либо специальности).

Обсуждение и заключения. Предложенные в статье варианты алгоритма могут быть использованы приемной комиссией высшего учебного заведения для автоматизации процесса зачисления абитуриентов.

Ключевые слова: зачисление, абитуриент, алгоритм Гейла-Шепли, приемная комиссия, информационная система

Для цитирования: Рыскин К. Э., Аль Аскари М. А., Федосин С. А. Реализация алгоритма Гейла-Шепли для автоматизации приема абитуриентов в высшее учебное заведение // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 462–474. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.462-474



IMPLEMENTATION OF THE GALE-SHAPLEY ALGORITHM FOR AUTOMATING RECEPTION OF UNIVERSITY APPLICANTS

K. E. Ryskin, M. A. Al Askari, S. A. Fedosin*

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**fedosinsa@mrsu.ru*

Introduction. The article considers the realization of the algorithm enrollment of applicants to university on the basis of the Gale-Shapley algorithm with various parties initiating. The aim of this study is to analyze the performance and stability of the computer implementation of the algorithm. The qualitative and quantitative differences received on the same data sets are discussed.

Results. The authors propose two options algorithm for admission entrant, which differ in side initiation of the “enrollee” or “university”. For the algorithm, with a side of initiation “enrollee”, allocation can be made on specialties in process entering data about entrants, thereby to maintain the latest information about placing, but it’s worth noting that if you delete or change data of entrants you must run the algorithm from the beginning using the already entered data about the applicants. And for the algorithm with the initiating party “university” is possible to prioritize enrollee in specialty in process filing their applications and run the algorithm if necessary. It is worth noting that the resulting placement will be more beneficial to initiating parties. Also discusses the characteristics of the average execution time when these values change: the number of applicants, the quota in the specialty, the number of priorities in the entrant, the number of specialties. The authors point to the differences results of the algorithms with different parties initiating that is not only the qualitative difference of the results, but also quantitatively. The quantitative difference is due to “equality” of entrants a relatively some specialty.

Discussion and Conclusions. Variants proposed by the authors can be used for automating enrollment of university applicants.

Keywords: admission, enrollment, Gale-Shapley algorithm, selection committee, information system

For citation: Ryskin KE, Al Askari MA, Fedosin SA. Implementation of the Gale-Shapley algorithm for automating reception of university applicants. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):462-474. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.462-474

Введение

С введением приоритетов подачи абитуриентами заявлений на выбранные специальности появилось множество вопросов, связанных с размещением: как правильно выбрать последовательность действий для получения стабильного размещения; будет ли стабильное размещение уникальным; если нет, то чем оно отличается от других; можно ли производить зачисление сразу после подачи заявления абитуриентом.

Под стабильным размещением подразумевается ситуация, когда в результате работы алгоритма не найдется та-

ких сочетаний «специальность – абитуриент», которые не образовали пары, а при образовании пары окажутся в более выгодном положении (с точки зрения приоритетов), чем раньше. Другими словами, специальность для абитуриента более предпочтительна, как и абитуриент для специальности при оценке «удачности» сочетаний пар [1].

В качестве основы был выбран алгоритм Гейла-Шепли, поскольку он обеспечивает стабильные размещения, а также зарекомендовал себя в решении подобных задач (например, в системе распределения донорских орга-



нов между большими, модели работы двусторонних рынков и зачислении учащихся в школы [1–5]).

Стоит заметить, что данный алгоритм рассматривает варианты стабильных размещений, которые отличаются сторонами инициации и, следовательно, в результате работы получается набор из двух стабильных размещений, наиболее выгодных для иницирующих сторон [4].

Результаты исследования

Для моделирования работы алгоритма предположим, что:

– абитуриент имеет список приоритетов специальностей, на которые хочет поступить, а также перечень экзаменов и баллов по ним;

– университет имеет список специальностей, каждая из которых обладает квотой на зачисление абитуриентов, а также список экзаменов, необходимых для поступления;

– согласно Федеральному закону об образовании, абитуриенты с одинаковыми баллами зачисляются сверх квоты, если при отказе абитуриентам с наименьшим количеством баллов у специальности остались свободные места.

На рис. 1 представлена схема алгоритма с предлагающей стороной абитуриентов;

на рис. 2 – с предлагающей стороной специальностей. Стоит заметить, что асимптотика данных алгоритмов будет следующей:

1) с предлагающей стороной абитуриентов: $n \cdot k$, где n – количество абитуриентов; k – количество приоритетов у абитуриента;

2) с предлагающей стороной специальностей: $m \cdot p$, где m – количество специальностей; p – количество приоритетов у специальности.

Заметим, что такая характеристика получается при условии, что вспомогательные операции (добавление или удаление абитуриента из размещения и др.) выполняются за константное время.

Для анализа представленных алгоритмов был написан программный код, позволяющий генерировать различные данные о специальностях и абитуриентах, а также тестировать с этими данными предложенные алгоритмы и анализировать полученные результаты [6–10].

С помощью генератора был получен набор данных, который демонстрирует, что размещения различаются не только качественно, но и количественно; квота специальностей следующая: Spec_1 – 2; Spec_2 – 3; Spec_3 – 1 (табл. 1–5)

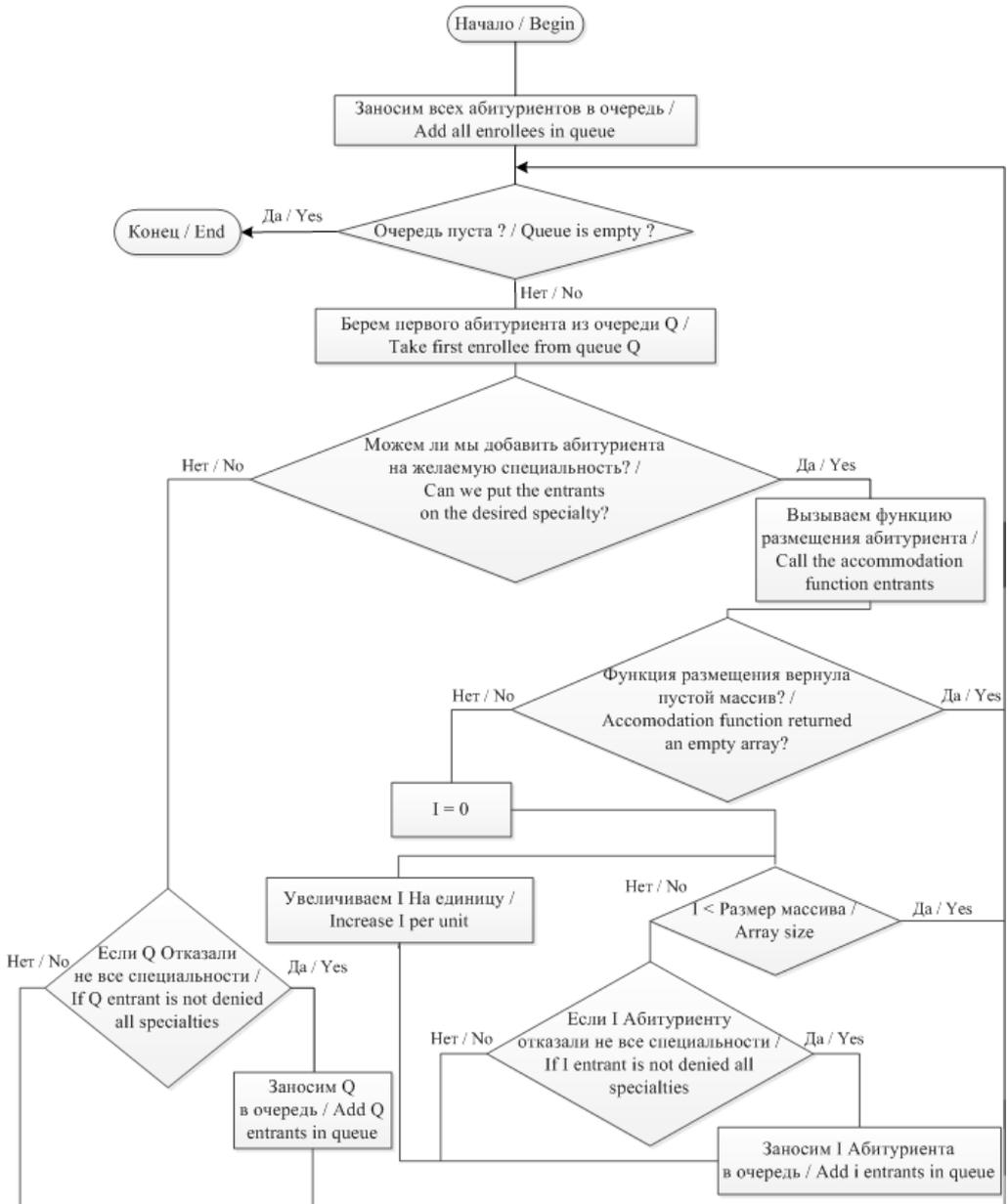
Таблица 1

Table 1

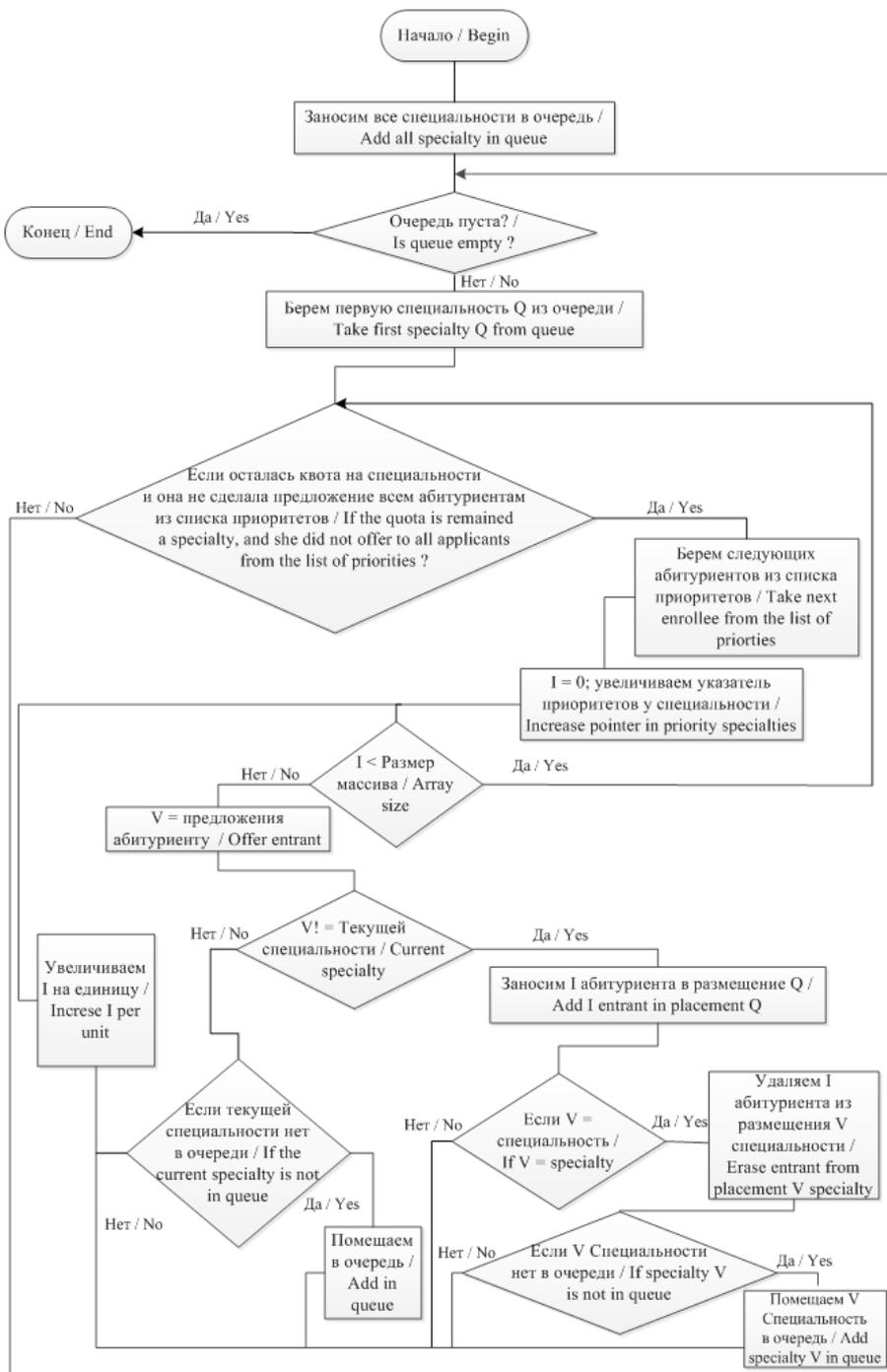
Предметы, необходимые для поступления на специальности

Items needed for admission to the specialty

Spec_1	Mathematics	Informatics
Spec_2	Physics	Language
Spec_3	Mathematics	Physics



Р и с. 1. Алгоритм действий с предлагающей стороны абитуриентов
 Fig. 1. Action algorithm with offering enrollees



Р и с. 2. Алгоритм действий с предлагающей стороны специальностей

F i g. 2. Action algorithm with offering specialties



Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Экзамены, которые сдали абитуриенты**The examinations which passed enrollees**

Enrolle_1	Informatics 52	Language 22	Mathematics 7	Physics 3
Enrolle_2	Informatics 97	Language 10	Mathematics 9	Physics 75
Enrolle_3	Informatics 26	Language 86	Mathematics 33	Physics 57
Enrolle_4	Mathematics 53	Physics 42	–	–
Enrolle_5	Informatics 14	Language 3	Mathematics 46	–
Enrolle_6	Informatics 66	Language 11	Mathematics 66	Physics 70
Enrolle_7	Mathematics 72	Physics 100	–	–
Enrolle_8	Language 56	Physics 1	–	–
Enrolle_9	Mathematics 4	Physics 66	–	–
Enrolle_10	Language 50	Physics 36	–	–

Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

Приоритеты абитуриентов**The priorities of enrollees**

Spec_1	Spec_2	Spec_3
Enrolle_3 59	Enrolle_2 85	Enrolle_7 172
Enrolle_5 60	Enrolle_6 81	–
Enrolle_1 59	Enrolle_10 86	–

Т а б л и ц а 4

T a b l e 4

Распределение с предлагающей стороны абитуриентов**Distribution with offering enrollees**

En1	En2	En3	En4	En5	En6	En7	En8	En9	En10
Spec2	Spec2	Spec1	Spec3	Spec1	Spec2	Spec3	Spec2	Spec3	Spec2
Spec1	Spec1	Spec3	–	Spec2	Spec1	–	–	–	–
–	–	Spec2	–	–	–	–	–	–	–

Распределение с предлагающей стороной специальностей
Distribution with offering specialties

Spec_1	Spec_2	Spec_3
Enrolle_6 132	Enrolle_3 143	Enrolle_7 172
Enrolle_5 60	Enrolle_10 86	–
–	Enrolle_2 85	–

Количественное различие полученных размещений связано с тем, что минимум 2 абитуриента могут оказаться «равными» для одной специальности. Заметим, что если убрать из предложения абитуриента 1, то размещения будут отличаться только качественно [11].

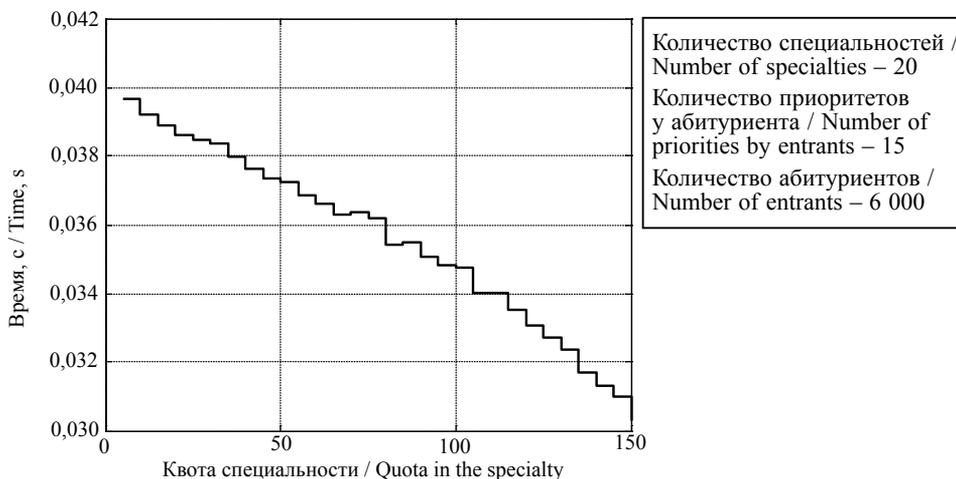
Качественное различие размещений обусловлено тем, что если для одного абитуриента специальность 1 находится на первом месте в списке приоритетов, это не означает, что для абитуриента 2 она также будет на первом месте. Это справедливо и для специальностей: если абитуриент 1 будет на первом месте в списке приоритетов

у специальности 1, это не означает, что он также будет находиться на первом месте у специальности 2, что обусловлено различными критериями оценки абитуриентов для различных специальностей [12–15].

Рассмотрим среднее время работы алгоритма в зависимости от изменения следующих величин:

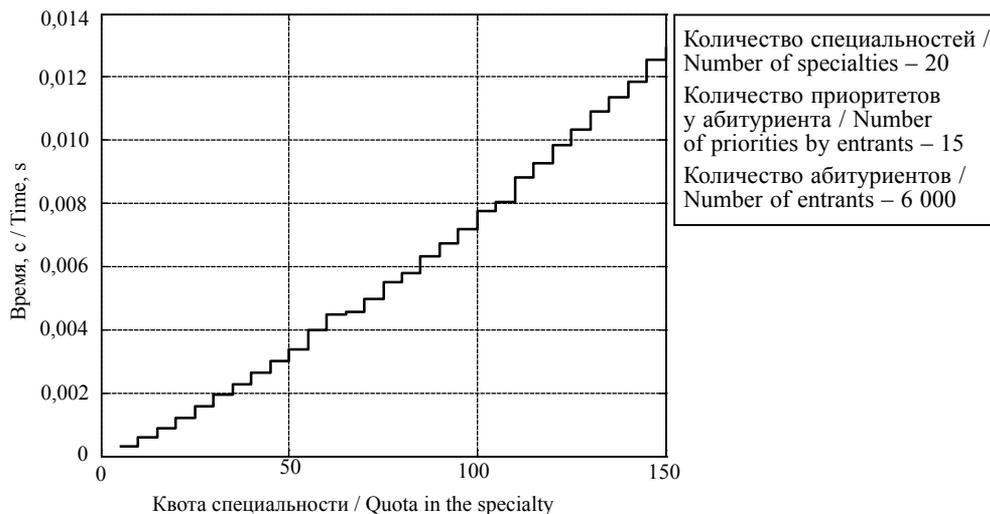
- 1) квота на специальности;
- 2) количество приоритетов у абитуриента;
- 3) количество специальностей;
- 4) количество абитуриентов.

1) Среднее время исполнения алгоритмов в зависимости от изменения квоты на специальности (рис. 3–4).



Р и с. 3. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов

F i g. 3. The average time of action when enrollees is offering

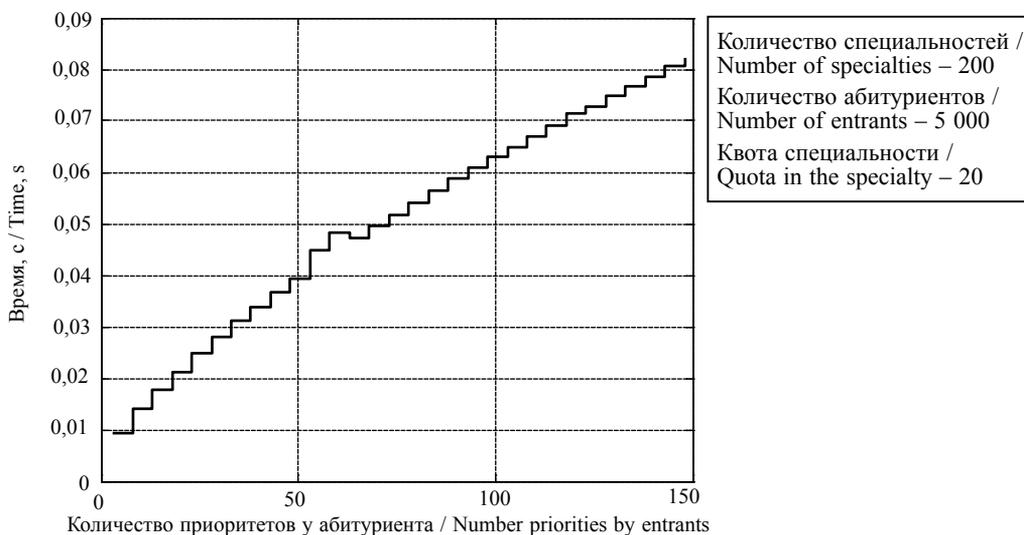


Р и с. 4. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей
F i g. 4. The average time of action when offer the specialty

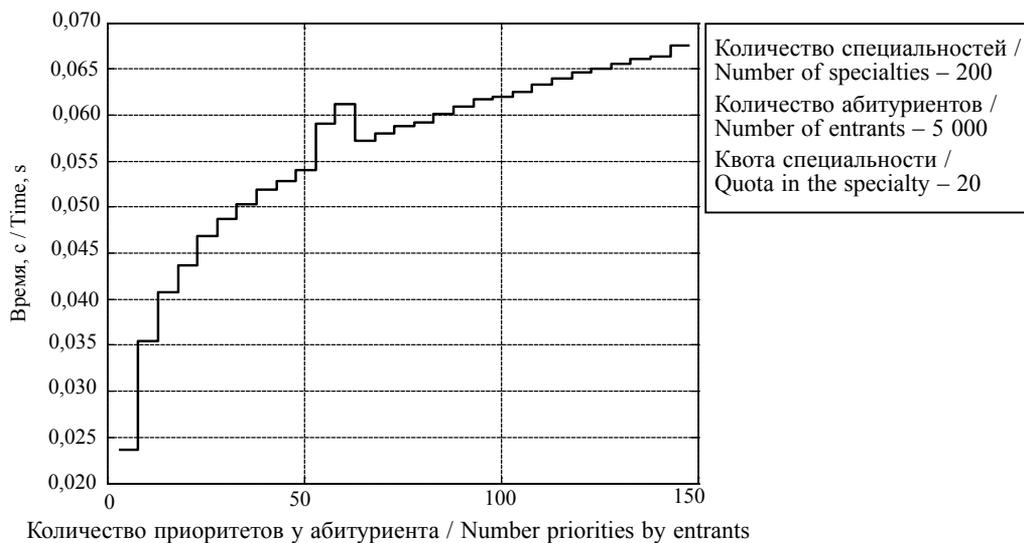
На рис. 3 видно, что при увеличении квоты у специальности среднее время исполнения уменьшается, поскольку абитуриенты получают меньше «отказов». На рис. 4, среднее время увеличивается; это обусловлено тем,

что специальности делают больше итераций предложений.

2) Среднее время исполнения алгоритмов в зависимости от изменения количества приоритетов у абитуриента (рис. 5–6).



Р и с. 5. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов
F i g. 5. The average time of action when enrolees is offering



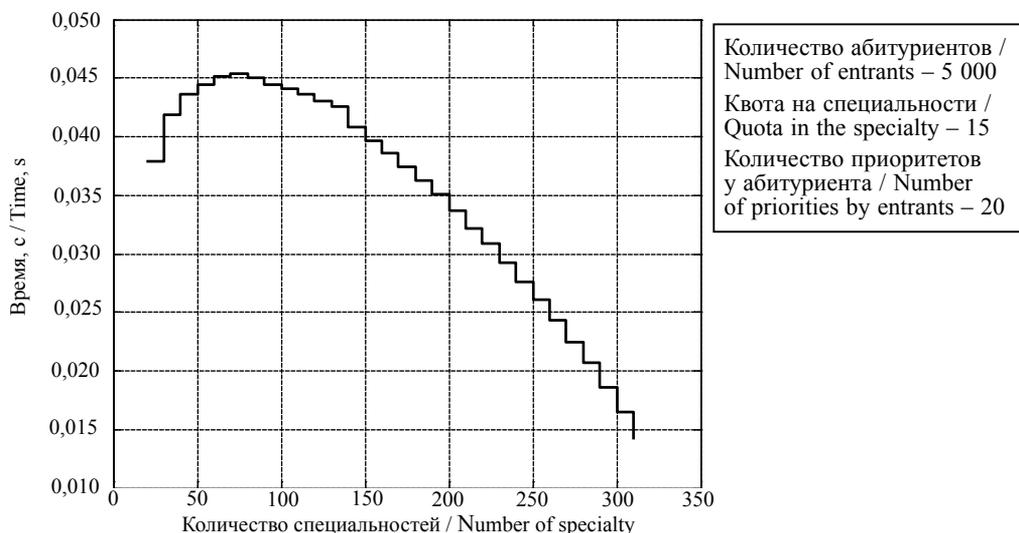
Р и с. 6. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей

F i g. 6. The average time of action when offer the specialty

На рис. 5 показано, что среднее время работы увеличивается, поскольку абитуриенты делают больше предложений. На рис. 6 видно, что время средней работы также увеличивается. Это связано с тем, что при росте количества приоритетов у абитуриента

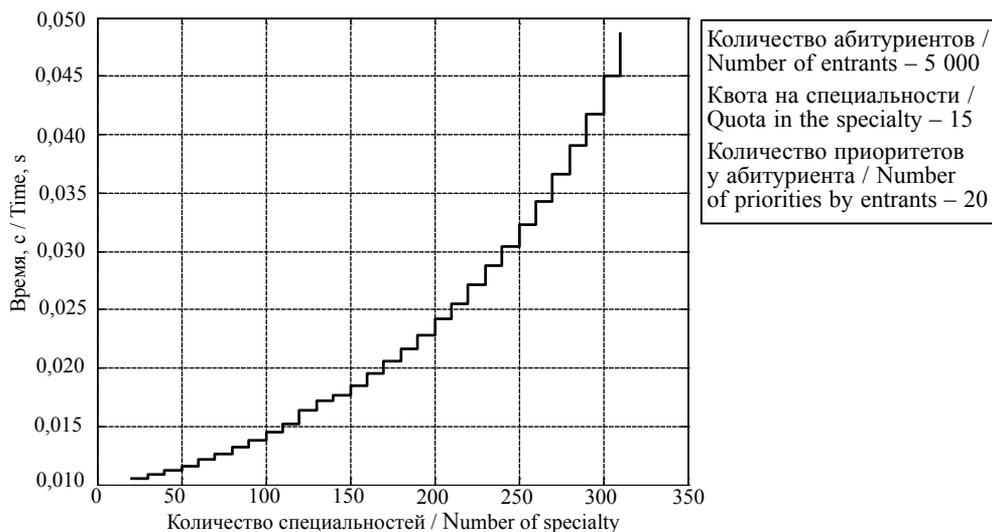
последний чаще получает более выгодные для себя – это увеличивает количество итераций предложения специальности.

3) Среднее время исполнения в зависимости от изменения количества специальностей (рис. 7–8).



Р и с. 7. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов

F i g. 7. The average time of action when enrolees is offering



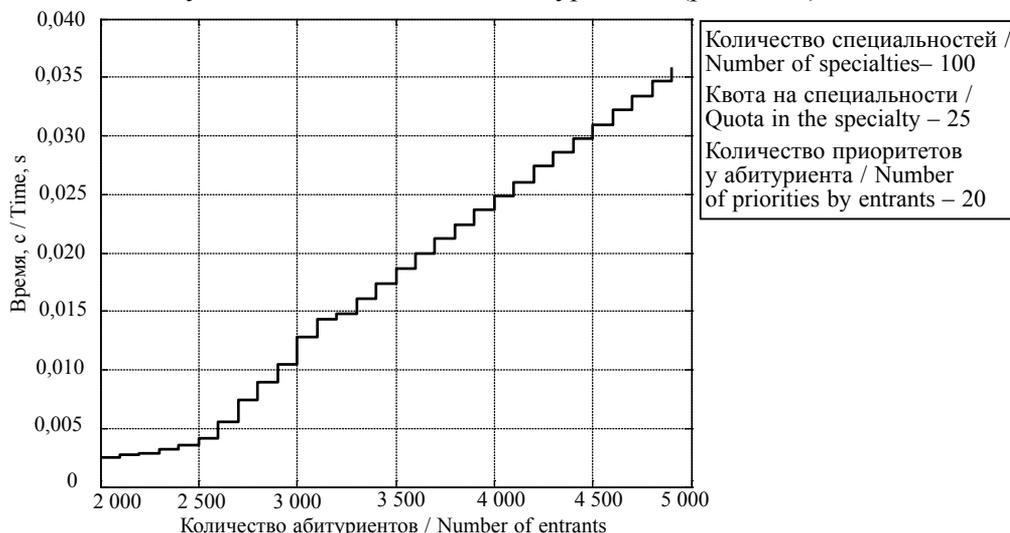
Р и с. 8. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей

F i g. 8. The average time of action when offer the specialty

Из рис. 7 видно, что при увеличении количества специальностей среднее время исполнения сначала увеличивается, а затем уменьшается. Увеличение связано с тем, что абитуриенты чаще делают предложения одинаковым специальностям, следовательно, чаще получают отказ. Уменьшение также связано с тем, что количество специальностей увеличивается и, сле-

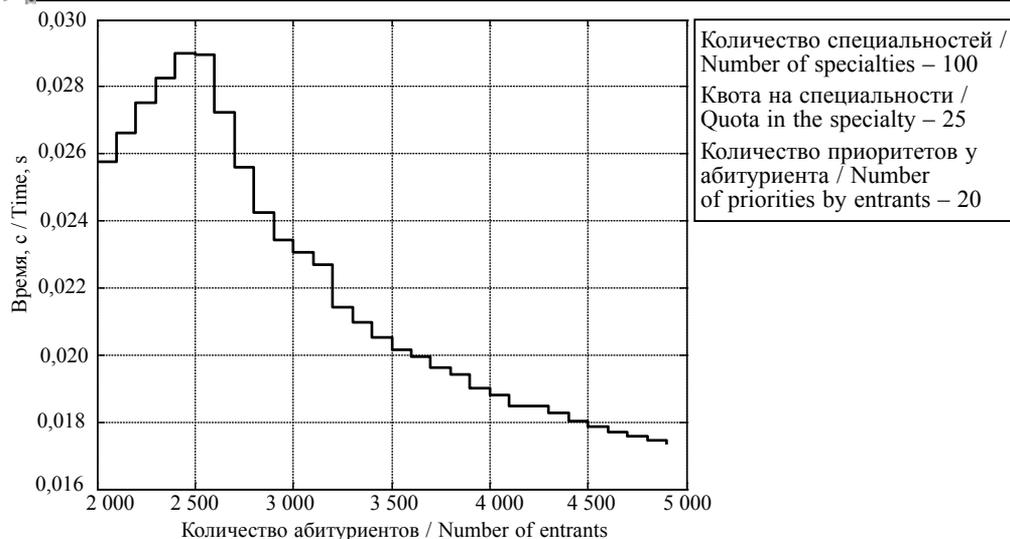
довательно, абитуриенты чаще делают предложения разным специальностям. На рис. 8 показано, что среднее время исполнения увеличивается при увеличении количества специальностей из-за того, что больше специальностей делают итерации предложения.

4) Среднее время исполнения в зависимости от изменения количества абитуриентов (рис. 9–10).



Р и с. 9. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов

F i g. 9. The average time of action when enrolees is offering



Р и с. 10. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей

F i g. 10. The average time of action when offer the specialty

На рис. 9 видно, что среднее время исполнения увеличивается по мере увеличения количества абитуриентов, поскольку количество итераций предложения абитуриентов также увеличивается. Медленный рост временной характеристики обусловлен тем, что на этом отрезке меньше абитуриентов получают «отказ» от специальности, а в дальнейшем – чаще, что увеличивает количество итераций предложения абитуриентов. На рис. 10 показано, что при росте количества абитуриентов сначала среднее время исполнения увеличивается, а затем уменьшается. Увеличение связано с тем, абитуриенты чаще получают более выгодные предложения специальностей, отказывая имеющимся, что увеличивает количество итераций предложения специальностями. Уменьшение – с тем, что при дальнейшем увеличении количества абитуриентов у специальностей расширяется «выбор» среди них, из-за чего абитуриенты реже отказывают имеющимся предложениям.

Обсуждение и заключения

В результате работы рассмотренных вариантов алгоритма обеспечивается стабильное зачисление абитуриентов

в высшие учебные заведения. В алгоритме с иницилирующей стороной «абитуриент» можно производить размещения непосредственно после подачи абитуриентом документов (при изменении или удалении данных придется запустить алгоритм с начала). Для снижения нагрузки на сервер, а также для поддержания актуальной информации о размещении можно запустить алгоритм в отдельном потоке. Данные операции актуальны также для алгоритма с иницилирующей стороной «специальность».

Информацию об абитуриентах и размещениях можно хранить в таблицах, чтобы в случае необходимости дуближа данные остались неизменными.

Поскольку при подаче заявки указывается тип поступления, то при реализации алгоритма можно создавать для каждой специальности несколько таблиц, относящихся к каждому типу поступления.

У приемной комиссии есть множество критериев оценивания одного абитуриента относительно другого, кроме набранных баллов, поэтому рекомендуется использовать функцию, приводящую результат сравнения в соответствие с критериями приема.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Задача об устойчивом паросочетании [Электронный ресурс]. URL: http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_об_устойчивом_паросочетании (дата обращения: 25.02.2016).
2. Теория и практика двусторонних рынков / Е. Железова [и др.] // Вопросы экономики. 2013. № 1. С. 4–26
3. **Gale D., Shapley L. S.** College Admissions and the Stability of Marriage // American Mathematics Monthly. 1962. Vol. 69. P 9–15. DOI: [dx.doi.org/10.2307/2312726](https://doi.org/10.2307/2312726)
4. The stable marriage problem and school choice [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fc-2015-03> (дата обращения: 07.02.2016).
5. **McVitie D. G., Wilson L. B.** Stable marriage assignment for unequal sets // BIT 10. 1970. P. 295–309. DOI: [dx.doi.org/10.1007/BF01934199](https://doi.org/10.1007/BF01934199)
6. **Roth A., Sotomayor M.** Two-sided matching: a study in game-theoretic modeling and analysis : econometric society monographs. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. Vol. 18. DOI: [dx.doi.org/10.1017/CCOL052139015X](https://doi.org/10.1017/CCOL052139015X)
7. **Knuth D. E.** Stable marriage and its relation to other combinatorial problems: an introduction to mathematical analysis of algorithms. Providence : AMS, 1996.
8. **Arrow K. J.** Social choice and individual values : 2nd ed. New York : Wiley, 1963.
9. **Лернер Э. Ю., Яковлева О. С.** Устойчивые паросочетания и задача о назначении: исследование по прикладной математике. Казань : КМО, 2008. Вып. 26. С. 51–55.
10. **Robert W. I., David F. M.** The stable roommates problem with ties // Journal of Algorithms. 2002. Vol. 43, No. 1. P. 85–105. DOI: [10.1006/jagm.2002.1219](https://doi.org/10.1006/jagm.2002.1219)
11. **Robert W. I.** An efficient algorithm for the «stable roommates» problem // Journal of Algorithms. 1985. Vol. 6, No. 4. P. 577–595. DOI: [10.1016/0196-6774\(85\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0196-6774(85)90033-1)
12. **Poundstone W.** Prisoner's dilemma: John von Neumann, game theory and the puzzle of the bomb. Doubleday, New York : 1992.
13. **Isaac R.** Pleasures of Probability. New York : Springer, 1995. P. 24–27.
14. **Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Семина Е. А.** Теория игр : учеб. пособие для ун-тов. М. : Высш. шк. ; Книж. дом «Университет», 1998. С. 304.
15. **Мазалов В. В.** Математическая теория игр и приложения. СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. 446 с.

Поступила 19.07.2016; принята к публикации 06.09.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Рыскин Константин Эдуардович, магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7464-0607>, valiant1994@mail.ru

Аль Аскари Моханнад Абдулсалам Юнус, аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8501-9541>, mohannadsalam2000@yahoo.com

Федосин Сергей Алексеевич, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3481-4101>, fedosinsa@mrsu.ru

Вклад соавторов: К. Э. Рыскин – реализация алгоритма, разработка алгоритма, анализ алгоритма; М. А. Аль Аскари – анализ предметной области, работа с литературой, анализ алгоритма; С. А. Федосин – постановка задачи.



REFERENCES

1. Zadacha ob ustoychivom parosochetanii [The stable marriage problem]. Available from: http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_об_устойчивом_паросочетании (In Russ.)
2. Zhelezova Ye, Izmalkov S, Sonin K, Khovanskaya I. Teoriya i praktika dvustoronnikh rynkov (Nobelovskaya premiya po ekonomike 2012 g.) [Two-sided markets: Theory and applications (Nobel Memorial Prize in Economics 2012)] // *Voprosy Ekonomiki* = Economics Questions. 2013; 1:4-26. Available from: <http://www.nes.ru/dataupload/files/professors/sonin1-13.pdf> (In Russ.)
3. Gale D, Shapley LS. College admissions and the stability of marriage. *American Mathematics Monthly*. 1962; 69:9-15. DOI: [dx.doi.org/10.2307/2312726](https://doi.org/10.2307/2312726)
4. The stable marriage problem and school choice [Electronic resource]. Available from: <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fc-2015-03> (accessed 07.02.2016).
5. McVitie DG, Wilson LB. Stable marriage assignment for unequal sets. *BIT*. 1970; 10:295-309. DOI: [dx.doi.org/10.1007/BF01934199](https://doi.org/10.1007/BF01934199)
6. Roth A, Sotomayor M. Two-sided matching: a study in game-theoretic modeling and analysis. *Econometric Society Monographs*. Vol. 18. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. DOI: [dx.doi.org/10.1017/CCOL052139015X](https://doi.org/10.1017/CCOL052139015X)
7. Knuth DE. Stable marriage and its relation to other combinatorial problems: an introduction to mathematical analysis of algorithms. Providence: AMS; 1996.
8. Arrow KJ. Social choice and individual values. 2nd ed. New York: Wiley; 1963.
9. Lerner EYu, Yakovleva OS. Ustoychivyye parosochetaniya i zadacha o naznachenii. Issledovaniya po prikladnoy matematike [Stable marriage and the problem of the appointment. Research on Applied Mathematics]. Kazan: KMO; 2008; 26:51-55. (In Russ.)
10. Irving RW, Manlov DF. The stable roommates problem with ties. *Journal of Algorithms*. 2002; 1(43):85-105. DOI: [10.1006/jagm.2002.1219](https://doi.org/10.1006/jagm.2002.1219)
11. Irving RW. An efficient algorithm for the «stable roommates» problem. *Journal of Algorithms*. 1985. 6(4):577-595. DOI: [10.1016/0196-6774\(85\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0196-6774(85)90033-1)
12. Poundstone W. Prisoner's dilemma: John von Neumann, game theory and the puzzle of the bomb. Doubleday, 1992.
13. Isaac R. Pleasures of Probability. New York: Springer; 1995.
14. Petrosyan LA, Zenkevich NA, Semina YeA. Teoriya igr: uchebnoye posobiye dlya universitetov [Game Theory: Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola; 1998. (In Russ.)
15. Mazalov VV. Matematicheskaya teoriya igr i prilozheniya [The mathematical theory of games and applications]. Moscow: Lan Publ.; 2010. (In Russ.)

Submitted 19.07.2016; revised 06.09.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Konstantin E. Ryskin, undergraduate student, Chair of Information and Communication Technologies and Systems, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7464-0607>**, valiant1994@mail.ru

Mokhammad Abdulsalam Yunus Al Askari, postgraduate student, Chair of Automated Information Processing Systems and Management, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8501-9541>**, mohannadsalam2000@yahoo.com

Sergey A. Fedosin, head of Chair of Automated Information Processing Systems and Management, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3481-4101>**, fedosinsa@mrsu.ru

The contribution of the authors: K. E. Ryskin developed, analyzed and implemented the algorithm, M. Al Askari analyzed the subject area, studied scholar literature and the algorithm, S. A. Fedosin developed a theoretical framework.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / TECHNICAL SCIENCES

УДК 62-22:621.83

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.475-489

КАМЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТИПА ДИСКОВ И КУЛАЧКОВ

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

Введение. Высокая эффективность финишной обработки деталей со сложным профилем (типа дисков и кулачков) может быть достигнута обработкой незакрепленным шлифовальным материалом, уплотненным в камере статическим давлением сжатого воздуха через эластичную оболочку. В статье приведены особенности такой обработки.

Материалы и методы. Исследования качества обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке. Обрабатываемые детали закреплялись на специальной оправке с эксцентриситетом, находящейся в шпинделе установки, спроектированной на базе вертикального или радиально-сверлильного станка. При этом с целью повышения качественных показателей обрабатываемой поверхности детали камера совершала возвратно-поступательные движения с определенной скоростью и амплитудой.

Результаты исследования. При расчете давления уплотненной абразивной среды автор исходил из того, что абразивная среда находится в состоянии предельного равновесия. В статье приведены математические модели для определения скорости резания при вращении детали относительно неподвижной обрабатываемой среды; представлены схемные решения методов обработки и результаты практической реализации финишной обработки с целью достижения заданной величины шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Обсуждение и заключения. Исследования показали, что при обработке деталей с планетарным вращением стабильное протекание процесса полирования обеспечивается при условии, что участок поверхности детали с отклонением от круглости имеет возможность контактировать с уплотненной абразивной средой минимум в течение времени, необходимого для полного оборота вокруг центральной оси ротора. За это время уплотненная абразивная среда успевает среагировать на изменение формы профиля детали, что обеспечивает стабильное протекание процесса полирования.

Ключевые слова: деталь со сложным профилем, незакрепленный шлифовальный материал, камерная обработка, шероховатость, уплотненная абразивная среда, скорость резания, полирование

Для цитирования: Скрябин В. А. Камерная обработка деталей типа дисков и кулачков // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 475–489. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.475-489

CHAMBER TREATMENT PROCESS OF DISKS AND FISTS

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

vs_51@list.ru

Introduction. The article describes the processing of different surfaces of details by unsupported polishing material. High efficiency of finish process with difficult profile can be attained by unsupported polishing material close-settled in a chamber static pressure of the compressed air through an elastic shell.

Materials and Methods. The researches of treatment quality of disks and fists were carried out on experimental install. The workpieces are fixed on a special snap eccentrically located in the spindle unit. The chamber makes reciprocating movement at a certain speed and amplitude in order to improve the quality of the processed surface.

Results. The article presents mathematical models to determine the cutting speed when parts rotating relative to the fixed manufacturing environment. The author describes the methods of the processing in order to achieve a predetermined surface roughness value.

Discussion and Conclusions. The stability of the polishing process is supported by possibility of contact of complex surfaces with the dense abrasive agent during time required for complete revolution of the rotor about the central axis. The abrasive agent has time to react to the changing shape of the part profile.

Keywords: complex profile detail, loose grinding material, processing chamber, roughness, compacted abrasive agent, cutting speed, polishing

For citation: Skryabin VA. Chamber treatment process of disks and fists. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):475-489. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.475-489

Введение

Одной из проблемных технологических задач является финишная обработка деталей типа дисков и кулачков. Качество подобных деталей во многом определяют характеристики их рабочих поверхностей. Шлифование таких деталей традиционными методами требует или применения шлифовальных станков со сложным механизмом радиальной подачи, или специального технологического оснащения для каждого типоразмера детали.

Трудность обработки таких деталей состоит в том, что для обеспечения равномерной шероховатости поверхности по контуру детали, а также для повышения параметров точности обработки требуется безотрывное обтекание профильной поверхности уплотненной абразивной средой.

Материалы и методы

Данная задача реализуется путем обработки вышеуказанных деталей

статически уплотненной абразивной смесью [1–4]. Рабочую среду уплотняют путем приложения внешнего давления различной величины к отдельным участкам периметра поперечного сечения эластичной оболочки камеры. В соответствии с положением профиля детали относительно участков эластичной оболочки синхронизируют давление по данным участкам. Деталь помещают в камеру с абразивной средой и сообщают ей вращение.

Для реализации камерной обработки используют устройство, содержащее образованную корпусом 1 и эластичной оболочкой 2 рабочую камеру 3 с обрабатывающей средой 4, в которой размещена приводная оправка 5 для закрепления детали (кулачка) 6 (рис. 1). Между корпусом 1 и эластичной оболочкой 2 размещены радиальные перегородки – стенки 7, которые образуют камеры давления 8–11. Каждая из данных камер связана



с полостями 12–15 распределителя 16. Внутри распределителя установлен золотник 17 с возможностью вращения. В нем находятся каналы 18, связанные через пневмоклапаны 19–20 и фильтр влагоотделителя 23 с источником сжатого воздуха.

При вращении в камере детали типа кулачка с некоторой постоянной скоростью обрабатывающая среда внутри окружности радиуса R находится в разрыхленном состоянии, а расположенная снаружи – в уплотненном (Там же). Исходя из того, что основное абразивное воздействие на деталь оказывается уплотненной обрабатывающей средой, для обеспечения всесторонней обработки поверхности кулачка необходимо при вращении детали осуществлять разрушение уплотненного слоя таким образом, чтобы обеспечивалось безотрывное обтекание им поверхности кулачка.

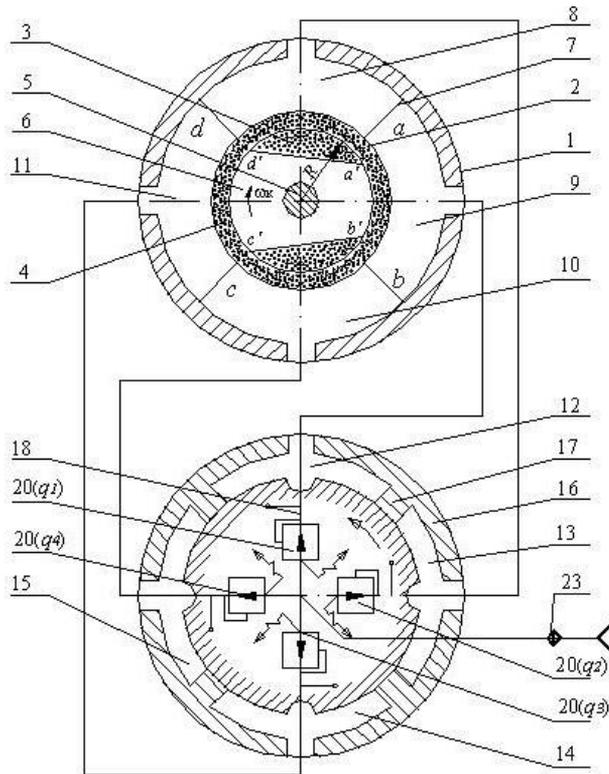
Проведенные экспериментальные исследования показали, что такого разрушения не происходит при приложении к эластичной оболочке камеры равномерного давления, достаточного для шаржирования поверхности кулачка абразивными зёрнами [5–7]. Это объясняется определенной инертной прочностью уплотненного абразивного слоя, который представляет собой цилиндр, испытывающий всестороннее сжатие. Если давление по периметру эластичной оболочки приложить ступенчато (неравномерно), то для разрушения уплотненного абразивного цилиндра потребуется давление в несколько раз меньшего равномерного. В этом случае безотрывное обтекание уплотненной обрабатывающей средой поверхности кулачка может быть обеспечено при давлении, величина которого недостаточна для шаржирования

детали абразивными частицами. При этом минимальная величина давления на каком-либо участке эластичной оболочки должна быть достаточной для оказания абразивного воздействия на какой-либо участок поверхности кулачка, а максимальная величина давления – для эффективного разрушения уплотненного слоя при приближении к этому участку. Кроме того, максимальная величина давления должна быть недостаточной для шаржирования абразивных зёрен в поверхность детали.

Недостатком данного способа обработки является то, что минимальное давление обеспечивает абразивное воздействие на деталь в основном только на участках a^1b^1 и c^1d^1 , а максимальное – на всех участках, причем более интенсивное – на a^1b^1 и c^1d^1 . Это ведет к неравномерному снятию материала с поверхности.

Устранить данный недостаток можно путем синхронизации положений участков вращающегося кулачка относительно эластичной оболочки и положений ступени давления, прикладываемого к ней. В этом случае давление также «вращается» относительно оболочки; минимальное давление оказывает абразивное воздействие в основном только на участки a^1b^1 и c^1d^1 , а максимальное – на b^1c^1 и d^1a^1 , что повышает равномерность обработки.

Если форма детали позволяет выделить на ней характерные участки (например, a^1b^1 , b^1c^1 , c^1d^1 и d^1a^1), то подбирая давления q_1 , q_2 , q_3 и q_4 на участках ab , bc , cd и da эластичной оболочки таким образом, чтобы достижение требуемой шероховатости поверхности кулачка на всех участках обеспечивалось за одинаковый промежуток времени, можно дополнительно повысить точность обработки.



Р и с. 1. Схема устройства для обработки деталей типа дисков и кулачков
F i g. 1. Scheme of device for treatment of details of type of disks and fists

Для практической реализации данного способа обработки по периметру эластичной оболочки было расположено несколько камер давления, герметично связанных с оболочкой.

В каждую камеру подают давление соответствующей величины, что обеспечивает формирование ступеней давления по периметру эластичной оболочки.

С целью синхронизации положения характерных участков кулачка и давления, прикладываемого к соответствующему количеству участков эластичной оболочки, устройство было снабжено распределителем, который кинематически связан с оправкой для закрепления детали. При передаточном отношении, равном единице, это позволяет поддерживать на каждом характерном участке детали (a^1e^1 , b^1c^1 ,

c^1d^1 , d^1a^1) постоянное давление, равное q_1 , q_2 , q_3 , q_4 соответственно.

Обработку осуществляют до получения на одном из характерных участков кулачка требуемой шероховатости поверхности. После этого давление, соответствующее данному характерному участку, оставляют без изменения, а давление на других участках увеличивают путем регулировки соответствующих пневмоклапанов.

Для полирования использовалась обрабатывающая среда, состоящая из шлифовального порошка № 10 марки 25А зернистостью $Z = 10$ (7 частей) и 1–2%-ной водной эмульсии Na_3PO_4 (1 часть).

Результаты исследования

Реализация способа обработки кулачков распредвала дизеля из стали 18X2H4MA с твердостью 57–63 HRC



и исходной шероховатостью $R_a = 0,8$ мкм показала, что при угловой скорости вращения кулачка $w_k = 7$ рад/с (w_k была получена экспериментально) давление P , настроенное с помощью редукционных клапанов по участкам $(a^1 v^1)q_1$; $(d^1 a^1)q_2$; $(c^1 d^1)q_3$ и $(v^1 c^1)q_4$ изменялось в диапазоне 0,125; 0,25; 0,125 и 0,25 МПа [8–10].

После полирования шероховатость поверхности находилась в пределах $R_a = 0,08$ – $0,05$ мкм. Геометрическая точность оставалась в пределах допустимого; продолжительность обработки составила 3–4 мин.

Таким образом, при использовании сравнительно невысокого давления обеспечивается всесторонняя обработка кулачков, что позволяет в значительной степени уменьшить процесс шаржирования частиц в поверхность детали. При использовании распределителя повышается точность обработки путем получения требуемой шероховатости одновременно на всех участках кулачка.

Предложенный способ обработки можно рекомендовать для широкого диапазона деталей из разных материалов типа дисков и кулачков.

Исследования показали, что возможна обработка деталей типа плоских кулачков, эксцентриков, при которой обрабатывающей среде и деталям сообщают планетарное вращение; при этом обрабатывающую среду уплотняют [11–12]. Межцентровое расстояние между осями вращения детали и ротора выбирают больше максимальной величины отклонения от круглости детали; при этом подачу вокруг собственной оси вращения детали определяют по формуле:

$$S \leq f \times V \times R / [2p \times (A + R)],$$

где f – центральный угол минимального дефектного участка детали (под дефектными понимаются участки

поверхности детали, которые не обрабатываются при ее вращении вокруг собственной оси); V – скорость резания, м/с; R – радиус вращения детали, $10^{-3} \times$ м; A – межцентровое расстояние между осями вращения детали и ротора, $10^{-3} \times$ м.

С целью повышения качества обработки деталей типа кулачков им сообщают относительное планетарное вращение ≤ 10 рад/с.

Уплотненный абразивный слой обладает определенной инерционностью. При его взаимодействии с поверхностью детали с отклонениями от круглости в первую очередь обрабатываются участки поверхности максимального диаметра, а участки поверхности минимального диаметра – настолько, насколько позволяет инерционность уплотненного абразивного слоя. Чтобы произвести обработку всей поверхности такой детали, необходимо обеспечить контакт этой поверхности с уплотненной абразивной средой с учетом ее инерционности.

Сообщение деталям планетарного вращения (при условии, что величину межцентрового расстояния между осями вращения детали и ротора выбирают больше максимальной величины отклонения от круглости детали) обеспечивает возможность взаимодействия всех участков детали с уплотненной абразивной средой. Однако при быстром вращении детали вокруг собственной оси этого недостаточно для того, чтобы гарантировать полную обработку поверхности, поскольку обрабатывающая среда обладает определенной инерционностью и при быстром взаимодействии с поверхностью детали обеспечивает контакт с теми ее участками, отклонения от круглости которых не превышают определенной величины. Для того чтобы исключить данное обстоятельство, необходимо ограничить величину угловой скорости вращения детали вокруг собственной оси.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что стабильное протекание процесса полирования обеспечивается при условии, что участок поверхности детали с отклонениями от круглости имеет возможность контактировать с уплотненной абразивной средой минимум в течение времени, необходимого для полного поворота детали вокруг центральной оси вращения ротора. За это время при соотношении угловых скоростей ротора (ω_2) и детали (ω_1) в диапазоне $\omega_2 \cong (3,0-3,5) \cdot \omega_1$ уплотненная абразивная среда успевает среагировать на изменение формы профиля детали [13–15].

При обработке деталей типа кулачков с большой угловой скоростью вращения деталей вокруг центральной оси ротора (т. е. скоростью полирования) процесс взаимодействия остальных участков поверхности с уплотненной абразивной средой носит ударный характер. В результате на этих участках формируется большая, по сравнению с другими участками, шероховатость, т. е. качество обработки снижается.

Экспериментальные исследования показали, что ударный характер взаимодействия поверхности кулачка с уплотненной абразивной средой не проявляется при угловой скорости его вращения вокруг центральной оси ротора ≤ 10 рад/с.

На рис. 2 приведена схема устройства с планетарным вращением обрабатываемых деталей.

Обработка деталей осуществляется следующим образом. Сначала проверяется выполнение условия: межцентровое расстояние A между осями вращения роторов и оправки для закрепления детали должно быть больше максимальной величины отклонения от круглости обрабатываемой детали при ее вращении на оправке.

Для заданного материала детали с учетом ее термообработки выбирается скорость резания (полирования)

V , в зависимости от которой определяется угловая скорость вращения детали вокруг центральной оси ротора $\omega_2 = V/(A + R)$. Для качественной обработки деталей угловая скорость корректируется в сторону уменьшения, если ее расчетное значение > 15 рад/с. После этого, используя величину центрального угла минимального, дефектного участка обрабатываемой детали f определяют величину угловой скорости вращения детали вокруг собственной оси по формуле $\omega_1 \leq f \cdot V \cdot R / [2p \cdot (A + R)]$.

Таким образом, по определенным угловым скоростям вращения детали ω_1 и ω_2 настраивают планетарный механизм устройства для камерного полирования (рис. 2), после этого деталь 3 закрепляют на оправке 2 и ротор 1 опускают в абразивную среду 4; сообщают вращение детали скоростью ω_1 , а ротору – ω_2 . В полость камеры 5 подают необходимое давление P сжатого воздуха, который, воздействуя на эластичную оболочку 6, уплотняет абразивную среду, в результате чего осуществляется обработка детали.

Кроме этого, была произведена реализация способа обработки кулачков из стали 18Х2Н4МА с твердостью 57–63 HRC и исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,8$ мкм [14]. Максимальная величина отклонения от круглости детали при ее вращении составила 0,008 м; центральный угол минимального дефектного участка кулачка $f = 2,356$ рад; максимальный радиус вращения детали вокруг собственной оси $R = 0,045$ м.

Обработка производилась в течение 4 мин при давлении в камере $P = 0,075$ МПа. Рекомендуемые значения подачи S вокруг собственной оси вращения детали были определены для указанных исходных параметров и при следующих значениях скорости резания:



$$V_1 = 1,815 \text{ м/с}; V_2 = 1,32 \text{ м/с}; V_3 = 0,924 \text{ м/с}; V_4 = 0,66 \text{ м/с};$$

$$V_5 = V_6 = V_7 = V_8 = V_9 = V_{10} = V_{11} = 0,462 \text{ м/с}.$$

$$S_1 = 2,356 \times 0,045 \times 1,815 / [2 \times 3,14(0,021 + 0,045)] = 0,464 \text{ м/с};$$

$$S_2 = 2,356 \times 0,045 \times 1,32 / [2 \times 3,14(0,021 + 0,045)] = 0,337 \text{ м/с};$$

$$S_3 = 2,356 \times 0,045 \times 0,924 / [2 \times 3,14(0,021 + 0,045)] = 0,236 \text{ м/с};$$

$$S_4 = 2,356 \times 0,045 \times 0,66 / [2 \times 3,14(0,021 + 0,045)] = 0,169 \text{ м/с};$$

$$S_5 = S_6 = S_7 = S_8 = S_9 = S_{10} = 2,356 \times 0,045 \times 0,462 / [2 \times 3,14(0,021 + 0,045)] = 0,118 \text{ м/с};$$

$$S_{11} = 2,356 \times 0,045 \times 0,462 / [(2 \times 3,14 \times 0,045)] = 0,337 \text{ м/с}.$$

Переведем линейную скорость вращения в угловую скорость вращения детали вокруг центральной оси ротора: $\omega_2 = V/(A + R)$, а подачу – в угловую скорость вращения детали вокруг собственной оси: $\omega_1 = S/R$.

$$(\omega_2)_1 = 1,815 / (0,021 + 0,045) = 27,5 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_2)_2 = 1,32 / (0,021 + 0,045) = 20 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_2)_3 = 0,924 / (0,021 + 0,045) = 14 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_2)_4 = 0,66 / (0,021 + 0,045) = 10 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_2)_5 = (\omega_2)_6 = (\omega_2)_7 = (\omega_2)_8 = (\omega_2)_9 = (\omega_2)_{10} = (\omega_2)_{11} = 0,462 / (0,021 + 0,045) = 7 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_1 = 0,464 / 0,045 = 10,3 \text{ рад/с, примем } (\omega_1)_1 = 10 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_2 = 0,337 / 0,045 = 7,49 \text{ рад/с, примем } (\omega_1)_2 = 7 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_3 = 0,236 / 0,045 = 5,24 \text{ рад/с, примем } (\omega_1)_3 = 5 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_4 = 0,169 / 0,045 = 3,76 \text{ рад/с, примем } (\omega_1)_4 = 3 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_5 = (\omega_1)_6 = (\omega_1)_7 = (\omega_1)_8 = (\omega_1)_9 = (\omega_1)_{10} = 0,118 / 0,045 = 2,62 \text{ рад/с,}$$

$$\text{примем } (\omega_1)_5 = 2 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_6 = 10 \text{ рад/с};$$

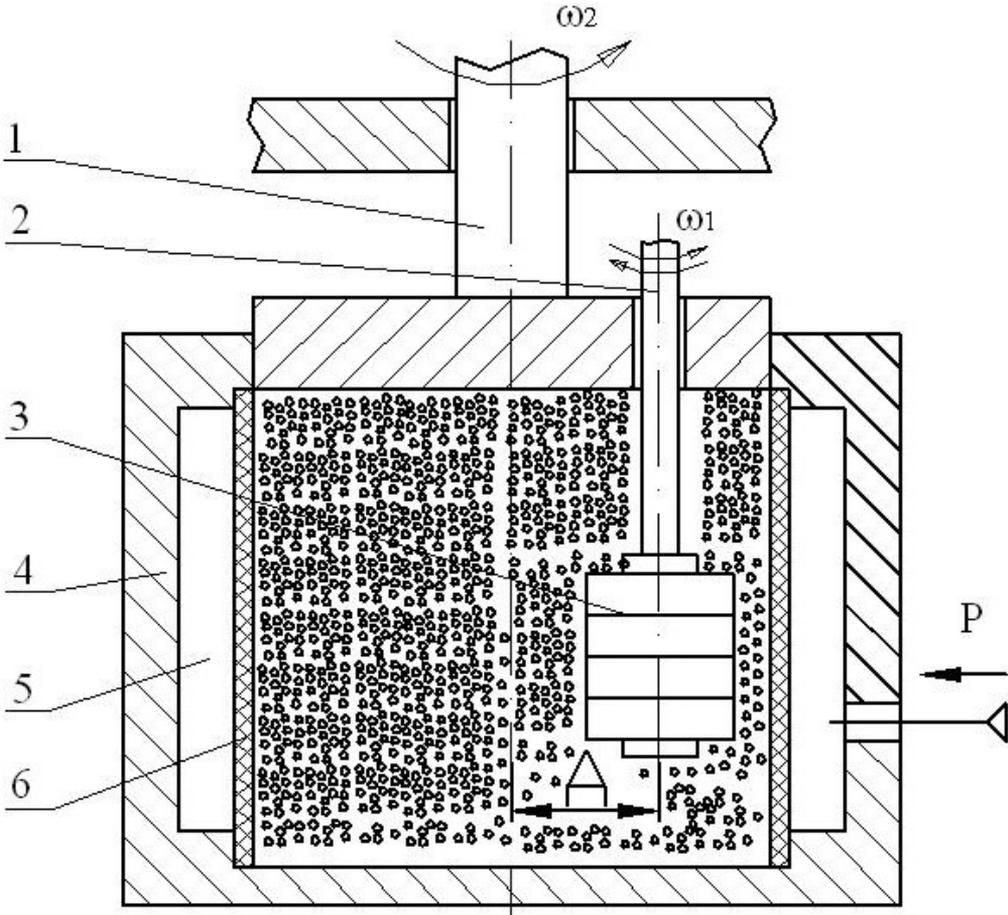
$$(\omega_1)_7 = 20 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_8 = 30 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_9 = 40 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_{10} = 50 \text{ рад/с};$$

$$(\omega_1)_{11} = 0,173 / 0,045 = 3,85 \text{ рад/с, примем } (\omega_1)_{11} = 7 \text{ рад/с}.$$



Р и с. 2. Схема обработки деталей камерным способом с планетарным вращением деталей в уплотненной обрабатывающей среде

F i g. 2. Vitrol-chamber processing scheme with the planetary rotation of details in a close-settled processing environment

Для сравнения полирование производилось при различных соотношениях угловых скоростей вращения детали вокруг собственной оси ω_1 и центральной оси ротора ω_2 при межцентровом расстоянии $A = 0,021$ м, а также при $A = 0$.

Использовавшиеся режимы обработки и выходные параметры процесса приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в примерах 1–5 угловая скорость вращения

деталей вокруг собственной оси w_1 была выбрана в соответствии с рекомендациями разработанного способа, а вокруг оси ротора w_2 – ограничена по величине (4–5). В примерах 6–10 угловая скорость вращения деталей вокруг собственной оси была выбрана большей по сравнению с угловой скоростью, рекомендуемой в источнике [2]. В примере 11 деталь обрабатывалась при вращении только вокруг собственной оси.



Режимные и выходные параметры процесса обработки
Regime and output parameters of processing

№	ω_1 , рад/с / ω_1 , rads/s	ω_2 , рад/с / ω_2 , rads/s	А, м / А, m	Диапазон R_a , мкм / Range of R_a , мкм		Качество поверхности / Quality surfaces	
				Необработанная поверхность / Untilled surface	Обработанная поверхность / Treat surface		
				Максимальная / Maximal	Минимальная / Minimum		
1	10	27,5	0,021	–	1,65	0,08	Ухудшилось, поверхность неоднородная / Deteriorated, heterogeneous surface
2	7	20	0,021	–	0,85	0,06	Поверхность неоднородная / Heterogeneous surface
3	5	14	0,021	–	0,12	0,04	Поверхность неоднородная / Heterogeneous surface
4	3	10	0,021	–	0,06	0,03	Поверхность однородная / Homogeneous surface
5	2	7	0,021	–	0,05	0,03	Поверхность однородная / Homogeneous surface
6	10	7	0,021	1,25	0,08	0,05	Имеются необработанные участки / Untreated plots
7	20	7	0,021	1,25	0,08	0,05	Имеются необработанные участки / Untreated plots
8	30	7	0,021	1,25	0,08	0,06	Имеются необработанные участки / Untreated plots
9	40	7	0,021	1,25	0,10	0,06	Имеются необработанные участки / Untreated plots
10	50	7	0,021	1,25	0,12	0,06	Имеются необработанные участки / Untreated plots
11	7	7	0,000	1,25	0,06	0,04	Имеются необработанные участки / Untreated plots

Проведенный анализ показывает, что наиболее оптимальные результаты достигаются при обработке кулачков предлагаемым способом (примеры 4–5).

Таким образом, обеспечивается возможность обработки деталей с различным профилем образующего контура, а также повышение качества обработки деталей типа кулачков, что значительно расширяет технологические возможности способа.

Одним из недостатков данного способа обработки является то, что при взаимодействии среды с вращающейся деталью, контур сечения которой имеет отклонение от круглости, более интенсивно обрабатываются участки контура, расположенные на наибольшем расстоянии от оси вращения. Остальные участки обрабатываются менее интенсивно, поскольку давление среды на них мало или отсутствует вследствие отбрасывания абразива участками контура с наибольшим расстоянием от оси вращения. Время выравнивания давления (заполнение возникшего зазора между поверхностью детали и абразивной средой) зависит от инерционности среды.

Для эффективной обработки всего контура, имеющего отклонение от круглости, требуется обеспечить равномерную интенсивность воздействия на все его точки. Сообщению детали переносного вращения вокруг оси ротора, расстояние до которой от геометрической оси детали больше величины отклонения от круглости, обеспечивает возможность реализации данного условия. Однако при высокой угловой скорости детали этого недостаточно, чтобы гарантировать равномерность обработки всего контура. В этом случае на равномерность обработки начинают оказывать влияние даже незначительные отклонения контура от круглости, а инерционность абразивной среды не позволяет уменьшить время выравнивания давления до определенной вели-

чины. Следовательно, необходимо ограничить величину угловой скорости вращения ротора с деталями. Кроме того, наличие планетарного движения детали усложняет кинематику ободования и приводит к разрыхлению уплотненной абразивной среды. Вследствие этого желательно исключить переносное вращение детали вокруг оси ротора, обеспечив непрерывность контакта поверхности детали с абразивной средой иным способом.

При реализации нового способа обработки вращающейся детали также сообщают возвратно-поступательное движение относительно статически уплотненной абразивной среды, а саму деталь закрепляют на самоустанавливающейся оправке с эксцентриситетом относительно оси вращения.

Из проведенных экспериментальных исследований следует, что стабильное протекание процесса полирования обеспечивается при условии непрерывного контактирования абразивной среды и участка контура детали с отклонением от круглости в течение времени, необходимого для оборота вокруг ротора собственной оси, или большего времени. Проведенные эксперименты на деталях с большим отклонением от круглости (детали типа кулачков) показали, что ударный характер взаимодействия их поверхностей с уплотненной абразивной средой, имеющий место в предшествующем способе обработки, не проявляется при ограничении угловой скорости ротора до 10 рад/с и применения самоустанавливающейся эксцентриковой оправки. Таким образом, можно обойтись без планетарного движения детали, в результате которого, согласно экспериментальным данным, в некоторых случаях, особенно при больших отклонениях деталей от круглости, происходит разрыхление абразивной среды и нарушение безотрывного обтекания ею поверхности кулачка.



С целью повышения качества обработки рабочей камере сообщается вертикальное возвратно-поступательное перемещение со скоростью $V_n = (0,1 - 0,5) \times 10^{-3}$ м/с с помощью специальных кулачковых устройств.

Реализация данного способа производилась при обработке кулачков из стали 18Х2Н4МА с твердостью 57–63 HRC и исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,8$ мкм. Максимальная величина отклонения от круглости детали при

ее вращении составила 0,008 м; центральный угол минимального дефектного участка кулачка при обработке по прототипу $f = 2,356$ рад; максимальный радиус вращения детали вокруг собственной оси $R = 0,045$ м; эксцентриситет наружного контура относительно оси центрального отверстия – 21 мм.

Обработка производилась в течение 3 мин при давлении в камере $P = 0,075$ МПа и различных скоростях вращения детали (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Результаты обработки данных при различных скоростях вращения детали
Results of processing of data at different speeds of rotation of detail

№	ω_1 , рад/с / ω_1 , rads/s	ε , мм / ε , mm	Шероховатость поверхности (R_a , мкм) / Roughness of surface (R_a , мкм)			Качество поверхности / Surface quality
			Необработанная поверхность / Untilled surface	Обработанная поверхность / Treat surface		
				Максимальная / Maximal	Минимальная / Minimum	
1	27	21	–	1,60	0,07	Поверхность неоднородная / Heterogeneous surface
2	20	21	–	0,90	0,06	Поверхность неоднородная / Heterogeneous surface
3	14	21	–	0,10	0,04	Поверхность неоднородная / Heterogeneous surface
4	10	21	–	0,05	0,03	Поверхность однородная / Homogeneous surface
5	7	21	–	0,05	0,03	Поверхность однородная / Homogeneous surface
6	5	21	1,25	0,12	0,06	Имеются необработанные участки / Untreated plots
7	3	0	1,25	0,08	0,05	Имеются необработанные участки / Untreated plots

В примерах 4–5 скорость вращения оправки была выбрана в соответствии с рекомендациями разработанного способа; в примерах 1–3 – недопустимо большая. Линейная скорость V_n возвратно-поступательного перемещения камеры находилась в рекомендуемом диапазоне значений $V_n = (0,1-0,5) \times 10^{-3}$ м/с.

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее эффективно обработка происходила в примерах 4–5.

Обсуждение и заключения

В рассмотренном способе обработки уплотненный абразивный слой обладает определенной упругостью и облегает профиль погруженной в него детали, точно копируя его форму. В этом случае обеспечивается практически одинаковое давление на все участки профильной поверхности и происходит их равномерная обработка. Упругую абразивную среду можно рассматривать как изотропную, поскольку что ее абразивные частицы ориентированы случайным образом [14–15].

Необходимо также отметить, что для данного способа обработки силы инерции равны нулю, поскольку давление абразивного слоя на поверхность детали определяется давлением сжатого воздуха на обрабатываемую среду через эластичную оболочку.

В отличие от методов полирования, в которых формирование уплотненного абразивного слоя происходит за счет сил инерции, в предлагаемом способе обработки уплотненная абразивная масса формируется статически и прижимается непосредственно к обрабатываемой поверхности.

Таким образом, необходимо отметить, что применение данного способа обработки деталей обеспечивает повышение производительности и качества полирования.

Уплотненный абразивный слой выполняет роль режущего инструмента, который в данном случае формируется автоматически из свободных абразивных частиц, находящихся в составе су-

спензии, путем уплотнения их в слой или эластичный брусочек. Как было сказано выше, инструмент профилируется в самом начале финишной операции технологического процесса в результате контактирования уплотняющихся абразивных частиц и обрабатываемой поверхности.

В уплотненной абразивной среде, в отличие от шлифовальных кругов, между зернами отсутствует жесткая связь. Однако благодаря сильным фрикционным связям абразивная среда обладает достаточно высокой прочностью и жесткостью и является целостным инструментом.

Выше было отмечено, что в свободном состоянии зерна абразивной среды обладают достаточно хорошей подвижностью, что позволяет им копировать форму обрабатываемой детали. Поэтому обработка поверхностей деталей со сложным геометрическим профилем, а также фасонных поверхностей уплотненным абразивом не представляет большой трудности, по сравнению с обработкой связанным абразивом (шлифование, хонингование и др.), где необходимо применение сложных операций по профилированию и правке режущих инструментов.

Основу режущего инструмента составляют абразивные порошки, которые могут быть получены из различных абразивных материалов, с твердостью, превышающей твердость обрабатываемой детали (за исключением метода магнитно-абразивного полирования, где требуется применение специальных ферромагнитных порошков). Таким образом, наиболее целесообразным является применение материалов дешевых, малододефицитных и в то же время обладающих значительной абразивной способностью.

Наибольшее распространение получил электрокорунд нормальный марок 14А, 15А, а также электрокорунд белый марок 24А, 25А с зернистостью от 125 до М7 [14–15].



Абразивное зерно, находящееся в обрабатывающей среде, при контакте с обрабатываемой поверхностью выступает в роли отдельного режущего элемента. Поэтому режущие свойства инструмента в целом во многом зависят от характеристик отдельных зерен.

Известно, что независимо от зернистости абразива, выступы микро рельефа имеют ширину $B_m = 5-15$ мкм, высоту $h_m = (0,1-0,3)B_m$, а радиус округления вершин $\rho_m = 0,1-0,5$ мкм [7; 14]. Эти размеры на порядок ниже размеров режущих элементов выступов микропрофиля абразивного зерна при шлифовании и полировании, поэтому обработка деталей в уплотненной абразивной среде является более тонким видом абразивной обработки и обеспечивает получение меньшей шероховатости поверхности.

При такой обработке деталей зерна в абразивной среде в течение длительного времени сохраняют свою режущую способность; микровыступы зерен достаточно быстро разрушаются, образуя при этом новые выступы, которые также являются режущими элементами. Кроме этого, в процессе обработки происходит частичная заме-

на абразивных зерен, которые контактируют с поверхностью детали; также возможен поворот зерна новой гранью к обрабатываемой поверхности.

Благодаря этим причинам абразивные зерна работают как бы в режиме самозатачивания и поэтому имеют высокую режущую способность. Это подтверждается экспериментальными исследованиями зависимости снятия металла от продолжительности обработки: результаты показывают, что данная зависимость в течение длительного времени сохраняет практически линейный характер, который свидетельствует о неизменной режущей способности абразивных зерен.

Кроме того, необходимо отметить, что при обработке деталей в уплотненной абразивной среде свойства рабочей среды зависят не только от параметров отдельных зерен, но и от характера взаимодействия между ними. Отдельное абразивное зерно должно прочно закрепляться между другими абразивными зернами. В противном случае при взаимодействии с обрабатываемой деталью зерно будет не скользить, а перекачиваться по поверхности детали, не удаляя при этом микростружку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. А. с. 1678581 СССР, МКИ В24В 31/116. Способ абразивной обработки изделий / А. Н. Мартынов, В. А. Скрябин, В. А. Лемин, В. М. Федосеев, Г. В. Бабаджан. Оpubл. 23.09.91, Бюл. № 35.
3. Патент 1803308 (РФ), МКИ: В24В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. Оpubл. 23.03.93, Бюл. №11.
4. **Скрябин В. А.** Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография. Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. 120 с.
5. **Скрябин В. А., Рыбаков Ю. В.** Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами. Машиностроитель. 2000. № 2. С. 16–17.
6. **Скрябин В. А., Схиртладзе А. Г., Рыбаков Ю. В.** Камерный способ обработки сложно-профильных деталей уплотненным мелкодисперсным абразивом // Технология металлов. 2003. № 1. С. 19–24. URL: elibrary.ru/item.asp?id=20935710
7. **Мартынов А. Н.** Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами : монография. Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 1981. 212 с.
8. **Корнараки В. В., Доманский Р. А.** Зависимость коэффициента трения и угла естественного откоса некоторых шлифовальных материалов от влажности. Абразивы: экспресс-информация. М. : НИИАШ, 1981. № 9. С. 16–19.



9. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Изд-во АН СССР, 1954. 648 с.
10. Голушкевич С. С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. Л. ; М. : Гостехиздат, 1948. 148 с.
11. Тимошенко С. П., Гудьер Д. Ж. Теория упругости. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1985. 576 с.
12. Скрябин В. А. Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем // Машиностроитель. 2011. № 3. С. 18–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22965810>
13. 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>
14. 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>
15. 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 04.08.2016; принята к публикации 12.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторе:

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

REFERENCES

1. Martynov AN, Skryabin VA, Fedoseyev VM. A. s. 1579740 SSSR, MKI B24B 31/08. Sposob abrazivnoy obrabotki detaley [Certificate of authorship USSR 1579740 the USSR, MKI B24B 31/08. Method of abrasive treatment of details]. Publ. 23.07.90, bull. № 27. (In Russ.)
2. Martynov VA, Skryabin BM, Lemina VA, Fedoseyev VM, Babadzhani GV. A. s. 1678581 CCCP, MKI B24B 31/116. Sposob abrazivnoy obrabotki izdeliy [Certificate of authorship USSR 1678581, MKI B24B 31/116. Method abrasive processing]. Publ. 23.09.91, bull. № 35. (In Russ.)
3. Skryabin VA. Patent 1803308 (RF), MKI: B24B 31/104. Sposob obrabotki detaley [Patent 1803308 Russian Federation, MKI: B24B 31/104. Method of treatment of details]. Publ. 23.03.93, bull. № 11. (In Russ.)
4. Skryabin VA. Osnovy protsessa submikrorezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom [Bases of process of submicrometer at treatment of details an unsupported abrasive]. Penza: PVAIU Publ.; 1992. (In Russ.)
5. Skryabin VA. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [New method of finish treatment of details of free the fine environments]. *Mashinostroytel* = Mechanician. 2000; 2:16-17. (In Russ.)
6. Skryabin VA, Shirtladze AG, Rybakov YuV. Kamernyy sposob obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennym melkodispersnym abrazivom [Chamber method of handling complex profile parts compacted particulate abrasive]. *Tekhnologiya metallov* = Metal Technology. 2003; 1:19-24. Available from: elibrary.ru/item.asp?id=20935710 (In Russ.)
7. Martynov AN Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiionnymi silami [Bases of method of treatment of details free abrasive close-settled inertia forces]. Saratov: Saratov Technical State University; 1981. (In Russ.)
8. Kornaraki VV, Domanskiy RA. Zavisimost koeffitsienta treniya i ugla yestestvennogo otkosa nekotorykh shlifovalnykh materialov ot vlazhnosti [Dependence of coefficient of friction and corner of natural



slope of some polishing materials on humidity]. *Abrazivy: ekspress-informatsiya* = Abrasives: Express Information. 1981; 9:16-19. (In Russ.)

9. Mushelishvili NI. Nekotoryye osnovnyye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti [Some basic tasks of mathematical theory of resiliency]. Moscow: AS USSR Publ., 1954. (In Russ.)

10. Golushkevich SS. Ploskaya zadacha teorii predelnogo ravnovesiya sypuchey sredy [Flat task of theory of maximum equilibrium of friable environment]. Leningrad-Moscow: Gostekhizdat; 1948. (In Russ.)

11. Timoshenko SP, Gudyer DG. Teoriya uprugosti [Theory of resiliency]. Moscow: Nauka Publ.; 1985. (In Russ.)

12. Skryabin VA. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na sherokhovatost obrabatyvaemykh poverkhnostey detaley s razlichnym profilem [Research of influence of technological factors and terms of finish abrasive treatment on the roughness of processed surfaces of details with the different profile]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2011; 3:18-22. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22965810> (In Russ.)

13. Skryabin VA, Svechnikova GI. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilem [Experimental researches of the productivity of finish abrasive treatment of details with the different profile]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2011; 4:18-22. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22985053> (In Russ.)

14. Skryabin VA, Shirladze AG. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhno-profilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami [The Technological providing of quality of treatment of figurine details close-settled fine environment]. Staryy Oskol: Thin knowledge-based technologies; 2015. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25306901> (In Russ.)

15. Skryabin VA. 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 04.08.2016; revised 12.10.2016; published online 30.12.2016

About the author:

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



УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

**Е. Б. Миронов*, Е. А. Лисунов,
А. Е. Крупин, Е. М. Тарукин**

ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

**mironov-e@mail.ru*

Введение. Сельскохозяйственное производство Российской Федерации располагает значительным парком машин, орудий и механизмов, для поддержания которого в работоспособном состоянии необходима разработка передовых методов и средств консервации и антикоррозионной обработки техники. В настоящее время в целях решения данной актуальной задачи учеными и научно-исследовательскими коллективами предлагаются установки для приготовления и нанесения различных защитных противокоррозионных составов и смазок на поверхности сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. В работе представлена конструкция, принцип ее работы для приготовления и нанесения защитных смазок. Отличительной особенностью данной конструкции является использование в качестве источника нагрева модернизированного индукционного водонагревателя и косвенного нагрева материала посредством теплоносителя.

Результаты исследования. Была получена теоретическая зависимость мощности индукционного нагревателя от температуры, количества и времени нагрева защитной смазки.

Обсуждение и заключения. В сельскохозяйственных организациях не всегда удается обеспечить ритмичность выполнения работ по консервации техники в силу ряда причин: недостаточного технического оснащения, разномарочности консервируемой техники и др. Совокупность данных факторов приводит к необходимости создания установки, способной с наименьшими энергозатратами приготовить защитные составы и поддерживать их требуемую температуру в течение всей рабочей смены.

Ключевые слова: консервация, косвенный нагрев, конструкционные параметры, сельскохозяйственная техника, устройство для приготовления и нанесения защитных составов, хранение

Для цитирования: Устройство для приготовления защитных составов при консервации сельскохозяйственной техники / Е. Б. Миронов [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 490–498. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.490-498

Благодарности: Коллектив авторов выражает благодарность рецензентам за их глубокую всестороннюю оценку статьи, а также указанные замечания и предложения по тематике исследования.



A DEVICE FOR MAKING PROTECTIVE COMPOUNDS AT THE AGRICULTURAL EQUIPMENT CONSERVATION

Ye. V. Mironov*, Ye. A. Lisunov,
A. Ye. Krupin, Ye. M. Tarukin

*Nizhny Novgorod State University of Engineering
and Economics (Knyaginino, Russia)*

*mironov-e@mail.ru

Introduction. The article deals with the protective anti-corrosive compounds for agricultural machinery. Agriculture has a significant fleet of machines, tools and mechanisms. Advanced methods and tools are needed for preservation of surfaces from corrosion. Many of research teams solve this relevant problem and offer devices for the preparation and application of various protective anti-corrosive compounds and greases for surfaces of agricultural machinery.

Materials and Methods. The paper presents the design and operation of installation for the preparation and application of protective grease. A heat source and the indirect heating the material by a heat carrier are distinctive features of the device.

Results. The theoretical dependence of induction heater power on temperature, quantity and time of heating the protective grease was obtained.

Discussion and Conclusions. Agricultural enterprises haven't possibility to conserve technical equipment in time due to a variety of reasons. The combination of many factors leads to the necessity of creating device with minimal energy for producing protective compositions and maintaining work temperature requirements throughout the entire time.

Keywords: conservation, indirect heating, construction parameters, agricultural machinery, device for preparation and application of protective coatings, storage

For citation: Mironov YeV, Lisunov YeA, Krupin AYe, Tarukin YeM. A device for making protective compounds at the agricultural equipment conservation. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):490-498. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.490-498

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the reviewers for the comprehensive evaluation of the article and the important comments to improve the quality of the manuscript.

Введение

Проблема сохранности сельскохозяйственной техники в период эксплуатации и хранения заключается в постоянном воздействии на нее различных факторов: атмосферных осадков, повышенной влажности воздуха, перепадов температуры, примесей коррозионно-активных газов, солнечной радиации и технологических загрязнений, в результате чего металлические поверхности машин интенсивно корродируют [1–2].

Коррозионные разрушения интенсифицируют износ сопряжений и узлов трения, снижают усталостную прочность, что приводит к появлению

многочисленных трещин и разрывов металла, особенно в тонколистовых металлоконструкциях и сварных соединениях [3–5].

Одним из наиболее распространенных путей решения указанной проблемы является нанесение на поверхности деталей сельскохозяйственной техники различных противокоррозионных защитных составов [6–7]. Оценка деятельности технической службы сельскохозяйственных организаций Нижегородской области показала, что противокоррозионные мероприятия часто проводятся не в полном объеме или не проводятся совсем [8]. Основными причинами сложившейся ситу-

ации являются смещение агротехнических сроков выполнения полевых работ из-за погодных условий (например, поздняя уборка зерновых культур, картофеля и т. д.) и низкий уровень механизации процесса нанесения составов, поскольку большинство операций производится вручную с помощью шпателя или кисти. Таким образом, разработка механизированных способов приготовления и нанесения защитных составов является актуальной задачей.

Целью данной работы является ознакомление с предлагаемым оригинальным устройством для приготовления и нанесения защитных составов, а также определение теоретической зависимости его мощности от конструктивных параметров.

Обзор литературы

С целью качественной и своевременной защиты сельскохозяйственной техники авторами [4; 9–10] разработаны установки для приготовления и нанесения различных защитных противокоррозионных составов и смазок [6–7]. Основными недостатками данных устройств являются сложность конструкции, заключающаяся в наличии различных подвижных соединений внутри бака, преимущественный нагрев смазочного материала снизу установок, что не может обеспечить равномерный нагрев всего объема смазочного материала, и может привести к образованию технологических пауз (простоев) в ожидании необходимой температуры материала для нанесения и т. д.

Материалы и методы

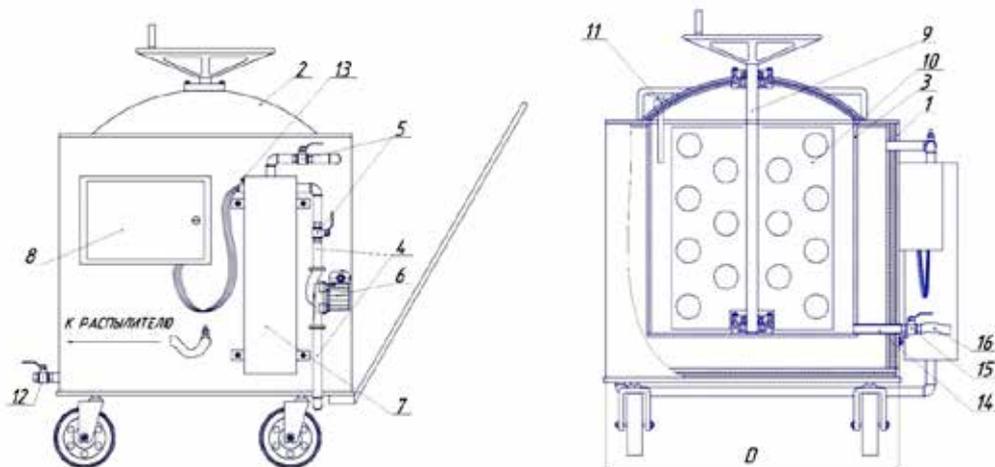
Частично устранить указанные недостатки способно предлагаемое устройство (рис. 1), включающее систему косвенного нагрева смазочного

материала модернизированным индукционным нагревателем [11] через теплоноситель, которая упростит его конструкцию и существенно повысит его надежность и ремонтпригодность.

Отличительной особенностью предлагаемого устройства является использование в качестве источника нагрева модернизированного индукционного водонагревателя и циркуляционного насоса, которые способствуют образованию турбулентного режима течения теплоносителя, благоприятствуют интенсификации теплообмена между нагреваемым материалом и теплоносителем за счет быстрого подвода теплоты к стенкам емкости, и, следовательно, увеличивают скорость нагрева защитного состава. Это обстоятельство ведет также к снижению удельных энергозатрат при приготовлении защитных смазок.

При проведении работ по консервации сельхозмашин устройство транспортируют на пост вручную и подключают к однофазной электрической сети. При достижении температуры, например, 55–60°C посредством температурного контролера индукционный нагреватель отключается, что не допускает перегрева смазки. После понижения температуры например до 45–50°C индукционный нагреватель снова включается и происходит нагрев воды и, как следствие, смазки.

Наличие в устройстве датчиков и температурного контроллера, регистрирующие элементы которых смонтированы в блоке управления, позволяет в автоматическом режиме поддерживать необходимую постоянную температуру нагреваемого материала для получения качественной защитной смазки необходимой консистенции.



Р и с. 1. Схема устройства для приготовления и нанесения защитных смазок: 1 – цилиндрический теплоизолированный корпус, 2 – теплоизолированная крышка, 3 – емкость, 4 – водяные патрубки, 5 – краны, 6 – циркуляционный насос, 7 – модернизированный индукционный водонагреватель, 8 – блок управления, 9 – мешалка, 10 – лопасти, 11 – датчик температуры, 12 – кран сливной, 13 – клапан спуска воздуха, 14 – патрубок отвода защитного состава, 15 – запорный кран, 16 – шланг

Fig. 1. Diagram of the device for the preparation and application of protective greases: 1 – cylindrical insulated body, 2 insulated cover, 3 – capacity, 4 water connection, 5 – valves, 6 – pump, 7 – upgraded induction heater, 8 – control unit, 9 – stirrer, 10 – blade, 11 – temperature sensor, 12 – drain tap, 13 – valve of air, 14 – water outlet of the protective composition, the 15 – stop tap, 16 – hose

Благодаря быстрому и равномерному распределению теплоты по всем поверхностям исключается тепловая деструкция компонентов защитной смазки и снижение ее антикоррозионных свойств.

В пистолет-распылитель подогретая смазка подается по шлангу за счет создаваемого разряжения. Сжатый воздух в пистолет-распылитель подается от компрессора под давлением, которое регулируют посредством пневморедуктора. Производится распыление горячей смазки воздухом, и нанесение ее на обрабатываемую поверхность машины.

Для приготовления битумных мастик в устройство закладывают битум, растворитель (например, бензин), выдерживают определенное время до образования вязкой консистентной массы и перемешивают мешалкой для получения однородной структуры, после чего битумную мастику можно наносить вручную на поверхности деталей машин кистью или шпателем.

Результаты исследования

В работе [12] при обосновании конструктивных параметров установки была определена система уравнений:

$$\begin{cases} m_{см} \cdot c_{см} \cdot \frac{T_2 - T_{2нач}}{\tau} = k_2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot 2 \cdot \pi \cdot L + k_3 (T_2 - T_3) \cdot \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} \\ P = k_1 \cdot (T_1 - T_3) \cdot 2 \cdot \pi \cdot L + k_3 (T_1 - T_3) \cdot \pi \cdot \frac{d_3^2}{4}, \end{cases}$$

где $m_{см}$ – масса приготавливаемого защитного состава, кг; $c_{см}$ – теплоемкость приготавливаемого защитного состава, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; T_2 – конечная температура

защитной смазки, К; $T_{2нач}$ – начальная температура защитной смазки, К; τ – время нагрева, ч; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

T_1 – температура теплоносителя; L – длина емкости для приготовления защитной смазки, м; d_3 – внутренний диаметр емкости для приготовления защитной смазки, м; P – мощность нагревателя, Вт; T_3 – температура окружающей среды, К. Из первого уравнения системы (1) выразим температуру T_1 .

$$T_1 = \frac{m_{cm} \cdot c_{cm} \cdot \frac{T_2 - T_{2нач}}{\tau}}{2 \cdot k_2 \cdot \pi \cdot L} - \frac{k_3(T_2 - T_3) \cdot \pi \cdot \frac{d_3^2}{4}}{2 \cdot k_2 \cdot \pi \cdot L} + T_2. \quad (2)$$

Сгруппировав члены второго уравнения системы (1), получим:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 \cdot T_1 - 2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 \cdot T_3 + \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} \cdot k_3 \cdot T_1 - \pi \cdot \frac{d_3^2}{4} \cdot k_3 \cdot T_3$$

$$P = \left(2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 + \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} k_3 \right) \cdot T_1 - \left(2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 + \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} k_3 \right) \cdot T_3$$

$$P = (T_1 - T_3) \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 + \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} k_3 \right). \quad (3)$$

Выражение (2) подставим в уравнение (3) и преобразуем:

$$P = \left(\frac{m_{cm} \cdot c_{cm} \cdot \frac{T_2 - T_{2нач}}{\tau}}{2 \cdot k_2 \cdot \pi \cdot L} - \frac{k_3(T_2 - T_3) \cdot \pi \cdot \frac{d_3^2}{4}}{2 \cdot k_2 \cdot \pi \cdot L} + T_2 - T_3 \right) \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1 + \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} k_3 \right) \quad (4)$$

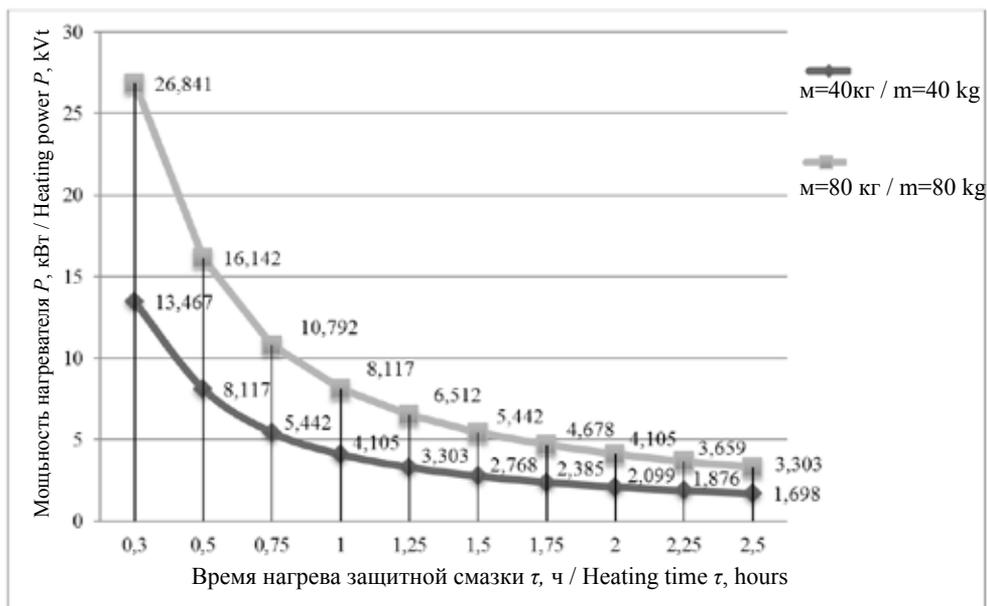
Результаты исследования

Задав необходимые параметры, по формуле (4), определим зависимость искомой мощности P при нагреве защитной смазки до температуры $T_2 = 60$ °С, от количества нагреваемой защитной смазки $m_{cm} = 40$ и 80 кг, времени нагрева τ , а также температуры окружающей среды $T_3 = 18$ °С.

Обсуждение и заключения

Полученное теоретическое выражение (4) при определении потребляемой мощности устройства учитывает не только его конструкционные параметры (геометрические размеры, толщину и свойства теплоизоляционного материала), но и режимные: количество защитного состава, время и температуру нагрева.

Как видно из рис. 2, при увеличении мощности нагревателя теоретическое время нагрева значительно сокращается. Кроме этого, следует учитывать, что применение избыточно мощного индукционного водонагревателя ведет к неоправданному увеличению стоимости установки. Также возможен неравномерный нагрев смазочного материала в центре емкости установки вследствие срабатывания автоматики при достижении теплоносителем и пристеночными слоями защитной смазки необходимой температуры. В процессе консервации техники, необходимо максимально сократить время приготовления в случае израсходования всего находящегося в устройстве защитного состава.



Р и с. 2. Теоретические зависимости изменения времени нагрева τ защитной смазки от мощности нагревателя P

Fig. 2. Theoretical dependence of change of the heating time τ protective grease from the heating power P

Таким образом, для нагрева 40 и 80 кг защитного состава в течение 30–40 мин потребуется индукционный нагреватель

мощностью 7 и 15 кВт, который отвечает всем вышеперечисленным требованиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миронов Е. Б., Лисунов Е. А., Гладцын А. Ю. Процесс образования и развития электрохимической коррозии сельскохозяйственной техники // Аграрный Вестник Верхневолжья. 2015. № 4. С. 49–52. URL: http://www.ivgsha.ru/userfiles/file/4_2015.pdf
2. Соловьева С. П. Повышение эффективности хранения сельскохозяйственной техники путем обоснования параметров защитного теплового экрана : дис. ... к-та техн. наук. Рязань, 2014. 169 с. URL: http://www.mgau.ru/file_article/ds/dissol.pdf
3. Укрытие для хранения сельскохозяйственной техники / М. Б. Латышенко [и др.] // Известия ТулГУ (Сер. «Технические науки»). 2011. № 4. С. 204–207. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ukrytie-dlya-hraneniya-selskohozyaystvennoy-tehniki>
4. Петрашев А. И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, 2007. 52 с. URL: <http://dlib.rsl.ru/viewer/01003064619#?page=1>
5. Шемякин А. В. Совершенствование организации работ, связанных с хранением сельскохозяйственных машин в условиях малых и фермерских хозяйств : дис. ... д-ра техн. наук. Рязань, 2014. 296 с. URL: <http://www.mgau.ru/science/553/soviet/238/244/item.2607.html>
6. Оценка консервационных материалов для защиты от коррозии рабочих органов сельскохозяйственной техники / Е. Б. Миронов [и др.] // Вестник НГИЭУ (Сер. «Технические науки»). 2015. № 8 (51). С. 45–57. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-konservatsionnyh-materialov-dlya-zaschity-ot-korrozii-rabochih-organov-selskohozyaystvennoy-tehniki>



7. **Шихалев И. Н.** Обоснование параметров и характеристик процесса приготовления пластичных смазок на основе отработанных масел для их использования в сельскохозяйственной технике : дис. ... к-та техн. наук. Тамбов, 2016. 220 с. URL: http://ds.vsau.ru/wp-content/uploads/2016/01/%D0%A8%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B2_%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81.pdf

8. Состояние системы противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники в Нижегородской области / Е. Б. Миронов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 12 (134). С. 127–131. URL: <http://www.asau.ru/vestnik/2015/12/127-131.pdf>

9. Патент 2525493 (РФ), МПК В 05 В 7/16. Устройство для нагрева защитной смазки при нанесении на сельхозмашины / А. И. Петрашев, В. В. Клепников, Ю. А. Шумов; заявитель и патентообладатель – ФБГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. 2013109670/05; заявл. 03.04.2013; опубл. 20.08.2014. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2525493>

10. Патент 2460590 (РФ), МПК В 05 В 7/16. Устройство для нагрева защитной смазки при нанесении / А. И. Петрашев, Л. Г. Князева, И. М. Курочкин, М. А. Петрашева; заявитель и патентообладатель – ФБГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. 2011136490/05; заявл. 01.09.2011; опубл. 10.09.2012. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2460590>

11. **Миронов Е. Б.** Исследование удельного энергопотребления индукционных водонагревателей и их совершенствование путем оребрения конструктивных элементов : автореф. дис. ... к-та техн. наук. Княгинино, 2013. 20 с. URL: <http://dlib.rsl.ru/viewer/01005539804#?page=1>

12. **Миронов Е. Б., Тарукин Е. М.** К обоснованию конструктивных параметров установки для приготовления защитных составов при консервации сельскохозяйственной техники // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики : мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. (8–10 сентября 2016 г). Чебоксары : ЧГСХА, 2016. С. 364–372.

Поступила 26.09.2016; принята к публикации 20.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016 г.

Об авторах:

Миронов Евгений Борисович, доцент кафедры технического сервиса ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (Россия, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7842-0377>**, mironov-e@mail.ru

Лисунов Евгений Алексеевич, профессор кафедры технического сервиса ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (Россия, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22), доктор технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9002-2665>**, lea63@yandex.ru

Крупин Александр Евгеньевич, старший преподаватель кафедры технического сервиса ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (Россия, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7497-353X>**, krupin-ngiei@mail.ru

Тарукин Евгений Михайлович, старший преподаватель кафедры технического сервиса ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (Россия, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9075-3767>**, evgenij2202@yandex.ru

Вклад соавторов: Е. Б. Миронов: патентный поиск, консультирование по теоретической части работы, анализ полученных данных; Е. А. Лисунов: изучение концепции, научное руководство, критический анализ и доработка текста; А. Е. Крупин: компьютерные работы, верстка и редактирование текста; Е. М. Тарукин: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



REFERENCES

1. Mironov YeB, Lisunov YeA, Gladtsyn AYu. Protsess obrazovaniya i razvitiya elektrokhimieskoy korrozii selskokhozyaystvennoy tekhniki [The process of formation and development of electrochemical corrosion of agricultural machinery]. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya* = Agricultural Bulletin of Upper Volga Region. 2015; 4:49-52. Available from: http://www.ivgsha.ru/userfiles/file/4_2015.pdf (In Russ.)
2. Solovyeva SP. Povysheniye effektivnosti khraneniya selskokhozyaystvennoy tekhniki putem obosnovaniya parametrov zashchitnogo teplovogo ekrana : diss. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of the storage of agricultural machinery by a substantiation of the parameters of the protective heat shield: Ph.D. thesis (Engineering)]. Ryazan; 2014. Available from: http://www.mgau.ru/file_article/ds/dissol.pdf (In Russ.)
3. Latyshenok MB, Shemyakin AV, Morozova NM, Solovyeva SP. Ukrytiye dlya khraneniya selskokhozyaystvennoy tekhniki [Shelter for storage of agricultural machinery]. *TSU Bulletin: Engineering*. 2011; 4:204-207. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/ukrytie-dlya-hraneniya-selskokozyaystvennoy-tehniki> (In Russ.)
4. Petrashev AI. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh protsessov i resursosberegayushchikh sredstv konservatsii selskokhozyaystvennoy tekhniki pri khraneni: avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk [Improving processes and resource conservation means the storage of agricultural machinery: Abstract of Dr.Sci. thesis (Engineering)]. Tambov; 2007. Available from: <http://dlib.rsl.ru/viewer/01003064619#?page=1> (In Russ.)
5. Shemyakin AV. Sovershenstvovaniye organizatsii rabot, svyazannykh s khraneniem selskokhozyaystvennykh mashin v usloviyakh malykh i fermerskikh khozyaystv: diss. ... dokt. tekhn. nauk [Improving the organization of work associated with the storage of agricultural machinery in the conditions of small farms: Dr.Sci. thesis (Engineering)]. Ryazan; 2014. Available from: <http://www.mgau.ru/sciense/553/soviet/238/244/item.2607.html> (In Russ.)
6. Mironov YeB, Kosolapov VV, Tarukin YeM, Maslov MM. Otsenka konservatsionnykh materialov dlya zashchity ot korrozii rabochikh organov selskokhozyaystvennoy tekhniki [Assessment of conservation materials for corrosion protection of working organs of agricultural machinery]. *Vestnik NGIEU: Tekhnicheskkiye nauki* = NGIEU Bulletin: Engineering. 2015; 8(51):45-57. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-konservatsionnyh-materialov-dlya-zashchity-ot-korrozii-rabochih-organov-selskokozyaystvennoy-tehniki> (In Russ.)
7. Shikhalev IN. Obosnovaniye parametrov i kharakteristik protsessa prigotovleniya plastichnykh smazok na osnove otrabotannykh masel dlya ikh ispolzovaniya v selskokhozyaystvennoy tekhnike: diss. ... kand. tekhn. nauk. [Justification of parameters and characteristics of the process of preparation of greases based on waste oils for use in agricultural machinery: Ph.D. thesis (Engineering)] Tambov; 2016. Available from: http://ds.vsau.ru/wp-content/uploads/2016/01/%D0%A8%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B2_%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81.pdf (In Russ.)
8. Mironov YeB, Kosolapov VV, Tarukin YeM, Maslov MM. Sostoyaniye sistemy protivokorroziionnoy zashchity selskokhozyaystvennoy tekhniki v Nizhegorodskoy oblasti [Corrosion protection system status of agricultural machinery in Nizhny Novgorod Region]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Altai State Agrarian University Bulletin. 2015; 12(134):127-131. Available from: <http://www.asau.ru/vestnik/2015/12/127-131.pdf> (In Russ.)
9. Petrashev AI, Klepnikov VV, Shumov YuA. Patent 2525493 (RF), MPK V 05 V 7/16. Ustroystvo dlya nagreva zashchitnoy smazki pri nanesenii na selkhoz mashiny [Device for heating a protective lubricant when applied to agricultural machinery]. FBGNU VNIITiN Rosselkhozakademii. 2013109670/05. Available from: <http://www.freepatent.ru/patents/2525493> (In Russ.)
10. Petrashev AI, Knyazeva LG, Kurochkin IM, Petrasheva MA. Patent 2460590 (RF), MPK V 05 V 7/16. Ustroystvo dlya nagreva zashchitnoy smazki pri nanesenii [Device for heating a protective lubricant when applied]. FBGNU VNIITiN Rosselkhozakademii. 2011136490/05. Available from: <http://www.freepatent.ru/patents/2460590> (In Russ.)
11. Mironov YeB. Issledovaniye udelnogo energopotrebleniya induktsionnykh vodonagrevateley i ikh sovershenstvovaniye putem orebreniya konstruksionnykh elementov: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Research of the specific energy consumption of induction heaters and their improvement through the fins



of structural elements: Abstract of Ph.D. thesis (Engineering)]. Knyaginino; 2013. Available from: <http://dlib.rsl.ru/viewer/01005539804#?page=1> (In Russ.)

12. Mironov YeB, Tarukin YeM. K obosnovaniyu konstruktsionnykh parametrov ustanovki dlya prigotovleniya zashchitnykh sostavov pri konservatsii selskokhozyaystvennoy tekhniki [On the justification of the structural parameters of the installation for the preparation of protective compounds in the preservation of agricultural machinery]. In: *Sovremennoye sostoyaniye prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (8–10 sentyabrya 2016 g)* [The current state of applied science in the field of mechanics and engineering: Proceedings of Russian scientific-practical conference, 8-10 September 2016]. Cheboksary: ChGSKhA; 2016; 364-372.

Submitted 26.09.2016; revised 20.10.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Yevgeniy B. Mironov, associate professor of Technical Service Chair, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (22, Oktyabrskaya St., Knyaginino, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7842-0377>, mironov-e@mail.ru

Yevgeniy A. Lisunov, professor of Technical Service Chair, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (22, Oktyabrskaya St., Knyaginino, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9002-2665>, lea63@yandex.ru

Aleksandr Ye. Krupin, senior lecturer of Technical Service Chair, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (22, Oktyabrskaya St., Knyaginino, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7497-353X>, krupin-ngiei@mail.ru

Yevgeniy M. Tarukin, senior lecturer of Technical Service Chair, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (22, Oktyabrskaya St., Knyaginino, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9075-3767>, evgenij2202@yandex.ru

The contribution of the authors: Ye. B. Mironov looked through patents, developed the theoretical framework, analyzed data; Ye. A. Lisunov studied concept, provided direction, made critical analysis and revised the text of the article; A. Ye. Krupin processed data on a computer, edited the final version of the article; Ye. M. Tarukin wrote the preliminary text and analyzed the literature data. All authors have read and approved the final manuscript.



ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧЕК КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

С. Н. Ивлиев

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

ivliev_sn@mail.ru

Введение. Статья посвящена исследованию каналов утечек конфиденциальной информации от вспомогательных технических средств и систем (ВТСС), которым в настоящее время уделяется недостаточно внимания. Предлагаемое исследование направлено на решение данной проблемы.

Материалы и методы. Изучение величины утечек по акустоэлектрическому каналу проводилось на специализированном программно-аппаратном комплексе, служащем для аттестации информационных систем на предмет соответствия требованиям информационной безопасности в акустическом диапазоне. Исследования проводились в октавных диапазонах, согласно нормативно-справочной документации регуляторов (ФСТЭК, ФСБ).

Результаты исследования. В статье приводятся результаты измерения и оценка разборчивости речи различными вспомогательными техническими средствами.

Обсуждение и заключения. Анализ результатов исследования позволил выявить наиболее уязвимые элементы ВТСС, на основании которых были предложены меры по компенсации рисков от утечек конфиденциальной информации по акустоэлектрическому каналу.

Ключевые слова: микрофонный эффект, магнитоакустический канал, электроакустический канал, разборчивость речи, технические каналы утечки информации, формантный метод, октавная полоса

Для цитирования: Ивлиев С. Н. Исследование утечек конфиденциальной информации по акустоэлектрическому каналу // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 499–504. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.499-504

EXPERIMENTAL STUDY OF CONFIDENTIAL INFORMATION LEAKAGE THROUGH ACOUSTOELECTRIC CHANNEL

S. N. Ivliyev

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

ivliev_sn@mail.ru

Introduction. The article is concerned with protection of acoustic information from leakage through the auxiliary technical tools and systems. This problem is often ignored in modern engineering. The author proposes the methods for preventing information leakage.

Materials and Methods. Special software and hardware system was used for studying the scope of the information leakage through acoustoelectric channel. This system has certification of information systems for compliance with information security requirements in the acoustic range. The researches were carried out in octave bands according to normative documentation of the control institutions (FSTEK, FSB).

Results. The research work was focused mainly on the measurement and evaluation of speech intelligibility due to interference of electro-acoustic components the auxiliary technical tools and systems. The results of the speech intelligibility measurement were received from many auxiliary technical means.

Discussion and Conclusions. The analysis of the research results allowed identifying the most vulnerable elements of the auxiliary technical tools and systems. The author proposes relevant measures for protection of acoustic information from leakage through acoustoelectric channel.

Keywords: MIC effect, magnetoacoustic channel, electroacoustic channel, speech intelligibility, technical channels of information leakage, formant method, octave band

For citation: Ivliyev S.N. Experimental study of confidential information leakage through acoustoelectric channel. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):499-504. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.499-504

Введение

В настоящее время в развивающихся экономиках (в частности, в странах СНГ) все большее внимание уделяется защите конфиденциальной информации. К сожалению, в данной области до настоящего времени существуют следующие стереотипы:

1) шифрование информации решает все проблемы ее защиты;

2) съем информации возможен только с помощью специального дорогостоящего шпионского оборудования.

По поводу применения шифрования отметим, что ввод, обработка, а очень часто и передача информации происходит в открытом виде. Например, обсуждение проблем, связанных с конфиденциальной информацией происходит на каком-либо языке (русском, английском и т. д.). Следовательно, речь идет о техническом аспекте ее защиты: например, снижении вероятности несанкционированного прослушивания процесса обсуждения того или иного проекта.

Сторонники второго стереотипа придерживаются мнения, что обсуждение необходимо проводить в бункере или помещении с абсолютной звукоизоляцией. Однако большинство помещений такого рода трудно представить без вспомогательных технических средств (ВТСС): средств связи и сигнализации, пожарно-охранных систем, систем электропитания и др.

Обзор литературы

В настоящее время в бизнес-сообществе активно обсуждаются вопросы защиты акустической (речевой) информации от перехвата, предлагаются различного рода генераторы помех, однако при этом практически не исследуются вопросы акустоэлектрических преобразований. Данная работа посвящена анализу уязвимостей от таких преобразований и является продолжением исследований в области технической защищенности систем обработки конфиденциальной информации и систем обработки персональных данных в образовательных учреждениях, проводимых на кафедре сервиса ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» [1–3].

Для оценки защищенности акустического канала передачи информации используются различные методики измерения уровня паразитного информационного сигнала от ВТСС. На наш взгляд, наиболее предпочтительным является оценка разборчивости речи. Данная методика впервые была предложена Н. Б. Покровским [4] и в дальнейшем усовершенствована Я. И. Железняком, Ю. К. Макаровым и А. А. Хоревым [5–6]. В последней работе предлагается использовать для результатов анализа 5 октавных диапазонов.

Материалы и методы

Целью работы является измерение разборчивости речевого сигнала в различных акустоэлектрических преобра-



зователях (АЭП). Под АЭП понимают устройство, преобразующее акустическую энергию (т. е. энергию упругих волн в воздушной среде) в электромагнитную энергию в схемах тех устройств, в которых находятся АЭП. Наиболее распространенные АЭП линейны, т. е. удовлетворяют требованиям неискаженной передачи сигнала, и обратимы, т. е. могут работать и как излучатель, и как приемник [7].

В качестве основной характеристики речевого сигнала была использована разборчивость речи (W), под которой понимается относительное количество (в процентах) правильно принятых, переданных по тракту элементов (слогов, слов, фраз) артикуляционных таблиц [8].

В ходе исследования применялись формантные методы оценки защищенности акустического канала передачи информации [9–12].

В работе был использован программно-аппаратный комплекс «Аист» [13]. Данный комплекс служит для оценки защищенности ВТСС от акустоэлектрических преобразований; имеет свидетельство об утверждении типа средств измерений и сертификат ГОСТ Р. Он позволяет проводить измерения и анализ сигналов диапазона звуковых частот в токопроводящих коммуникациях; проводить измерения и анализ электромагнитного поля в диапазоне звуковых частот, в том числе с применением адаптивного приема; генерировать тестовый акустический сигнал; проводить оценку эффективности защиты ВТСС от утечки информации за счет акустоэлектрических преобразований.

В качестве объекта исследований были выбраны наиболее характерные

средства пожарно-охранной сигнализации и коммуникационные соединения:

- пожарно-охранный извещатель ГЛАГОЛ-Н2-3, служащий для оповещения в случае возникновения ЧС;

- извещатель пожарный «ИПД-3.1М», предназначенный для обнаружения возгораний;

- провод телефонный ТРП 2,0х0,4, используемый для подключения средств пожарно-охранной сигнализации;

- кабель категории 5е типа «витая пара» (UTP-5е), служащий для подключения средств связи и монтажа ЛВС.

Измерения проводились для следующих уровней акустического сигнала: $Ls1 = 56$ дБ – едва слышный звук, очень тихая речь; $Ls2 = 66$ дБ – очень тихая речь; $Ls3 = 76$ дБ – речь средней громкости; $Ls4 = 86$ дБ – громкая речь; $Ls5 = 95$ дБ – речь, усиленная техническими средствами. При этом были выбраны следующие среднегеометрические частоты октавных полос: 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц.

Результаты исследования

Результаты измерений индекса артикуляции речи R , слоговой разборчивости S и словесной разборчивости W представлены в таблице.

Из таблицы видно, что системы звукового оповещения представляют собой наиболее уязвимое звено ВТСС (разборчивость слогов и речи составляет 70 % и 92 % соответственно при низком уровне звукового сигнала). Даже соединительные элементы обладают способностью передавать наведенный электроакустический сигнал. Например, разборчивость речи при использовании кабеля UTP-5е составила 82 % при среднем уровне звукового сигнала.

Результаты измерений разборчивости речи
The results of speech intelligibility measurements

Объект исследования / Subject	$L_s, \text{Дб} / L_s, \text{Db}$	R	S, %	W, %
Извещатель ГЛАГОЛ-Н2-3 / Detector GLAGOL-№2-3	56	0,565	70	92
	66	0,684	85	96
	76	0,920	97	99
	86	1,150	+100	+100
	95	1,380	+100	+100
Извещатель пожарный «ИПД-3.1М» / Fire detector, IPD-3.1 M	56	0,261	20	43
	66	0,373	39	74
	76	0,561	70	91
	86	0,850	93	97
	95	0,866	95	98
Провод телефонный ТРП 2х0,4 / Telephone wire TRP 2х0,4	56	0,257	19	42
	66	0,260	20	43
	76	0,404	43	75
	86	0,678	83	95
	95	0,908	96	98
Провод «витая пара» УТП-5е / Twisted pair wire UTP-5e	56	0,196	11	12
	66	0,163	7	8
	76	0,435	50	82
	86	0,530	64	90
	95	0,510	62	88

Обсуждение и заключения

На основании вышеизложенного сделаем следующие выводы.

1. Большинство ВТСС обладают значительной уязвимостью электроакустического и магнитоакустического канала.

2. При проектировании объектов, где возможна передача защищаемой информации посредством звукового сигнала, необходимо обеспечить расположение всех соединительных линий (связь, ЛВС, системы охраны и наблюдения) внутри контролируемой зоны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **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://edumag.mrsu.ru/content/pdf/12-4.pdf>

2. **Ивлиев С. Н., Мамедов А. Р.** К вопросу оценки защищенности конфиденциальной информации по акустоэлектрическому каналу // SWorld : сб. науч. тр. 2014. Т. 18, Вып. 2. С. 77–80. URL: <http://sworld.com.ua/index.php/ru/safety-214/economic-and-information-security-214/22262-214-247>

3. **Крылова С. Л.** Исследование побочных электромагнитных излучений видеосистемы ПЭВМ в учебной лаборатории информационной безопасности // SWorld : сб. науч. тр. 2014. Т. 18, Вып. 2. С. 80–85. URL: <http://sworld.com.ua/index.php/ru/safety-214/economic-and-information-security-214/22610-214-597>



4. Технические средства и методы защиты информации : учеб. для вузов / Зайцев А. П. [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. М. : Машиностроение, 2009. 508 с. URL: <http://nashol.com/2014060277791/tehnicheskie-sredstva-i-metodi-zaschiti-informacii-zaicev-a-p-shelupanov-a-a-mescheryakov-r-v-2009.html>

5. ГОСТ Р 50840-95. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200027288>

6. **Покровский Н. Б.** Расчет и измерение разборчивости речи. М. : Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1962. 392 с. URL: http://www.studmed.ru/pokrovskiy-nb-raschet-i-izmerenie-razborchivosti-rechi-1962g-v-formate_2ed899f9870.html

7. **Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А.** Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. 2000. № 4. С. 39–45. URL: http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/04/2000_04_06.pdf

8. **Хорев А. А., Макаров Ю. К.** К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации // Специальная техника. 2000. № 5. С. 46–56. URL: http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/05/2000_05_05.pdf

9. **Продеус А. Н.** О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи // Электроника и связь : тематич. вып. «Электроника и нанотехнологии». 2010. № 2. С. 217–223. URL: http://www.studmed.ru/prodeus-an-o-nekotoryh-osobennostyah-razvitiya-obektivnyh-metodov-izmereniy-razborchivosti-rechi_e33052f1f9b.html

10. Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости речи: часть 1: унификация алгоритмов / А. Н. Продеус [и др.] // Электроника и связь. 2010. № 6, Ч. 2. С. 117–124. URL: http://www.studmed.ru/prodeus-an-dronzhevskaya-lb-klimkov-va-shagitova-da-formantnyy-i-formantno-modulyacionnyy-metody-ocenki-razborchivosti-rechi-chast-1-unifikaciya-algoritmov_e8b3327f7b8.html

11. Моделирование алгоритмов формантно-модуляционного метода оценивания разборчивости речи / А. Н. Продеус [и др.] // Электроника и связь : тематич. вып. «Электроника и нанотехнологии». 2011. № 2. С. 79–85. URL: http://www.studmed.ru/prodeus-an-dronzhevskaya-lb-klimkov-va-shagitova-da-modelirovanie-algoritmov-formantno-modulyacionnogo-metoda-ocenivaniya-razborchivosti-rechi_ee8ba86eefe.html

12. **Козлачков С. Б.** Методические аспекты оценки защищенности речевой информации // Спецтехника и связь. 2011. Вып. 2. С. 44–47. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-otsenki-zaschischnosti-rechevoy-informatsii>

13. Технические системы обеспечения безопасности : каталог продукции. М. : Нелк, 2007. URL: <http://www.nelk.ru/node/481>

Поступила 27.06.2016; принята к публикации 15.09.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторе:

Ивлиев Сергей Николаевич, заведующий кафедрой сервиса светотехнического факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6101-3388>, ivliev_sn@mail.ru

REFERENCES

1. Ivliyev SN. Predvaritelnyy analiz tekhnicheskoy zashchishchennosti sistemy distantsionnogo obrazovaniya (na materiale Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta) [A preliminary analysis of the technical security system of distance education (case study of Mordovia State University)]. *Integratsiya obrazovaniya* = Integration of Education. 2012; 4(69):27-31. Available from: <http://edumag.mrsu.ru/content/pdf/12-4.pdf> (In Russ.)

2. Ivliyev SN, Mamedov AR. K voprosu otsenki zashchishchennosti konfidentsialnoy informatsii po akustoelektricheskomu kanalu [To the question of assessing the security of confidential information acoustoelectric channel]. *SWorld: sbornik nauchnykh trudov* = SWorld: proceedings. 2014; 2(18):77-80. Available from: <http://sworld.com.ua/index.php/ru/safety-214/economic-and-information-security-214/22262-214-247> (In Russ.)

3. Krylova SL. Issledovaniye pobochnykh elektromagnitnykh izlucheniye videosistemy PEVM v uchebnoy laboratorii informatsionnoy bezopasnosti [Study of spurious electromagnetic radiation video computer in educational laboratory information security]. *SWorld: sbornik nauchnykh trudov* = SWorld: proceedings 2014; 2(18):80-85. Available from: <http://sworld.com.ua/index.php/ru/safety-214/economic-and-information-security-214/22610-214-597> (In Russ.)

4. Zaytsev AP, Shelupanov AA, Meshcheryakov RV. Tekhnicheskiye sredstva i metody zashchity informatsii: ucheb. dlya vuzov [Technical means and methods of information protection: Textbook for universities]. Mashinostroyeniye; 2009. Available from: <http://nashol.com/2014060277791/tehnicheskie-sredstva-i-metodi-zaschiti-informacii-zaicev-a-p-shelupanov-a-a-mescheryakov-r-v-2009.html> (In Russ.)

5. GOST R 50840-95. Metody otsenki kachestva, razborchivosti i uznayayemosti [The assessment methods of quality, legibility and recognition]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200027288>. (In Russ.)

6. Pokrovskiy NB. Raschet i izmereniye razborchivosti rechi. Moscow: Radio and Communications Publ.; 1962. Available from: http://www.studmed.ru/pokrovskiy-nb-raschet-i-izmerenie-razborchivosti-rechi-1962g-v-formate_2ed899f9870.html (In Russ.)

7. Zheleznyak VK, Makarov YuK, Khorev AA. Nekotoryye metodicheskiye podkhody k otsenke effektivnosti zashchity rechevoy informatsii [Some methodological approaches to evaluating the effectiveness of information security speech]. *Spetsialnaya tekhnika* = Special equipment. 2000; 4:39-45. Available from: http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/04/2000_04_06.pdf (In Russ.)

8. Khorev AA, Makarov YuK. K otsenke effektivnosti zashchity akusticheskoy (rechevoy) informatsii [To assess the effectiveness of the protection of the acoustic (speech) information]. *Spetsialnaya tekhnika* = Special equipment. 2000; 5:46-56. Available from: http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2000/05/2000_05_05.pdf (In Russ.)

9. Prodeus AN. O nekotorykh osobennostyakh razvitiya obektivnykh metodov izmereniye razborchivosti rechi [Some features of the development of objective methods for measuring speech intelligibility]. *Elektronika i svyaz: Elektronika i nanotekhnologii* = Electronics & Communications: Electronics and Nanotechnology. 2010; 2:217-223. Available from: http://www.studmed.ru/prodeus-an-o-nekotorykh-osobennostyakh-razvitiya-obektivnykh-metodov-izmereniye-razborchivosti-rechi_e33052f1f9b.html (In Russ.)

10. Prodeus AN, Dronzhevskaya LB, Klimkov VA, Shagitova DA. Formantnyy i formantno-modulyatsionnyy metody otsenki razborchivosti rechi: chast 1: unifikatsiya algoritmov [Formant-formant and modulation methods for assessing speech intelligibility: Part 1: unification algorithms]. *Elektronika i svyaz* = Electronics & Communications. 2010; 6(2):117-124. Available from: http://www.studmed.ru/prodeus-an-dronzhevskaya-lb-klimkov-va-shagitova-da-formantnyy-i-formantno-modulyacionnyy-metody-ocenki-razborchivosti-rechi-chast-1-unifikatsiya-algoritmov_e8b3327f7b8.html (In Russ.)

11. Prodeus AN, Dronzhevskaya LB, Kulikov VA, Shagitova DA. Modelirovaniye algoritmov formantno-modulyatsionnogo metoda otsenivaniya razborchivosti rechi [Modeling algorithms of formant-modulation method of speech intelligibility evaluation]. *Elektronika i svyaz: Elektronika i nanotekhnologii* = Electronics & Communications: Electronics and Nanotechnology. 2011; 2:79-85. Available from: http://www.studmed.ru/prodeus-an-dronzhevskaya-lb-klimkov-va-shagitova-da-modelirovanie-algoritmov-formantno-modulyacionnogo-metoda-ocenivaniya-razborchivosti-rechi_ee8ba86eefe.html (In Russ.)

12. Kozlachkov SB. Metodicheskiye aspekty otsenki zashchishchennosti rechevoy informatsii [Methodical aspects of an estimation of the speech information security]. *Spetstekhnika i svyaz* = Special Equipment and Communication. 2011; 2:44-47. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskiye-aspekty-otsenki-zaschischennosti-rechevoy-informatsii> (In Russ.)

Submitted 27.06.2016; revised 15.09.2016; published online 30.12.2016

About the author:

Sergey N. Ivliyev, head of Chair of Service, Institute of Electronics and Lighting Engineering, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6101-3388>**, ivliev_sn@mail.ru



МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICAL SCIENCES

УДК 616.12-008.331.1:616.33-002

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.505-521

ДИАГНОСТИКА АТЕРОСКЛЕРОЗА МЕЗЕНТЕРЕАЛЬНЫХ СОСУДОВ, КЛИНИЧЕСКИ ПРОТЕКАЮЩЕГО ПОД «МАСКАМИ» ГАСТРОПАТИЙ

**Л. Н. Гончарова, В. Н. Антипова*,
Н. П. Сергутова, Д. А. Анисимов, А. Мурхаф**
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», (г. Саранск, Россия)
**valentina.antipova@gmail.com*

Введение. Несмотря на высокие современные достижения медицины, 2000-е гг. характеризуются неуклонным ростом сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) в общей популяции, а смертность населения Российской Федерации от ССЗ значительно превышает данный показатель для экономически развитых стран Европы, США и Японии. На основании пересмотра европейских рекомендаций, принятых в 2013 г., значимым и независимым предиктором сердечно-сосудистых событий является жесткость сосудистой стенки. Изучение параметров, характеризующих данный процесс, позволяет судить об интенсивности атеросклеротических изменений различной локализации (включая мезентериальную), обладает дополнительной ценностью при прогнозировании сердечно-сосудистых событий у пациентов с различными ССЗ (включая артериальную гипертонию (АГ) с различными сопутствующими патологиями, в частности, гастропатией) и без них. Одним из новых доступных инструментальных способов оценки структурно-функциональных свойств сосудистой стенки является объемная сфигмометрия. Интерпретация полученных результатов при их повреждении с дальнейшей тактикой ведения больных, в том числе АГ с сопутствующей гастроэнтерологической патологией, является особенно актуальной.

Материалы и методы. Набор пациентов проводился на базе гастроэнтерологического отделения ГБУЗ РМ «Мордовская республиканская клиническая больница» за 2009–2011 гг. В исследовании приняло участие 86 пациентов с патологией желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и разным уровнем артериального давления, а также низким или неустойчивым ответом на получаемую специфическую терапию по поводу гастропатий. Средний возраст мужчин составил $48,3 \pm 12,5$ года, а средний возраст обследованных женщин $44,2 \pm 13,4$ года, ИМТ = $30,4 \pm 4,1$ кг/м² и ЧСС = $79 \pm 11,4$ уд/мин. Было проведено физикальное обследование больных АГ и нормотоников. В процессе работы применялись лабораторные и инструментальные методы исследования с регистрацией сердечно-лодыжечного васкулярного индекса (CAVI) и лодыжечно-плечевого индекса (ABI), уровней артериального давления (АД) в бассейнах верхних и нижних конечностей с использованием объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000» («Fukuda Denschi», Япония).

Результаты исследования. Индекс жесткости CAVI у больных с гастропатиями, имеющих АГ, по сравнению с «нормальным», был больше на 2,44 (на 24 %). Максимальный расчетный биологический возраст артерий у 10 % больных составил $59 \pm 9,3$ лет, имеющих повышенное АД, что значительно (от 8 до 24 лет) выше паспортного возраста обследованных. У данной категории больных, определяется существенный прирост индекса жесткости (42,1 % между пациентами с АГ I и 3 степени). Для раннего выявления атеросклероза мезентериальных сосудов разработан и предложен алгоритм обследования больных, в частности с гастропатиями на фоне АГ, имеющих низкий ответ на специфическую терапию с использованием метода объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000».

© Гончарова Л. Н., Антипова В. Н., Сергутова Н. П., Анисимова Д. А., Мурхаф А., 2016

Обсуждение и заключения. Применение предложенного алгоритма обследования, у больных с гастропатиями на фоне АГ и низкого ответа на комплексную терапию, позволяет своевременно выявлять атеросклеротическое поражение сосудов (в частности мезентериальных), осуществлять выбор правильной тактики ведения, определения прогноза и принятия мер по предотвращению развития ранних и поздних осложнений.

Ключевые слова: сосудистая стенка, сердечно-лодыжечный васкулярный индекс (CAVI), лодыжечно-плечевой индекс (ABI), артериальная гипертония, гастроэнтерологическая патология

Для цитирования: Диагностика атеросклероза мезентериальных сосудов, клинически протекающего под «масками» гастропатий / Л. Н. Гончарова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 505–521. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.505-521

THE DIAGNOSIS OF ATEROSCLEROSIS OF MESENTERIC VESSELS CLINICALLY OCCURS UNDER THE GUISE OF GASTROPATHY

L. N. Goncharova, V. N. Antipova*, N. P. Sergutova, D. A. Anisimov, A. Mourchaf

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**valentina.antipova@gmail.com*

Introduction. Russian indicators of mortality from cardiovascular disease are significantly higher than the death rate in Western and Central Europe, USA and Japan. A strong and independent predictor of cardiovascular events is the rigidity of the vascular wall according to new revision of the European recommendations of 2013. The volume sphygmography and interpretation of the results are relevant instrumental methods of evaluating structural and functional properties of the vascular wall.

Materials and Methods. A set of patients was carried out on the basis of gastroenterological department GBUZ RM “Mordovia Republican Clinical Hospital” for the years 2009–2011. The study involved 86 patients with pathology of the gastrointestinal tract (GIT) and different levels of blood pressure, as well as low or unstable response to receive specific therapy for gastropathies. The average age of men was $48,3 \pm 12,5$ years and the average age of the women surveyed $44,2 \pm 13,4$ years, BMI = $30,4 \pm 4,1$ kg/m² and a heart rate = $79,0 \pm 11,4$ beats/min. It was conducted a physical examination of hypertensive patients and normotensive. In the process, applied laboratory and instrumental methods of research with the registration of cardio-ankle vascular index (CAVI) and ankle-brachial index (ABI), blood pressure (BP) in the basins of the upper and lower extremities with volume sphygmography on VaSera VS-1000 apparatus (Fukuda Denschi, Japan).

Results. Rigidity index CAVI gastropathies with patients with hypertension compared to “normal”, it was more than 2,44 (24 %). Maximum current biological age of arteries in 10 % of patients was $59,0 \pm 9,3$ years, having high blood pressure, significantly (from 8 to 24 years) is higher chronological age surveyed. In this group of patients is determined by a significant increase in stiffness index (42,1 % among patients with hypertension 1 and 3 degrees). For early detection of atherosclerosis of mesenteric vessels and developed an algorithm for examination of patients, particularly with gastropathies to hypertension, with low response to a specific therapy with volume sphygmography method on the unit VaSera VS-1000.

Discussion and Conclusions. Application of the proposed algorithm examinations in patients with gastropathies to hypertension and low response to the complex therapy allows timely detection of atherosclerotic vascular lesions (particularly mesenteric), to carry out choosing the right tactics, prognosis, and take measures to prevent the development of early and late complications.



Keywords: vessel walls, cardio-ankle vascular index (CAVI), ankle-brachial index (ABI), arterial hypertension, gastroenterological pathology.

For citation: Goncharova LN, Antipova VN, Sergutova NP, Anisimov DA, Mourchaf A. The diagnostic of atherosclerosis of mesenteric vessels clinically occurs under the guise of gastropathy. Mordovia University Bulletin. 2016. 4(26):505-521. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.505-521

Введение

Раннее выявление атеросклеротического поражения сосудов различной локализации у пациентов с высоким риском кардиоваскулярных осложнений и адекватного подхода к их лечению является одной из приоритетных задач практического здравоохранения [1–2]. В исследованиях с использованием ангиографии показано, что жесткость сосудистой стенки увеличивается пропорционально количеству сосудов, пораженных атеросклерозом [3–7]. Согласно рекомендациям АНА 2015 г., измерение сосудистой жесткости обладает дополнительной ценностью при прогнозировании сердечно-сосудистых событий с учетом стандартных факторов риска ССЗ. В частности, сердечно-лодыжечный васкулярный индекс (CAVI) позиционируется как маркер «истинной артериальной жесткости», математически очищенный от влияния артериального давления (АД) [8–11].

Интенсивное развитие атеросклероза часто имеет большое значение в возникновении различных заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Как показывает практика, из-за сложностей, возникающих при диагностике, пациенты своевременно не доходят до патогенетической терапии [12–13]. Начальные проявления нарушения кровообращения в брюшных сосудах (ишемическая стадия атеросклероза) характеризуются довольно неопределенными сбоями в работе пищеварительного аппарата. Легкие, но длительные по времени формы недостаточности мезентериального кровообращения вследствие атеросклероза приводят к временной ишемии тканей стенок желудка и кишечника с развитием

симптомов атонии и метеоризма, изменению секреторной и ферментативной деятельности желез, моторной и эвакуаторной функции [14–15]. В клинике симптомы мезентериальной сосудистой недостаточности можно расценивать как один из ранних признаков развития атеросклеротического процесса в сосудах артериального русла и возможности косвенно судить о бессимптомном поражении коронарных сосудов у больных артериальной гипертонией (АГ) [16–21].

Наиболее привлекательными для оценки состояния сосудистой стенки (артериальной жесткости) являются неинвазивные, доступные и хорошо воспроизводимые методики [22–23].

В последние годы с этой целью стал применяться метод объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000» («Fukuda Denschi», Япония), позволяющий определять различные параметры сосудистой жесткости и получать комплексную информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы (ССС) включая уровень АД в бассейнах верхних и нижних конечностей [24–30].

Таким образом, применение новых инструментальных способов оценки и интерпретация данных структурно-функциональных свойств сосудистой стенки различного диаметра при атеросклеротическом поражении сосудов, в частности мезентериальных, для практического здравоохранения в настоящее время является особенно актуальным.

Цель исследования – изучить показатели жесткости сосудистой стенки (CAVI и лодыжечно-плечевой индекс давления – ABI) у больных с гастроэнтерологической патологией и низким ответом на специфическую терапию,

имеющих АГ; разработать алгоритм обследования для данной группы пациентов с применением метода объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000».

Материалы и методы

В исследование было включено 86 больных с клиникой гастропатий (48 мужчин и 38 женщин), обследованных за 2009–2011 гг. в гастроэнтерологическом отделении ГБУЗ РМ «МРКБ» г. Саранска. Из них 42 чел. составили контрольную группу (нормотоники), а у 44 была диагностирована АГ. Средний возраст мужчин составил $48,3 \pm 12,5$ лет, женщин – $44,2 \pm 13,4$ лет; средние показатели ИМТ: $30,4 \pm 4,1$ кг/м², ЧСС = $79 \pm 11,4$ уд/мин., уровень общего холестерина – $4,9 \pm 3,12$ ммоль/л. В спектр анализа из нозологий были включены эрозивные гастриты, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, и другие заболевания, связанные с нарушениями секреторной и ферментативной деятельности желез, моторной и эвакуаторной функций ЖКТ. Выборка пациентов была сделана на основании стойкого низкого или неустойчивого ответа на получаемую специфическую терапию по поводу гастропатий.

Все пациенты прошли тщательное медицинское обследование (сбор жалоб, анамнеза, физикальное обследование, стандартные лабораторные методы исследования (общий анализ крови и мочи, определение общего белка и его фракций, креатинина, мочевины, глюкозы, общего билирубина, общего холестерина, липопротеины низкой (ЛПНП) и высокой (ЛПВП) плотности, триглицериды (ТГ), ЭКГ в 12 стандартных отведениях, цветное доплеровское исследование сосудов (ЦДС) шеи и брюшного отдела аорты по показаниям, эхокардиографию (ЭхоКГ).

Определение АГ осуществлялось согласно рекомендациям по артериальной гипертензии от 2013 г., разра-

ботанным Европейским обществом гипертензии (ESH) и Европейским кардиологическим обществом (ESC), которые являются продолжением рекомендаций, выпущенных совместно двумя этими организациями в 2003 и 2007 гг. Целесообразность использования для стратификации общего сердечно-сосудистого риска (ССР) ABI также подтверждается данным документом [31].

Оценку жесткости магистральных сосудов и уровней АД в бассейнах верхних и нижних конечностей проводили методом объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000» («Fukuda Denshi», Япония). В процессе исследований определяли сердечнолодыжечный сосудистый индекс (R/L-CAVI Cardio Ankle-Vascular Index), отражающий жесткость всего артериального сегмента, и лодыжечно-плечевой индекс (R/L-ABI Ankle-Brachial Index) справа/слева, который представляет отношение систолического АД на голени (a. tibialis posterior + a. dorsalis pedis) к систолическому АД на плече (a. brachialis), биологический возраст пациента, а также проводили регистрацию фонокардиограммы (ФКГ).

В настоящее время опубликованы результаты многочисленных клинических исследований по использованию данного прибора в России у пациентов без патологии и с различными нозологиями. Необходимо отметить, что в 2015 г. правление Российского общества кардиологов вынесло на обсуждение проект «Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике». В данном документе представлены наиболее востребованные на практике диагностические методы и особенности их клинического применения. Детально обсуждаются методики оценки скорости пульсовой волны и ее вариаций, такие как каротидно-феморальная СПВ, CAVI [32–35].



Результаты исследования

Существенную информацию о состоянии ССС можно получить при од-

новременном измерении АД в бассейнах верхних и нижних конечностей, что позволяет данным методом (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Средние значения показателей объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000» у группы пациентов с гастропатиями и повышенным АД

Average values of indicators on the unit volume sphygmography VaSera VS-1000 in the group of patients with high blood pressure and gastropathies

Показатели / Indicators	M ± s	Показатели / Indicators	M ± s	F	P
Возраст по паспорту / Chronological age	48,40 ± 15,18	Биологический возраст / Biological age	56,10 ± 15,22	6,2	< 0,001
САД-рука (справа) / SBP-arm (right)	146,80 ± 17,28	САД-нога (справа) / SBP-leg (right)	161,00 ± 17,12	14,3	< 0,001
САД-рука (слева) / SBP-arm (left)	150,40 ± 20,11	САД-нога (слева) / SBP-leg (left)	169,60 ± 21,12	16,8	< 0,001
ДАД-рука (справа) / DBP-arm (right)	94,30 ± 11,13	ДАД-нога (справа) / DBP-leg (right)	90,30 ± 12,43	5,6	< 0,001
ДАД-рука (слева) / DBP-arm (left)	92,60 ± 13,01	ДАД-нога (слева) -leg / DBP-leg (left)	89,40 ± 13,06	5,3	< 0,001
СрАД-рука (справа) / MBP-arm (right)	120,60 ± 14,06	СрАД-нога (справа) / MBP-leg (right)	121,20 ± 16,06	1,3	< 0,060
СрАД-рука (слева) / MBP-arm (left)	122,80 ± 14,21	СрАД-нога (слева) / MBP-leg (left)	122,40 ± 17,08	1,9	< 0,008

Примечание: САД – систолическое АД; ДАД – диастолическое АД; СрАД – среднее АД / Note: SBP – systolic blood pressure DBP – diastolic blood pressure, MBP – medium blood pressure

Также была проведена оценка жесткости артериальных сосудов по сравне-

нию показателей САVI у больных АГ с контрольной группой (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Table 2

Параметры объемной сфигмографии у пациентов с гастропатиями и разным уровнем АД

Options volume sphygmography in patients with gastrointestinal diseases and different levels of blood pressure

Показатели / Indicators	Контрольная группа (n = 42) / Control group (n = 42)	Больные АГ (n = 44) / Patient with arterial hypertension	r	p
Биологический возраст артерий, лет / Biological age of arteries	48,40 ± 14,18	56,10 ± 15,3 (p < 0,05)	1,40	< 0,001
CAVI	7,31 ± 0,52	8,86 ± 1,41 (p < 0,05)	1,42	< 0,001
ABI	1,08 ± 0,16	1,03 ± 0,21	0,03	0,060

Как видно из полученных результатов, у больных с гастропатиями показатели, отражающие эластические свойства сосудов, свидетельствовали о более высокой жесткости сосудистой стенки, по сравнению с группой контроля. Индекс жесткости CAVI у больных АГ был больше на 2,44 (на 24 %). Заметим, что максимальный расчетный биологический возраст артерий у 10 % составил 59,0 ± 9,3 лет, что значительно (от 8 до 24 лет) выше паспортного возраста обследованных.

У больных гастропатиями с повышенным уровнем АД были выявлены достоверные изменения, что отражает повышение жесткости сосудистой стенки и возможные атеросклеротические процессы, в том числе в мезентеральных сосудах.

Выявление бессимптомного атеросклероза сосудов нижних конечностей является значимым с точки зрения ассоциации с проявлениями атеросклероза в других сосудистых бассейнах. Поражение артерий нижних конечностей в настоящее время рассматривается как эквивалент ИБС и требует агрессивного подхода к лечению. В данной работе проходимость артерий определялась показателями R ABI (1,09 ± 0,03)

и L ABI (1,10 ± 0,04); у 86 обследованных (100 %) они свидетельствовали об отсутствии признаков облитерации сосудов нижних конечностей.

Также было выявлено, что у больных гастропатиями с АГ молодого и среднего возраста при увеличении уровня АД критерий CAVI увеличивался достаточно равномерно. В средней возрастной группе степень увеличения жесткости между группой лиц с оптимальным АД и пациентами с 3 степенью гипертонии составила 25,82 %. У пациентов старшего возраста индекс жесткости был значительно выше, чем у пациентов младшего и среднего возраста в группах со всеми уровнями АД. При этом у нормотоников не было существенной разницы в величине индекса жесткости между группой с оптимальным нормальным и повышенным нормальным АД (2,5 %). У больных с гастропатиями на фоне АГ было выявлено существенное увеличение индекса жесткости (42,1 % при сравнении пациентов с АГ 1 и 3 степени). Увеличение САД и ДАД было выражено в меньшей степени. Это еще раз свидетельствует о том, что именно индекс жесткости отражает истинное состояние сосудистой стенки, обусловленное влиянием на нее возраста и различных факторов риска ССЗ.



Исследования подтверждают значимость влияния АД на жесткость сосудистой стенки. У гипертоников повышение АД сопровождалось существенным, прямо пропорциональным повышением показателей жесткости сосудистой стенки.

Таким образом, изменение показателей, отражающих эластические

свойства сосудов, свидетельствуют о более высокой жесткости сосудистой стенки у больных АГ по сравнению с нормотониками того же возраста. Также оценивалась корреляционная зависимость САVI от уровня общего холестерина у больных АГ в общей группе и с учетом пола (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Table 3

Зависимость САVI от уровня общего холестерина плазмы у больных с гастропатиями и АГ
CAVI dependence of the total plasma cholesterol in patients with hypertension and gastropathies

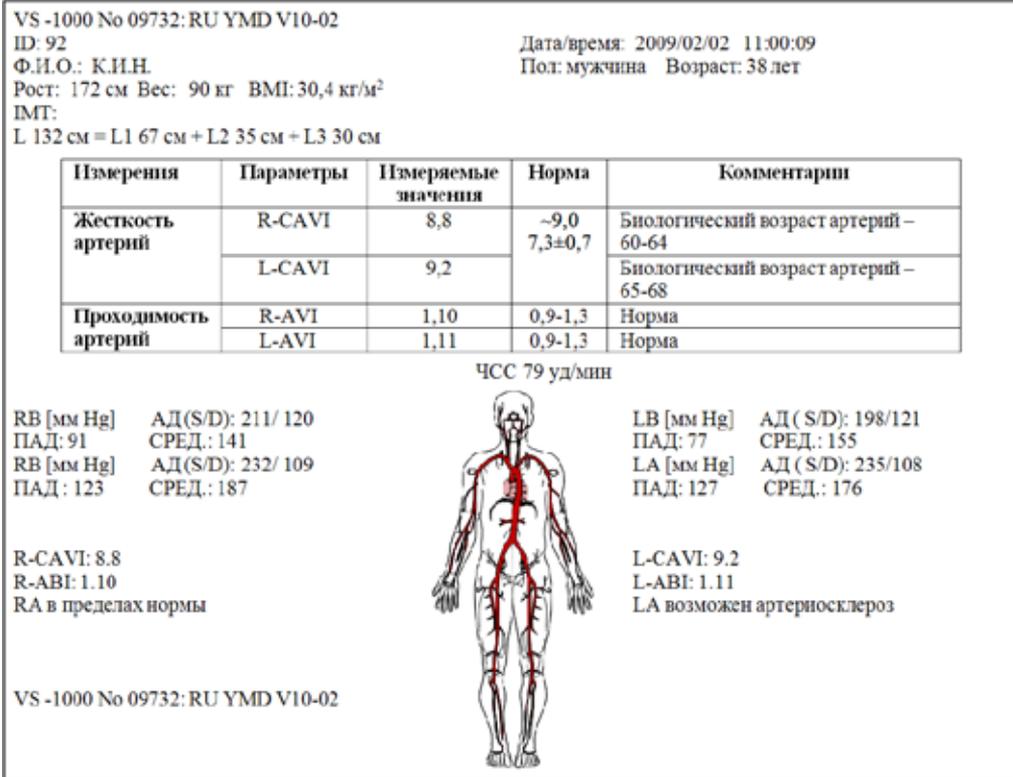
Показатели / Indicator	Общая группа (n = 44) / General group		Мужчины (n = 20) / Men (n = 20)		Женщины (n = 24) / Women (n = 24)	
	г	р	г	Р	г	р
САVI /	0,34	< 0,001	0,26	< 0,001	0,17	< 0,001

Полученные данные свидетельствуют о четкой корреляционной зависимости САVI от общего холестерина во всех выделенных группах больных АГ. С одной стороны, это подтверждает существенную роль повышения жесткости сосудистой стенки в развитии АГ; с другой – демонстрирует возможность использования нового показателя жесткости САVI для оценки эластических свойств магистральных сосудов в различных клинических ситуациях.

Наглядным примером значимости оценки исследуемых параметров у больных АГ с сопутствующей гастроэнтерологической патологией и низким ответом на комплексную терапию может быть результат, представленный на рис. 1. Больной К.И.Н. 38 лет был дважды оперирован в течении одного года по поводу язвенного дефекта желудка с развитием осложнений в виде кровотечения и перфорации. Через месяц после проведенных операций, несмотря на 4-х компонентную терапию, вновь развивался язвенный дефект желудка,

размером, относящегося к «большим» язвам. Неоднократно был консультирован онкологом. При биопсии данных за онкопатологию не выявлено.

Как видно из представленных данных диагностического заключения объемной сфигмографии, выполненной на аппарате «VaSera VS-1000», полученный уровень АД на верхних конечностях соответствует 3 степени АГ (рис. 1). В то же время отмечается несоответствие между уровнями ДАД на верхних и нижних конечностях: в первом случае его значение выше. Выявленный биологический возраст артерий составляет в среднем 65 лет по сравнению с паспортным возрастом больного – 38 лет. Анализ показателя САVI (8,8–9,2) свидетельствует о выраженном ремоделировании сосудистой стенки, что соответствует выраженному артериосклерозу артериального русла. В то же время нормальные показатели АВI указывают на достаточную проходимость артерий нижних конечностей.



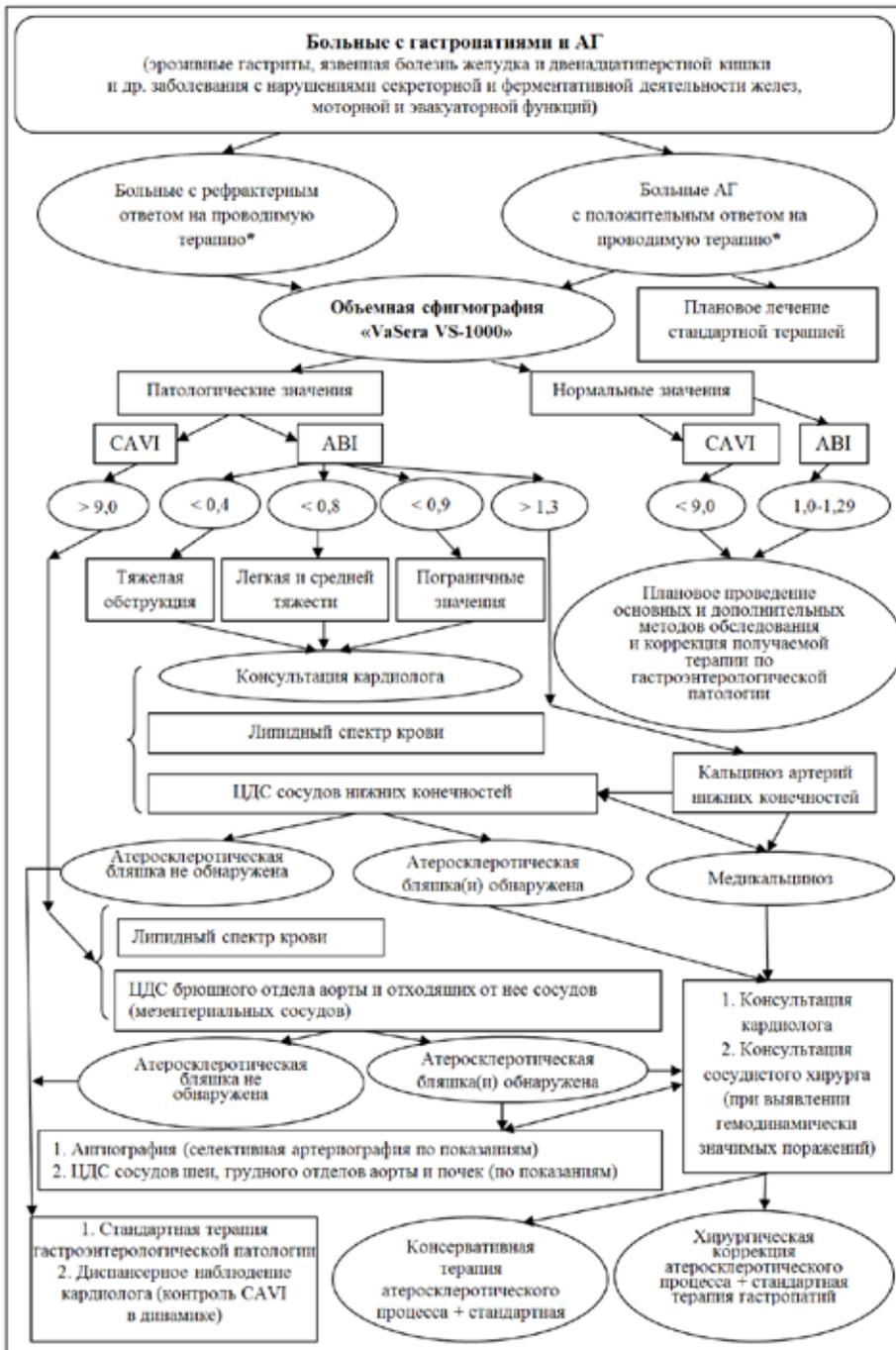
Р и с. 1. Пример диагностического заключения объемной сфигмографии выполненной на аппарате «VaSera VS-1000»

F i g. 1. Example of a diagnostic conclusion of volumetric sphygmography performed on VaSera VS-1000

По данным литературных источников, даже незначительно повышенные или находящиеся в пределах верхней границы нормы значения CAVI сопровождаются существенным увеличением возраста сосудистой стенки и степенью выраженности атеросклеротического процесса. Данная зависимость является линейной: чем выше CAVI, тем выше сосудистый возраст [24–28]. Процесс развития атеросклероза мезентериальных сосудов в дальнейшем был подтвержден у данного больного дополнительными методами обследования. При проведении ЦДС сосудов шеи, брюшного отдела аорты и ее ветвей выявлено утолщение комплекса интима-медиа до 1,2–1,3 мм (при норме до 0,9 мм) на общих сонных артериях, полисегмен-

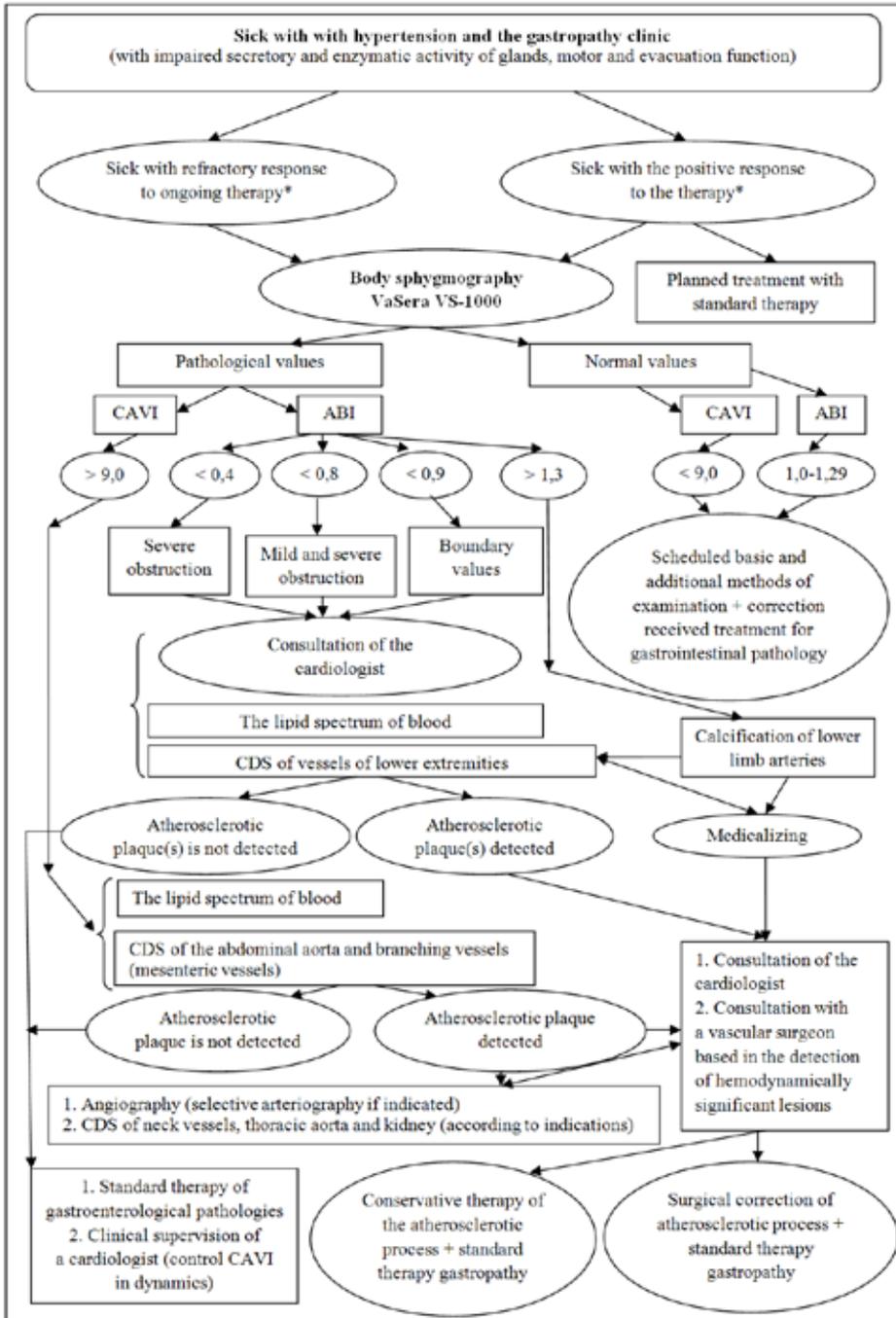
тарное поражение ветвей брюшного отдела аорты (с атеросклеротическими бляшками, перекрывающими просвет сосудов от 25 % до 55 % в мезентериальных ветвях). Также на атеросклеротическое поражение сосудов артериального русла указывают результаты липидного профиля: общий холестерин – 7,8 ммоль/л, ЛПНП – 4,80 ммоль/л.

Диагностический поиск неэффективности специфической терапии препаратами гастроэнтерологического профиля у данной группы больных с гастропатиями на фоне повышенных цифр АД (в том числе и/или с ИБС) позволил разработать в условиях МРКБ г. Саранска алгоритм обследования с использованием метода объемной сфигмографии (рис. 2).



Примечание: * – комплексная терапия по поводу гастроэнтерологической патологии.

Р и с. 2. Алгоритм обследования больных с гастропатиями и низким ответом на комплексную специфическую терапию (на фоне АГ) с применением метода объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000»



Note: * – combination therapy regarding gastroenterological diseases.

Fig. 2. The algorithm of examination of patients with gastroenterological diseases and low response to complex specific therapy (concomitant AH) using the method of the volume on the unit sphygmography VaSera VS-1000



Как видно из рис. 2, метод сфигмоманометрии достаточно эффективно выявляет патологические изменения сосудистой стенки. Данное положение было подтверждено контрольными лабораторными и инструментальными методами исследования.

Обсуждение и заключения

Знание и грамотное использование современных диагностических методов исследования, в том числе объемной сфигмографии, для своевременного выявления атеросклеротического поражения сосудов различной локализации, позволяет в кратчайшие сроки проводить скрининговые и плановые исследования как в группах клинически здоровых лиц, так и у пациентов с другими нозологическими формами.

Разнообразие клинических картин гастроэнтерологической патологии может маскировать развитие атеросклеротического поражения сосудов, в частности, мезентериальной локализации. Представленный алгоритм обследо-

вания, с применением метода объемной сфигмографии на аппарате «VaSera VS-1000» (оценки комплекса показателей жесткости сосудистой стенки – лодыжечно-плечевого индекса давления, сердечно-лодыжечный васкулярного индекса), может использоваться врачами терапевтами и гастроэнтерологами при проведении дифференциально-диагностического анализа больных с клиникой гастропатий на фоне низкого ответа на комплексную терапию гастроэнтерологическими препаратами. В результате достигается своевременное выявление патологии сосудистой стенки и выбор правильной тактики ведения.

Таким образом, предложенный алгоритм может быть рекомендован врачам практического здравоохранения терапевтического профиля как вспомогательный элемент для выявления атеросклеротического поражения сосудов различной локализации, скрытого под различными клиническими масками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Оганов Р. Г., Погосова Г. В.** Современные стратегии профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиология. 2007. Т. 47, № 12. С. 4–9. URL: <http://www.cardio-journal.ru/archive/article/2023>
2. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity / L. M. van Bortel [et al.] // J. Hypertens. 2012. Vol. 30. P. 445–448. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0
3. Cardio-ankle vascular index is independently associated with the severity of coronary atherosclerosis and left ventricular function in patients with ischemic heart disease / T. Miyoshi [et al.] // J. Atheroscler. Thromb. 2010. Vol. 17 (3). P. 249–258. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20103976>
4. Availability of cardio-ankle vascular index (CAVI) as a screening tool for atherosclerosis / K. Kadota [et al.] // Circ. J. 2008. Vol. 72. P. 304–308. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18219171>
5. Relationship of cardio-ankle vascular index (CAVI) to carotid and coronary arteriosclerosis / M. Izuhara [et al.] // Circ. J. 2008. Vol. 72 (11). P. 1762–1767. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18802315>
6. Cardio-ankle vascular index is a candidate predictor of coronary atherosclerosis / K. Nakamura [et al.] // Circ. J. 2008. Vol. 72. P. 598–604. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18362432>
7. On behalf of European Network for Noninvasive investigation of Large Arteries / S. Laurent [et al.] // Eur. Heart J. 2006. Vol. 27. P. 2588–2605. URL: <http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/27/21/2588>
8. **Трифенова С. С., Гайсёнок О. В., Сидоренко Б. А.** Применение методов оценки жесткости сосудистой стенки в клинической практике: возможности сердечно-лодыжечного сосудистого индекса (CAVI) // Кардиология. 2015. Т. 4. С. 55–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.4.61-66>

9. Cardio-ankle vascular index could re-reflect plaque burden in the coronary artery / S. Horinaka [et al.] // *Angiology*. 2011. Vol. 62 (5). P. 401–408. DOI: 10.1177/0003319710395561
10. **Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C.** Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010. Vol. 55. P. 1318–1327. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.10.061
11. Cardio-ankle vascular index measures arterial wall stiffness independent of blood pressure / J. Iбата [et al.] // *Diabetes Res. Clin. Pract.* 2008. Vol. 80 (2). P. 265–270. DOI: 10.1016/j.diabres.2007.12.016
12. Asymptomatic celiac and superior mesenteric artery stenoses are more prevalent among patients with unsuspected renal artery stenosis / R. J. Valentine [et al.] // *Vascular Surgery*. 1991. Vol. 14 (2). P. 195–199. DOI: 10.1067/mva.1991.29423
13. **Звенигородская Л. А., Самсонова Н. Г., Топорков А. С.** Хроническая ишемическая болезнь органов пищеварения: алгоритм диагностики и лечение // *Фарматека*. 2010. № 2 (196). С. 78–82. URL: <http://www.pharmateca.ru/ru/archive/article/7723>
14. **Передерий В. Г., Ткач С. М.** Основы внутренней медицины: в 3-х т. 2009. Т. 1. 784 с. URL: <http://medlitera.net/therapy/1582-perederiy-v-g-tkach-sm-osnovy-vnutrenney-mediciny-v-3-h-tomah-tom-1.html>
15. **Пиманов С. И.** Эзофагит, гастрит, и язвенная болезнь. Н. Новгород, 2000. 376 с. URL: <http://search.rsl.ru/ru/record/01000678393>
16. Cardio-ankle vascular index is superior to brachial-ankle pulse wave velocity as an index of arterial stiffness / A. Takaki [et al.] // *Hypertens. Res.* 2008. Vol. 31. P. 1347–1355. DOI: 10.1291/hypres.31.1347
17. **Nilsson P. M., Lurbe E., Laurent S.** The early life origins of vascular ageing and cardiovascular risk: the EVA syndrome (review) // *J. Hypertens.* 2008. Vol. 26. P. 1049–1057. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282f82e3e
18. Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives / K. Shirai [et al.] // *J. Atheroscler. Thromb.* 2011. Vol. 18. P. 924–938. DOI: 10.5551/jat.7716
19. Head-to-head comparison of the cardio-ankle vascular index between patients with acute coronary syndrome and stable angina pectoris / A. Sairaku [et al.] // *Hypertens. Res.* 2010. Vol. 33 (11). P. 1162–1166.
20. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2016. Vol. 15 (2). P. 4–19. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19>
21. **Сергутова Н. П., Гончарова Л. Н., Антипова В. Н.** Возможности объемной сфигмографии как метода ранней диагностики патологии сосудистой стенки у больных с гастроэнтерологическими заболеваниями // *Проблемы современной медицины: актуальные вопросы : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Красноярск). 2015. № 2. С. 54–56.* URL: <http://izron.ru/articles/problemy-sovremennoy-meditiny-aktualnye-voprosy-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-n-sektsiya-14-kardiologiya-spetsialnost-14-01-05/vozmozhnosti-obemnoy-sfigmografii-kak-metoda-ranney-diagnostiki-patologii-sosudistoy-stenki-u-bolnykh>
22. **Недогода С. В.** Скорость распространения пульсовой волны как фактор риска развития сердечно-сосудистых осложнений и мишень для фармакотерапии // *Фарматека*. 2010. № 8. С. 19–22. URL: <http://www.pharmateca.ru/ru/archive/article/7817>
23. Large Artery Stiffness Predicts Ischemic Threshold in Patients With Coronary Artery Disease / A. Bronwyn [et al.] // *JACC*. 2002. Vol. 40 (4). P. 773–779. URL: <https://auth.cardiosource.org/EasyConnect/Integration/Post.aspx>
24. Состояние сосудистой стенки в популяции взрослого населения на примере жителей города Томска, по данным исследования ЭССЕ-РФ / А. Н. Рогоза [и др.] // *Системные гипертензии*. 2014. № 11 (4). С. 42–48. URL: <http://syshiper.elpub.ru/jour/article/view/127>
25. Можно ли с помощью сердечно-лодыжечного сосудистого индекса оценить распространенность атеросклероза у больных ишемической болезнью сердца / А. Н. Сумин [и др.] // *Сибирский медицинский журнал*. 2014. № 1. С. 45–49. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2015-5-67-72>
26. Маркеры субклинического поражения артерий в выборке жителей Санкт-Петербурга (по данным ЭССЕ-РФ) / А. С. Алиева [и др.] // *Артериальная гипертензия*. 2015. № 21 (3). С. 241–251. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2016-6-20-26>



27. Высокое систолическое давление: акцент на эластические свойства артерий / Ж. Д. Кобалава [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2006. № 5 (6). С. 10–16. URL: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=153314>
28. Индекс CAVI у больных хронической артериальной недостаточностью / Ф. А. Магамедкеримова [и др.] // Вестник современной клинической медицины. 2014. № 7 (2). С. 104–110. URL: scardio.ru/content/Guidelines/Soglasovannoe_mnenie_arterial_zhestkost.doc
29. Arterial stiffness in chronic kidney disease: causes and consequences / D. Colin [et al.] // Heart. 2010. Vol. 96. P. 817–823. DOI: 10.1136/hrt.2009.184879
30. **Cecelja M, Chowienczyk P.** Dissociation of aortic pulse wave velocity with risk factors for cardiovascular disease other than hypertension. a systematic review // Hypertension. 2009. Vol. 54. P. 1328–1336. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.137653
31. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension and of the European Society of Cardiology. 2013 Guidelines for the management of arterial hypertension // Eur. Heart J. 2013. Vol. 34 (28). P. 2159–2219. DOI: 10.1093/eurheartj/ehf151
32. Оценка жесткости артерий с помощью сердечно-лодыжечного индекса (CAVI) в условиях кабинетов (отделений) медицинской профилактики / Р. М. Линчак [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2014. № 13 (1). С. 40–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2014-1-40-43>
33. Влияние ингибитора АПФ спираприла на структурно-функциональные свойства сосудистой стенки при метаболическом синдроме и эссенциальной гипертензии / В. Э. Олейников [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2006. № 2 (58). С. 36–41. URL: <http://medi.ru/doc/149724.htm>
34. **Прокофьева Е. Б., Глезер М. Г.** Жесткость артериальной стенки и показатели центральной гемодинамики на фоне длительной комбинированной антигипертензивной терапии // Кардиология. 2015. № 4. С. 19–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.4.19-24>
35. American heart association council on hypertension. Recommendations for improving and standardizing vascular research on arterial stiffness / R. R. Townsend [et al.] // J. Hypertension. 2015. Vol. 66 (3). P. 698–722. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/HYP.0000000000000033>
36. Современные методы оценки состояния сосудов у больных артериальной гипертензией : пособие для практикующих врачей / А. Н. Рогоза [и др.]. Москва : Атмосфера, 2008. URL: <http://lib.mgppu.ru/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:73173>

Поступила 05.10.2016; принята к печати 31.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Гончарова Людмила Никитична, профессор кафедры факультетской терапии с курсами физиотерапии, лечебной физкультуры Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4324-9071>**, glnsm@mail.ru

Антипова Валентина Николаевна, профессор кафедры факультетской терапии с курсами физиотерапии, лечебной физкультуры Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1559-4721>**, valentina.antipova@gmail.com

Сергутова Наталья Петровна, старший преподаватель кафедры факультетской терапии с курсами физиотерапии, лечебной физкультуры Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8274-7906>**, sergutovanp@mail.ru

Анисимов Дмитрий Александрович, аспирант кафедры факультетской терапии с курсами физиотерапии, лечебной физкультуры Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5172-623X>**, Redrum09@yandex.ru

Мурхаф Альнасер, аспирант кафедры факультетской терапии с курсами физиотерапии, лечебной физкультуры Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5317-339X>**, muorhafn@hotmail.ru

Вклад соавторов: Л. Н. Гончарова: изучение концепции, научное руководство, критический анализ; В. Н. Антипова: консультирование по клинической части работы, формализованный анализ данных, анализ литературных данных; Н. П. Сергутова: проведение инструментально-диагностической части работы, подготовка начального текста с последующей доработкой; Д. А. Анисимов: анализ литературных данных, редактирование текста, верстка; А. Мурхаф: участие в проведении инструментально-диагностической части работы, компьютерные работы. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Oganov RG, Pogossova GV. *Sovremennye strategii profilaktiki i lecheniya serdechno-sosudistykh zabolevaniy* [Current strategies for the prevention and treatment of cardiovascular diseases]. *Kardiologiya = Cardiology*. 2007; 12(47):4-9. Available from: <http://www.cardio-journal.ru/ru/archive/article/2023> (In Russ.)
2. Van Bortel LM, Laurent S, Boutouyrie P, Chowienczyk P, Cruickshank JK, De Backer T, Filipovsky J, et al. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity. *J. Hypertens*. 2012; 30:445-448. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0
3. Miyoshi T, Doi M, Hirohata S, Sakane K, Kamikawa S, Kitawaki T, et al. Cardio-ankle vascular index is independently associated with the severity of coronary atherosclerosis and left ventricular function in patients with ischemic heart disease. *J. Atheroscler. Thromb*. 2010; 17(3):249-258. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20103976>
4. Kadota K, Takamura N, Aoyagi K, Yamasaki H, Usa T, Nakazato M, et al. Availability of cardio-ankle vascular index (SAVI) as a screening tool for atherosclerosis. *Circ. J*. 2008; 72:304-308. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18219171>
5. Izuhara M, Shioji K, Kadota S, Baba O, Takeuchi Y, Uegaito T, et al. Relationship of cardio-ankle vascular index (SAVI) to carotid and coronary arteriosclerosis. *Circ. J*. 2008; 72(11):1762-1767. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18802315>
6. Nakamura K, Tomaru T, Yamamura S, Miyashita Y, Shirai K, Noike H. Cardio-ankle vascular index is a candidate predictor of coronary atherosclerosis. *Circ. J*. 2008; 72:598-604. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18362432>
7. Laurent S, Cockcroft J, Bortel LV, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz DI, et al. On behalf of European Network for Noninvasive investigation of Large Arteries. *Eur. Heart J*. 2006; 27:2588-2605. Available from: <http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/27/21/2588>
8. Trifonova SS, Gaysenok OV, Sidorenko BA. *Primeneniye metodov otsenki zhestkosti sosudistoy stenki v klinicheskoy praktike: vozmozhnosti serdechno-lodyzhechnogo sosudistogo indeksa (CAVI)* [Application of methods of assessment of vascular stiffness in clinical practice: the possibility of cardio-ankle vascular index (CAVI)]. *Kardiologiya = Cardiology*. 2015; 4:55-61. DOI: <http://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.4.61-66> (In Russ.)
9. Horinaka S1, Yabe A, Yagi H, Ishimura K, Hara H, Iemura T, et al. Cardio-ankle vascular index could reflect plaque burden in the coronary artery. *Angiology*. 2011; 62(5):401-408. DOI: 10.1177/0003319710395561
10. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2010; 55:1318-1327. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.10.061
11. Horinaka S, Yabe A, Yagi H, Ishimura K, Hara H, Iemura T, et al. Cardio-ankle vascular index measures arterial wall stiffness independent of blood. *Diabetes Res. Clin. Pract*. 2008; 2(80):265-270. DOI: 10.1016/j.diabres.2007.12.016



12. Valentine RJ, Martin JD, Myers SI, Clagett GP. Asymptomatic celiac and superior mesenteric artery stenoses are more prevalent among patients with unsuspected renal artery stenosis. *Vascular Surgery*. 1991; 2(14):195-199. DOI: 10.1067/mva.1991.29423

13. Zvenigorodskaya LA, Samsonova NG, Toporkov AS. Khronicheskaya ishemicheskaya bolezn organov pishchevareniya: algoritm diagnostiki i lechenie [Chronic ischemic disease of the digestive system: an algorithm for diagnosis and treatment]. *Farmateka*. 2010; 2(196):78-82. Available from: <http://www.pharmateca.ru/ru/archive/article/7723> (In Russ.)

14. Perederiy VG, Tkach SM. Osnovy vnutrenney meditsiny [Basics of internal medicine]. 2009; 1. Available from: <http://medlitera.net/therapy/1582-perederiy-vg-tkach-sm-osnovy-vnutrenney-mediciny-v-3-h-tomah-tom-1.html> (In Russ.)

15. Pimanov SI. Ezofagit, gastrit, i yazvennaya bolezn [Esophagitis, gastritis and peptic ulcer disease]. Nizhniy Novgorod; 2000. Available from: <http://search.rsl.ru/ru/record/01000678393> (In Russ.)

16. Takaki A, Ogawa H, Wakeyama T, Iwami T, Kimura M, Hadano Y. Cardio-ankle vascular index is superior to brachial-ankle pulse wave velocity as an index of arterial stiffness. *Hypertens. Res*. 2008; 31:1347-1355. DOI:10.1291/hypres.31.1347

17. Nilsson PM, Lurbe E, Laurent S. The early life origins of vascular ageing and cardiovascular risk: the EVA syndrome (review). *J. Hypertens*. 2008; 26:1049-1057. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282f82c3e

18. Shirai K, Hiruta N, Song M, Kurosu T, Suzuki J, Tomaru T. Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives. *J. Atheroscler. Thromb*. 2011; 18:924-938. DOI: 10.5551/jat.7716

19. Sairaku A, Eno S, Hondo T, Teragawa H, Nakano Y, Matsuda K. Head-to-head comparison of the cardio-ankle vascular index between patients with acute coronary syndrome and stable angina pectoris. *Hypertens. Res*. 2010; 11(33):1162-1166.

20. Soglasovannoye mneniye rossiyskikh ekspertov po otsenke arterialnoy zhestkosti v klinicheskoy praktike [Consensus of the Russian experts about assess of arterial stiffness in clinical practice]. *Kardio-vaskulyarnaya terapiya i profilaktika* = Cardiovascular therapy and prevention. 2016; 15(2):4-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19> (In Russ.)

21. Sergutova NP, Goncharova LN, Antipova VN. Vozmozhnosti obyemnoy sfigmografii kak metoda ranney diagnostiki patologii sosudistoy stenki u bolnykh s gastroenterologicheskimi zabolovaniyami [Features volume sphygmography as a method for early diagnosis of diseases of the vascular wall in patients with gastrointestinal diseases]. In: *Problemy sovremennoy meditsiny: aktualnyye voprosy: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Krasnoyarsk)* = The problems of modern medicine: Current issues. Proceedings. Krasnoyarsk; 2015; 2:54-56. Available from: <http://izron.ru/articles/problemy-sovremennoy-mediciny-aktualnye-voprosy-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-n/sektsiya-14-kardiologiya-spetsialnost-14-01-05/vozmozhnosti-obemnoy-sfigmografii-kak-metoda-ranney-diagnostiki-patologii-sosudistoy-stenki-u-bolnykh> (In Russ.)

22. Nedogoda SV. Skorost rasprostraneniya pulsovoy volny kak faktor riska razvitiya serdechno-sosudistyykh oslozhneniy i mishen dlya farmakoterapii [Pulse wave velocity as a risk factor for cardiovascular morbidity and target for pharmacotherapy]. *Farmateka* = Farmateka. 2010; 8:19-22. Available from: <http://www.pharmateca.ru/ru/archive/article/7817> (In Russ.)

23. Kingwell BA, Waddell TK, Medley TL, Cameron JD, Dart AM. Large artery stiffness predicts ischemic threshold in patients with coronary artery disease. *JACC*. 2002; 40(4):773-779. Available from: <https://auth.cardiosource.org/EasyConnect/Integration/Post.aspx>

24. Rogoza AN, Kaveshnikov VS, Trubacheva IA, Serebryakova VN, Zairova AR, Zhernakova YuV, et al. Sostoyaniye sosudistoy stenki v populyatsii vzroslogo naseleniya na primere zHITELEY goroda Tomsk, po dannym issledovaniya ESSYe-RF [Status of the vascular wall in the population of the adult population on the example of the inhabitants of the city of Tomsk, according to study of ESSE-RF]. *Sistemnyye gipertenzii* = System hypertension. 2014; 4(11):42-48. Available from: <http://systhiper.elpub.ru/jour/article/view/127> (In Russ.)

25. Sumin AN, Shcheglova AV, Fedorova NV, Artamonova GV. Mozhno li s pomoshchyu serdechno-lodyzhechnogo sosudistogo indeksa otsenit rasprostranennost ateroskleroza u bolnykh ishemicheskoy boleznuyu serdtsa [I it possible with the cardio-ankle vascular index to estimate the prevalence of atheroscle-

rosis in patients with coronary heart disease?]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal* = Siberian Medical Journal. 2014; 1:45-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2015-5-67-72> (In Russ.)

26. Alieva AS, Boyarinova MA, Moguchaya YeV Markery subklinicheskogo porazheniya arteriy v vyborke zhiteley Sankt-Peterburga (po dannym ESSYe-RF) [The markers of subclinical arterial disease in a sample of residents of St. Petersburg (according to ESSE-RF)]. *Arterialnaya gipertenziya* = Arterial Hypertension. 2015; 21(3):241-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2016-6-20-26> (In Russ.)

27. Kobalava ZhD, Kotovskaya YuV, Villevalde SV, Markova MA. Vysokoye sistolicheskoye davleniye: aktsent na elasticheskiye svoystva arteriy [High systolic blood pressure: the emphasis on the elastic properties of the arteries]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* = Cardiovascular therapy and prevention. 2006; 5(6):10-16. Available from: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=153314> (In Russ.)

28. Magamedkerimova FA, Malkova MI, Khalilov IG, Khasanov NR. Indeks CAVI u bolnykh khronicheskoy arterialnoy nedostatochnostyu [CAVI index in patients with chronic arterial insufficiency]. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny* = Journal of Modern Clinical Medicine. 2014; 2(7):104-110. Available from: http://www.dealmed.ru/files2/articles/VSKM_2014_pril_2_p104-110.pdf (In Russ.)

29. Chue CD, Townend JN, Steeds RP, Ferro C. Arterial stiffness in chronic kidney disease: causes and consequences. *Heart*. 2010; 96:817-823. DOI: 10.1136/hrt.2009.184879.

30. Cecelja M, Chowieczyk P. Dissociation of aortic pulse wave velocity with risk factors for cardiovascular disease other than hypertension. A systematic review. *Hypertension*. 2009; 54:1328-1336. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.137653

31. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension and of the European Society of Cardiology. 2013 Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur. Heart J*. 2013; 34(28):2159-2219. DOI: 10.1093/eurheartj/eh151

32. Linchak RM, Komkov RM, Prishchepa OG, Shvabskaya OB. Otsenka zhestkosti arteriy s pomoshchyu serdechno-lodyzhechnogo indeksa (CAVI) v usloviyakh kabinetov (otdeleniy) meditsinskoy profilaktiki [Cardio-ankle vascular index (CAVI) and arterial stiffness assessment at medical prevention departments and units.] *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* = Cardiovascular Therapy and Prevention. 2014; 1(13):40-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2014-1-40-43> (In Russ.)

33. Oleynikov VE, Matrosova IB, Tomashevskaya YuA, Gerasimova AS. Vliyaniye inhibitora APF spiraprila na strukturno-funktsionalnye svoystva sosudistoy stenki pri metabolicheskom sindrome i essentialnoy gipertonii [Effect of ACE inhibitor spiraprila on structural and functional properties of the vascular wall in the metabolic syndrome, and essential hypertension]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* = Russian Cardiology Journal. 2006; 2(58):36-41. URL: <http://medi.ru/doc/149724.htm> (In Russ.)

34. Prokofeva YeB, Glezer MG. Zhestkost arterialnoy stenki i pokazateli tsentralnoy gemodinamiki na fone dlitelnoy kombinirovannoy antigipertenzivnoy terapii [The stiffness of the arterial wall and the central hemodynamics with prolonged combination antihypertensive therapy]. *Kardiologiya* = Cardiology. 2015; 4:19-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.4.19-24> (In Russ.)

35. Townsend RR, Wilkinson IB, Schiffrin EL, Avolio AP, Chirinos JA, Cockcroft JR, American Heart Association Council on Hypertension. Recommendations for Improving and Standardizing Vascular Research on Arterial Stiffness. *J. Hypertension*. 2015; 66(3):698-722. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/HYP.0000000000000033>

36. Rogoza AN, Balahonova TV, Chikhladze NM. Sovremennyye metody otsenki sostoyaniya sosudov u bolnykh arterialnoy gipertonii: posobiye dlya praktikuyushchikh vrachey [Modern methods of evaluation of the state of blood vessels in patients with arterial hypertension: A guide for practitioners]. Moscow: Atmosfera; 2008. (In Russ.)

Submitted 05.10.2016; revised 31.10.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Lyudmila N. Goncharova, professor of the Faculty Therapy Chair with Course of Physiotherapy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4324-9071>**, glnsm@mail.ru



Valentina N. Antipova, professor of the Faculty Therapy Chair with Course of Physiotherapy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1559-4721>, valentina.antipova@gmail.com

Natalya P. Sergutova, senior lecturer of Faculty Therapy Chair with Course of Physiotherapy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8274-7906>, sergutovanp@mail.ru

Dmitriy A. Anisimov, assistant of Faculty Therapy Chair with Course of Physiotherapy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5172-623X>, Redrum09@yandex.ru

Alnaser Mourchaf, assistant of Faculty Therapy Chair with Course of Physiotherapy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine): **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5317-339X>, muorhafn@hotmail.ru

Contribution of the authors: L. N. Goncharova provided overall direction, developed a theoretical framework, analyzed data; V. N. Antipova consulted in clinical settings, and analyzed data; N. P. Sergutova conducted diagnostic research, wrote the initial text of the article; D. A. Anisimov analyzed data from the scientific literature, edited the final text; A. Mourchaf participated in the diagnostic research and monitored data on the computer. All authors have read and approved the final manuscript.

ГАСТРОЭНТЕРОСТОМИЯ ПРИ НЕРЕЗЕКТАБЕЛЬНЫХ ОПУХОЛЯХ БИЛИОПАНКРЕАТОДУОДЕНАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Г. М. Барванян¹, А. П. Власов^{2*}

¹ГБУЗ РК «Коми республиканская больница» (г. Сыктывкар, Россия)

²ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

*var.61@yandex.ru

Введение. Нарушение проходимости двенадцатиперстной кишки является вторым по частоте симптомом рака органов билиопанкреатодуоденальной зоны. В случаях, когда радикальное вмешательство невозможно, при нарушении пассажа пищи по двенадцатиперстной кишке пациентам назначают паллиативную обходную гастроэнтеростомию. Вопрос о применении данной процедуры при сохраненном дуоденальном пассаже для профилактики возможного стенозирования двенадцатиперстной кишки в дальнейшем окончательно не решен.

Цель исследования – обоснование тактики паллиативного хирургического лечения нарушений проходимости двенадцатиперстной кишки.

Материалы и методы. Сравнительный анализ применения гастроэнтеростомии был проведен у 2 групп пациентов (основной – 98 чел. и группы сравнения – 132 чел.), которым были выполнены паллиативные вмешательства при опухолях билиопанкреатодуоденальной зоны. Превентивную гастроэнтеростомию проводили в основной группе при одновременном наложении соустьев желчных путей с желудком или двенадцатиперстной кишкой.

Результаты исследования. Нарушение дуоденальной проходимости чаще диагностируется при рентгенологическом исследовании. В основной группе было выполнено значимо больше гастроэнтеростомий, чем в группе сравнения (25, в том числе 8 превентивных, и 15 соответственно, $p = 0,009$). Непосредственно после операции в обеих группах были получены результаты, сравнимые по количеству осложнений (22,9 % и 24,2 % соответственно, $p = 0,95$) и летальных исходов (10,4 % и 12,5 %, $p = 0,78$). В отдаленном периоде с поздним нарушением проходимости двенадцатиперстной кишки гастроэнтеростомия была выполнена одному (1 %) пациенту в основной группе и четырем (3 %) – в группе сравнения ($p = 0,56$). В группе сравнения 3 из 4 пациентов поступили с клиникой холангита.

Обсуждение и заключения. В ходе исследования было выявлено, что наиболее достоверным методом диагностики нарушения дуоденального пассажа является рентгенологический, на основании которого следует ставить показания к декомпрессии желудка; показана возможность применения контроля пассажа бария вместо рутинной рентгеноскопии желудка; доказано, что выполнение превентивной гастроэнтеростомии при холедоходуодено- и холецистогастростомии уменьшает количество случаев рефлюкс-холангитов в отдаленном периоде.

Ключевые слова: нерезектабельная опухоль, билиопанкреатодуоденальная зона, дуоденальная обструкция, гастроэнтеростомия, декомпрессия желудка

Для цитирования: Барванян Г. М., Власов А. П. Гастроэнтеростомия при нерезектабельных опухолях билиопанкреатодуоденальной зоны // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 522–532. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.522-532



GASTROENTEROSTOMY IN PATIENTS WITH IRRESECTABLE PERIAMPULLARY CARCINOMA

G. M. Barvanyan^a, A. P. Vlasov^{b*}

^a*Komi Republican Hospital (Syktyvkar, Russia)*

^b*National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)*

*vap.61@yandex.ru

Introduction. Gastric outlet obstruction is the second main symptom after jaundice in patients with pancreatic carcinoma. With regard to gastroduodenal obstruction surgical gastroenterostomy has been the standard treatment approach in advanced periampullary tumors cases. The decision to perform a prophylactic gastroenterostomy in patients without obvious gastroduodenal patency disturbance remains unresolved.

Purpose of the study – to evaluate surgical palliation in patients with gastric outlet obstruction caused by pancreatic carcinoma.

Materials and Methods. Patients who received surgical palliation for unresectable pancreatic cancer were divided into two groups according to their operative procedure. A comparative analysis was made regarding performed gastroenterostomy. Prophylactic gastroenterostomy was applied when performed choledochoduodenostomy and gallbladder to stomach bypass.

Results. Roentgenoscopy of a stomach allows receiving accurate information as to gastroduodenal patency disturbance. In the main group (n = 98) performed 25 (26 %) gastroenterostomy, including 8 prophylactic, in the comparison group (n = 132) – 15 (11,7 %), p = 0,009. Morbidity and mortality rates in main and comparison groups were comparable: 22,9 % vs 24,2 %, p = 0,95 and 10,4 % vs 12,5 %, p = 0,78 respectively. In the remote period 1 (1,0 %) patient in the main group and 4 (3,0 %) patients in the comparison group were undergone bypass surgery for late gastric outlet obstruction (p = 0,56). Three patients of them in the comparison group were admitted with cholangitis.

Discussion and Conclusions. Indications for duodenal bypass should be based on radiological signs of duodenal patency disturbance. The possibility of X-ray control barium passage instead of routine roentgenoscopy of a stomach is shown. Prophylactic gastroenterostomy when performed choledochoduodeno- and cholecystogastrostomy substantially reduces risk of late reflux-cholangitis.

Keywords: unresectable periampullary carcinoma, biliopancreatoduodenal zone, duodenal obstruction, gastroenterostomy, gastric decompression

For citation: Barvanyan GM, Vlasov AP. Gastroenterostomy in patients with irresectable periampullary carcinoma. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):522-532. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.522-532

Введение

Первыми (и часто поздними) симптомами заболевания при раке органов билиопанкреатодуоденальной зоны (БПДЗ) являются механическая желтуха и нарушение проходимости двенадцатиперстной кишки (ДПК). При этом радикальная операция выполнима только в 20–25 % случаев; остальным пациентам с дистальной билиарной и/или дуоденальной обструкцией выполняют паллиативное лечение. Надежное и стойкое устранение механической желтухи и нарушения

проходимости ДПК является крайне важным для этой категории пациентов. Химиотерапевтическое лечение после декомпрессивных вмешательств, проводимое с учетом стадии заболевания, и отсутствие поздних осложнений (рецидив желтухи, дуоденальной обструкции) позволяет увеличить продолжительность жизни. Для восстановления оттока желчи и нарушенного дуоденального пассажа применяют традиционные хирургические операции и миниинвазивные вмешательства, каждое из которых имеет

свои преимущества и недостатки. При нарушении пассажа пищи по ДПК применяют обходную гастроэнтеростомию (ГЭС). Ее также выполняют превентивно при сохраненном дуоденальном пассаже для профилактики возможного стенозирования ДПК по мере прогрессирования опухоли.

В данной работе предпринята попытка рационализировать диагностический алгоритм и уточнить показания к ГЭС, в том числе превентивной.

Цель работы – обоснование тактики паллиативного хирургического лечения нарушения проходимости ДПК при неоперабельных опухолях органов БПДЗ.

Обзор литературы

Стеноз ДПК к моменту обращения и постановки диагноза рака органов БПДЗ встречается в 5 % случаев [1]. В публикациях 1990–2016 гг. практически не упоминаются методы диагностики нарушения дуоденального пассажа при обструктивных заболеваниях БПДЗ. Лишь в единичных работах для диагностики возможного нарушения проходимости ДПК, а не степени стеноза, обосновывается применение рентгенологического исследования желудка и ДПК [2–3]. Часто используются эндоскопические критерии стенозирования просвета ДПК или данные интраоперационной ревизии [2–5]. При этом практически нет указаний на степень нарушенной дуоденальной проходимости. Следует отметить, что нарушение пассажа содержимого по ДПК при злокачественной обструкции обусловлено двумя составляющими: функциональной и механической [6]. Функциональный компонент дуоденальной непроходимости объясняется инфильтрацией чревных нервов и сплетения злокачественной опухолью [6–8]. Нарушение дуоденальной проходимости за счет данного компонента возникает у 20 % пациентов [8]. При превалировании функционального ком-

понента диагностировать нарушение дуоденальной проходимости можно только рентгенологическим способом. С внедрением высокоинформативных методов лучевой диагностики (прежде всего, МСКТ и МРТ) рентгенологическое исследование желудка и ДПК в диагностическом алгоритме обструктивных заболеваний органов БПДЗ перестало быть приоритетным [9]. Из других методов изучения моторики желудка и ДПК применяют динамическую сцинтиграфию. К сожалению, в России радионуклидная диагностика нарушений дуоденальной проходимости не получила широкого распространения по техническим причинам.

При отсутствии признаков стеноза на момент обращения и наложения только билиодигестивного соустья в дальнейшем, по мере прогрессирования заболевания, явления опухолевой обструкции ДПК отмечаются в 10–30 % случаев [1; 3; 8; 10–13]. Для профилактики возможного нарушения проходимости ДПК выполняют превентивную ГЭС [8; 14–15]. Летальность и послеоперационные осложнения приблизительно одинаковы в группах после билиарной декомпрессии и с двойной декомпрессией. Известно, что в перспективе вероятность дуоденальной обструкции после профилактической ГЭС гораздо ниже [3].

Другие хирурги, наоборот, считают профилактическую ГЭС неоправданной из-за увеличения количества послеоперационных осложнений и летальности [16–20]. Количество осложнений после одновременной билиарной и дуоденальной декомпрессии достигает 28–43 % [2–3; 13; 17], а летальность – 14–27 % [16–20]. Таким образом, единого мнения о целесообразности рутинного выполнения профилактической ГЭС среди хирургов до настоящего времени не существует. В целом оптимальным считается выполнение традиционной хирургической декомпрессии. Миниинвазивную методику



стентирования ДПК предлагается изменять при прогнозируемой продолжительности жизни до 2 мес. [10; 19–21].

Материалы и методы

В 2004–2014 гг. в ГБУЗ РК «Коми республиканская больница» г. Сыктывкара было выполнено 230 паллиативных желчеотводящих вмешательств при обструктивных заболеваниях органов БПДЗ опухолевого генеза. На основании различных подходов к декомпрессии желчных путей пациенты были разделены на 2 группы. В основную вошли 98 чел. (42,6 %), при лечении которых применялся алгоритм декомпрессии с преимущественным выполнением хирургических операций; группу сравнения составили 132 чел. (57,4 %), и в данном случае выбор желчеотводящего вмешательства определялся предпочтением хирурга.

Отметим следующие особенности одновременного хирургического лечения нарушения проходимости ДПК в рамках основной группы. Показания к ГЭС определяли на основании рентгенологических признаков. С 2011 г. вместо рентгеноскопии желудка для выявления и уточнения степени стеноза применяли контроль пассажа бария: пациент принимает барий; через 3, 8 и 24 ч. после этого выполняется контрольная рентгенография. Декомпрессию желудка выполняли при любой степени стеноза, кроме случаев компенсированного стеноза при предполагаемой небольшой продолжительности жизни (карциноматоз брюшной полости, асцит, раковая кахексия) и отсутствии при этом клинических признаков дуоденальной обструкции. С 2011 г. в основной группе после выполнения холедоходуоденостомии (ХДА) и холецистогастротомии (ХлцГА) одновременно накладывали профилактическую ГЭС.

В группе сравнения наряду с рентгенологическими признаками показаниями к ГЭС являлись эндоскопические данные и интраоперационные при-

знаки нарушения проходимости ДПК. Превентивную ГЭС в данной группе не выполняли.

Для анализа статистической значимости различий между группами, а также между признаками в группах, с учетом количества объектов по каждому признаку, нами были использованы непараметрические методы: тесты Манна-Уитни и хи-квадрат. Расчеты были выполнены с использованием программы «Биостат 5.8» (2009). Статистически значимыми различия считали при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Средний возраст пациентов в основной группе составил $64,4 \pm 11,1$ лет (от 38 до 86 лет), в группе сравнения – $66,2 \pm 11,3$ лет (от 31 до 88 лет) ($p = 0,20$). В основной группе было 47 женщин и 51 мужчина; в группе сравнения – 62 женщины и 70 мужчин.

В основной группе рентгенологическое исследование проходимости ДПК было выполнено у 74 пациентов, в группе сравнения – у 21 (75,5 % и 15,9 % соответственно, $p = 0,001$). В основной группе 41 пациенту была назначена рентгеноскопия желудка и 33 – контроль пассажа бария; рентгенологическое исследование не было проведено 24 пациентам, к 11 (44 %) из которых по причине отсутствия клинических и эндоскопических признаков нарушения проходимости ДПК были применены мининвазивные методики декомпрессии желчных путей в качестве окончательной процедуры; лапаротомия в данном случае не планировалась. В группе сравнения по аналогичной причине рентгенологическое исследование не было проведено 28 (25,2 %) пациентам.

В табл. 1 представлены результаты рентгенологического исследования, с которыми сопоставлены данные клинического, эндоскопического обследования и интраоперационной ревизии по выявлению признаков дуоденальной обструкции.

Т а б л и ц а 1

Table 1

**Сравнительный анализ признаков нарушения проходимости ДПК
(основная группа/группа сравнения)****Duodenal obstruction signs analysis (main group/comparative group)**

Рентгенологические данные / X-ray data	Клинические нарушения / Clinical disorders	ФГДС / Esophagogastro- duodenoscopy	Интраоперационные нарушения / Intraoperative violations
Отсутствие стеноза – 66 (54/12) / Absence of a stenosis – 66 (54/12)	–	5* (5/0) 5** (4/1)	–
Компенсированный стеноз – 9 (7/2) / Compensated stenosis – 9 (7/2)	1 (1/0)	2* (2/0) 1** (1/0)	6 (6/0)
Субкомпенсированный стеноз – 11 (8/3) / Subcom- pensated stenosis – 11 (8/3)	11 (8/3)	8* (4/4) 1** (1/0)	9 (6/3)
Декомпенсированный стеноз – 9 (4/5) / Decompen- sated stenosis – 9 (4/5)	9 (4/5)	4* (3/1) 5** (1/4)	9 (4/5)

Примечание: * – сдавливание просвета ДПК извне, ** – прорастание просвета ДПК опухолью /
Note: * – compression of the duodenum lumen from outside, ** – germination duodenum lumen with tumor

Для декомпрессии желчных путей были применены следующие вмешательства: хирургическая декомпрессия у 80 (83,3 %) и миниинвазивные методики у 16 (16,7 %) пациентов в основной группе; аналогичные методики в группе сравнения – 92 (71,9 %) и 36 (28,1 %) случаев соответственно ($\chi^2 = 4,06$, $p = 0,044$). Из хирургических желчеотводящих операций было выполнено 48 (60 %) холедохоэностомий в основной группе и 20 (21,7 %) – в группе сравнения ($\chi^2 = 26,20$, $p < 0,001$), а также 15 (18,8 %) и 14 ХДА (15,2 %) соответственно ($\chi^2 = 0,20$, $p = 0,66$). Кроме этого, были сформированы холецистодигестивные соустья у 6 (6,3 %) и 44 (34,4 %) пациентов ($\chi^2 = 31,26$, $p < 0,001$). В 11 (11,5 %) и 14 (10,9 %) случаях соответственно ($\chi^2 = 0,07$, $p = 0,79$) были прове-

дены другие желчеотводящие операции. При формировании холецистодигестивных соустьев ХлцГА в основной группе применена в 4 случаях из 6 (66,7 %), в группе сравнения – в 42 из 44 (95,5 %). В основной группе операцией выбора являлись холедохоэностомия по Ру. Другие желчеотводящие анастомозы выполнялись при наличии технических проблем, связанных со свободным подведением Ру-петли к холедоху. ХДА при этом проводилась только при возможности широкой мобилизации ДПК по Кохеру для формирования соустья по Финстереру ближе к воротам печени.

Одновременная декомпрессия желчных путей и желудка была выполнена в обеих группах у 40 пациентов.

Характер обходящих ДПК операций представлен в табл. 2.



Таблица 2

Table 2

Характер операций, обходящих ДПК

Duodenal decompression procedures

Характер операции / Nature of operation	Основная группа / Main group	Группа сравнения / Control group
ГЭС на короткой петле / Gastroenterostomy on a short loop	17	10
ГЭС на длинной петле с брауновским соустьем / Gastroenterostomy on a long loop with Brown's fistula	7	3
Резекция желудка Б2 / Gastrectomy Billroth-2	1	1
Антрум-резекция с ГЭС, стволовая ваготомия / Antrum-resection with gastroenterostomy, stem vagotomy	–	1
Всего / Total	25 ($p = 0,009$)	15 ($p = 0,009$)

В основной группе 8 из 25 выполненных ГЭС были превентивными. В 2 случаях компенсированного стеноза при наличии карциноматоза брюшной полости и асцита декомпрессия желудка не проводилась. Резецирующие операции на желудке в обеих группах были выполнены после диагностики при ФГДС язвы желудка. В основной группе декомпрессия желудка применялась чаще, чем в группе сравнения (26 % и 11,7 % соответственно, $p = 0,009$). Без учета превентивных ГЭС в основной группе эта разница нивелировалась (17,7 % и 11,7 %, $p = 0,28$).

В основной группе осложнения были отмечены у 22 пациентов, в группе сравнения – у 31 (22,9 % и 24,2 % соответственно; $\chi^2 = 0,003$, $p = 0,95$); летальные исходы – у 10 и 16 (10,4 % и 12,5 %; $\chi^2 = 0,07$, $p = 0,78$). После одновременной декомпрессии желчных путей и желудка осложнения в ближайшем периоде были отмечены у 9 пациентов в основной группе и у 4 – в группе сравнения ($p = 0,79$). После двойного шунтирования у пациентов основной группы развились

следующие осложнения: кровотечение из острой язвы гастроэнтероанастомоза (1 случай), гастростаз (2), асцит-перитонит (3), инфильтрат брюшной полости (1), гематома подпеченочного пространства (1), острая печеночно-почечная недостаточность (1). В 3 случаях осложнения развились после одновременного выполнения превентивных ГЭС. Повторные вмешательства были выполнены у 5 пациентов: релапаротомия, прошивание острой язвы, санационная лапароскопия и, в 3 случаях, дренирование брюшной полости под УЗ-контролем.

В группе сравнения были отмечены следующие осложнения: гастростаз (1), кровотечение (1), несостоятельность холедохоэюноанастомоза (1), псевдомембранозный колит (1). Повторно было выполнено 1 вмешательство – санация желчного затека под УЗ-контролем.

После одновременной билиарной и дуоденальной декомпрессии умерло 3 из 25 пациентов в основной группе и 3 из 15 – в группе сравнения ($\chi^2 = 0,05$, $p = 0,82$). Причинами смерти в первом случае были кровотечение из острой

язвы гастроэнтероанастомоза, асцит-перитонит и гастростаз, во втором – несостоятельность холедохоеюноанастомоза, острая сердечная недостаточность и острая дыхательная недостаточность.

В отдаленном периоде проследить судьбу удалось у 74 (75,5 %) пациентов основной группы и у 73 (55,3 %) – группы сравнения. В основной группе были повторно госпитализированы двое (2 %) пациентов с клиникой нарушения пассажа пищи по желудку и ДПК; еще один поступил через 2 мес. с клиникой стеноза выходного отдела желудка после чрескожного и чреспеченочного дренирования желчных путей, как предполагалось, в качестве окончательной декомпрессии желчных путей. Во время первой госпитализации эндоскопические признаки стеноза не были диагностированы и рентгенологическое исследование не проводилось. Пациенту были выполнены холедохоеюностомия и ГЭС. У второго пациента после ГЭС, проведенного во время первичной госпитализации, развился стеноз анастомоза. Ввиду тяжести состояния по прогрессированию процесса ему был проведен тонкий назоинтестинальный зонд за зону сужения для энтерального питания жидкими смесями.

В группе сравнения во время повторных вмешательств ГЭС была выполнена 4 (3 %) пациентам: один пациент после холедохоеюностомии поступил с клиникой нарушения дуоденальной проходимости; трое (2 после ХлцГА и 1 после ХДА) – с клиникой холангита (холецистохолангита) и стеноза ДПК. При первичной госпитализации рентгенологическое исследование не проводилось 3 из 4 пациентов. Сроки развития нарушения проходимости ДПК с момента первой операции: 2, 6, 12 и 14 мес. У пациента после ХДА стенозирование просвета ДПК произошло ниже соустья в области нисходящего и нижне-горизонтального отделов. Пациенту при хоро-

шей проходимости билиодигестивного соустья была выполнена ГЭС. Также ГЭС была выполнена пациенту после изолированной холедохоеюностомии. Двум пациентам после ХлцГА были выполнены ГЭС и реконструкция билиодигестивного соустья путем наложения холедохоеюностомии и ХДА. Значимой разницы после повторных вмешательств выявлено не было (1 % – в основной группе и 3 % – в группе сравнения; $\chi^2 = 0,33$, $p = 0,56$).

Обсуждение и заключения

При сравнении клинических, эндоскопических, рентгенологических методов и данных интраоперационной ревизии по оценке степени стеноза ДПК были получены следующие результаты. Полное совпадение этих данных было отмечено только при декомпенсированном стенозе. При субкомпенсированном стенозе в 2 из 9 случаев эндоскопом свободно удавалось пройти луковичу ДПК, и в 2 случаях интраоперационно не было диагностировано признаков стеноза. При компенсированном стенозе в 1 из 9 случаев были отмечены клинические проявления, в 3 – эндоскопические и в 5 – интраоперационные. Рентгенологическое исследование чаще выявляло нарушение дуоденального пассажа, развившегося вследствие функционального компонента. Причем для выявления функционального дуоденостаза рентгенологический метод является единственным возможным. Эндоскопические критерии нарушения проходимости ДПК и данные интраоперационной ревизии следует интерпретировать совместно с результатами дооперационной рентгенологической диагностики. Отдаленные результаты также подтверждают полученные выводы. Из 5 пациентов, которым в отдаленном периоде были выполнены ГЭС, 4 рентгенологическое исследование при первичной госпитализации не проводилось. Таким образом, наиболее достоверным методом диагностики нарушения дуоде-



нального пассажа является рентгенологическое исследование желудка и ДПК, на основании которого следует ставить показания к декомпрессии желудка.

Кроме выявления нарушения пассажа содержимого по ДПК, информативность рентгеноскопии желудка в диагностическом алгоритме опухолей органов БПДЗ была невелика. Вследствие этого считаем оправданной замену рутинной рентгеноскопии желудка контролем пассажа бария через 3, 8 и 24 ч. Для диагностики нарушения проходимости ДПК предлагаемое исследование сопоставимо с рентгеноскопией желудка. Контроль пассажа бария по желудку и ДПК может быть альтернативой рентгеноскопии желудка для диагностики нарушения дуоденальной проходимости и определения степени стеноза. Немаловажным является и то, что при таком обследовании пациента существенно снижается нагрузка на врачей отделения лучевой диагностики.

Профилактическую ГЭС применяли с 2011 г. у пациентов основной группы, которым были сформированы соустья желчных путей с ДПК или желудком. К такому решению пришли после случаев повторной госпитализации пациентов группы сравнения с клиники холангита и холецистохолангита после ХлцГА и ХДА. Причиной развития

гнояного холангита в этих случаях, вероятнее всего, является рефлюкс содержимого из ДПК или желудка в желчный пузырь и желчные пути. Известно, что по мере прогрессирования опухолевого процесса наступает сужение просвета ДПК. Если зона стенозирования располагается ниже наложенного билиодигестивного соустья, то дигестивнобилиарный рефлюкс неизбежен. В основной группе, где 70 % всех вмешательств выполнялось после 2011 г., случаев повторной госпитализации с рефлюкс-холангитом, обусловленным поздним стенозированием ДПК, отмечено не было. Кроме этого, сравнение ближайших после операции результатов по количеству осложнений ($p = 0,95$) и летальных исходов ($p = 0,78$) свидетельствует о допустимости расширения объема оперативного вмешательства за счет профилактической ГЭС. Таким образом, при выполнении ХДА и ХлцГА считаем обоснованным выполнение профилактической ГЭС, которая позволяет уменьшить количество случаев повторной госпитализации пациентов с нерезектабельными опухолями БПДЗ. Небольшое количество профилактических ГЭС ($n = 8$) обусловлено тем, что в основной группе операцией выбора билиарной декомпрессии, согласно примененному алгоритму, является холедохоеюностомия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Huggett M. T., Ghaneh P., Pereira S. P. Drainage and Bypass Procedures for Palliation of Malignant Diseases of the Upper Gastrointestinal Tract // Clin. Oncol. R. Coll. Radiol. 2010. Vol. 22, No. 9. P. 755–763. DOI: 10.1016/j.clon.2010.08.001
2. Is prophylactic gastrojejunostomy indicated for unresectable uerampullary cancer? A prospective randomized trial / K. D. Lillemo [et al.] // Annals of Surgery. 1999. Vol. 230, No. 3. P. 322–330. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10493479>
3. The need for a prophylactic gastrojejunostomy for unresectable periampullary cancer: a prospective randomized multicenter trial with special focus on assessment of quality of life / N. T. van Heek [et al.] // Ann. Surg. 2003. Vol. 238, No. 6. P. 894–905. URL: 10.1097/01.sla.0000098617.21801.95.pdf
4. Yu J., Hao J., Wu D., Lang H. Retrospective evaluation of endoscopic stenting of combined malignant common bile duct and gastric outlet-duodenum obstructions // Experimental and therapeutic medicine. 2014. No. 8. P. 1173–1177. DOI: 10.3892/etm.2014.1899

5. Palliation of malignant upper gastrointestinal obstruction with self-expandable metal stent / S. Morikawa [et al.] // Korean J. Radiol. 2012. Vol. 13, S. 1. P. 98–103. DOI: <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2012.13.S1.S98>
6. Pancreatic carcinoma-induced changes in gastric myoelectric activity and emptying / P. J. Thor [et al.] // Hepatogastroenterology. 2002. Vol. 49. P. 268–270.
7. «Cross-section gastroenterostomy» in patients with irresectable periampullary carcinoma / O. Horstmann [et al.] // HPB. 2001. Vol. 3, No. 2. P. 157–163. DOI: 10.1080/136518201317077170
8. **Karapanos K., Nomikos I. N.** Current surgical aspects of palliative treatment for unresectable pancreatic cancer // Cancers. 2011. No. 3. P. 636–651. DOI: 10.3390/cancers3010636
9. Комплексная диагностика опухолей билиопанкреатодуоденальной зоны / Б. И. Долгушин [и др.] // Практическая онкология. 2004. Т. 5, № 2. С. 77–84. URL: http://www.rosoncowerb.ru/library/journals/practical_oncology/arh018/01.pdf
10. Dutch SUSTENT Study Group. Surgical gastrojejunostomy or endoscopic stent placement for the palliation of malignant gastric outlet obstruction (SUSTENT study): a multicenter randomized trial / S. M. Jeurnink [et al.] // Gastrointest Endosc. 2010. Vol. 71. P. 490–499. DOI: 10.1016/j.gie.2009.09.042.pdf
11. Prospective study of gastric outlet obstruction in unresectable periampullary adenocarcinoma / Y. M. Shyr [et al.] // World J. Surg. 2000. No. 24. P. 60–64.
12. **Heinicke J. M., Buchler M. W., Laffer U. T.** Bilio-digestive double bypass for nonresectable pancreatic cancer // Dig. Surg. 2002. Vol. 19. P. 165–167. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12119516>
13. Operative procedures for unresectable pancreatic cancer: does operative bypass decrease requirements for postoperative procedures and in-hospital days? / J. M. Lyons [et al.] // HPB. 2012. No. 14. P. 469–475. DOI: 10.1111/j.1477-2574.2012.00477.x
14. Systematic review and meta-analysis of prophylactic gastroenterostomy for unresectable advanced pancreatic cancer / N. Huser [et al.] // Br. J. Surg. 2009. Vol. 96. P. 711–719. DOI: 10.1097/SLA.0b013e318176bf65
15. Retrospective evaluation of endoscopic stenting of combined malignant common bile duct and gastric outlet-duodenum obstructions / Y. U. Jianfeng [et al.] // Experimental and therapeutic medicine. 2014. No. 8. P. 1173–1177. DOI: 10.3892/etm.2014.1899
16. **Zamboni W. A., Fisher K. S., Ross D. S.** Surgical palliation for pancreatic carcinoma // Postgrad. Med. J. 1991. Vol. 67. P. 362–365. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1712474>
17. **Andthacka R. H., Evans D. B., Pisters P. W.** Surgical and endoscopic palliation for pancreatic cancer // Minerva Chir. 2004. Vol. 59, No. 2. P. 123–136. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15238887>
18. **Holbrook A. G., Chester J. F., Britton D. C.** Surgical palliation for pancreatic cancer: will biliary bypass alone suffice // Journal of the Royal Society of Medicine. 1990. Vol. 83, No. 1. P. 12–14. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1689385>
19. **Gouma D. J.** Stent versus surgery // HPB. 2007. No. 9. P. 408–413. DOI: 10.1080/13651820701729986
20. Inoperable pancreatic cancer patients who have prolonged survival exhibit an increased risk of cholangitis / J. L. Buxbaum [et al.] // JOP. 2012. Vol. 12, No. 4. P. 377–383. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21737900>
21. **Boulay B. R., Parepally M.** Managing malignant biliary obstruction in pancreas cancer: Choosing the appropriate strategy. World J // Gastroenterol. 2014. Vol. 20, No. 28. P. 9345–9353. DOI: 10.3748/wjg.v20.i28.9345

Поступила 08.09.2016; принята к публикации 10.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Барванян Георгий Михайлович, заведующий хирургическим отделением ГБУЗ РК «Коми республиканская больница» (Россия, г. Сыктывкар, ул. Пушкина, д. 114/2), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0032-5078>**, bgmee07@yandex.ru



Власов Алексей Петрович, заведующий кафедрой факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4731-2952>, var.61@yandex.ru

Вклад соавторов: Г. М. Барванян проводил сбор клинического материала, статистическую обработку материала. А. П. Власов осуществлял анализ и оценку результатов лечения, статистическую обработку материала. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Huggett MT, Ghaneh P, Pereira SP. Drainage and Bypass Procedures for Palliation of Malignant Diseases of the Upper Gastrointestinal Tract. *Clin. Oncol. R. Coll. Radiol.* 2010; 9(22):755-763. DOI: 10.1016/j.clon.2010.08.001
2. Lillemoe KD, Cameron JL, Hardacre JM, Sohn TA, Sauter PK, Coleman J, et al. Is Prophylactic Gastrojejunostomy Indicated for Unresectable Periapillary Cancer? A Prospective Randomized Trial. *Annals of Surgery.* 1999; 3(230):322-330. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10493479>
3. Van Heek NT, De Castro SMM, Van Eijck CH, et al. The need for a prophylactic gastrojejunostomy for unresectable periapillary cancer: a prospective randomized multicenter trial with special focus on assessment of quality of life. *Ann. Surg.* 2003; 6(238):894-905. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1356171>
4. Yu J, Hao J, Wu D, Lang H. Retrospective evaluation of endoscopic stenting of combined malignant common bile duct and gastric outlet-duodenum obstructions. *Experimental and Therapeutic Medicine.* 2014; 8:1173-1177. DOI: 10.3892/etm.2014.1899
5. Morikawa S, Suzuki A, Nakase K, Yasuda K. Palliation of malignant upper gastrointestinal obstruction with self-expandable metal stent. *Korean J. Radiol.* 2012; 1(13):98-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2012.13.S1.S98>
6. Thor PJ, Popiela T, Sobocki J, Herman RM, Matyja A, Huszno B. Pancreatic carcinoma-induced changes in gastric myoelectric activity and emptying. *Hepatogastroenterology.* 2002; 49:268-270.
7. Horstmann O, Kley CW, Post S, Becker H. "Cross-section gastroenterostomy" in patients with irresectable periapillary carcinoma. *HPB.* 2001; 2(3):157-163. DOI: 10.1080/136518201317077170
8. Karapanos K, Nomikos IN. Current surgical aspects of palliative treatment for unresectable pancreatic cancer. *Cancers.* 2011; 3:636-651. DOI: 10.3390/cancers3010636
9. Dolgushin BI, Kosyrev VYu, Sinyukova GT, Nechipay AM, Kolomin VG, Shiryayev SV. Kompleksnaya diagnostika opukholey biliopankreatoduodenalnoy zony. *Prakticheskaya onkologiya = Practical Oncology.* 2004; 2(5):77-84. Available from: http://www.rosoncweb.ru/library/journals/practical_oncology/arh018/01.pdf (In Russ.)
10. Jeurnink SM, Steyerberg EW, van Hooff JE, van Eijck CH, Schwartz MP, Vleggaar FP, et al. Surgical gastrojejunostomy or endoscopic stent placement for the palliation of malignant gastric outlet obstruction (SUSTENT study): a multicenter randomized trial. *Gastrointest Endosc.* 2010; 71:490-499. DOI: 10.1016/j.gie.2009.09.042.pdf
11. Shyr YM, Su CH, Wu CW, Lui WY. Prospective study of gastric outlet obstruction in unresectable periapillary adenocarcinoma. *World J. Surg.* 2000; 24:60-64.
12. Heinicke JM, Buchler MW, Laffer UT. Bilio-digestive double bypass for nonresectable pancreatic cancer. *Dig. Surg.* 2002; 19:165-167. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12119516>
13. Lyons JM, Karkar A, Correa-Gallego CC, D'Angelica MI, DeMatteo RP, Fong Y. Operative procedures for unresectable pancreatic cancer: does operative bypass decrease requirements for postoperative procedures and in-hospital days? *HPB.* 2012; 14:469-475. DOI: 10.1111/j.1477-2574.2012.00477.x
14. Hüser N, Michalski CW, Schuster T, Friess H, Kleeff J. Systematic review and meta-analysis of prophylactic gastroenterostomy for unresectable advanced pancreatic cancer. *Br. J. Surg.* 2009; 96:711-719. DOI: 10.1097/SLA.0b013e318176bf65



15. Jianfeng YU, Hao J, Wu D, Lang H. Retrospective evaluation of endoscopic stenting of combined malignant common bile duct and gastric outlet-duodenum obstructions. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 2014; 8:1173-1177. DOI: 10.3892/etm.2014.1899
16. Zamboni WA, Fisher KS, Ross DS. Surgical palliation for pancreatic carcinoma. *Postgrad. Med. J.* 1991; 67:362-365. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1712474>
17. Andtbacka RH, Evans DB, Pisters PW. Surgical and endoscopic palliation for pancreatic cancer. *Minerva Chir.* 2004; 2(59):123-136. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15238887>.
18. Holbrook AG, Chester JF, Britton DC. Surgical palliation for pancreatic cancer: will biliary bypass alone suffice? *Journal of the Royal Society of Medicine*. 1990; 1(83):12-14. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1689385>
19. Gouma DJ. Stent versus surgery. *HPB*. 2007; 9:408-413. DOI: 10.1080/13651820701729986
20. Buxbaum JL, Biggins SW, Bagatelos KC, Inadomi JM, Ostroff JW. Inoperable pancreatic cancer patients who have prolonged survival exhibit an increased risk of cholangitis. *JOP*. 2012; 4(12):377-383. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21737900>
21. Boulay BR, Parepally M. Managing malignant biliary obstruction in pancreas cancer: Choosing the appropriate strategy. *World J. Gastroenterol.* 2014; 20(28); 9345-9353. DOI: 10.3748/wjg.v20.i28.9345

Submitted 08.09.2016; revised 10.10.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Georgiy M. Barvanyan, head of Surgical Department, Komi Republican Hospital (114/2, Pushkina St., Syktyvkar, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0032-5078>**, bgmee07@yandex.ru

Aleksey P. Vlasov, head of Chair of Surgery, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4731-2952>**, vap.61@yandex.ru

The contribution of the authors: G. M. Barvanyan spent collecting clinical data, statistical processing of the material. A. P. Vlasov carried out the analysis and evaluation of the treatment results, statistical processing of the material. All authors have read and approved the final manuscript.



ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТА ЧЕЛЮСТНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЗУБОСОХРАНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

М. В. Столяров*, **Л. А. Любовцева,**
А. В. Московский, Н. В. Кандейкина
ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» (г. Чебоксары, Россия)
**mctolarov@gmail.com*

Введение. Одной из важнейших проблем хирургической стоматологии является оптимизация процессов регенерации костной ткани. Высокая распространенность и трудности лечения деструктивных форм хронического периодонтита обуславливают актуальность поиска новых и усовершенствования существующих методов лечения. В статье описан процесс новообразования костной ткани в течение 1 года после зубосохраняющих операций с применением остеотропных материалов различного происхождения: аутогенного, аллогенного и ксеногенного.

Цель исследования – изучить клеточный состав послеоперационного дефекта челюсти для выбора оптимального остеопластического наполнителя для применения при зубосохраняющих операциях.

Материалы и методы. В рамках исследования было проведено 32 зубосохраняющие операции. Материал здоровой челюстной костной ткани был получен во время удаления зубов по ортодонтическим показателям. Исследование проводилось с помощью иммуногистохимических методов через 3, 7, 30, 90, 120, 150, 180 и 360 дней после операции.

Результаты исследования. В послеоперационном периоде происходит уменьшение числа CD68-позитивных клеток и количества клеток, экспрессирующих маркер пролиферации Ki-67.

Обсуждение и заключения. На ранних сроках исследования клеточные популяции в дефекте костной ткани находятся в состоянии активной пролиферации. Со временем интенсивность пролиферативной активности в группах исследования снижается.

Ключевые слова: зубосохраняющая операция, дефект костной ткани, остеотропный материал, иммуногистохимия, «Аллоплант», «Остеоматрикс»

Для цитирования: Иммуногистохимическое исследование дефекта челюстной костной ткани после проведения зубосохраняющих операций / М. В. Столяров [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 533–547. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.533-547

Благодарности: Авторы выражают благодарность заведующему патологоанатомического отделения БУ «Республиканский клинический онкологический диспансер» Минздравсоцразвития Чувашской Республики Москвичеву Е. В. за помощь в окрашивании материала для исследования.

IMMUNOHISTOCHEMICAL EXPLORATION OF JAW BONE TISSUE DEFECT AFTER TOOTH PROTECTING OPERATIONS

M. V. Stolyarov*, L. A. Lyubovtseva,
A. V. Moskovskiy, N. V. Kandeykina

Ulyanov Chuvash State University (Cheboksary, Russia)

*mctolarov@gmail.com

Introduction. The article deals with the process of new bone formation within one year after toothprotecting operations. Various bone-seeking materials of autogenic, allogenic and xenogeneic origin are used in the process. The authors studied the cellular composition of the jaw postoperative defect for selecting the optimal osteoplastic filler in toothprotecting operations.

Materials and Methods. 32 toothprotecting operations were carried out during the study period. The healthy jaw bone tissue was obtained during intake of teeth according to orthodontic indicators. The research was conducted using immunohistochemical methods in 3, 7, 30, 90, 120, 150, 180 and 360 days after operation.

Results. Reduction of the number of CD68-positive cells is marker of proliferation of Ki-67 in the postoperation period.

Discussion and Conclusions. The cell populations in the bone tissue defect are found in the state of active proliferation. The intensity of proliferative activity in groups of research decreases in the period after operation.

Keywords: toothprotecting operation, bone tissue defect, osteotropic material, immunohistochemistry, Alloplant, Osteomatrix

For citation: Stolyarov MV, Lyubovtseva LA, Moskovskiy AV, Kandeykina NV. Immunohistochemical exploration of jaw bone tissue defect after toothprotecting operations. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):533-547. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.533-547

Acknowledgements: The authors express their gratitude to head of mortuaries of Chuvash Republic Clinical Oncologic Dispensary Ye. Moskvichev for help in the study.

Введение

Формирование хронического одонтогенного очага инфекции в организме часто приводит к удалению причинного зуба [1]. Существуют методики хирургических вмешательств, позволяющие сохранять зубы с воспалительно-деструктивными изменениями в периапикальных тканях, которые получили название *зубосохраняющих операций*. Однако во время оперативного вмешательства возникают дефекты костной ткани, которые могут привести к послеоперационным осложнениям. Одной из важнейших проблем хирургической стоматологии является оптимизация процессов регенерации костной ткани [2]. Высокая распространенность и трудности лечения деструктивных форм хронического

периодонтита обуславливают актуальность поиска новых и усовершенствования существующих методов лечения [3].

Для стимуляции остеогенеза большое значение имеют создание в костном дефекте депо из остеотропного материала и стабилизация в нем кровяного сгустка. Костеобразующие материалы тормозят активность остеокластов и, как следствие, уменьшают резорбцию костной ткани [4]. Также они ускоряют процессы новообразования и минерализации костной ткани [5].

Цель исследования – изучить клеточный состав послеоперационного дефекта челюсти для выбора оптимального остеопластического наполнителя для применения при зубосохраняющих операциях.



Материалы и методы

У 36 пациентов было проведено 32 гранулэктомии с резекцией верхушки корня (18 оперативных вмешательств – на верхней челюсти и 14 – на нижней). Во время оперативного вмешательства появлялся дефект ~ 180 мм³, который заполняли остеотропным материалом.

Все пациенты были разделены на 5 групп. 1 группа (8 пациентов) – контрольная; после проведения зубосохраняющей операции в ране организовывался кровяной сгусток. Во 2-й группе (8 пациентов) дефект костной ткани восполнялся аутогенной костной стружкой, полученной с помощью дрель-канюли из угла нижней челюсти во время операции; в 3-й (8 пациентов) – материалом «Аллоплант» (регистрационное удостоверение № 901 от 22.07.1987; производство ФГУ «Всероссийский Центр глазной и пластической хирургии Росздрава», г. Уфа), получаемым из трупной костной ткани человека; в 4-й (8 пациентов) – материалом «Остеоматрикс» (регистрационное удостоверение № ФСР 2010/09830; производство ООО «Конектбиофарм», г. Москва). Источником данного биоматериала являются губчатые и кортикальные кости крупного рогатого скота, как правило, быков. В 5-й группе (4 пациента) проводилось исследование здоровой костной ткани. Материал был получен во время удаления ретинированных и дистопированных зубов по ортодонтическим показаниям.

Исследование материала проводилось на 3-й, 7-й, 30-й, 90-й, 120-й, 150-й, 180-й и 360-й день после операции. На 3-й и 7-й день слизистая оболочка на месте разреза еще не зажила и материал из раны получали с помощью кюретажной ложки. Начиная с 30-го дня проводили пункционную биопсию созревающей костной ткани с помощью иглы набора «Ostycut» («Vard», США).

Исследование срезов дефекта костной ткани проводилось с помощью иммуногистохимического метода.

Для выявления CD68⁺-клеток в послеоперационном дефекте костной ткани челюсти использовались иммуногистохимические автостейнеры «Autostainer 360» («Thermo Scientific») и микроскоп «Leica DM4000B» («Leica Microsystems») с увеличением 400; материалом для исследования послужили моноклональные антитела к кластеру дифференцировки 68 типа (CD68⁺), клон ED-1 («Abcam», Великобритания), – маркер макрофагов.

Для выявления клеток, экспрессирующих маркер Ki-67, были использованы моноклональные антитела к маркеру клеточной пролиферации Ki-67, клон MM-1 («NovoCastra», Великобритания) [6–7].

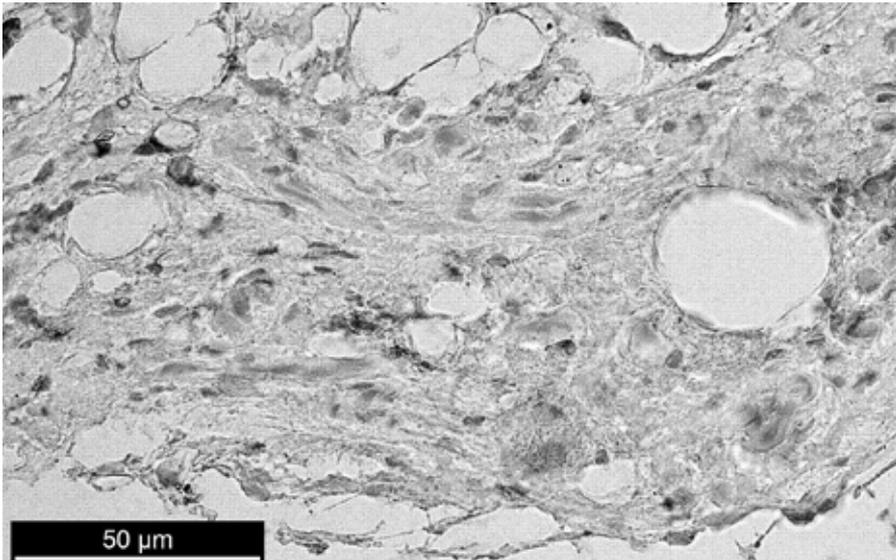
Для определения направленности и выраженности статистических изменений применялся T-критерий Вилкоксона. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Научное исследование проводилось в соответствии со стандартами этического комитета ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» и пересмотренного варианта Хельсинкской декларации этических принципов (2008 г.).

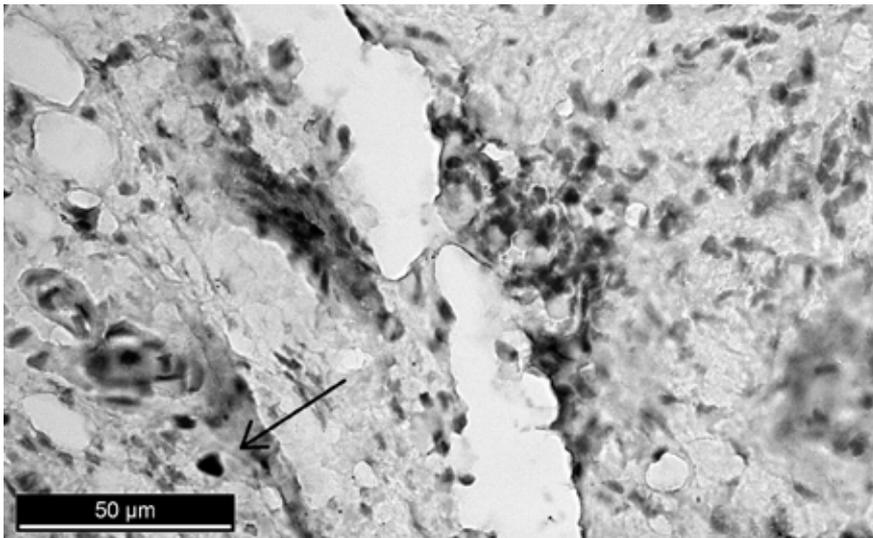
Результаты исследования

В здоровой костной ткани челюсти при иммуногистохимическом окрашивании на CD68⁺-клетки было обнаружено очень низкий уровень концентрации макрофагов – 1 клетка на 2–3 поля зрения (рис. 1).

С помощью маркера Ki-67 была определена выраженность процессов пролиферации в здоровой челюстной костной ткани (рис. 2) и в дефекте костной ткани с применением различных остеотропных материалов. Результаты иммуногистохимической реакции Ki-67 отличались в группах исследования на различных сроках. Полученные данные были подтверждены результатами вычисления митотического индекса. Известно, что чем выше данный показатель, тем интенсивнее протекает новообразование костной ткани.



Р и с. 1. Здоровая костная ткань челюсти. Иммуногистохимическая реакция к CD68⁺
F i g. 1. Healthy bone tissue of the jaw. Immunohistochemical reaction for CD68⁺



Р и с. 2. Здоровая костная ткань челюсти. Иммуногистохимическая реакция к Ki-67. Заметны единичные клетки, экспрессирующие белок Ki-67
F i g. 2. Healthy bone tissue of the jaw. Immunohistochemical reaction to Ki-67. Single cells expressing protein Ki-67 are visible



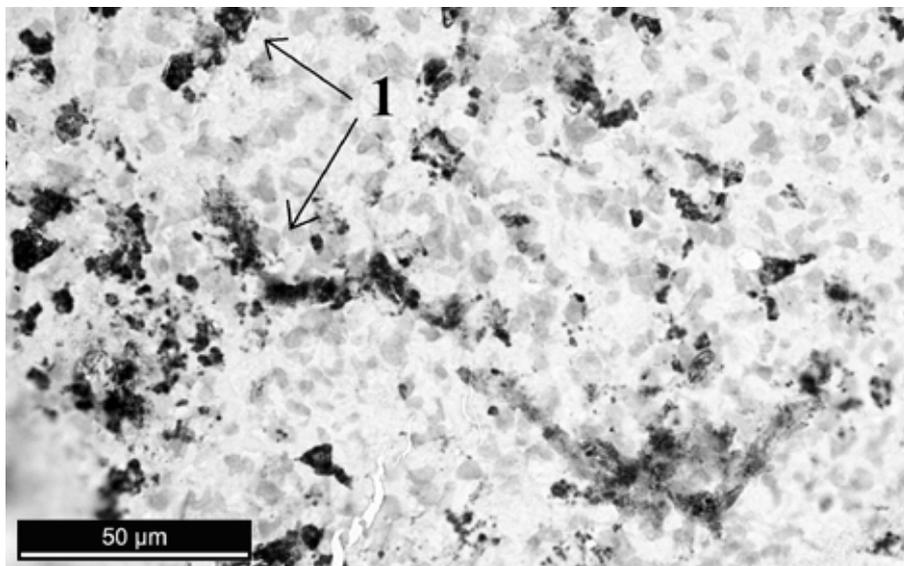
На ранних сроках исследования материала дефекта челюсти с организацией в ране кровяного сгустка было обнаружено большое количество CD68⁺-клеток – 11–12 макрофагов на 1 поле зрения (рис. 3; табл. 1), а также клеток, экспрессирующих белок Ki-67, ~ 70 % от общего количества (табл. 2). Морфологически они характеризуются овальной формой с разной степенью окраски ядер.

На 30-й день количество CD68⁺-клеток уменьшилось и составило в среднем 10 макрофагов на 1 поле зрения; количество клеток, экспрессирующих Ki-67, незначительно снизилось и составило $60,5 \pm 2 \%$ (рис. 9).

На 90-й день после операции количество CD68⁺-клеток составило ~7 клеток на 1 поле зрения (табл. 1); количество клеток, экспрессирующих Ki-67, – в среднем $47,1 \pm 0,9 \%$ (табл. 2).

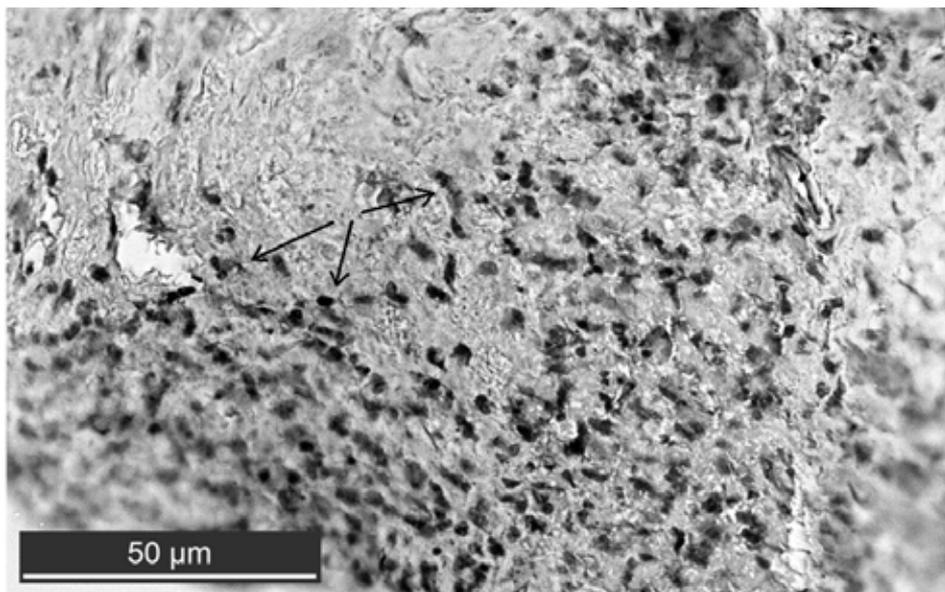
На 120-й день количество CD68⁺-клеток составило 4–5 клеток на 1 поле зрения; количество клеток, экспрессирующих Ki-67, – $37 \pm 1 \%$ (Там же).

С 180-го дня количество CD68⁺-клеток стало схожим с количеством макрофагов в здоровой челюстной кости – не более 1 клетки на 2 поля зрения (табл. 1); также произошло снижение экспрессии белка Ki-67, и его значение приблизилось к аналогичному показателю в здоровой челюстной кости (табл. 2).



Р и с. 3. Иммуногистохимическая реакция к CD68⁺ (1). 7-й день после операции с организацией в ране кровяного сгустка

F i g. 3. Immunohistochemical reaction for CD68⁺ (1). 7th day after operation with the organization in the wound blood clot



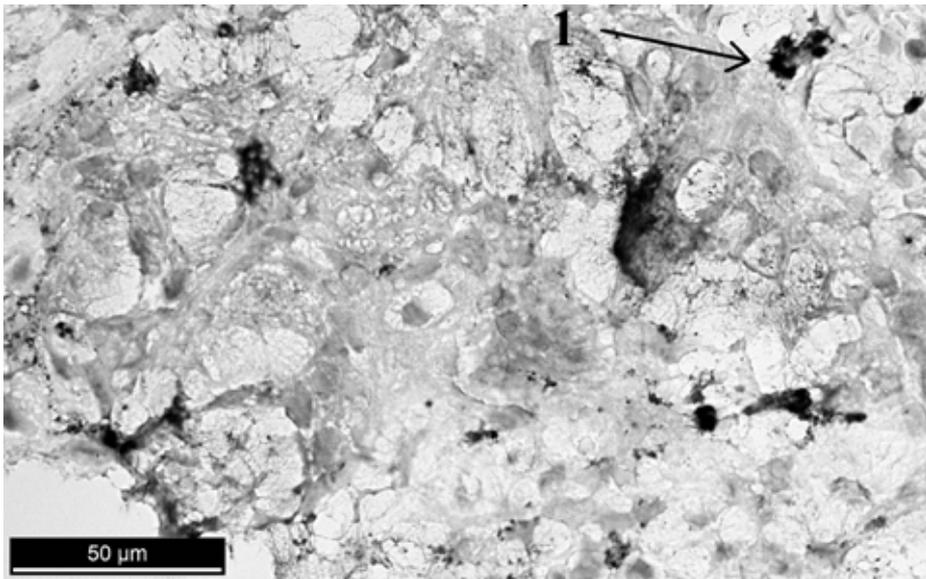
Р и с. 4. Иммуногистохимическая реакция к Ki-67. 30-й день после операции с организацией в ране кровяного сгустка. Заметно большое количество клеток, экспрессирующих белок Ki-67

Fig. 4. Immunohistochemical reaction to Ki-67. Material received on 30th day after operation with organization of blood clot in the wound. A large number of cells expressing Ki-67 protein are visible

В послеоперационном периоде с применением в дефекте челюсти аутогенной костной стружки количество CD68⁺-клеток на ранних сроках исследования колебалось от 3–5 клеток на 1 поле зрения (Рис. 5); количество клеток, экспрессирующих Ki-67, на 3-й день составило $42,9 \pm 2,1\%$, а на 7-й день произошло статистически значимое ее увеличение – $46,8 \pm 2,2\%$ (табл. 2).

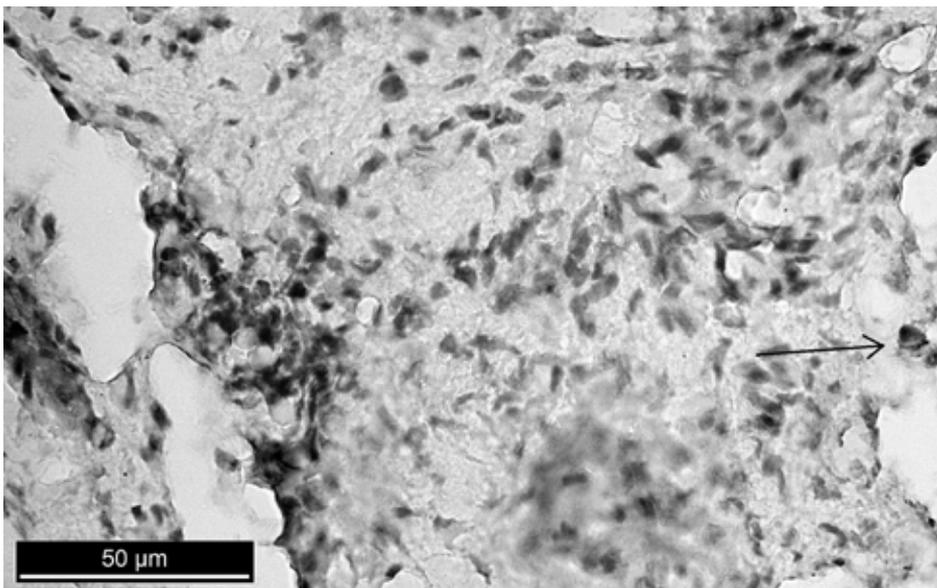
На 30-й день исследования количество CD68⁺-клеток составило в среднем 2 клетки на 1 поле зрения; количество пролиферирующих клеток уменьшилось до $36 \pm 1\%$ (рис. 7; табл. 2).

На 90-й день после операции в материале дефекта костной ткани с применением аутогенной костной стружки количество CD68⁺-клеток достоверно стало соответствовать количеству данных клеток в здоровой костной ткани челюсти – 1 клетка на 2 поля зрения. На более поздних сроках исследования ситуация не претерпела серьезных изменений (табл. 1). Количество пролиферирующих клеток достигло значения показателей здоровой челюстной костной ткани; в последующих исследованиях данный показатель сохранял стабильность (табл. 2).



Р и с. 5. Аутогенная костная стружка в дефекте челюсти. 7-й день после операции.
Иммуногистохимическая реакция к CD68⁺ (1)

F i g. 5. Autogenous bone chips in a jaw defect. 7th day after operation.
Immunohistochemical reaction for CD68⁺ (1)



Р и с. 6. Иммуногистохимическая реакция, выявляющая маркер Ki-67. 30-й день после операции с применением в дефекте аутогенной костной стружки.
Заметны клетки, экспрессирующие белок Ki-67

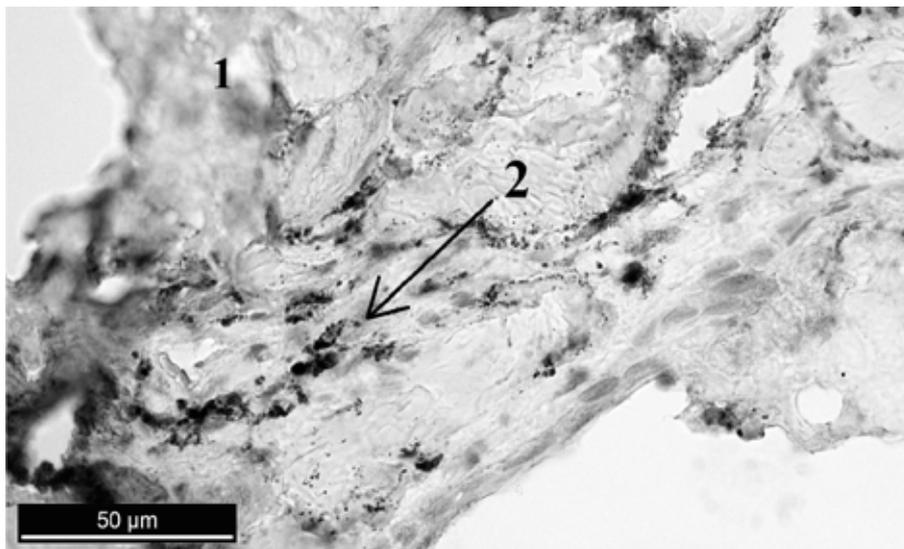
F i g. 6. Immunohistochemical reaction, identifying marker Ki-67. 30th day after operation using the defect with autologous bone chips. cells expressing protein Ki-67 are visible

На 3-й и 7-й день после проведения зубосохраняющей операции с применением в дефекте костной ткани материала «Аллоплант» количество CD68⁺-клеток составило ~ 6 клеток на 1 поле зрения (табл. 1). Было замечено, что макрофаги рассасывают остеотропный материал, в который прорастает соединительная ткань. Экспрессия Ki-67 незначительно снизилась, но осталась высокой – 49 ± 1 % (табл. 2).

На 90-й день было обнаружено снижение количества CD68⁺-клеток до

3-х на 1 поле зрения (рис. 7); экспрессия Ki-67 клеток также снизилась и составила 34,5 ± 1,5 % (табл. 2).

На 120-й, 150-й, 180-й и 360-й дни после операции количество макрофагов составило в среднем 1 клетку на 2 поля зрения (табл. 1). Данный показатель соответствует содержанию макрофагов в здоровой челюстной костной ткани. Кроме этого, произошло статистически значимое уменьшение экспрессии Ki-67 до показателей здоровой челюстной кости – 25 ± 1 % (рис. 8).



Р и с. 7. Материал «Аллоплант» в дефекте челюстной кости. 90-й день после операции. Иммуногистохимическая реакция к CD68⁺. 1 – остеотропный материал; 2 – единичные CD68⁺-клетки

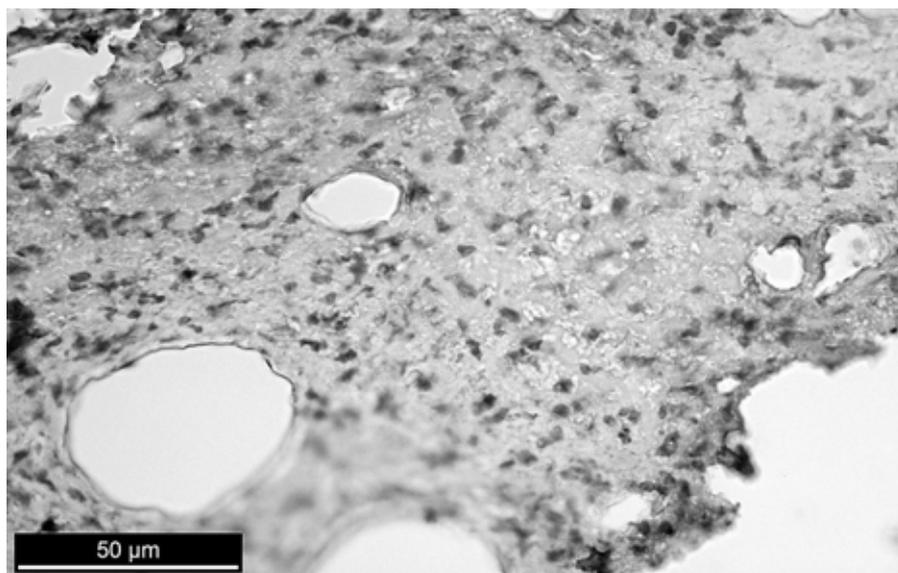
F i g. 7. Material Alloplant in the defect of the jawbone. 90th day after operation. Immunohistochemical reaction for CD68⁺. 1 – osteotropic material; 2 – single CD68⁺ cells

На ранних сроках исследования материала «Остеоматрикс» обнаружены CD68⁺-клетки; в среднем заметно 10–11 макрофагов на 1 поле зрения (рис. 9). Количество клеток, экспрессирующих Ki-67, составило ~ 58 % (табл. 2).

На 30-й день количество CD68⁺-клеток уменьшилось и составило

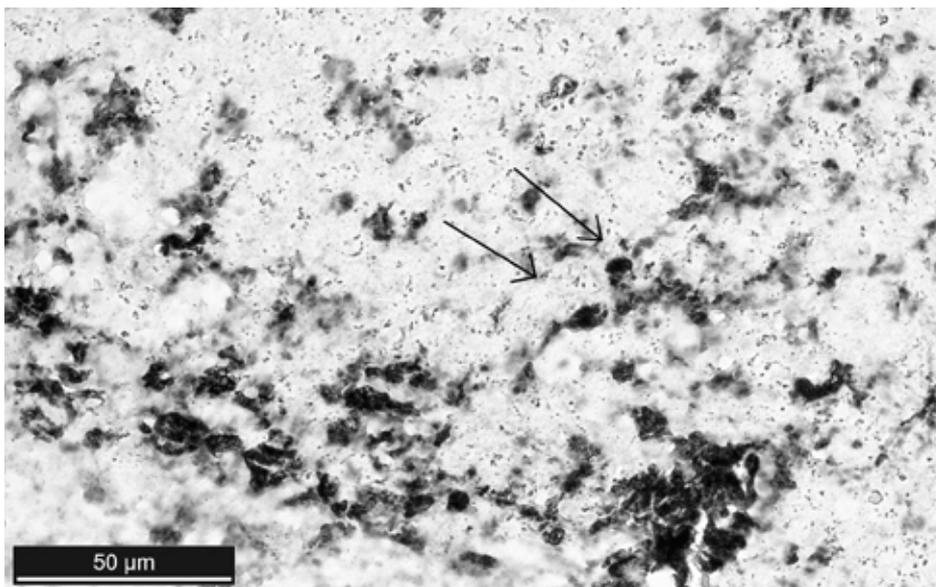
8 клеток на 1 поле зрения (табл. 1); количество клеток, экспрессирующих Ki-67, достигло 50,0 ± 0,5 % (табл. 2).

На 90-й день количество CD68⁺-клеток уменьшилось и составило 6 клеток на 1 поле зрения; количество клеток, экспрессирующих Ki-67, достигло 42,8 ± 1,2 % (Там же).



Р и с. 8. Иммуногистохимическая реакция, выявляющая маркер Ki-67. 120-й день после операции с применением в дефекте материала «Аллоплант». Клетки, экспрессирующие белок Ki-67, практически отсутствуют

F i g. 8. Immunohistochemical reaction identifying marker Ki-67. 120th day after operation using the defect material Alloplant. Cells expressing Ki-67 protein are absent



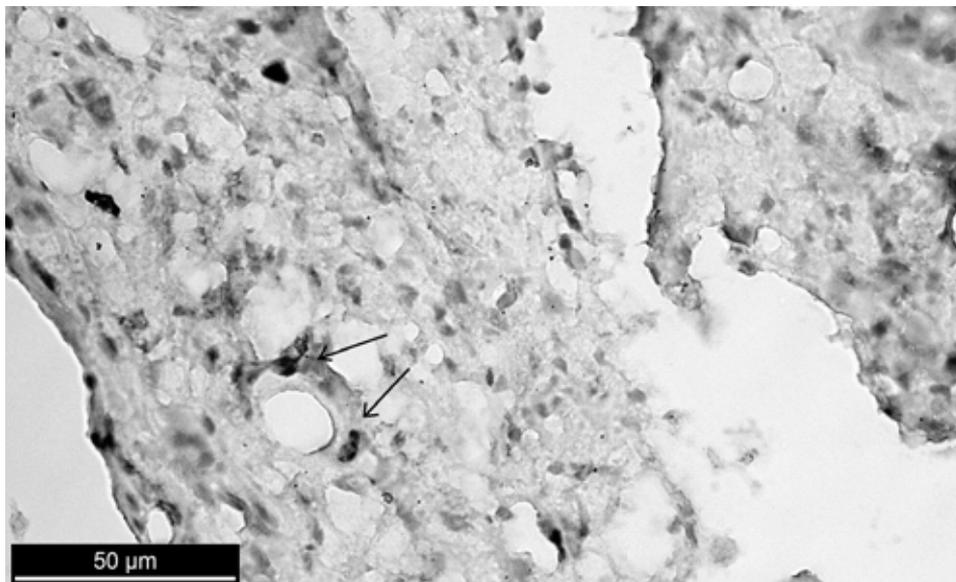
Р и с. 9. Препарат «Остеоматрикс» в дефекте челюстной кости. 7-й день после операции. Иммуногистохимическая реакция к CD68⁺

F i g. 9. Medicament Osteomatrix in the defect of the jawbone. 7th day after operation. Immunohistochemical reaction for CD68⁺

На 120-й день после операции было обнаружено небольшое количество макрофагов – 2 клетки на 1 поле зрения (табл. 1); количество клеток, экспрессирующих Ki-67, снизилось до $33,3 \pm 0,7\%$ (рис. 10).

На 150-й, 180-й и 360-й дни количество макрофагов не превышало

1 клетки на 2 поля зрения, что соответствует аналогичному показателю в материале здоровой костной ткани (табл. 1); количество клеток, экспрессирующих Ki-67, составило $26 \pm 1\%$, что схоже с экспрессией Ki-67 в здоровой челюстной кости (табл. 2).



Р и с. 10. Иммуногистохимическая реакция, выявляющая маркер Ki-67. 120-й день после операции с применением в дефекте препарата «Остеоматрикс». Клетки, экспрессирующие белок Ki-67, практически отсутствуют

F i g. 10. Immunohistochemical reaction, identifying marker Ki-67. 120th day after operation using medicament Osteomatrix. Cells expressing Ki-67 protein are absent

Обсуждение и заключения

В дефекте челюстной костной ткани на ранних сроках исследования количество CD68⁺-клеток достигало максимума. Увеличение данного показателя свидетельствует об усилении иммунного процесса и, следовательно, появлении гибнущих лимфоцитов. В дальнейшем количество CD68⁺-клеток приближается к аналогично-

му показателю в здоровой костной ткани. На 90-й день после операции это происходит в дефекте челюстной костной ткани с применением аутогенной костной стружки; на 120-й день – материала «Аллоплант»; на 150-й – материала «Остеоматрикс». Дольше всего данный процесс проходил в группе с организацией в дефекте кровяного сгустка (табл. 1).



Таблица 1

Table 1

Динамика распределения иммунокомпетентных клеток (CD68⁺ – маркер макрофагов) дефекта костной ткани после зубосохраняющих операций с применением различных остеотропных материалов

Dynamics of immunocompetent cells distribution (CD68⁺ macrophage marker) of bone defect after toothprotecting operations using different osteotropic materials

Сроки / Date Группы / Groups	3-й день / 3 rd day	7-й день / 7 th day	30-й день / 30 th day	90-й день / 90 th day	120-й день / 120 th day	150-й день / 150 th day	180-й день / 180 th day	360-й день / 360 th day
1 группа (контрольная) / Group 1 (Control)	12,42 ± 1,53	11,02 ± 1,16*	10,02 ± 0,95	7,52 ± 0,87	5,35 ± 0,53	3,12 ± 0,56*	0,63 ± 0,21	0,76 ± 0,23
2 группа (аутоген. кость) / Group 2 (autogenous bone)	4,24 ± 1,02	3,55 ± 0,54	2,14 ± 0,57	0,82 ± 0,44*	0,76 ± 0,23	0,94 ± 0,21	0,87 ± 0,21	0,73 ± 0,35
3 группа («Аллоплант») / Group 3 (Alloplant)	9,15 ± 1,03	6,53 ± 0,88*	5,95 ± 0,61	3,06 ± 0,86	0,82 ± 0,17*	0,75 ± 0,13	0,62 ± 0,25	0,61 ± 0,27
4 группа («Остеоматрикс») / Group 4 (Osteomatrix)	11,03 ± 1,36	10,43 ± 1,27	8,52 ± 1,14	6,54 ± 0,71	2,53 ± 0,96	0,93 ± 0,76*	0,84 ± 0,92	0,82 ± 0,76

Примечание: * – статистически достоверное изменение показателя ($p < 0,05$). Количество клеток указано на 1 поле зрения. Количество наблюдений – 10 / Note: * – statistically significant change of index ($p < 0,05$). The number of cells is indicated on one field of view. Number of observations – 10

Известно, что в формировании костной ткани участвуют биологически активные вещества белковой природы. Иммуногистохимическая реакция с антителами к маркеру клеточной пролиферации Ki-67 позволяет идентифицировать и давать количественную оценку уровня экспрессии таких веществ [8–10]. Активаторные субъединицы (циклины) регулируют митотическое деление клетки на различных стадиях. Следовательно, выявленная положи-

тельная реакция отражает цикличность процессов сборки и разборки макромолекулярного комплекса в процессе каждого клеточного цикла.

Маркер Ki-67 способен косвенно определять скорость деления клеток. Следовательно, выявленная положительная реакция в дефекте костной ткани после зубосохраняющих операций с применением различных остеотропных материалов указывает на скорость созидания клеточных элементов.

Т а б л и ц а 2

Table 2

Экспрессия Ki-67 в клетках послеоперационного дефекта костной ткани челюсти, %

The expression of Ki-67 in cells of the postoperative bone defect jaw, %

Сроки / Date Группы / Groups	3-й день / 3 rd day	7-й день / 7 th day	30-й день / 30 th day	90-й день / 90 th day	120-й день / 120 th day	150-й день / 150 th day	180-й день / 180 th day	360-й день / 360 th day
1 группа (контрольная) / Group 1 (Control)	70,13 ± 1,24	71,32 ± 1,45	60,53 ± 2,17	47,12 ± 0,96	37,21 ± 1,53*	32,63 ± 1,46	25,12 ± 0,94	24,53 ± 0,55
2 группа (аутоген. кость) / Group 2 (autogenous bone)	42,91 ± 2,16	46,85 ± 2,22*	36,33 ± 1,27	26,32 ± 0,75	26,12 ± 0,91	25,22 ± 1,66*	24,32 ± 1,26	25,22 ± 0,85
3 группа («Аллоплант») / Group 3 (Alloplant)	54,63 ± 2,47	54,56 ± 2,53	49,45 ± 1,56	34,51 ± 1,53	25,38 ± 1,42*	26,91 ± 1,31	25,42 ± 0,66	25,35 ± 0,77
4 группа («Остеоматрикс») / Group 4 (Osteomatrix)	59,52 ± 1,17	58,81 ± 1,26	50,21 ± 0,57	42,85 ± 1,22	33,33 ± 0,76	26,22 ± 1,55*	25,41 ± 1,56	25,12 ± 1,54

Примечание: * – статистически достоверное изменение показателя ($p < 0,05$). Количество клеток указано на 1 поле зрения. Количество наблюдений – 10 / Note: * – statistically significant change of index ($p < 0,05$). The number of cells is indicated on one field of view. Number of observations – 10

В процессе исследования было зарегистрировано непрерывное уменьшение митотического индекса. Максимальное количество клеток, экспрессирующих белок Ki-67, было замечено на ранних сроках исследования в группе с применением в дефекте кровяного сгустка ($70,1 \pm 1,2 \%$); меньшее – в дефекте костной ткани с применением материалов «Остеоматрикс» ($59,5 \pm 1,0 \%$) и «Аллоплант» ($54,6 \pm 2,4 \%$) (табл. 2). Таким образом, в послеоперационном периоде происходит увеличение пролиферативной активности клеток.

На ранних сроках исследования клеточные популяции в дефекте костной ткани находились в состоянии ак-

тивной пролиферации; впоследствии ее интенсивность снизилась (Там же).

Применение аутогенной костной стружки, полученной во время операции, сокращало срок новообразования костной ткани более чем в 2 раза, и в основном завершалось к 90-му дню послеоперационного периода.

На более поздних сроках наблюдалось снижение количества клеток, экспрессирующих Ki-67. На 90-й день после операции с применением в дефекте челюсти аутогенной костной стружки митотический индекс составил $26,3 \pm 0,7 \%$, что приближено к значению аналогичного показателя в здоровой костной ткани. На 120-й



день статистически значимо похожая ситуация наблюдалась в дефекте костной ткани с применением материала «Аллоплант» (25 ± 1 %); к 150-му дню – материала «Остеоматрикс» (26 ± 1 %). На 180-й день после операции с применением в дефекте кровяного сгустка индекс пролиферации сни-

зился до значений здоровой челюстной костной ткани ($25,1 \pm 0,9$ %) (Там же).

Таким образом, наибольшая вероятность полноценного восстановления дефекта костной ткани после зубосохраняющих операций возможна при применении аутогенной костной стружки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Боровский Е. В.** Состояние эндодонтии в цифрах и фактах // Клиническая стоматология. 2003. № 1. С. 38–40. URL: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=89830>
2. **Лобанов С. А., Усиков Д. В.** Применение препарата «Коллапан» при зубосохраняющих операциях // Институт стоматологии. 2010. № 4. С. 38–89. URL: https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwww.collapan.ru%2Fmedia%2Fstati%2Fstomatolog%2Flobanov_zubosohran_operacii_2010.pdf&name=lobanov_zubosohran_operacii_2010.pdf&lang=ru&c=5808bb1958fb&page=1
3. **Байрамов Г. Р.** Исследование пародонтопатогенной микрофлоры и ее этиологическая значимость в формировании разных клинических форм воспалительных заболеваний пародонта // Клиническая стоматология. 2010. № 2. С. 84–86. URL: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=224363>
4. Возрастные и гендерные аспекты изменения минеральной плотности опорно-двигательного аппарата, зубов и пародонта / С. Ю. Максюков [и др.] // Фундаментальные исследования. 2012. № 5-1. С. 74–79. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vozzrastnye-i-gendernye-aspekty-izmeneniya-mineralnoy-plotnosti-oporno-dvigatelnoy-apparata-zubov-i-parodonta>
5. Ремоделирование тканей пародонта в динамике ортодонтического перемещения зубов у собак / Е. В. Венскель [и др.] // Стоматология детского возраста и профилактика. 2007. № 3. С. 29–31. URL: <http://elidrary.ru/download/88580758.pdf>
6. **Kumar G. L., Rudbeck L.** Иммуногистохимические методы: руководство / Пер. с англ. ; под ред. Г. А. Франка, П. Г. Малькова. М., 2011. 224 с. URL: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fistina.msu.ru%2Fmedia%2Fpublications%2Fbook%2Fa91%2F142%2F997256%2F207.pdf&name=207.pdf&lang=ru&c=57db9e451309>
7. **Петрова С. В., Райхлина Н. Т.** Руководство по иммуногистохимической диагностике опухолей человека. – 3-е изд., перераб. и доп. Казань, 2004. 456 с. URL: <http://ru.calameo.com/read/0004188086240ba409e6e>
8. **Albrektsson T., Jonansson C.** Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration // Eur. Spine J. 2001. Vol. 10. P. 96–101. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s005860100282>
9. **An Y. H., Martin K. L.** Handbook of histology methods for bone and cartilage. New York : Humana Press, 2003. 587 p. URL: <http://ua.booksee.org/book/557834>
10. **Chen D., Zhao M., Mundy G. R.** Bone morphogenetic proteins // Growth Factors. 2004. Vol. 22, No 4. P. 233–241. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15621726>

Поступила 14.09.2016; принята к публикации 23.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Столяров Максим Вениаминович, ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» (Россия, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 15), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6637-189X>**, mctolarov@gmail.com

Любовцева Любовь Алексеевна, заведующая кафедрой общей и клинической морфологии и судебной медицины ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова» (Россия, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 15), доктор биологических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2818-568X>**, maks.stoliarow2017@yandex.ru



Московский Александр Владимирович, профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» (Россия, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 15), доктор медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1356-027X>**, moskov_av@mail.ru

Кандейкина Наталия Владимировна, доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» (Россия, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 15), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0430-336X>**, stomatolog100@yandex.ru

Вклад соавторов: Основную часть работы по изучению литературы, проведению исследования и оформлению статьи провел М. В. Столяров. Изучение материала под микроскопом проводилось под руководством Л. А. Любוצевой. Сравнение материала и обсуждение результатов осуществлялось вместе с профессором А. В. Московским. Клиническая часть работы была проведена совместно с Н. В. Кандейкиной. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Borovskiy YeV. Sostoyaniye endodontii v tsifrakh i faktakh [Status endodontics in facts and figures]. *Klinicheskaya stomatologiya* = Clinical Dentistry. 2003; 1:38-40. Available from: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=89830> (In Russ.)
2. Lobanov SA, Usikov DV. Primeneniye preparata "Kollapan" pri zubosokhranyayushchikh operatsiyakh [Using of medicament Kollapan in toothprotecting operations]. *Institut stomatologii* = Institute of Dentistry. 2010; 4:38-89. Available from: https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fwww.collapan.ru%2Fmedia%2Fstatii%2Fstomatolog%2Flobanov_zubosohran_operacii_2010.pdf&name=lobanov_zubosohran_operacii_2010.pdf&lang=ru&c=5808bb1958fb&page=1 (In Russ.)
3. Bayramov GR. Issledovaniye parodontopatogennoy mikroflory i yeye etiologicheskaya znachimost v formirovaniy raznykh klinicheskikh form vospalitelnykh zabolevaniy parodonta [Research of periodontal microflora and its etiological significance in the formation of different clinical forms of periodontal inflammatory diseases]. *Klinicheskaya stomatologiya* = Clinical Dentistry. 2010; 2:84-86. Available from: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=224363> (In Russ.)
4. Maksyukov SYu, Gadzhyieva DN, Shakhbazov OI, Belikova YeS. Vozrastnyye i gendernyye aspekty izmeneniya mineralnoy plotnosti oporno-dvigatel'nogo apparata, zubov i parodonta [Age and gender changes of mineral density of the musculoskeletal system, teeth and periodontal]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2012; 5(1):74-79. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/voznastnye-i-gendernyye-aspekty-izmeneniya-mineralnoy-plotnosti-oporno-dvigatel'nogo-apparata-zubov-i-parodonta> (In Russ.)
5. Venskel YeV. Remodelirovaniye tkaney parodonta v dinamike ortodonticheskogo peremeshcheniya zubov u sobak [Remodeling of periodontal tissues in orthodontic tooth movement dynamics in dogs]. *Stomatologiya detskogo vozrasta i profilaktika* = Child Dentistry and Prevention. 2007; 3:29-31. (In Russ.)
6. Kumar GL, Rudbeck L. Immunogistokhimicheskiye metody: rukovodstvo [Immunohistochemical techniques: A guide]. Moscow; 2011. Available from: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fistina.msu.ru%2Fmedia%2Fpublications%2Fbook%2Fa91%2F142%2F997256%2F207.pdf&name=207.pdf&lang=ru&c=57db9e451309> (In Russ.)
7. Petrova SV, Raykhlina NT. Rukovodstvo po immunogistokhimicheskoy diagnostike opukholey cheloveka [Guide to immunohistochemical diagnosis of human tumors]. 3rd ed. Kazan; 2004. Available from: <http://ru.calameo.com/read/0004188086240ba409e6e> (In Russ.)
8. Albrektsson T, Jonansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur. Spine J.* 2001; 10:96-101. Available from: <http://link.springer.com/article/10.1007/s005860100282>
9. An YH, Martin KL. Handbook of histology methods for bone and cartilage. New York: Humana Press; 2003. Available from: <http://ua.booksee.org/book/557834>
10. Chen D, Zhao M, Mundy GR. Bone morphogenetic proteins. *Growth Factors.* 2004; 4(22):233-241. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15621726>

Submitted 14.09.2016; revised 23.10.2016; published online 30.12.2016

*About the authors:*

Maksim V. Stolyarov, assistant of Oral and Maxillofacial Surgery and Dentistry Chair, Ulyanov Chuvash State University (15, Moskovskiy Ave., Cheboksary, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6637-189X>**, mctolarov@gmail.com

Lyubov A. Lyubovtseva, head of General and Clinical Morphology and Forensic Medicine Chair, Ulyanov Chuvash State University (15, Moskovskiy Ave., Cheboksary, Russia), Dr.Sci. (Biology), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2818-568X>**, maks.stoliarow2017@yandex.ru

Aleksandr V. Moskovskiy, professor of Prosthetic Dentistry and Orthodontics Chair, Ulyanov Chuvash State University (15, Moskovskiy Ave., Cheboksary, Russia), Dr.Sci. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1356-027X>**, moskov_av@mail.ru

Nataliya V. Kandeykina, associate professor of Prosthetic Dentistry and Orthodontics Chair, Ulyanov Chuvash State University (15, Moskovskiy Ave., Cheboksary, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0430-336X>**, stomatolog100@yandex.ru

Contribution of the authors: M. V. Stolyarov studied scientific publications, conducted research and wrote the draft of the article; L. A. Lyubovtseva carried out under the leadership of studying of material under a microscope; A. V. Moskovskiy developed a conceptual framework and discussed the results of research; A. N. Kandeykina participated in clinical research. All authors have read and approved the final manuscript.



ЛАЗЕРОТЕРАПИЯ В КОРРЕКЦИИ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ПАРОДОНТИТЕ

**Е. В. Кондюрова, В. А. Трофимов, Е. В. Дерябина,
Р. А. Адамчик, Э. И. Полозова*, В. В. Акимов, В. А. Прытков**
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)
*ellanac78@mail.ru

Введение. Поражение пародонта приводит к существенному снижению функциональных возможностей зубочелюстной системы, является важнейшей причиной потери зубов, негативно отражается на состоянии всех органов и систем организма. У больных с патологией пародонта ухудшаются показатели качества жизни, что представляет серьезную медицинскую и социальную проблему. Высокая распространенность данной патологии определяет необходимость оптимизации тактики лечения и методов профилактики с учетом патогенетических механизмов развития заболевания.

Материалы и методы. Были обследованы 24 пациента с хроническим пародонтитом (группа сравнения), получавших традиционное комплексное противовоспалительное лечение и 28 пациентов основной группы, в которой в дополнение к базисной терапии проводилась лазеротерапия в течение 10 дней. Эффективность терапии оценивали по динамике клинического состояния пациента и результатам лабораторных методов исследования на 5-е и 10-е сут. лечения. Кроме этого, была произведена оценка состояния тканей пародонта по клиническим индексам; исследованы интенсивность свободнорадикальных реакций перекисного окисления липидов и липидный состав плазмы крови.

Результаты исследования. Хронический пародонтит сопровождается интенсификацией процессов свободнорадикального окисления липидов, повышением ферментативной активности фосфолипазы A_2 плазмы крови и изменениями липидного метаболизма, что свидетельствует о развитии нарушений гомеостаза на организменном уровне. Традиционная терапия хронического пародонтита не купирует данные изменения. Использование комбинированной терапии эффективно корригирует воспалительные изменения в тканях пародонта, а также интенсификацию перекисного окисления липидов и нарушения липидного метаболизма в плазме крови при данном заболевании.

Обсуждение и заключения. В работе показано, что важнейшей причиной, определяющей прогрессирование хронического генерализованного пародонтита, являются липидные дестабилизации в плазме крови. Наиболее значимые изменения при этом заключаются в повышении содержания лизофосфолипидов и свободных жирных кислот в плазме крови. Дисбаланс состава фосфолипидов свидетельствует о возникновении мембранодестабилизирующих явлений при хроническом пародонтите. Традиционная терапия, проводимая при данном заболевании, не дает существенного положительного эффекта в коррекции нарушений липидного метаболизма. Использование комбинированной терапии способствует существенному уменьшению расстройств гомеостаза, что подтверждается менее значимыми изменениями липидного метаболизма, обуславливая, таким образом, сравнительно лучшие клинико-лабораторные характеристики пациентов.

Ключевые слова: хронический генерализованный пародонтит, липиды, перекисное окисление липидов, лазеротерапия, комбинированная терапия

Для цитирования: Лазеротерапия в коррекции липидного обмена при хроническом пародонтите / Е. В. Кондюрова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 548–560. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.548-560

© Кондюрова Е. В., Трофимов В. А., Дерябина Е. В.,
Адамчик Р. А., Полозова Э. И., Акимов В. В., Прытков В. А., 2016



LASER THERAPY IN CORRECTION OF LIPID METABOLISM IN CHRONIC PERIODONTITIS

**Ye. V. Kondyurova, V. A. Trofimov, Ye. V. Deryabina,
R. A. Adamchik, E. I. Polozova*, V. V. Akimov, V. A. Prytkov**
National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)
*ellanac78@mail.ru

Introduction. The article deals with optimization of tactics of treatment and prevention of periodontitis. Periodontal disease leads to a significant decrease in the functionality of the dentition. It is a major cause of tooth loss in adults. Periodontitis negatively affects all organs and systems of the body. Patients with periodontitis worsen the quality of life. The high prevalence of periodontal disease determines the need for optimizing tactics of treatment and prevention methods.

Materials and Methods. 24 patients with chronic periodontitis (control group) who received conventional complex anti-inflammatory treatment and 28 patients of the main group, which in addition to the basic treatment of laser therapy was conducted for 10 days, were examined. The effectiveness of therapy was assessed by dynamics of clinical condition of the patient, and by results of laboratory studies on the 5th and 10th day of treatment. Assessment of the periodontal clinical indexes was conducted. The intensity of free radical reactions of lipid peroxidation and the lipid composition of blood plasma were studied.

Results. Chronic periodontitis is accompanied by intensification of free radical oxidation of lipids. It increases enzymatic activity of phospholipase A₂ in the blood plasma and changes the lipid metabolism. All things indicate the development of homeostasis at the organism level. Traditional therapy of chronic periodontitis doesn't eliminate the changes. The use of combination therapy effectively corrects inflammatory changes in periodontal tissues, as well as intensification of lipid peroxidation and disorders of lipid metabolism in the blood plasma in this disease.

Discussion and Conclusions. The authors demonstrate that the most important reason determining the progression of chronic generalized periodontitis is lipid destabilization in the blood plasma. The most significant changes in this case are characterized by a higher content of lysophospholipids and free fatty acids in blood plasma. The imbalance in the composition of the phospholipids indicates membrane-destabilizing phenomena in chronic periodontitis. Traditional therapy for chronic periodontitis does not give a significant positive effect in the correction of lipid metabolism. The use of combination therapy in chronic periodontitis contributes to a significant reduction of disorders of homeostasis, as evidenced by less significant changes in the lipid metabolism, causing thereby a relatively better clinical and laboratory characteristics of patients.

Keywords: chronic generalized periodontitis, lipids, lipid peroxidation, laser therapy, combination therapy

For citation: Kondyurova YeV, Trofimov VA, Deryabina YeV, Adamchik RA, Polozova EI, Akimov VV, Prytkov VA. Laser therapy in correction of lipid metabolism in chronic periodontitis. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):548-560. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.548-560

Введение

В последние годы заболевания пародонта являются одной из наиболее распространенных и сложных патологий в стоматологии как в России, так и за рубежом [1]. Воспалительная патология пародонта занимает лидирующее место по частоте и распространенности в структуре стоматологических забо-

леваний, являясь основной причиной потери зубов. Заболевания пародонта также негативно влияют на показатели здоровья и качества жизни человека [2].

Обзор литературы

Хронический генерализованный пародонтит (ХГП) представляет собой самую тяжелую и широко распространенную патологию пародонта.



Данное заболевание сопровождается значительным нарушением функций зубочелюстной системы, приводящим к неизбежной гибели удерживающего аппарата зубов и, в итоге, их выпадению [3].

Воспалительную патологию пародонта целесообразно рассматривать в рамках системного процесса, который протекает на фоне как местных, так и общих нарушений со стороны иммунной защиты и сопровождается формированием иммунопатологий [4–5]. Полиэтиологичность и множество факторов риска, характерных для воспалительных заболеваний пародонта, приводят к существенным трудностям в плане диагностики, прогноза течения и выбора тактики лечения данной патологии [6].

Важнейшим направлением изучения патогенетических основ многих заболеваний, в том числе ХГП, выступает исследование мембранодестабилизирующих явлений, оцениваемых степенью нарушений липидного состава клеточных структур. Известно, что структурные и функциональные изменения мембран клеток являются неотъемлемым компонентом различных патологий, напрямую определяемых модификациями метаболизма липидов. Важно отметить, что в регуляции данного метаболизма принимают участие такие патологические процессы как перекисное окисление липидов (ПОЛ) и активизация фосфолипидных систем [7].

Комплексный подход, подразумевающий участие специалистов различного профиля, является основой современного лечения воспалительных заболеваний пародонта. Имеющееся в настоящее время огромное количество схем и методов лечения воспалительных заболеваний пародонта не обеспечивает достаточность проводимой терапии [1]. Несмотря на активное изучение болезней пародонта, они остаются недостаточно исследованны-

ми до настоящего времени, а вопрос диагностики и, соответственно, оптимизации лечения хронических воспалительных заболеваний пародонта продолжает быть актуальным [8–12]. В связи с этим целью работы является изучение эффективности комбинированной (традиционная + лазерная) терапии при ХГП.

Материалы и методы

Работа основана на клинико-лабораторных исследованиях 24 больных хроническим пародонтитом (группа сравнения), получавших традиционное комплексное противовоспалительное лечение. Пациентам проводилась профессиональная гигиена (снятие зубных отложений) с последующим закладыванием в патологические зубодесневые карманы взвеси хлоргексидина с метрогилом; назначались ротовые ванночки с димексидом или диоксидином. В процессе лечения использовались повязки с противовоспалительными мазями (метрогил дента, бутадіонова мазь, лингезин, холисал). Противовоспалительная терапия включала antimicrobные препараты (клиостом, флагил, метрогил), нестероидные противовоспалительные препараты (индометацин), десенсибилизирующие средства (диазолин), витаминотерапию (А, С, Р). В дальнейшем при наличии показаний проводился кюретаж и избирательное пришлифовывание зубов.

В основной группе, состоящей из 28 пациентов, кроме базисной терапии, в течение 10 дней проводилась ежедневная лазеротерапия аппаратом «Матрикс» (регистрационное удостоверение № ФСР 2007/00589, сертификат соответствия РОСС RU.AB35.Д00082) с использованием головки КЛЮЗ (длина волны – 635 нм, мощность – 2 мВт). Транскутанное лазерное облучение крови осуществлялось в проекции кубитальной вены в течение 15 мин, затем – в проекции сонных (синокаротидная зона) и позвоночных артерий (субокципитальная зона, на уровне С₁–



С_{II}) по 5 мин на каждую область с двух сторон.

Рандомизацию пациентов в исследованных группах проводили с учетом возрастного и полового состава, причин возникновения, клинической картины, результатов лабораторных и инструментальных методов исследования и других критериев. Исследования были одобрены локальным этическим комитетом Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва».

Эффективность терапии оценивали по динамике клинического состояния больного, результатов лабораторных методов исследования на 5-е и 10-е сут. лечения.

Оценку изменения тканей пародонта проводили по ряду клинических индексов: папиллярно-маргинально-альвеолярный индекс (РМА) использовали для оценки степени воспаления десны; индекс гигиены апроксимальных (контактных) поверхностей зубов (API) определяли для изучения состояния гигиены полости рта и динамики образования налета и зубного камня; индекс кровоточивости десневой борозды (SBI) использовали для оценки выраженности воспаления десны. Также проводили оценку функционального состояния сосудов пародонта, стойкости капилляров десны методом дозированного вакуума; оценивали упрощенный гигиенический индекс ОНI-s; проводили определение числового значения пробы Шиллера-Писарева, пародонтального индекса (ПИ) [13].

Кроме рутинных лабораторных показателей, исследовали интенсивность свободнорадикальных реакций перекисного окисления липидов (ПОЛ). Содержание диеновых (ДК) и триеновых конъюгатов (ТК) в плазме крови оценивали спектрофотометрическим методом по наличию максимумов поглощения при $\lambda = 232$ и $\lambda = 275$ нм, уровень ТБК-активных продуктов (МДА) – по реакции с 2-ти-

обарбитуровой кислотой. Активность фосфолипазы А₂ (Фл А₂) определяли потенциометрическим методом в среде, содержащей 10 ммоль трис-НСl-буфер (рН 8,0), 150 ммоль тритон X-100, 10 ммоль CaCl₂ и 1,2 ммоль фосфатидилхолина. Активность супероксиддисмутазы (СОД) оценивали по способности фермента тормозить аэробное восстановление нитросинего тетразолия до формазана.

Экстрагирование липидов из плазмы крови проводили хлороформметаноловой смесью, фракционирование осуществлялось методом тонкослойной хроматографии. Для молекулярного анализа липидов был использован денситометр «Model GS-670» («BIORAD», США) с соответствующим программным обеспечением («Phosphor Analyst/PS Sotware»).

Статистический анализ полученных данных осуществляли методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента. Вычисления, отражающие динамику изученных показателей, производили с помощью программы «MS Excel»; также был использован текстовый процессор «MS Office Word».

Результаты исследования

Оценка состояния тканей пародонта показала, что у больных ХГП отмечалось значительное увеличение РМА – на 2 449 % ($p < 0,05$), API – на 1 548 % ($p < 0,05$), SBI – на 1 530 % ($p < 0,05$). При этом наблюдалось достоверное уменьшение стойкости капилляров десны, определяемой пробой Кулаженко и рост показателей ОНI-s, пробы Шиллера-Писарева и пародонтального индекса (табл. 1).

В группе сравнения, получавшей традиционное лечение, к 5–10-м сут. наблюдалось снижение показателей РМА, API, SBI, ОНI-s, пробы Шиллера-Писарева и пародонтального индекса с увеличением стойкости капилляров десны. При проведении комбинированной терапии в группе сравнения

была отмечена значимая положительная динамика всех исследуемых показателей к 10-м сут. лечения. Наиболее существенные изменения определялись в отношении пародонтального индекса, который у пациентов основ-

ной группы был ниже, чем в группе сравнения, на 54,5 % ($p < 0,05$) на конечном этапе наблюдения, но выше нормы в 18 раз. Данный показатель в группе сравнения превышал нормальное значение более чем в 40 раз.

Таблица 1

Table 1

Индексальная оценка состояния тканей пародонта при ХГП на фоне применения комбинированной терапии в динамике ($M \pm m$, $n = 24$ и $n = 28$)

Indexical assessment of periodontal tissues in chronic periodontitis on the background of the use of combination therapy in the dynamics ($M \pm m$, $n = 24$ and $n = 28$)

Показатель / Indicator	Группа / Group	Норма / Norm	До лечения / Before treatment	Сроки наблюдения / Term of monitoring	
				5-е сут. / 5 th day	10-е сут. / 10 th day
РМА, %	I	1,35 ± 0,02	34,47 ± 1,93#	30,62 ± 1,36#	18,76 ± 1,13#
	II			14,49 ± 0,67#	10,98 ± 0,60#
SBI, %	I	4,02 ± 0,07	65,61 ± 4,23#	59,31 ± 2,64#	27,86 ± 1,69#
	II			16,44 ± 0,97#	13,50 ± 0,67#
API, %	I	4,14 ± 0,07	68,19 ± 3,86#	55,81 ± 2,28#	25,03 ± 1,32#
	II			21,97 ± 1,21#	17,58 ± 0,94#
Проба Кулаженко, с / Kulazhenko's test, sec	I	63,67 ± 2,97	15,79 ± 0,94#	19,80 ± 0,98#	33,15 ± 1,15#
	II			40,51 ± 1,77#	43,81 ± 2,31#
Проба Шиллера–Писарева, баллы / Schiller's test, point	I	1,88 ± 0,34	5,06 ± 0,23#	4,45 ± 0,15#	2,96 ± 0,15#
	II			2,71 ± 0,10#	2,62 ± 0,14#
ОНИ-s, %	I	1,09 ± 0,23	2,78 ± 0,09#	2,31 ± 0,07#	2,00 ± 0,05#
	II			1,73 ± 0,06#	1,64 ± 0,03#
ПИ, баллы / PI, point	I	0,07 ± 0,03	4,18 ± 0,19#	3,83 ± 0,16#	2,88 ± 0,12#
	II			1,55 ± 0,08#	1,31 ± 0,06#

Примечание: I – группа сравнения, II – основная группа; # – достоверные изменения по отношению к норме при $p < 0,05$; полужирный шрифт – достоверные изменения относительно группы сравнения при $p < 0,05$ (здесь и далее) / Note: I – control group, II – main group; # – authentic changes in relation to normal at $p < 0,05$; bold – significant changes relative to the reference group at $p < 0,05$ (hereafter)



Известно, что при различных патологиях, в том числе ХГП, отмечается значительная интенсификация свободнорадикальных процессов ПОЛ на фоне угнетения антиоксидантной системы. Нами была изучена динамика показателей ПОЛ и активности Фл А₂ в плазме крови больных с генерализованным пародонтитом.

В ходе исследования было отмечено, что при хроническом пародонтите наблюдается активация процессов ПОЛ, что подтверждалось ростом содержания ДК и ТК, уровня МДА, фосфолипазной активности, а также снижением антиоксидантного потенциала плазмы крови, оцененного показателем СОД (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Показатели перекисного окисления липидов и активность Фл А₂ у больных ХГП на фоне применения комбинированной терапии (M ± m, n = 24 и n = 28)

Indicators of lipid peroxidation and activity of phospholipase A₂ in patients with chronic periodontitis on the background of combined therapy (M ± m, n = 24 and n = 28)

Показатель / Indicator	Группа / Group	Норма / Norm	До лечения / Before treatment	Сроки наблюдения / Term of monitoring	
				5-е сут. / 5 th day	10-е сут. / 10 th day
ДК, усл.ед./мг липидов / DK, unit/mg of lipids	I	0,25 ± 0,01	0,39 ± 0,03#	0,36 ± 0,02#	0,31 ± 0,02#
	II			0,30 ± 0,02#	0,27 ± 0,01
ТК, усл.ед./мг липидов / TK, unit/mg of lipids	I	0,22 ± 0,01	0,37 ± 0,02#	0,38 ± 0,02#	0,35 ± 0,02#
	II			0,32 ± 0,02#	0,29 ± 0,01#
МДА, нМоль/г белка / MDA, nMol/g of protein	I	2,47 ± 0,12	3,26 ± 0,16#	3,29 ± 0,13#	3,15 ± 0,12#
	II			2,95 ± 0,09#	2,83 ± 0,08#
Фл А ₂ , мкМоль/с/г белка / FL A ₂ , mol/sec/g of protein	I	0,076 ± 0,003	0,142 ± 0,012#	0,119 ± 0,007#	0,111 ± 0,009#
	II			0,102 ± 0,008#	0,090 ± 0,005#
СОД (усл.ед./мг белка) / SOD, units/mg of protein	I	3,24 ± 0,11	2,57 ± 0,12#	2,70 ± 0,14#	2,66 ± 0,13#
	II			2,93 ± 0,13	3,09 ± 0,15

До лечения ХГП у пациентов группы сравнения показатели ДК, ТК, МДА превосходили норму на 58,3, 71,4 и 32,2 % ($p < 0,05$) соответственно. Активность Фл A_2 была выше исхода на 88 % ($p < 0,05$); показатель супероксиддисмутазной активности – на 20,7 % ($p < 0,05$) был ниже нормального значения.

После начала традиционной терапии количество первичных и вторичных продуктов ПОЛ в плазме крови на 5-е сут. существенно не изменилось. Содержание ДК, ТК и МДА при этом продолжало превышать норму на 45,8, 76,2 и 33,5 % ($p < 0,05$) соответственно. Достоверных изменений данных показателей относительно уровня до лечения обнаружено не было. Активность Фл A_2 незначительно снижалась. Уровень СОД несколько увеличивался, но оставался ниже нормального показателя на 16,7 % ($p < 0,05$).

К 10-м сут. терапии ХГП показатели ДК, ТК и МДА продолжали превосходить первоначальные данные на 25, 61,9 и 27,8 % ($p < 0,05$) соответственно; уровень ДК достоверно снизился на 21,1 % ($p < 0,05$). Два других показателя статистически значимых отличий от первоначального уровня не имели. Активность Фл A_2 превышала норму на 46,7 % ($p < 0,05$); супероксиддисмутазная активность от исхода практически не отличалась и была ниже нормы на 18 % ($p < 0,05$).

Таким образом, ХГП сопровождается интенсификацией процессов липоперекисления и активизацией Фл A_2 плазмы крови, что свидетельствует о развитии нарушений гомеостаза на организменном уровне. Традиционная терапия ХГП не купирует изменения со стороны процессов ПОЛ, способствуя лишь появлению незначительной тенденции к снижению уровня анализируемых показателей.

Кроме этого, было установлено, что при комбинированной терапии ХГП происходит существенное снижение интенсивности процессов ПОЛ,

активности Фл A_2 и повышение активности СОД. Динамика анализируемых показателей была более значимой в основной группе по отношению к группе сравнения: количество ДК и ТК во II группе было меньше по сравнению с данными пациентов I группы на 13,4–17,6 % ($p < 0,05$) на всем протяжении терапии.

Под влиянием комбинированной терапии уровень ТБК-реагирующих продуктов был ниже относительно группы сравнения на 5–10-е сут. на 10 % ($p < 0,05$). Положительная динамика была отмечена также в отношении активности Фл A_2 : в основной группе ее активность по сравнению с группой сравнения была ниже на 15,1–19,1 % ($p < 0,05$) соответственно этапам исследования.

На фоне применения комбинированной терапии активность СОД увеличивалась относительно данных I группы на 15,8 % ($p < 0,05$) при анализе показателя на 10-е сут. исследования.

Известно, что липиды являются основным молекулярным компонентом клеточных мембран. Функционирование клеточных структур, органа и организма в целом зависит от количественного и качественного состава липидов. В связи с этим на следующем этапе работы мы проанализировали изменения состава липидов в плазме крови при ХГП с целью совершенствования представлений о патогенезе данного заболевания и определения путей оптимизации его лечения.

Согласно результатам проведенных нами ранее исследований, течение ХГП сопряжено с развитием дестабилизации состава липидов плазмы крови [14]. У больных ХГП при поступлении (до начала традиционной терапии) наблюдались значительные модификации липидного спектра плазмы крови: содержание свободных жирных кислот (СЖК) превышало норму на 29 % ($p < 0,05$). Уровень эфиров холестерина, суммарных фосфолипидов (СФЛ),



холестерола (ХС) и триацилглицеролов (ТАГ) статистически значимо не отличался от нормы.

При проведении традиционной терапии ХГП содержание СЖК несколько уменьшалось. К 5-м сут. терапии показатель СЖК был выше нормы на 20 % ($p < 0,05$), не имея статистически значимых отличий от исходного уровня. К концу терапии содержание СЖК также не отличалось достоверно от исхода, оставаясь выше нормального показателя на 15 % ($p < 0,05$).

Показатели эфиров холестерина, ТАГ, ХС и СФЛ в динамике исследования как на 5-е, так и на 10-е сут. терапии на фоне рассматриваемой патологии не имели статистически значимых отличий от нормы.

Использование комбинированной терапии более существенно корригировало нарушения липидного обмена в плазме крови. Все исследуемые показатели статистически значимо не отличались от нормы к 10-м сут. терапии.

Фосфолипидный состав плазмы крови (табл. 3) при ХГП характеризовался увеличением фракций лизофосфолипидов (ЛФЛ), сфингомиелина (СМ) и фосфатидилэтаноламина (ФЭА). Данные показатели превышали норму на 584, 8 и 14 % ($p < 0,05$) соответственно. Уровень фосфатидилинозита (ФИ) и фосфатидилсерина (ФС) снижался на 61 и 39 % ($p < 0,05$) соответственно. Только удельный вес фосфатидилхолина (ФХ) на фоне ХГП статистически значимо от нормы не отличался.

Проведение традиционной терапии ХГП способствовало изменению уровня фосфолипидов в плазме крови: удельный вес лизофосфатидилхолина (ЛФХ) на 5-е сут. лечения заметно снизился, превышая норму на 549 % ($p < 0,05$). При этом достоверных отличий от первоначального показателя зафиксировано не было. К 10-м сут. терапии содержание данной фракции липидов продолжало снижаться, но показатель оставался выше нормы на 515 % ($p < 0,05$).

Таблица 3

Table 3

Динамика фосфолипидного состава плазмы крови больных ХГП на фоне применения комбинированной терапии, % ($M \pm m$, $n = 24$ и $n = 28$)

Dynamics of phospholipid composition (%) of blood plasma of patients chronic periodontitis on the background of combined therapy ($M \pm m$, $n = 24$ and $n = 28$)

Показатель / Indicator	Группа / Group	Норма / Norm	До лечения / Before treatment	Сроки наблюдения / Term of monitoring	
				5-е сут. / 5 th day	10-е сут. / 10 th day
1	2	3	4	5	6
ФЭА / PEА	I	11,98 ± 0,49	13,65 ± 0,40#	14,67 ± 0,60#	15,25 ± 0,84#
	II			13,05 ± 0,34	12,09 ± 0,31
ФИ / FI	I	1,81 ± 0,11	0,71 ± 0,03#	0,77 ± 0,05#	1,26 ± 0,06#
	II			0,98 ± 0,03#	1,64 ± 0,09

Окончание табл. 3 / End of table 3

1	2	3	4	5	6
ФС / FS	I	13,97 ± 0,60	8,54 ± 0,35#	9,71 ± 0,54#	10,68 ± 0,47#
	II			11,85 ± 0,42#	13,51 ± 0,53
ФХ / CP	I	55,54 ± 3,18	51,07 ± 2,54	52,14 ± 3,18	52,04 ± 3,24
	II			53,79 ± 2,48	55,08 ± 2,91
СМ / CM	I	22,20 ± 1,16	24,04 ± 1,13#	25,08 ± 1,28#	25,09 ± 1,13#
	II			23,59 ± 1,05	22,43 ± 0,92
ЛФХ / LPC	I	0,33 ± 0,02	2,28 ± 0,18#	2,19 ± 0,19#	2,05 ± 0,17#
	II			1,46 ± 0,09#	0,85 ± 0,04#

На 5-е сут. после начала лечения уровень ФС был по-прежнему ниже исходного уровня на 30 % ($p < 0,05$), статистически значимо не отличаясь от показателя до начала лечения. К 10-м сут. данный показатель достоверно уменьшался относительно исходного значения на 25 % ($p < 0,05$) и был ниже нормы на 24 % ($p < 0,05$). Содержание ФИ на фоне традиционной терапии увеличивалось к 10-м сут. лечения, не достигая нормы на 30 % ($p < 0,05$).

Анализируя показатели ФЭА и СМ, отметим, что на 5-е сут. они превышали норму на 22 и 13 % ($p < 0,05$) соответственно. К 10-м сут. лечения уровень данных фосфолипидов продолжал возрастать и стал превосходить норму на 27 и 13 % ($p < 0,05$) соответственно.

Таким образом, на фоне применения традиционного метода лечения при ХГП не наблюдается желаемого положительного результата в отношении коррекции возникших дислипидных нарушений метаболизма. Исследование показало, что традиционная терапия заметно не влияет на состав липидов плазмы крови.

Использование комбинированной терапии эффективно корригировало нарушения состава фосфолипидов в плазме крови. Как видно из табл. 3, к 10-м сут. терапии практически все исследуемые показатели не имели досто-

верных отличий от нормы. Только уровень ЛФХ превышал норму на 157,6 % ($p < 0,05$), но был достоверно ниже, чем в группе сравнения.

Обсуждение и заключения

Подводя итог проведенному исследованию, следует отметить, что для больных ХГП наряду с ухудшением клинических признаков состояния тканей пародонта характерна активация процессов ПОЛ на фоне угнетения антиоксидантного потенциала, сопровождающая провоспалительные изменения пародонта. Формирующаяся на фоне структурно-функциональных изменений тканевой вторичная гипоксия приводит к интенсификации свободнорадикального окисления липидов и накоплению липоперекисей, которые, как известно, повреждают биологические мембраны. Важнейшей причиной прогрессирования патологического процесса и возникновения выраженных расстройств гомеостаза при ХГП является разбалансировка липидного метаболизма в плазме крови. Наиболее значимые нарушения при этом определяются ростом уровня ЛФЛ и СЖК. Изменения состава фосфолипидов можно расценивать как мембранодестабилизирующие процессы.

Выполненное исследование демонстрирует отсутствие желаемого положительного результата традиционной



терапии по коррекции нарушений липидного метаболизма у больных ХГП.

Применение комбинированной (традиционной и лазерной) терапии у больных ХГП приводит к уменьшению воспалительного процесса и предупреждает прогрессирование заболевания по сравнению со стандартной терапией, применяемой при классической

схеме лечения данной патологии. Использование комбинированной терапии при ХГП способствует существенному уменьшению расстройств гомеостаза, что подтверждается менее значимыми изменениями липидного метаболизма, обусловливая, таким образом, сравнительно лучшие клинико-лабораторные характеристики пациентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Гажва С. И., Гулуев Р. С.** Распространенность и интенсивность воспалительных заболеваний пародонта (обзор литературы) // *Обозрение*. 2012. № 1 (75). С. 13–16. URL: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/75_1_2012.pdf

2. The global burden of oral diseases and risks to oral health / P. E. Petersen [et al.] // *Bulletin of World Health Organization*. 2005. No. 83. P. 661–669. URL: <http://www.who.int/bulletin/volumes/83/9/661.pdf>.

3. **Кульченко А. А.** Патогенетические механизмы антиоксидантной терапии в профилактике хронического пародонтита : дисс. ... канд. мед. наук. Москва, 2013. 114 с. URL: <http://medical-diss.com/medicina/patogeneticheskie-mehanizmy-antioksidantnoy-terapii-v-profilaktike-hronicheskogo-parodontita>

4. **Блеканова В. А.** Коррекция нарушений липидного состава мембраны эритроцитов при хроническом генерализованном пародонтите // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7051>

5. Влияние системной энзимотерапии на заживление пародонтального дефекта в эксперименте / Л. А. Дмитриева [и др.] // *Обозрение*. 2011. № 2 (73). С. 20–22. URL: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/73_2_2011.pdf

6. **Albandar J. M.** Epidemiology and risk factors of periodontal diseases // *Dent. Clin. North. Am.* 2005. No. 49 (3). P. 517–532. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011853205000194>

7. **Захаркин А. Г.** Нарушения липидного метаболизма в формировании молекулярных механизмов патогенеза хронического пародонтита : дисс. ... докт. мед. наук. Москва, 2012. 326 с. URL: <http://medical-diss.com/medicina/narusheniya-lipidnogo-metabolizma-v-formirovanii-molekulyarnyh-mehanizmov-patogeneza-hronicheskogo-parodontita>

8. **Бондаренко Н. Н., Балахонцева Е. В.** Оценка уровня диагностики и лечения пациентов с заболеваниями пародонта в стоматологических клиниках Нижегородской области // *Обозрение*. 2012. № 1 (75). С. 22. URL: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/75_1_2012.pdf

9. Совершенствование терапии и профилактики хронического генерализованного пародонтита / Г. А. Дроздова [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 2. URL: www.science-education.ru/102-5811

10. Антиоксидантная терапия в комплексном лечении пародонтита / П. В. Иванов [и др.] // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 11. С. 23–27. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3889>

11. **Кравец О. Н.** Выявление и коррекция нарушений свободнорадикального окисления в ротовой жидкости при хроническом генерализованном пародонтите : дисс. ... канд. мед. наук. Казань, 2008. 141 с. URL: <http://www.dissercat.com/content/vyavlenie-i-korreksiya-narushenii-svobodnoradikalnogo-okislenniya-v-rotovoi-zhidkosti-pri-k>

12. Current concepts in periodontal pathogenesis / P. M. Preshaw [et al.] // *Dent Update*. 2004. No. 31 (10). P. 570–572; 574–578. URL: <http://dental-update.co.uk/issuesThreeArticle.asp?ec=av+1&aKey=421>

13. **Цепов Л. М., Николаев А. И., Михеева Е. А.** Диагностика, лечение и профилактика заболеваний пародонта. М. : МЕДпресс-информ, 2008. 272 с. URL: <https://docviewer.yandex.ru/?url=yadisk-public%3A%2F%2FqLxfr5ReuLy3kxjahEfU7ICFjPKI636xe41PvaqlOUk%3D&name=Цепов.%20Заболевания%20пародонта.pdf&c=57f234216fb6&page=2>

14. Состояние липидного метаболизма плазмы крови при хроническом генерализованном пародонтите / Е. В. Кондюрова [и др.] // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 1-3. С. 528–531. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37053>

Поступила 28.09.2016; принята к публикации 19.10.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Кондюрова Евгения Викторовна, заведующая кафедрой стоматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9586-655X>**, eva1342@yandex.ru

Трофимов Владимир Александрович, заведующий кафедрой генетики Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор биологических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1294-1417>**, geneticLab@yandex.ru

Дерябина Екатерина Владимировна, аспирантка кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8406-5105>**, var.61@yandex.ru

Адамчик Руслан Александрович, доцент кафедры стоматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3483-288X>**, var.61@yandex.ru

Полозова Элла Ивановна, профессор кафедры госпитальной терапии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2693-420X>**, ellanac78@mail.ru

Акимов Владимир Владимирович, соискатель кафедры стоматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5579-3517>**, var.61@yandex.ru

Прытков Владимир Александрович, доцент кафедры стоматологии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3035-2720>**, var.61@yandex.ru

Вклад соавторов: Е. В. Кондюрова: изучение концепции, научное руководство, критический анализ и доработка текста; В. А. Трофимов: формализованный анализ данных, редактирование текста; Е. В. Дерябина: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; Р. А. Адамчик: анализ литературных данных, проведение клинической работы; Э. И. Полозова: изучение концепции, научное руководство, критический анализ и доработка текста; В. В. Акимов: верстка, анализ литературных данных, компьютерные работы; В. А. Прытков: проведение клинической работы. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Gzhva SI, Guluyev RS. Rasprostranennost i intensivnost vospalitelnykh zabolevaniy parodontita (obzor literatury) [The prevalence and intensity of inflammatory periodontal diseases (review)]. *Obozrenie = Survey*. 2012; 1(75):13-16. Available from: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/75_1_2012.pdf (In Russ.)

2. Petersen PE, Bourgeois D, Ogawa H, Estupinan-Day S, Ndiaye C. The global burden of oral diseases and risks to oral health. *Bulletin of World Health Organization*. 2005; 83:661-669. Available from: <http://www.who.int/bulletin/volumes/83/9/661.pdf>

3. Kulchenko AA. Patogeneticheskiye mekhanizmy antioksidantnoy terapii v profilaktike khronicheskogo parodontita: dissertatsiya kandidata meditsinskikh nauk [Pathogenic mechanisms of antioxidant therapy in the prevention of chronic periodontitis: Ph.D. (Medicine) thesis]. Moscow; 2013. Available from: <http://medical-diss.com/medicina/patogeneticheskie-mekhanizmy-antioksidantnoy-terapii-v-profilaktike-khronicheskogo-parodontita> (In Russ.)



4. Blekanova VA. Korrektsiya narusheniy lipidnogo sostava membrany eritrotsitov pri khronicheskom generalizovannom parodontite [Correction of disturbances of lipide structure of the membrane of erythrocytes at chronic generalized periodontitis]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2012; 5. Available from: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7051> (In Russ.)

5. Dmitriyeva LA, Zayratyants OV, Nemeryuk DA, Gerasimova YeV. Vliyaniye sistemnoy enzimoterapii na zazhivleniye parodontalnogo defekta v eksperimente [Effect of systemic enzyme therapy in the healing of periodontal defects in the experiment]. *Obozreniye* = Survey. 2011; 2(73):20-22. Available from: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/73_2_2011.pdf (In Russ.)

6. Albandar JM. Epidemiology and risk factors of periodontal diseases. *Dent. Clin. North. Am.* 2005; 3(49):517-532. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011853205000194>

7. Zakharkin AG. Narusheniya lipidnogo metabolizma v formirovaniy molekulyarnykh mekhanizmov patogeneza khronicheskogo parodontita: diss. ... dokt. med. nauk [Disorders of lipid metabolism in the formation of the molecular mechanisms of the pathogenesis of chronic periodontitis: Dr.Sci. (Medicine) thesis]. Moscow; 2012. Available from: <http://medical-diss.com/medicina/narusheniya-lipidnogo-metabolizma-v-formirovaniy-molekulyarnykh-mekhanizmov-patogeneza-hronicheskogo-parodontita> (In Russ.)

8. Bondarenko NN, Balakhontseva YeV. Otsenka urovnya diagnostiki i lecheniya patsiyentov s zabolevaniyami parodonta v stomatologicheskikh klinikakh Nizhegorodskoy oblasti [Evaluation of diagnosis and treatment of patients with periodontal diseases in dental clinics in the Nizhny Novgorod Region]. *Obozreniye* = Survey. 2012; 1(75):22. Available from: http://www.e-stomatology.ru/prensa/periodika/obozrenie/75_1_2012.pdf (In Russ.)

9. Drozdova GA, Ganich TV, Zakharkin AG, Prytkov VA, Kulchenko AA, Chibisov SM, et al. Sovershenstvovaniye terapii i profilaktiki khronicheskogo generalizovannogo parodontita [Improving the treatment and prevention of chronic generalized periodontitis]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2012; 2. Available from: www.science-education.ru/102-5811 (In Russ.)

10. Ivanov PV, Malanin IV, Stomatov AV. Antioksidantnaya terapiya v kompleksnom lechenii parodontita [Antioxidant therapy in complex treatment of periodontitis]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2008; 11:23-27. Available from: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3889> (In Russ.)

11. Kravets ON. Vyyavleniye i korrektsiya narusheniy svobodnoradikalnogo okisleniya v rotovoy zhidkosti pri khronicheskom generalizovannom parodontite: diss. ... kand. med. nauk [Identification and correction of free radical oxidation in oral fluid in chronic generalized periodontitis: Ph.D. (Medicine) thesis]. Kazan, 2008. Available from: <http://www.disscat.com/content/vyyavlenie-i-korrektsiya-narusheniisvobodnoradikalnogo-okisleniya-v-rotovoi-zhidkosti-pri-k> (In Russ.)

12. Preshaw PM, Seymour RA, Heasman PA. Current concepts in periodontal pathogenesis. *Dent Update.* 2004; 10(31):570-572; 574-578. Available from: <http://dental-update.co.uk/issuesThreeArticle.asp?ec=av+1&aKey=421>

13. Tsepov LM, Nikolayev AI, Mikheyeva YeA. Diagnostika, lecheniye i profilaktika zabolevaniy parodonta [Diagnosis, treatment and prevention of periodontal diseases]. Moscow: MEDpress-inform; 2008. Available from: <https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-disk-public%3A%2F%2FqLxfR5ReuLy3kxjahEfU7ICFjPKI636xe4IPvaqlOUk%3D&name=Tsepov.%20Zabolevaniya%20parodonta.pdf&c=57f234216fb6&page=2> (In Russ.)

14. Kondyurova YeV, Prytkov VA, Vlasov AP, Trofimov VA, Adamchik RA. Sostoyaniye lipidnogo metabolizma plazmy krovi pri khronicheskom generalizovannom parodontite [Status of lipid metabolism in blood plasma in chronic generalized periodontitis]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2015; 1-3:528-531. Available from: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37053> (In Russ.)

Submitted 28.09.2016; accepted for publication 19.10.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Yevgeniya V. Kondyurova, head of Chair of Dentistry, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), docent, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9586-655X>, eva1342@yandex.ru



Vladimir A. Trofimov, head of Chair of Genetics, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Biology), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1294-1417>**, geneticLab@yandex.ru

Yekaterina V. Deryabina, postgraduate student, Chair of Surgery, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8406-5105>**, vap.61@yandex.ru

Ruslan A. Adamchik, associate professor of Chair of Dentistry, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3483-288X>**, vap.61@yandex.ru

Ella I. Polozova, professor of Chair of Surgery, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2693-420X>**, ellanac78@mail.ru

Vladimir V. Akimov, Ph.D. candidate of Chair of Dentistry, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5579-3517>**, vap.61@yandex.ru

Vladimir A. Prytkov, associate professor of Chair of Dentistry, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3035-2720>**, vap.61@yandex.ru

The contribution of the authors: Ye. V. Kondyurova studied concept, provided overall direction, made a critical analysis and edited the text of the article; V. A. Trofimov analyzed data and revised text; Ye. V. Deryabina wrote the preliminary version of the article and analyzed the scientific literature; R. A. Adamchik did clinical work; E. I. Polozova studied concept, did scientific management, critically reviewed and revised text; V. V. Akimov finalized the article, analyzed the literature data and worked with data on the computer; V. A. Prytkov conducted clinical work. The authors 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 (а также хронику, рецензии и обзоры) кандидатов и докторов наук, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов (в соавторстве) 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 уже опубликованных статей или статей, отправленных на публикацию в другие журналы. Мониторинг несанкционированного цитирования осуществляется с помощью систем «Антиплагиат» и «CrossCheck». Журнал приветствует статьи, имеющие потенциально высокий импакт-фактор и/или 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 (<http://www.udk-codes.net>).

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; срок действия рецензии – 1 год).

Рецензент на основании анализа статьи принимает решение или рекомендовать 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 на 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

Компьютерная верстка А. С. Полутина

Информационная поддержка Р. В. Карасева

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Подписано в печать 01.12.2016 г. Дата выхода в свет 30.12.2016 г.

Формат 70 × 108 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 12,86.

Тираж 250 экз. Заказ № 1639. 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 and senior student (co-authored). Articles should conform to the subject of the journal and report on the results of theoretical and/or experimental studies of the authors (as well as highlights, and reviews).

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 Medicobiological 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 potentially high impact factor or 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 (<http://www.udk-codes.net>).

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; term of validity “Mordovia University Bulletin” 1 year).

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 recall 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*

Desktop publishing *A. S. Polutin*

Informational support *R. V. Karasev*

Distributed in Russian Federation and foreign countries.

Signed to print 01.12.16. Date of publishing 30.12.16.

Sheet size 70 × 108 ¹/₁₆. Conventional printed sheets 12,86.

Number of copies 250. Order no. 1639. Free price.

Publishing House of Mordovia State University

24, Sovetskaya St., 430005 Saransk, Republic of Mordovia