

DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504 ISSN 0236-2910 (Print), 2313-0636 (Online)

Том 25, № 4. 2015



Vol. 25, no. 4. 2015

Основан в январе 1990 г.
Выходит один раз в квартал

Founded in January 1990
Goes out trimestal

**ВЕСТНИК
МОРДОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**
MORDOVIA UNIVERSITY BULLETIN
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
SCHOLARLY JOURNAL
DOI: 10.15507/0236-2910

**Серия «Естественные
и технические науки»**

**“Engineering and Natural
Sciences” series**

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

**Founder and Publisher –
Federal
state-financed
academic
institution of
higher education
“Ogarev Mordovia
State University”**

E-mail: vestnik_mrsu@mail.ru
http: vestnik.mrsu.ru

При цитировании ссылка на журнал «Вестник Мордовского университета» обязательна
Полное или частичное воспроизведение в СМИ материалов, опубликованных
в журнале, допускается только с разрешения редакции

Журнал индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)
и международных базах данных EBSCO, Index Copernicus,
Open Academic Journals Index (OAJI), Scientific Index Services (SIS) и ResearchBib

Журнал 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 (Роскомнадзоре),
свидетельство ПИ № ФС77-54869 от 26.07.2013 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 Str., 430005, Saransk,
Republic of Mordovia, Russia
Telephone, fax: +7 (8342) 48-14-24

© ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Вдовин Сергей Михайлович – *главный редактор*, ректор ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, gector@mrsu.ru (Саранск, Россия)

Маргулис Виктор Александрович – *главный научный редактор*, заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)

Полутин Сергей Викторович – *заместитель главного редактора*, директор НИИ регионологии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», доктор социологических наук, polutin.sergei@yandex.ru (Саранск, Россия)

Гордина Светлана Викторовна – *ответственный секретарь*, кандидат педагогических наук, vestnik_mrsu@mail.ru (Саранск, Россия)

Сенин Пётр Васильевич – *научный руководитель серии «Естественные и технические науки»*, проректор по научной работе ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Саранск, Россия)

Ватолкина Наталья Шамильевна – *координатор международного совета*, начальник управления международных связей ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, доцент, 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, руководитель отдела канцерогенеза и онкогеронтологии НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова Росмедтехнологий, доктор медицинских наук, профессор (Санкт-Петербург, Россия)

Балыкова Лариса Александровна – директор медицинского института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)

Дианов Евгений Михайлович – академик Российской академии наук, директор ФГБУН «Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, доктор физико-математических наук», профессор (Москва, Россия)

Ервиченков Александр Анатольевич – профессор кафедры инфекционных болезней Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

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

Железникова Ольга Евгеньевна – декан светотехнического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет 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 (Нижний Новгород, Россия)

Калашников Владимир Иванович – заведующий кафедрой технологии строительных материалов и деревообработки ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», доктор технических наук, профессор (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 ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук (Саранск, Россия)

Котляров Андрей Александрович – декан медицинского факультета ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет» (МИФИ) Обнинского института атомной энергетики (ИАТЭ), доктор медицинских наук, профессор (Обнинск, Россия)

Котин Александр Владимирович – заведующий кафедрой механизации переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор (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 (Москва, Россия)

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

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

Нишев Константин Николаевич – директор Института физики и химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)

Прытков Юрий Николаевич – директор Аграрного института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет 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 (Пенза, Россия)

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

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

Буквич Райко Миланович, профессор Географического института «Jovan Cvijic» Сербской академии наук и искусств, доктор экономических наук, профессор (Белград, Сербия)

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

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

Ганс Гуски, член сообщества патологии г. Потсдама, доктор 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, реабилитированный доктор, профессор (Бабтай, Литва)

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

Лайко Ирина Михайловна, старший научный сотрудник, заведующий отделом селекции и семеноводства конопли опытной станции 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 «Jovan Cvijic» Сербской академии наук и искусств, доктор географических наук, профессор (Белград, Сербия)

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

Яновский Олег Антонович, заведующий кафедрой истории России Белорусского государственного университета, кандидат исторических наук, профессор (Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL BOARD

Vdovin Sergey Mikhaylovich – *Editor in chief*, Rector of Ogarev Mordovia State University, Ph.D. (Economy), rector@mrsu.ru (Saransk, Russia)

Margulis Viktor Aleksandrovich – *Science editor in chief*, head of Theoretical Physics chair of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)

Polutin Sergey Viktorovich – *Deputy editor in chief*, Director of Research Institute of Regional Studies under Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Sociology), professor, polutin.sergei@yandex.ru (Saransk, Russia)

Gordina Svetlana Viktorovna – *Executive editor*, Ph.D. (Pedagogy), vestnik_mrsu@mail.ru (Saransk, Russia)

Senin Petr Vasilyevich – *scientific supervisor of “Engineering and Natural Sciences” series*, vice rector for science and research, Dr.Sci. (Engineering), professor, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Saransk, Russia)

Vatolkina Natalya Shamilyevna – *international council coordinator*, head of International Office, Ph.D. (Economy), docent, kafedra507@yandex.ru (Saransk, Russia)

EDITORIAL BOARD

Ageyev Fail Taipovich – head of Research and Prophylaxis division of Cardiology Research Institute named after A. L. Myasnikov 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)

Alekseyeva Yekaterina Iosifovna – head of rheumatologic department of Federal State Budgetary Scientific Institution “Scientific Centre of Children Health”, dean of Pediatrics department of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

Anisimov Vladimir Nikolayevich – member-correspondent of Russian Academy of Sciences, head of Oncogenesis department of Oncology Research Institute named after N. N. Petrov, Dr.Sci. (Medicine), professor (St. Petersburg, Russia)

Balykova Larisa Aleksandrovna – director of Medical Institute of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)

Dianov Yevgeniy Mikhaylovich – academician of Russian Academy of Sciences, director of Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Moscow, Russia)

Yerovichenkov Aleksandr Anatolyevich – professor of Infectious Diseases chair of I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

Yerofeyev Vladimir Trofimovich – member-correspondent of Russian Academy of architecture and Construction sciences, dean of Architectural And Civil Engineering faculty of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)

Zheleznikova Olga Yevgenyevna – dean of Light Engineering faculty of Ogarev Mordovia State University, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)

Igumnov Leonid Aleksandrovich – 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 (N. Novgorod, Russia)

Kalashnikov Vladimir Ivanovich – head of Construction Material Technology and Woodwork chair of Penza State University of Architecture and Building, Dr.Sci. (Engineering), professor (Penza, Russia)

Kalinin Arian Pavlovich – 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)

Kechemaykin Vladimir Nikolayevich – director of Ruzaevka campus of Ogarev Mordovia State University, Ph.D. (Economy) (Saransk, Russia)

Kotlyarov Andrey Aleksandrovich – dean of Medical faculty of National Research Nuclear University MEPhI, Dr.Sci. (Medicine), professor (Obninsk, Russia)

Kotin Aleksandr Vladimirovich – head of Mechanization of Agriproduct Processing of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)

Lishmanov Yuriy Borisovich – 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)

Makarov Leonid Mikhaylovich – head of Syncopal conditions and Cardiac Arrhythmia in Children and Juveniles of Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

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

Mikayeva Svetlana Anatolyevna – professor of Electrotechnics and Electronics chair of Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)



Nishchev Konstantin Nikolayevich – director of Institute of Physics and Chemistry of Ogarev Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)

Prytkov Yuriy Nikolayevich – director of Institute of Agriculture of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)

Skryabin Vladimir Aleksandrovich – professor Machine Engineering Technology chair of Penza State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Penza, Russia)

Chuchayev Ivan Ivanovich – dean of Mathematics and Information Technology faculty of Ogarev Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)

Yamashkin Anatoliy Aleksandrovich – head of Land Utilization and Landscape Design chair of Ogarev Mordovia State University, Dr.Sci. (Geography), professor (Saransk, Russia)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Allahverdi Surhay, head of Forest Industry chair of Bartin University, Dr.Sci. (Biology), professor (Bartin, Turkey)

Bobryshev Yuriy Veniaminovich, senior research associate of School of Medical), Faculty of Medicine, University of New South Wales, Dr.Sci. (Biology), professor (Sydney, Australia)

Bukvich Rayko Milanovich, professor of Geographic institute “Jovan Cvijic” of Serbian academy of sciences and arts, Dr.Sci.(Economy), professor (Belgrad, Serbia)

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

Burbulis Natalya, director of Institute of Rural Culture, research adviser of Agrobiotechnology laboratories of Aleksandras Stulginskis University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Kaunas, Lithuania)

Guski Gans, Potsdam Pathology community member, Dr.Sci. (Medicine), professor (Berlin, Germany)

Duchovskis Pavel Vikentuevich, head of Plant Physiology Laboratories of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, fellow of Lithuanian Academy of sciences, Dr. habil., professor (Babtai, Lithuania)

Kusmartsev Fedor Vasilyevich, dean of Institute Physics Loughborough University, Ph.D. (Phys.-Math.) (Loughborough, Great Britain)

Layko Irina Mikhaylovna, 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 Ukraine, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Gluhov, Ukraine)

Radovanovich Milan Miloshevich, director of Geographic institute “Jovan Cvijic” of Serbian academy of sciences and arts, Dr.Sci. (Geography) professor (Belgrad, Serbia)

Sosunov Aleksandr Alekseyevich, Columbia University, department of neurosurgery, Dr.Sci. (Medicine), professor (New York, USA)

Yanovskiy Oleg Antonovich, head of Russian history chair of Belorussia State University, Ph.D. (History), professor (Minsk, Belarus)

**СОДЕРЖАНИЕ****ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Гарина С. В., Люпаев Б. М., Никишин М. Б. Оптимизация многокритериальных решений	12
Певцова Т. А., Рябухина Е. А., Гущина О. А. Вычисление индекса сезонности	18

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ивенин С. В. Обработка пластин монокристаллического карбида кремния	37
---	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

Анохин А. В., Купряшкин В. Ф., Чаткин М. Н., Наумкин Н. И., Капустин А. Г., Уланов А. С. Динамический анализ загрузки двигателя фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200	51
Чугунов М. В., Кузьмичёв Н. Д., Полунина И. Н. Вычислительная эффективность для решения задачи оптимизации оболочек вращения при ограничениях на флаттер	63
Скрябин В. А. Особенности обработки сложного профиля деталей уплотненными мелкодисперсными абразивными средами	72
Скрябин В. А. Влияние основных параметров процесса обработки на шероховатость поверхностей деталей сложного профиля	90
Семина И. А. Транспорт Республики Мордовия: факторы, проблемы и перспективы развития	103

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Shahadat M. K., Rahman M. A., Miah M. G., Hoque A. K. M. A., Cundu S. Mulch and irrigation effects on tomato performance and weed infestation.....	113
Ивойлов А. В., Чернышёва Т. Н. Влияние агрометеорологических условий периода вегетации и перезимовки растений на урожайность озимой пшеницы в центральной части Республики Мордовии	125



CONTENTS

PHYSICS AND MATHEMATICS

- Garina S. V., Lyupayev B. M., Nikishin M. B.** Optimization of multi-criteria decisions12
- Pevtsova T. A., Ryabukhina Ye. A., Gushchina O. A.** Calculation of seasonality index18

ELECTRICAL ENGINEERING

- Ivenin S. V.** Monocrystalline silicon carbide wafers processing37

MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

- Anokhin A. V., Kupryashkin N. M., Chatkin N. M., Naumkin N. I.,
Kapustin A. G., Ulanov A. S.** Dynamic load analysis
of the motor cultivator “Neva” MK-200 engine51
- Chugunov M. V., Kuzmichev N. D., Polunina I. N.** Computational
efficiency for optimization problems of revolution shells with flutter constraints63
- Skryabin V. A.** Features of intricate-shaped parts by close-settled fine abrasive media72
- Skryabin V. A.** Basic parameters effect of treatment process
on intricate-shaped parts’ surfaces roughness90
- Semina I. A.** Transport in Republic of Mordovia: factors, problems and prospects103

AGRICULTURAL SCIENCES

- Shahadat M. K., Rahman M. A., Miah M. G., Hoque A. K. M. A., Cundu S.**
Mulch and irrigation effects on tomato performance and weed infestation113
- Ivoylov A. V., Chernysheva T. N.** Influence of agrometeorological
conditions growing season and overwintering plants on yield
of winter wheat in central part of Republic of Mordovia125

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПУБЛИКАЦИЙ**Медицина**

- Балашов Владимир Павлович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Бебнева 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 Николаевна, 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 (Нижегород, 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)
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)
Ураков Александр Ливиевич, доктор медицинских наук, профессор (Ижевск, Россия)

Биология

- Десяткин 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)
Курков Андрей Семенович, доктор физико-математических наук, профессор (Москва, Россия)
Лозунов 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)
Аирият Альберт Аббасович, 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 (Нижегород, Россия)
Ивлиев Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор (Волгоград, Россия)
Коваленко Ольга Юрьевна, доктор технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Кокинов Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Кудяев Сергей Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Митин Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Панфилов Степан Александрович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Римшин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)
Федоренко Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Чугунов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Шичков Леонид Петрович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)

Науки о Земле. Сельскохозяйственные науки

- Вельматов Анатолий Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Емельянов Сергей Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Саранск, Россия)
Ершнев Александр Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Зенкин Александр Сергеевич, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Ивойлов Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Каверин Александр Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Масляев Валерий Николаевич, кандидат географических наук, доцент (Саранск, Россия)
Матяев Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Носонов Артур Модестович, доктор географических наук, доцент (Саранск, Россия)
Смолин Николай Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Тельцов Леонид Петрович, доктор естественных наук, профессор (Саранск, Россия)



INSTITUTE OF PUBLICATIONS PEER REVIEWING

Medicine

- Balashov Vladimir Pavlovich*, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Bebneva Tamara Nikolayevna, Ph.D. (Medicine) (Moscow, Russia)
Vlasov Aleksey Petrovich, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Gerasimova Natalya Gennadyevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Goncharova Lyudmila Nikolayevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Davydkin Vasily Ivanovich, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
Yeremina Yelena Yuryevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Inchina Vera Ivanovna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Kamayev Igor Aleksandrovich, Dr.Sci. (Medicine), professor (Nizhniy Novgorod, Russia)
Korableva Natalya Nikolayevna, Ph.D. (Medicine), docent (Syktyvkar, Russia)
Leshchankina Nina Yuryevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Mozerov Sergey Alekseyevich, Dr.Sci. (Medicine), professor (Obninsk, Russia)
Moiseyeva Inessa Yakovlevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Penza, Russia)
Mosina Larisa Mikhaylovna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Novikova Lyudmila Vladimirovna, Ph.D. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Pavelkina Vera Fedorovna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Piksin Ivan Nikiforovich, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Plotnikova Nadezhda Alekseyevna, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
Stepanenko Irina Semenovna, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
Uraikov Aleksandr Liviyeich, Dr.Sci. (Medicine), professor (Izhevsk, Russia)

Biology

- Devyatkin Arkadiy Anatolyevich*, Ph.D. (Biology), docent (Saransk, Russia)
Kadimaliyev Davud Ali-ogly, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Kuznetsov Vyacheslav Aleksandrovich, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Lukatkin Aleksandr Stepanovich, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Silyayeva Tatyana Borisovna, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Trofimov Vladimir Aleksandrovich, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Shlyakhtin Gennadiy Viktorovich, Dr.Sci. (Biology), professor (Saratov, Russia)

Mathematics, Physics and Chemistry

- Andreyev Aleksandr Sergeyevich*, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Ulyanovsk, Russia)
Vasin Viktor Alekseyevich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Zyuzin Aleksandr Mikhaylovich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Kurkov Andrey Semenovich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Moscow, Russia)
Logunov Mikhail Vladimirovich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
Ryabochkina Polina Anatolyevna, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Smolyanov Andrey Grigoryevich, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Tomilin Oleg Borisovich, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Shorokhov Aleksey Vladimirovich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Shchennikov Vladimir Nikolayevich, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)

Engineering science

- Amelkina Svetlana Anatolyevna*, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Ashryatov Albert Abdyasovich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Bogatov Andrey Dmitriyevich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Gorbunov Aleksey Alekseyevich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Zhivotovskiy Grigoriy Albertovich, Dr.Sci. (Engineering), docent (Nizhniy Novgorod, Russia)
Ivliyev Sergey Nikolayevich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Kamayev Valeriy Anatolyevich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Volgograd, Russia)
Kovalenko Olga Yuryevna, Dr.Sci. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Kokinov Andrey Mikhaylovich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Kudayev Sergey Petrovich, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
Mitin Eduard Valeryevich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Panfilov Stepan Aleksandrovich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Rimshin Vladimir Ivanovich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)
Fedorenko Anatoliy Stepanovich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
Chugunov Mikhail Vladimirovich, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
Shichkov Leonid Petrovich, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)

Earth science. Agricultural science

- Velmatov Anatoliy Pavlovich*, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Yemelyanov Sergey Vladimirovich, Ph.D. (Agriculture), docent (Saransk, Russia)
Yeryashev Aleksandr Pavlovich, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Zenkin Aleksandr Sergeyevich, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
Ivoylev Aleksandr Vasilyevich, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Kaverin Aleksandr Vladimirovich, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Maslyayev Valeriy Nikolayevich, Ph.D. (Geography), docent (Saransk, Russia)
Matyayev Vladimir Ivanovich, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Nosonov Artur Modestovich, Dr.Sci. (Geography), docent (Saransk, Russia)
Smolin Nikolay Vasilyevich, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
Teltsov Leonid Petrovich, Nat.Sc.Dr., professor (Saransk, Russia)

Научный журнал «Вестник Мордовского университета»

принимает не опубликованные ранее научные статьи и дискуссионные материалы научного характера (а также хронику, рецензии и обзоры) 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 в соответствии с Номенклатурой 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 индексируется в базах данных:
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
EBSCO
Index Copernicus
Scientific Indexing Services (SIS)
ResearchBib
Open Academic Journals Index (OAJI)
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)

Журнал является членом 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., Doctor of Sciences, lecturer, post-graduate student and senior student (co-authored).

The journal covers the following specialties:

- 01.04.00 Physics
- 05.13.00 Computer Science and Computer Facilities 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 indexed by databases:

Russian Science Citation Index (RSCI)

EBSCO

Index Copernicus

Scientific Indexing Services (SIS)

ResearchBib

Open Academic Journals Index (OAJI)

Directory of Research Journals Indexing (DRJI)

The journal is a member of Cross Ref and ASEP

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



ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

С. В. Гарина, Б. М. Люпаев, М. Б. Никишин
*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

В статье рассматриваются многокритериальные решения для задач оптимизации в строительстве; предлагается метод поиска оптимальных решений. Данные задачи имеют большую сложность, поскольку к их оптимальным решениям предъявляются требования по нескольким критериям. В эти решения постоянно вносятся изменения и дополнения, что приводит к необходимости оперативной проверки их оптимальности. Методы поиска оптимальных решений согласуются с деталями на каждом этапе реализации. Требованиями по критериям могут быть затраты средств, времени, материалов, а также социальные и экологические последствия от реализации решений. Каждому критерию соответствуют целевые функции, имеющие свои оптимальные значения. Реализация подобных многокритериальных решений – сложная задача. В статье рассматриваются возрастающие и убывающие части целевой функции; дается оценка оптимального решения с помощью коэффициента эффективности. Учитывается степень влияния переменных на целевую функцию, а также определяются отклонения функций от замены оптимальных значений. Предлагается рассмотреть приоритеты по каждому критерию. Полученное решение позволяет свести задачу к однокритериальной. На примере стоимости строительных объектов даются расчеты компромиссных решений с учетом рассматриваемых критериев. Приводится пример двух целевых функций, одна из которых выражает количество квартир, а другая – стоимость. В результате расчетов обобщенная целевая функция достигает оптимального значения. Предполагается в общем случае использовать приоритетные оптимальные решения по отдельным критериям. Варианты решений сравниваются с допустимым значением целевой функции. Когда наборы частных решений являются стохастическими, для отдельных блоков задачи эффективны компромиссные решения.

Ключевые слова: оптимизация, оптимальное решение, многокритериальное решение, метод поиска, целевая функция, сооружение, однокритериальная задача

OPTIMIZATION OF MULTI-CRITERIA DECISIONS

S. V. Garina, B. M. Lyupayev, M. B. Nikishin
Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The article deals with multi-criteria decisions for optimization in construction industry. A method for finding optimal decisions is offered. The optimization problems involve great difficulty as multi-criteria requirements are placed on their optimal solutions. Changes and additions are constantly made in multi-criteria decisions that cause the need for a rapid analysis of their optimality. The methods of making optimal decisions and details are coordinated at each stage of implementing. The requirements on criteria can be cash and time expenditure, material costs, and social and environmental consequences of the implementation of the decisions. Each criterion has target functions with optimal values. The implementation of multi-criteria decisions is a difficult task. The article deals with increasing and decreasing parts of the target function and assesses the optimal solution by a factor of efficiency. It takes into account



the impact of variables on the target function, and identifies the function deviations from replacement of optimal values. It is proposed to consider the priorities for each criterion. The solution obtained makes it possible to convert the problem to a single-criterion problem. The article describes computation for compromise solutions in view of the criteria considered on the example of the cost of construction projects. The example of the two target functions is given: one function shows the number of apartments, and the other – their value. Through calculations, the generalized target function gets an optimum value. It is expected that in the general case the priority optimum solutions by selected criteria will be used. Possible solutions are compared with the permissible value of the target function. When the sets of particular solutions are stochastic, compromise solutions are effective for the some blocks of a problem.

Keywords: optimization, optimal solution, multi-criteria decision, method of search, target function, structure, single-criterion problem

К решениям задач предъявляются требования по следующим критериям: затраты средств, времени, материалов, а также отсутствие или приемлемые социальные и экологические последствия от их реализации. Кроме этого, выделяют архитектурное оформление зданий и сооружений, доступность услуг, размеры зарплат, пенсий, пособий и т. д.

Требования заказчика – решающий критерий оценки решения. Если решение затрагивает интересы нескольких сторон, то его принимают на собраниях, в судах, на выборах, референдумах, международных конференциях (например, решение о завершении строительства объектов к олимпиаде в г. Сочи, несмотря на их удорожание в десятки раз).

Реализация подобных многокритериальных решений – сложная задача. Например, из соображений экономической целесообразности было принято решение увеличить бюджет страны за счет значительного возрастания отчислений с доходов частных предпринимателей. Социальные последствия этого шага представляют собой убыток бюджета. Аналогичный эффект произвело повышение стоимости алкоголя. Предполагаем похожую ситуацию в случае повышения цен на табак. Недоучет социальных критериев приводит к уменьшению доходов бюджета на всех уровнях за счет сокращения продаж этих товаров и роста расходов на здравоохранение и контролирующие органы.

В многокритериальные решения постоянно вносятся изменения и дополнения, что приводит к необходимости оперативной проверки их оптимальности. Сложность задачи сводится к определению соотношения оптимальных решений для многих критериев.

Многокритериальные решения являются компромиссными, удовлетворяющими все заинтересованные стороны. Методы поиска оптимальных решений и детали согласуются на каждом этапе реализации. Например, при строительстве автобана Москва – Санкт-Петербург была достигнута договоренность с экологами о компенсации потерь в лесном хозяйстве и др.

Рассмотрим некоторые методы поиска компромиссных решений многокритериальных задач (оценка оптимальности решений однокритериальных задач предлагается в [2–3; 5]).

Задана функция $F(x)$ вида

$$F(x) = \sum_{i=1}^n A_i f_i(x) + C_0, \quad (1)$$

где $A_i F_i(x)$ – переменная часть $F(x)$; C_0 – постоянная часть.

Экстремум данной функции достигается, когда

$$\sum_{i=1}^n \frac{dA_i f_i(x)}{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{dA_i^+(x)}{dx} - \sum_{i=1}^n \frac{dA_i^-(x)}{dx} = 0. \quad (2)$$

Обозначим

$$\sum_{i=1}^n \frac{dA_i^+(x)}{dx} = \bar{W}; \sum_{i=1}^n \frac{dA_i^-(x)}{dx} = \bar{W}, \quad (3)$$

где $\bar{W}$, $\bar{W}$ – возрастающая и убывающая части выражения (2) при увеличении x соответственно.

Оптимальному значению функции (1) соответствует

$$\bar{W} = \bar{W}. \quad (4)$$

Степень отклонения x от x^{omn} оценивается коэффициентом эффективности:

$$\Theta = \bar{W} / \bar{W}. \quad (5)$$

При оптимальном решении $\Theta = 1$.

В многокритериальных задачах каждому критерию соответствуют целевые функции $F_i(x)$, ..., $F_n(x)$, которые имеют свои оптимальные значения:

$$F_1(x_1^{omn}), \dots, F_n(x_n^{omn}). \quad (6)$$

Рассмотрим, как используются функции (6) при определении компромиссного значения переменных x_k :

$$F_{1k}(x_k) \dots F_{nk}(x_k). \quad (7)$$

Отклонения в (6) от замены оптимальных значений $x_1^{omn} \dots x_n^{omn}$ на $x_1^k \dots x_n^k$ в (7):

$$\Delta F_{1k} = F_{1k}(x_1^k) - F_{1k}(x_1^{omn});$$

$$\Delta F_n = F_n(x_1^k) - F_n(x_n^{omn}). \quad (8)$$

Приведем примеры поиска компромиссных значений x_k .

Даны две независимые функции:

$$F_1 = 2x_1 + \frac{2}{x_1}; x_1^{omn} = 1; F_1^{omn} = 4;$$

$$\bar{W}_1 = 2; \bar{W}_1 = \frac{2}{x_1^2}; -_1 = \frac{2}{\frac{2}{x_1^2}} = 1; x_1^{omn} = 1;$$

$$F_2 = x_2 + \frac{4}{x_2}; x_2^{omn} = 2; F_2^{omn} = 4;$$

$$\bar{W}_2 = 1; \bar{W}_2 = \frac{4}{x_2^2}; -_2 = \frac{1}{\frac{4}{x_2^2}} = 1; x_2^{omn} = 2,$$

где F_1 – время строительства в годах, а F_2 – стоимость строительства в млн руб. Тогда

$$F_{1k} = 2x_k + \frac{2}{x_k}; F_{2k} = x_k + \frac{4}{x_k}. \quad (9)$$

Обобщенная целевая функция примет вид

$$F_k = 2x_k + x_k + \frac{2}{x_k} + \frac{4}{x_k} = 3x_k + \frac{6}{x_k};$$

$$\bar{W}_k = 3; \bar{W}_k = \frac{6}{x_k^2}; (x_k^{omn})^2 = \frac{6}{3} = 2; x_k = 1,41;$$

$F_{1k} = 2 * 1,41 + \frac{2}{1,41} = 4,24$ потери времени 0,24 мес.;

$F_{2k} = 1,41 + \frac{4}{1,41} = 4,23$ потери в 0,23 млн руб.

Если X – это десятки работающих, то для оптимального варианта F_1^{omn} требуется 10 чел., для F_2^{omn} – 20.

Если x_k^* допустима для $F_1^* \geq 4,1$, то задача становится однокритериальной для функции F_1 . Тогда

$$F_1^* = 2x_k^* + \frac{2}{x_k^*}, \quad (10)$$

или $2(x_k^*)^2 - F_1^* \cdot x_k^* + 2 = 0$, $x_k^* = 1,25$
и $F_1^* = 4,1$ г.



При этом $F_2 = 1,25 + \frac{4}{1,25} = 4,45$ млн руб.

Вариант решения необходимо сравнивать с допустимым значением целевой функции (10). В рассмотренном случае F_1^* и F_2^* равны 4,1/4,45.

В рассмотренных примерах приоритеты критериев равны $\Pi_1 = \Pi_2 = 1$. Если приоритеты разные $\Pi_1 = 1; \Pi_2 = 0,5$ и т. д., тогда F_1 в полученных выражениях необходимо заменить на $\Pi_1 \cdot F_1$, а F_2 – на $\Pi_2 \cdot F_2$. Значения $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ согласуются с заинтересованными сторонами. Компромиссное решение в этом случае нужно пересмотреть.

Рассмотрим пример двух целевых функций, одна из которых выражает количество квартир, а другая – стоимость в млн руб.

$$F_1 = x_1 + \frac{1}{x_1}, x_1^0 = 1, F_1^0 = 2 \text{ квартиры;}$$

$$1 \text{ квартира} = 10 \text{ млн руб.};$$

$$F_2 = x_2 + \frac{1}{x_2}, x_2^0 = 2, F_2^0 = 4 \text{ млн.}$$

Если рассматривать критерии с учетом приоритетов

$$F_1 = 10x_1 + \frac{10}{x_1}, x_1^0 = 1, F_1^0 = 20 \text{ млн;}$$

$$F_2 = x_2 + \frac{4}{x_2}, x_2^0 = 2, F_2^0 = 4 \text{ млн,}$$

Получаем $F_1^0 + F_2^0 = 24$ млн.

Суммарная функция:

$$F_k = 11x_k + \frac{14}{x_k}, x_k = 1,13;$$

$$F_k = 12,4 + 12,4 = 24,8 \text{ млн.}$$

В общем случае используют приоритетные оптимальные решения по отдельным критериям (6). Когда наборы частных решений являются стохастическими (нерегулярными), эффективны компромиссные решения для отдельных блоков задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонов, К. К. Проектирование железобетонных конструкций / К. К. Антонов. – Москва : Стройиздат, 1966. – 380 с.
2. Гарина, С. В. Решение задачи оптимизации параметров строительных конструкций / С. В. Гарина // Методы возмущений в гомологической алгебре и динамика систем. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – С.129–135.
3. Люпаев, Б. М. Экономические оценки оптимальности железобетонных изгибаемых элементов прямоугольного и тавровых форм сечения при проектировании по несущей способности / Б. М. Люпаев, Ю. Б. Потапов, Н. И. Дудкин // Совершенствование проектирования и расчета ж/б конструкций. – Ростов-на-Дону, 1993. – С.143–147.
4. Люпаев, Б. М. О качественных оценках оптимальности технических решений / Б. М. Люпаев, С. В. Гарина // Современные проблемы строительного материаловедения. – Воронеж : ВГАСА, 1999. – С. 259–263.
5. Люпаев, Б. М. Особенности оптимизации расчета железобетонных элементов на поперечную силу : материалы междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы строительства» / Б. М. Люпаев, С. В. Гарина. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – С. 285–287.
6. Поляк, Б. Т. Введение в оптимизацию / Б. Т. Поляк. – Москва : Наука, 1983. – 384 с.
7. Уайлд, Д. Оптимальное проектирование / Д. Уайлд. – Москва : Мир, 1981. – 272 с.
8. Щенников, В. Н. К решению проблемы оптимизации параметров строительных конструкций / В. Н. Щенников, Б. М. Люпаев, С. В. Гарина // Известия высших учебных заведений : Строительство. – 2006. – № 10 (574). – С. 101–106.

В статье предлагается метод оптимизации параметров строительных конструкций, разработанный на базе математической теории устойчивости и теории управления динамическими процессами; решается задача оптимизации параметров монолитного железобетонного перекрытия.

9. **Щенников, В. Н.** Использование математической модели для оценки оптимальности параметров строительных конструкций / В. Н. Щенников, Б. М. Люпаев, С. В. Гарина // Вестник Мордовского университета. – 2004. – № 3–4. – С. 135–140.

В статье предлагается способ экономической оценки параметров несущих железобетонных и других композиционных конструкций.

10. **Химмельблау, Д.** Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – Москва : Мир, 1975. – 534 с.

Поступила 14.09.2015 г.

Об авторах:

Гарина Светлана Владимировна, доцент кафедры фундаментальной информатики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6153-8977>**, garinasv@mail.ru

Люпаев Борис Михайлович, профессор кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8300-6560>**, lyupaevbm@mail.ru

Никишин Михаил Борисович, доцент кафедры фундаментальной информатики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат педагогических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1700-3637>**, nikishinmb@mail.ru

Для цитирования: Гарина, С. В. Оптимизация многокритериальных решений / С. В. Гарина, Б. М. Люпаев, М. Б. Никишин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 12–17. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.012

REFERENCES

1. Antonov K. K. *Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy* [Design of concrete structures]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1966, 380 p.
2. Garina S. V. *Resheniye zadachi optimizatsii stroitelnykh konstruksiy* [Parameters optimization solution for building constructions]. *Metody vozmushcheniy v gomologicheskoy algebra I dinamika system* [Methods of perturbations in homological algebra and speaker systems]. Saransk: Mordovia State University Press Publ., 2004, pp. 129–135.
3. Lyupayev B. M., Potapov Yu. B., Dudkin N. I. *Economicheskiye otsenki optimalnosti zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov pryamougolnogo I tavrovyykh form secheniya pri proyektirovanii po nesushchey sposobnosti* [Economic evaluation of optimality of reinforced concrete bent elements of rectangular and T-shaped cross-sectional shape in the design of the bearing capacity]. *Sovershenstvovaniye proyektirovaniya I rascheta zh/b konstruksiy* [Improvement of design and calculation w / concrete structures]. – Rostov-on-Don, 1993, pp. 143–147.
4. Lyupayev B. M., Garina S. V. *O kachestvennykh otsenkakh optimalnosti tekhnicheskikh resheniy* [On qualitative evaluation of optimal technical solutions]. *Sovremennyye problemy stroitel'nogo materialovedeniya* [Modern problems of building materials]. Voronezh: VGASA Publ., 1999, pp. 259–263.
5. Lyupayev B. M., Garina S. V. *Osobennosti optimizatsii rascheta zhelezobetonnykh elementov na poperechnuyu silu: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aktualnyye voprosy stroitelstva"* [Features optimization calculation of reinforced concrete elements on the transverse force: Proceedings of the International Scientific-Technical conference "Actual issues of construction"]. Saransk: Mordovia State University Press Publ., 2008, pp. 285–287.
6. Polyak B. T. *Vvedeniye v optimizatsiyu* [Introduction to optimization]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 384 p.
7. Uayld D. *Optimalnoye proyektirovaniye* [Optimal Design]. Moscow: Mir Publ., 1981, 272 p.



8. Shchennikov V. N., Lyupayev B. M., Garina S. V. K resheniyu problem optimizatsii parametrov stroitelnykh konstruktsey [To solving the problem of optimizing the parameters of constructions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Stroitelstvo* [News of higher educational institutions. Construction]. 2006, no. 10 (574), pp. 101–106.

The information contained in the article provides the construction parameter optimization method developed on the basis of the mathematical theory of stability and the theory of dynamic processes management; the problem is solved by optimizing the parameters of monolithic ferroconcrete overlapping.

9. Shchennikov V. N., Lyupayev B. M., Garina S. V. Ispolzovaniye matematicheskoy modeli dlya otsenki optimalnosti parametrov stroitelnykh konstruktsey [Using a mathematical model to estimate the optimal parameters of constructions]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2004, no. 3–4, pp. 135–140.

The article provides a method of parameters assessment of the bearing ferroconcrete and other composite structures.

10. Himmelblau D. Prikladnoye nelineynoye programmirovaniye [Applied nonlinear programming]. Moscow: Mir, 1975, 534 p.

Submitted 14.09.2015

About the authors:

Garina Svetlana Vladimirovna, associate professor of chair of Fundamental Computer Sciences of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6153-8977>, garinasv@mail.ru

Lyupayev Boris Mikhaylovich, professor of chair of Motor Ways and Special Engineering Structures of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8300-6560>, lyupaev6m@mail.ru

Nikishin Mikhail Borisovich, associate professor of chair of Fundamental Computer Sciences of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Pedagogy), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1700-3637>, nikishinmb@mail.ru

For citation: Garina S. V., Lyupayev B. M., Nikishin M. B. Optimization of multi-criteria decisions. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 12–17. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.012



ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНДЕКСА СЕЗОННОСТИ

Т. А. Певцова, Е. А. Рябухина, О. А. Гущина
*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

С развитием информационных технологий задачи логистики приобретают все большее значение. Одной из актуальных задач планирования является определение сезонности товара, позволяющее рационализировать запасы продукции, оптимизировать применение трудовых, финансовых и материальных ресурсов и т. д. Специфичность анализа в сельском хозяйстве обусловлена следующими причинами: 1) результаты деятельности предприятия во многом зависят от природно-климатических условий, поэтому анализ необходимо производить на основании данных за несколько предыдущих лет; 2) для сельского хозяйства характерна сезонность производства; 3) процесс производства не совпадает с рабочим периодом, часть показателей можно определить только в конце года. Таким образом, актуальность приобретает такой инструмент анализа как индекс сезонности. При планировании и прогнозировании индекс сезонности позволяет минимизировать ряд сельскохозяйственных организационно-технологических и экономических проблем, в частности минимизировать отток денежных средств предприятия вследствие избыточного создания запасов. Вместе с тем, последнее имеет смысл, если предприятие может добиться от своих поставщиков снижения цен (поскольку больший размер заказа обычно предусматривает некоторую льготу, предоставляемую поставщиком в виде скидки). По тем же причинам предприятие предпочитает иметь достаточный запас готовой продукции, который позволяет более экономично управлять производством, сохраняя персонал и имея возможность в случае неожиданного повышения спроса не терять заказчиков. В результате этого уже предприятие, как правило, предоставляет скидку своим клиентам. Кроме того, достаточно большой запас сырья и материалов спасает его в случае неожиданной нехватки соответствующих запасов от прекращения процесса производства или покупки более дорогостоящих материалов-заменителей. Задачей анализа, таким образом, является определение разумного баланса между прибылью и затратами на хранение запасов. Вычисления индекса сезонности с помощью Microsoft Excel позволяет автоматизировать расчеты для различных видов ресурсов, что приводит к оптимизации управленческих решений.

Ключевые слова: индекс сезонности, сезонный процесс, XYZ-анализ, логистика, управление запасами

CALCULATION OF SEASONALITY INDEX

T. A. Pevtsova, Ye. A. Ryabukhina, O. A. Gushchina
Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The development of information technology makes logistics increasingly important. One of the relevant tasks of planning is determination of the seasonality index of products to rationalize inventory stocks, optimize using human, financial and material resources, and so on. The specificity of analyzing the agricultural industry is caused by the following reasons: 1) the results of the agricultural company largely dependent on climatic conditions, so the analysis should be made with due consideration of the some previous years' data; 2) agriculture industry is characterized by seasonality of production; 3) the process of production in the agricultural industry disagrees with the working period, some parameters can be evaluated only at the end of the year. Thus, such tool for analyzing as the index of seasonality is very relevant. When planning and forecasting, the seasonality index

© Певцова Т. А., Рябухина Е. А., Гущина О. А., 2015



allows minimizing a number of agricultural organizational, technological and economic problems, in particular, minimizing cash outflow of an enterprise caused by excessive stockpiling, that is reasonable if an enterprise can negotiate lower prices with suppliers (since a larger order usually provides some benefits in the form of discounts). For the same reasons, an enterprise prefers to have an adequate supply of finished products that allows managing the production more cost-effective, keeping staff and having the opportunity not to lose customers in the case of a sudden increase in demand. As a result, the enterprise, as a rule, provides a discount to their customers. In addition, a large enough supply of raw and other materials can be useful in the case of unexpected lack of appropriate reserves caused by the termination of the production or purchase of more expensive substitute materials. The objective of the analysis is to find a reasonable balance between profit and stock-holding cost. Calculating the seasonality index with the help of Microsoft Excel allows us to automate the calculations for different types of resources that results in the optimization of management decisions.

Keywords: seasonality index, seasonal process, XYZ-analysis, logistics, inventory management

В настоящее время во всех отраслях науки и производства при обработке информации широко используются компьютерные технологии. Задача овладения ими особенно актуальна для инженеров, ориентирующихся как в своей предметной области, так и в сопредельных (информационных технологиях, экономике и т. д.). Повседневное практическое использование ПК позволяет инженеру ускорить обработку данных, рационализировать работу, эффективно распределить финансовые потоки, материальные и кадровые ресурсы, повысить контроль качества выпускаемой продукции.

Кроме специализированных программных комплексов профессионального назначения, для решения многих актуальных инженерных задач можно использовать широко распространенные и простые в применении приложения Microsoft Office. Например, многие задачи экономики можно решить с помощью реализации экономикоматематических моделей в табличном процессоре Microsoft Excel, имеющем обширный набор встроенных функций и надстроек.

Для планирования в системе управления и принятия квалифицированного решений необходимы соответствующие статистические расчеты. Для этого чаще всего применяется корреляционный и регрессион-

ный анализы. Однако если вопросы управления и принятия решения связаны с процессом, имеющим сезонный характер, то задачу планирования и прогнозирования можно решить с помощью достаточно простых расчетов некоторых статистических характеристик, например, индексов сезонности. В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с вычислением т. н. *индексов сезонности* и применением их для прогнозирования процессов *сезонного* характера. К *сезонным* относятся циклические, ежегодно повторяющиеся процессы и их характеристики: 1) сезонные сельскохозяйственные работы; 2) сезонные колебания объемов потребления каких-либо материалов (горюче-смазочных материалов, дизельного топлива, удобрений и т. д.); 3) сезонная заготовка какой-либо продукции (зерновых, картофеля, бобовых, свеклы, корма для животных); 4) сезонные колебания объемов потребления продуктов; 5) сезонные колебания объемов продаж товаров и т. д. *Сезонность* может быть обусловлена различными причинами: временами года (посевная весной или осенью, уборка в течение лета и осенью и т. д.), погодой, календарной датой (1 сентября, 23 февраля или 8 Марта, Новый год и т. д.). Для прогнозирования сезонных колебаний рассчитываются различные *индексы сезонности* (I_s).

Как правило, индекс сезонности характеризует в процентах долю сезонного объема выполненной работы или реализованной продукции относительно его среднемесячного объема за год. В статье рассматривается один из вариантов применения компьютерного инструментария для вычисления индекса сезонности и его значение в сложных статистических расчетах сезонного характера. Рассмотрим методику вычисления индексов сезонности с помощью табличного процессора MS Excel, отличающегося мощным инструментарием и простотой использования.

В MS Excel индекс сезонности можно рассчитать двумя способами.

Первый способ применяется, если в течение года намечалась выраженная тенденция роста/спада объемов (работы, продукции и др.):

$$I_{sm} = \frac{\sum_n \frac{Y_{mn}}{Y_{cpn}}}{n}, \quad (1)$$

где I_{sm} – индекс сезонности месяца m (например, I_{s3} – индекс сезонности за Март); Y_{mn} – значение объема реализации за месяц m за год n ; Y_{cpn} – среднемесячный объем реализации за год n ; n – количество анализируемых лет.

Иначе говоря, прогнозируемый на месяц m индекс сезонности равен среднему индексу сезонности для этого месяца за n анализируемых лет.

Второй способ применяется, если в течение года выраженной тенденции роста/спада объемов (работы, продукции и др.) не наблюдалось:

$$I_{sm} = \frac{\sum_n Y_{mn}}{\sum_n \frac{n}{Y_{cpn}}}. \quad (2)$$

Иначе говоря, прогнозируемый на месяц m индекс сезонности равен от-

ношению среднего значения объема за указанный месяц m за n анализируемых лет, к среднемесячному объему за эти n лет.

В табл. 1 представлена динамика объема помесечной выработки (чел./ч) за 2010–2013 гг. Также были вычислены индексы сезонности I_{s1} и I_{s2} (1-м и 2-м способами соответственно) и проведен их анализ.

В столбце 6 «Всего» суммируются объемы помесечной выработки за 2010–2013 гг. В столбце 7 «В среднем» приводится средний объем помесечной выработки за эти годы. В столбцах 8–11 рассчитываются индексы сезонности погодишно. I_{s1} рассчитывается как среднее значение индексов по годам; I_{s2} – как отношение среднего объема к сумме средних объемов по каждому месяцу, разделенное на количество месяцев; заметим, что значения индексов I_{s1} и I_{s2} отличаются незначительно.

При вычислении индексов сезонности необходимо предварительно проанализировать весь собранный статистический материал. Если среди данных встречаются очень маленькие или, наоборот, очень большие значения, то их нужно исключить из расчетов. Например, очень маленькое значение объема использования дизельного топлива можно объяснить или поломкой техники, или человеческим фактором, а очень большое – одноразовой сделкой с выгодным клиентом и т. д., поэтому отсутствие этих данных не повлияет на объективность выводов.

Индексы сезонности используются в управленческой деятельности с целью планирования, прогнозирования и принятия решения.

Допустим, известны объемы реализации некоторой продукции по месяцам (табл. 1). Требуется довести планируемый объем реализации, например, до 6 000 шт. Для получения ежемесячных прогнозных объемов реализации продукции нужно: 1) рассчитать прогнозный среднемесячный



объем выработки продукции: $\frac{6000}{12}$;

2) умножить его на соответствующие
индексы сезонности: $\text{план1} = \frac{Is1 \cdot 500}{100}$

и $\text{план2} = \frac{Is2 \cdot 500}{100}$. Расчеты представ-
лены в табл. 2. Заметим, что плановые
объемы различаются незначительно.

Таблица 1

Table 1

**Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности, рассчитанные
1-м и 2-м способами (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume and seasonality index calculated from
the 1st and 2nd methods (2010–2013)**

Месяц	Объем продаж						2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Is1	Is2
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В сред- нем						
Январь	1 061	849	834	856	3 600	900	76	71	59	72	69,49	69,29
Февраль	1 126	685	742	851	3 404	851	81	57	53	72	65,49	65,52
Март	1 304	1 256	1 593	1 265	5 418	1 355	93	105	113	107	104,37	104,29
Апрель	1 860	1 249	1 633	1 492	6 234	1 559	133	104	116	126	119,66	119,99
Май	1 877	1 482	1 692	1 385	6 436	1 609	134	124	120	117	123,62	123,88
Июнь	1 317	1 230	1 632	1 266	5 445	1 361	94	103	115	107	104,77	104,81
Июль	1 339	1 657	1 628	1 207	5 831	1 458	96	138	115	102	112,76	112,24
Август	1 843	1 547	1 806	1 612	6 808	1 702	132	129	128	136	131,16	131,04
Сентябрь	1 581	1 448	1 910	1 477	6 416	1 604	113	121	135	124	123,41	123,50
Октябрь	1 476	1 382	1 363	1 198	5 419	1 355	106	115	96	101	104,60	104,31
Ноябрь	1 207	969	1 187	919	4 282	1 071	86	81	84	77	82,17	82,42
Декабрь	779	622	936	713	3 050	763	56	52	66	60	58,50	58,71
Итого	16 770	14 376	16 956	14 241	62 343	1 299	100	100	100	100	100	100

Динамика объема месячной выработки и плановые объемы выработки продукции

Dynamics of monthly production volume and planned volume of production

Месяц	Is1	Is2	План1	План2	
Январь	69,49	69,29	347	346	
Февраль	65,49	65,52	327	328	
Март	104,37	104,29	522	521	
Апрель	119,66	119,99	598	600	
Май	123,62	123,88	618	619	
Июнь	104,77	104,81	524	524	
Июль	112,76	112,24	564	561	
Август	131,16	131,04	656	655	
Сентябрь	123,41	123,50	617	617	
Октябрь	104,60	104,31	523	522	
Ноябрь	82,17	82,42	411	412	
Декабрь	58,50	58,71	292	294	
План продаж за отчетный год					6 000
Среднемесячный объем продаж по плану					500

Напомним, что результатом XYZ-анализа [3, с. 85–93] является следующая классификация товарно-материальных ресурсов: **группа X** – ресурсы, обладающие известной *стабильностью* или *незначительными* колебаниями; **группа Y** – ресурсы, которые имеют *небольшие* колебания либо ярко выраженную *сезонность*; **группа Z** – ресурсы, имеющие *большие* и непредсказуемые колебания.

Перечислим основные положения XYZ-анализа:

- ~ 10 % объема товарно-материальных ресурсов имеют стабильный характер и не зависят от сезона;

- ~ 25 % объема товарно-материальных ресурсов имеют почти стабильный характер и с небольшими колебаниями зависят от сезона;

- ~ 75 % объема товарно-материальных ресурсов имеет ярко выраженный сезонный характер.

Смысл XYZ-анализа состоит в классификации всей номенклатуры товарно-материальных ресурсов на группы X, Y, Z. Наиболее эффективной считается стандартная классификация категорий (по одному параметру):

- X – это самая важная группа товарно-материальных ресурсов из имеющейся номенклатуры, которая обязательно должна быть в наличии;

- Y – средняя по важности группа товарно-материальных ресурсов, которая, в отличие от группы X, может использоваться нестабильно, с незначительными колебаниями;



– Z – группа товарно-материальных ресурсов, использование которой имеет выраженный сезонный характер.

Таким образом, по классификации XYZ-анализа группа товарно-материальных ресурсов с ярко выраженной сезонностью попадет в категорию Z. Чтобы снова применить к ней аппарат XYZ-анализа, необходимо предварительно исключить из этой груп-

пы сезонную составляющую. Для этого разделим фактические объемы товарно-материальных ресурсов на соответствующие индексы сезонности, после чего повторно применим XYZ-анализ.

Применим данную методику к данным табл. 3–6, т. е. объемам выработки условной продукции (чел./ч) за вторые кварталы 2010–2013 гг.

Таблица 3

Table 3

Динамика объема месячной выработки продукции за второй квартал 2010 г. и расчет показателей, необходимых для проведения XYZ-анализа

Monthly production volume for the second quarter of 2010 and calculation of indicators necessary for carrying out XYZ-analysis

2010 г	Объем выработки (чел./ч)				Итого	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Группа XYZ	Доля в ассортименте нарастающим итогом
Техника	Май	Июнь	Июль	Август						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 3	1 800	1 900	1 950	1 850	7 500	1 875,00	55,90	0,030	X	0,05
Уборочная техника 2	2 000	1 700	2 211	1 900	7 811	1 952,75	184,11	0,094	X	0,10
Комбайн 1	690	700	770	800	2 960	740,00	46,37	0,063	X	0,15
Вейлки 2	1 000	1 100	1 080	1 240	4 420	1 105,00	86,46	0,078	X	0,20
Вейлки 4	1 400	1 500	1 200	1 300	5 400	1 350,00	111,80	0,083	X	0,25
Вейлки 3	200	177	167	209	753	188,25	16,93	0,090	X	0,30
Трактор 2	500	400	600	500	2 000	500,00	70,71	0,141	Y	0,35
Вейлки 1	600	500	550	400	2 050	512,50	73,95	0,144	Y	0,40
Комбайн 2	900	800	700	600	3 000	750,00	111,80	0,149	Y	0,45
Уборочная техника 1	800	600	700	500	2 600	650,00	111,80	0,172	Y	0,50
Трактор 5	800	600	700	500	2 600	650,00	111,80	0,172	Y	0,55
Комбайн 3	800	600	700	500	2 600	650,00	111,80	0,172	Y	0,60
Трактор 4	800	600	700	500	2 600	650,00	111,80	0,172	Y	0,65
Уборочная техника 3	200	30	20	150	400	100,00	77,14	0,771	Z	0,70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сеялка 1	70	500	65	550	1185	296,25	229,44	0,774	Z	0,75
Трактор 1	480	200	58	90	828	207,00	166,18	0,803	Z	0,80
Сеялка 3	500	250	40	55	845	211,25	186,16	0,881	Z	0,85
Сеялка 2	480	150	80	50	760	190,00	171,32	0,902	Z	0,90
Уборочная техника 4	400	100	60	60	620	155,00	142,39	0,919	Z	0,95
Сеялка 4	350	80	50	40	520	130,00	127,87	0,984	Z	1,00

Таблица 4

Table 4

Динамика объема месячной выработки продукции за второй квартал 2011 г. и расчет показателей, необходимых для проведения XYZ-анализа

Monthly production volume for the second quarter of 2011 and calculation of indicators necessary for carrying out XYZ-analysis

2011 г.	Объем выработки (чел./ч)				Итого	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Группа XYZ	Доля в ассортименте нарастающим итогом
Техника	Май	Июнь	Июль	Август						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 3	1 803	1 845	1 940	1 802	7 390	1 847,50	56,15	0,030	X	0,05
Уборочная техника 2	2 007	1 688	2 001	1 905	7 601	1 900,25	129,05	0,068	X	0,10
Комбайн 1	696	655	758	754	2 863	715,75	42,80	0,060	X	0,15
Вейлки 2	1 005	1 005	1 000	1 200	4 210	1 052,50	85,18	0,081	X	0,20
Вейлки 4	1 366	1 488	1 148	1 255	5 257	1 314,25	126,51	0,096	X	0,25
Вейлки 3	208	188	170	211	777	194,25	16,56	0,085	X	0,30
Трактор 2	485	404	588	488	1965	491,25	65,24	0,133	Y	0,35
Вейлки 1	588	502	477	355	1922	480,50	83,34	0,173	Y	0,40
Комбайн 2	877	775	705	604	2961	740,25	99,64	0,135	Y	0,45



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Уборочная техника 1	809	601	708	508	2626	656,50	112,96	0,172	Y	0,50
Трактор 5	784	597	666	507	2554	638,50	101,17	0,158	Y	0,55
Комбайн 3	810	566	657	482	2515	628,75	121,58	0,193	Y	0,60
Трактор 4	765	548	710	512	2535	633,75	106,32	0,168	Y	0,65
Уборочная техника 3	188	30	40	144	402	100,50	67,41	0,671	Z	0,70
Сеялка 1	80	482	70	445	1077	269,25	194,72	0,723	Z	0,75
Трактор 1	400	188	70	100	758	189,50	129,04	0,681	Z	0,80
Сеялка 3	505	250	50	64	869	217,25	183,94	0,847	Z	0,85
Сеялка 2	450	165	90	66	771	192,75	152,95	0,793	Z	0,90
Уборочная техника 4	469	110	70	70	719	179,75	167,80	0,933	Z	0,95
Сеялка 4	344	90	40	50	524	131,00	124,39	0,950	Z	1,00

Таблица 5

Table 5

Динамика объема месячной выработки продукции за второй квартал 2012 г. и расчет показателей, необходимых для проведения XYZ-анализа

Monthly production volume for the second quarter of 2012 and calculation of indicators necessary for carrying out XYZ-analysis

2012 г.	Объем выработки (чел./ч)				Итого	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Группа XYZ	Доля в ассортименте нарастающим итогом
Техника	Май	Июнь	Июль	Август						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 3	1 800	1 905	1 944	1 865	7 514	1 878,50	53,24	0,028	X	0,05
Уборочная техника 2	1 998	1 701	2 011	1 903	7 613	1 903,25	123,99	0,065	X	0,10
Комбайн 1	693	703	765	788	2 949	737,25	40,24	0,055	X	0,15
Вейлки 2	987	1 007	1 082	1 245	4 321	1 080,25	101,50	0,094	X	0,20
Вейлки 4	1 380	1 505	1 189	1 303	5 377	1 344,25	115,02	0,086	X	0,25
Вейлки 3	208	180	166	207	761	190,25	17,95	0,094	X	0,30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 2	501	398	588	504	1 991	497,75	67,35	0,135	Y	0,35
Вейлки 1	577	488	555	404	2 024	506,00	67,40	0,133	Y	0,40
Комбайн 2	905	785	697	606	2 993	748,25	110,43	0,148	Y	0,45
Уборочная техника 1	770	605	705	496	2 576	644,00	103,71	0,161	Y	0,50
Трактор 5	777	566	666	484	2 493	623,25	109,70	0,176	Y	0,55
Комбайн 3	804	604	708	510	2 626	656,50	110,26	0,168	Y	0,60
Трактор 4	784	606	712	508	2 610	652,50	104,73	0,161	Y	0,65
Уборочная техника 3	198	40	30	155	423	105,75	72,45	0,685	Z	0,70
Сеялка 1	75	455	70	555	1 155	288,75	219,13	0,759	Z	0,75
Трактор 1	500	195	60	95	850	212,50	173,22	0,815	Z	0,80
Сеялка 3	477	244	44	60	825	206,25	174,96	0,848	Z	0,85
Сеялка 2	465	144	77	55	741	185,25	164,81	0,890	Z	0,90
Уборочная техника 4	398	98	66	65	627	156,75	139,92	0,893	Z	0,95
Сеялка 4	355	77	51	50	533	133,25	128,48	0,964	Z	1,00

Таблица 6

Table 6

Динамика объема месячной выработки продукции за второй квартал 2013 г. и расчет показателей, необходимых для проведения XYZ-анализа

Monthly production volume for the second quarter of 2013 and calculation of indicators necessary for carrying out XYZ-analysis

2013 г.	Объем выработки (чел./ч)				Итого	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Группа XYZ	Доля в ассортименте нарастающим итогом
Техника	Май	Июнь	Июль	Август						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 3	1 805	1 901	1 935	1 908	7 549	1 887,25	49,15	0,026	X	0,05
Уборочная техника 2	2 002	1 703	2 111	1 898	7 714	1 928,50	150,41	0,078	X	0,10
Комбайн 1	700	699	758	801	2958	739,50	42,79	0,058	X	0,15
Вейлки 2	985	1 010	1 070	1 188	4 253	1 063,25	78,37	0,074	X	0,20
Вейлки 4	1385	1488	1205	1289	5367	1341,75	105,76	0,079	X	0,25
Вейлки 3	198	175	169	208	750	187,50	16,04	0,086	X	0,30



Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Трактор 2	502	397	587	501	1 987	496,75	67,34	0,136	Y	0,35
Веялки 1	600	500	550	400	2 050	512,50	73,95	0,144	Y	0,40
Комбайн 2	902	802	699	588	2 991	747,75	116,87	0,156	Y	0,45
Уборочная техника 1	798	598	703	505	2 604	651,00	110,04	0,169	Y	0,50
Трактор 5	795	603	708	485	2 591	647,75	115,98	0,179	Y	0,55
Комбайн 3	788	599	704	504	2 595	648,75	107,09	0,165	Y	0,60
Трактор 4	805	584	696	487	2 572	643,00	119,24	0,185	Y	0,65
Уборочная техника 3	198	32	22	151	403	100,75	75,68	0,751	Z	0,70
Сеялка 1	74	488	60	555	1 177	294,25	228,53	0,777	Z	0,75
Трактор 1	485	202	61	100	848	212,00	165,81	0,782	Z	0,80
Сеялка 3	488	255	48	58	849	212,25	179,33	0,845	Z	0,85
Сеялка 2	500	160	90	54	804	201,00	176,79	0,880	Z	0,90
Уборочная техника 4	400	100	60	60	620	155,00	142,39	0,919	Z	0,95
Сеялка 4	355	85	55	45	540	135,00	127,87	0,947	Z	1,00

1) В табл. 7–8 исключим сезонную составляющую по уборочной технике 3, как указано выше: разделим на соот-

ветствующий индекс сезонности Is ($Is = (Is1 + Is2)/2$; в табл. 7 вычислим соответствующие $Is1$, $Is2$ и $Is = (Is1 + Is2)/2$.

Таблица 7

Table 7

Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности по уборочной технике 3 (2010–2013 гг.)

Monthly production indices and seasonality by harvesting equipment 3 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	$Is1$	$Is2$	Is
Май	100	101	106	101	407	101,75	133,33	127,82	127,89	131,81	130,21	130,14	130,17
Июнь	30	30	40	32	132	33,00	40,00	38,16	48,37	41,86	42,10	42,21	42,152
Июль	20	40	30	22	112	28,00	26,67	50,87	36,28	28,78	35,65	35,81	35,731
Август	150	144	155	151	600	150,00	200,00	183,15	187,45	197,55	192,04	191,85	191,94
Итого	300	315	331	306	1 251	78,19	100	100	100	100	100	100	100



В табл. 8 исключим сезонную составляющую по уборочной технике 3: разделим фактические объемы выработки I_s .

Таблица 8

Table 8

Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей по уборочной технике 3 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume without seasonal component harvesting equipment 3 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	77	77	81	77	313	78,16
Июнь	71	71	95	76	313	78,29
Июль	56	112	84	62	313	78,36
Август	78	75	81	79	313	78,15
Итого	282	335	341	294	1 252	78,24

2) Аналогично в табл. 9–10 исключим сезонную составляющую по сеялке 3.

Таблица 9

Table 9

Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности по сеялке 1 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume and the seasonality index for the drill 1 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	I_{s1}	I_{s2}	I_s
Май	70	500	65	550	1 185	296,25	93,33	635,93	78,61	719,54	381,85	378,90	380,38
Июнь	80	482	70	445	1 077	269,25	106,67	613,04	84,66	582,17	346,63	344,36	345,5
Июль	75	455	70	555	1 155	288,75	100,00	578,70	84,66	726,08	372,36	369,30	370,83
Август	74	488	60	555	1 177	294,25	98,67	620,67	72,56	726,08	379,50	376,34	377,92
Итого	299	1 925	265	2 105	4 594	287,13	100	100	100	100	100	100	100



Таблица 10

Table 10

Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей по сеялке 1 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume without seasonal component for drill 1 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	18	131	17	145	312	77,88
Июнь	23	140	20	129	312	77,93
Июль	20	123	19	150	311	77,87
Август	20	129	16	147	311	77,86
Итого	81	523	72	570	1 246	77,89

3) В табл. 11–12 исключим сезонную составляющую по тракторам 1.

Таблица 11

Table 11

Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности по тракторам 1 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume and the seasonality index for tractors 1 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	<i>Is1</i>	<i>Is2</i>	<i>Is</i>
Май	480	200	58	90	828	207,00	640,00	254,37	70,14	117,74	270,56	264,75	267,66
Июнь	400	188	70	100	758	189,50	533,33	239,11	84,66	130,83	246,98	242,37	244,67
Июль	500	195	60	95	850	212,50	666,67	248,01	72,56	124,28	277,88	271,78	274,83
Август	485	202	61	100	848	212,00	646,67	256,92	73,77	130,83	277,04	271,14	274,09
Итого	1 865	785	249	385	3 284	205,25	100	100	100	100	100	100	100

**Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей
по тракторам 1 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume without seasonal
component on the tractor 1 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	179	75	22	34	309	77,34
Июнь	163	77	29	41	310	77,45
Июль	182	71	22	35	309	77,32
Август	177	74	22	36	309	77,35
Итого	702	296	94	146	1 238	77,36

4) В табл. 13–14 исключим сезонную составляющую по сеялке 3.

**Динамика объема месячной выработки продукции и индексы
сезонности по сеялке 3 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume and the seasonality
index for the drill 31 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	I_{s1}	I_{s2}	I_s
Май	480	200	58	90	828	207,00	640,00	254,37	70,14	117,74	270,56	264,75	267,66
Июнь	400	188	70	100	758	189,50	533,33	239,11	84,66	130,83	246,98	242,37	244,67
Июль	500	195	60	95	850	212,50	666,67	248,01	72,56	124,28	277,88	271,78	274,83
Август	485	202	61	100	848	212,00	646,67	256,92	73,77	130,83	277,04	271,14	274,09
Итого	1 865	785	249	385	3 284	205,25	100	100	100	100	100	100	100



Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей по сеялке 3 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume without seasonal component for drill 3 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	500	250	40	55	845	211,25
Июнь	505	250	50	64	869	217,25
Июль	477	244	44	60	825	206,25
Август	488	255	48	58	849	212,25
Итого	1 970	999	182	237	3 388	211,75

5) В табл. 15–16 исключим сезонную составляющую по сеялке 2.

Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности по сеялке 2 (2010–2013 гг.)

Monthly production volume and the seasonality index for the drill 2 (2010–2013)

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	I_{s1}	I_{s2}	I_s
Май	480	150	80	50	760	190,00	640,00	190,78	96,75	65,41	248,24	243,01	245,62
Июнь	450	165	90	66	771	192,75	600,00	209,86	108,84	86,35	251,26	246,52	248,89
Июль	465	144	77	55	741	185,25	620,00	183,15	93,12	71,95	242,06	236,93	239,49
Август	500	160	90	54	804	201,00	666,67	203,50	108,84	70,65	262,41	257,07	259,74
Итого	1 895	619	337	225	3 076	192,25	100	100	100	100	100	100	100



**Динамика объема месячной выработки продукции
без сезонной составляющей по сеялке 2 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume without
seasonal component for drill 2 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	480	150	80	50	760	190,00
Июнь	450	165	90	66	771	192,75
Июль	465	144	77	55	741	185,25
Август	500	160	90	54	804	201,00
Итого	1 895	619	337	225	3 076	192,25

6) В табл. 17–18 исключим сезонную составляющую по уборочной технике 4.

Таблица 17

Table 17

**Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности по уборочной
технике 4 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production indices and seasonality by harvesting
equipment 4 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	<i>I</i> _{s1}	<i>I</i> _{s2}	<i>I</i> _s
Май	400	100	60	60	620	155,00	533,33	127,19	72,56	78,50	202,89	198,24	200,57
Июнь	469	110	70	70	719	179,75	625,33	139,90	84,66	91,58	235,37	229,90	232,63
Июль	398	98	66	65	627	156,75	530,67	124,64	79,82	85,04	205,04	200,48	202,76
Август	400	100	60	60	620	155,00	533,33	127,19	72,56	78,50	202,89	198,24	200,57
Итого	1 667	408	256	255	2 586	161,63	100	100	100	100	100	100	100



**Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей
по уборочной технике 4 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume without seasonal
component harvesting equipment 4 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	400	100	60	60	620	155,00
Июнь	469	110	70	70	719	179,75
Июль	398	98	66	65	627	156,75
Август	400	100	60	60	620	155,00
Итого	1 667	408	256	255	2586	161,63

7) В табл. 19–20 исключим сезонную составляющую по сеялке 4.

**Динамика объема месячной выработки продукции и индексы сезонности
по сеялке 4 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume and the seasonality index
for the drill 42 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)						Расчет индекса сезонности						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	<i>Is1</i>	<i>Is2</i>	<i>Is</i>
Май	350	80	50	40	520	130,00	466,67	101,75	60,47	52,33	170,30	166,27	168,29
Июнь	344	90	40	50	524	131,00	458,67	114,47	48,37	65,41	171,73	167,55	169,64
Июль	355	77	51	50	533	133,25	473,33	97,93	61,68	65,41	174,59	170,42	172,51
Август	355	85	55	45	540	135,00	473,33	108,11	66,52	58,87	176,71	172,66	174,68
Итого	1 404	332	196	185	2 117	132,31	100	100	100	100	100	100	100



**Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей
по сеялке 4 (2010–2013 гг.)**

**Monthly production volume without seasonal
component for drill 4 (2010–2013)**

Месяц	Объем выработки (чел./ч)					
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Всего	В среднем
Май	350	80	50	40	520	130,00
Июнь	344	90	40	50	524	131,00
Июль	355	77	51	50	533	133,25
Август	355	85	55	45	540	135,00
Итого	1 404	332	196	185	2117	132,31

На основании выполненных расчетов составим итоговую табл. 21, из которой исключена сезонная состав-

ляющая по технике группы Z, и снова произведем классификацию согласно методике XYZ-анализа.

Таблица 21

Table 21

**Динамика объема месячной выработки продукции без сезонной составляющей по технике
группы Z и расчет показателей, необходимых для проведения XYZ-анализа**

**Monthly production volume without seasonal component by technique of group Z and calculation
of indicators necessary for carrying out the XYZ-analysis**

Техника	Май	Июнь	Июль	Август	Итого	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Группа XYZ	Доля в ассортименте нарастающим итогом
Уборочная техника 3	78,16	78,29	78,36	78,15	312,96	78,24	0,09	0,001	X	0,14
Сеялка 1	77,88	77,93	77,87	77,86	311,54	77,89	0,03	0,0003	X	0,29
Трактор 1	77,34	77,45	77,32	77,35	309,46	77,37	0,05	0,001	X	0,43
Сеялка 3	207	189,5	212,5	212	821	205,25	9,34	0,046	X	0,57
Сеялка 2	190	192,75	185,3	212,25	780,25	195,06	10,28	0,053	X	0,71
Уборочная техника 4	155	179,75	156,8	155	646,5	161,63	10,49	0,065	X	0,86
Сеялка 4	130	131	133,3	135	529,25	132,31	1,95	0,015	X	1,00



Из результатов исследования (табл. 21) следует, что вся сезонная сельскохозяйственная техника попала в категорию X (эта группа обладает достаточной *стабильностью* и для нее можно составлять прогнозы *высокой точности*).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Бродецкий, Г. Л.** Системный анализ в логистике : выбор в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. – Москва : Academia, 2010. – 336 с.
2. Вычисление индекса сезонности / Т. А. Певцова [и др.] // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. тр. Междунар. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 403–414.
3. **Гаджинский, А. М.** Практикум по логистике / А. М. Гаджинский. – Москва : Дашков и К°, 2012. – 8-е изд. – 312 с.
4. **Копыл, В. И.** Логистика управления запасами с помощью Excel / В. И. Копыл. – Москва : Производственно-практическое издание, 2012. – 316 с.
5. **Кузьбожев, Э. Н.** Логистика : учеб. пособие / Э. Н. Кузьбожев, С. А. Тиньков. – Москва : КНОРУС, 2004. – 224 с.
6. **Певцова, Т. А.** Применение XYZ-анализа для статистических расчетов при решении инженерных задач / Т. А. Певцова, Е. А. Рябухина, А. С. Беспалов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. тр. Междунар. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 414–422.
7. **Тихомирова, А. Н.** Математические модели и методы в логистике : учеб. пособие / А. Н. Тихомирова, Е. В. Сидоренко. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. – 320 с.
8. **Уотерс, Д.** Логистика : управление цепью поставок / Д. Уотерс. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 504 с.
9. **Шрайбфедер, Дж.** Эффективное управление запасами / Дж. Шрайбфедер ; пер. с англ. – Москва : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 2-е изд. – 304 с.
10. **Carol, A.** Market Models : A guide to financial Data Analysis. – London : John Wiley LTD, 2003. – 500 с.
11. **Wysocky, R. K.** Project Management Process Improvement. – London : Artech House Boston, 2004. – 235 с.

Поступила 07.09.2015 г.

Об авторах:

Певцова Татьяна Александровна, доцент кафедры алгебры и геометрии факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, mutuzoa@mail.ru

Рябухина Елена Александровна, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат педагогических наук, mutuzoa@mail.ru

Гущина Оксана Александровна, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: orcid.org/0000-0003-2978-9028**, mutuzoa@mail.ru

Для цитирования: Певцова, Т. А. Вычисление индекса сезонности / Т. А. Певцова, Е. А. Рябухина, О. А. Гущина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 18–36. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.018

REFERENCES

1. Brodetskiy G. L. Sistemnyy analiz v logistike: vybor v usloviyakh neopredelennosti [System analysis for logistics: choice in the presence of uncertainty]. – Moscow: Academia Publ., 2010, 336 p.
2. Pevtsova T. A. [et al.] Vychisleniye indeksa sezonnosti [Seasonality index calculation]. *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. tr. Mezhdunar. konf.* [Energy-efficient and resource-conserving technologies and systems: collected works of the international conference]. Saransk: Mordovia University Publ., 2014. pp. 403–414.
3. Gadzhinskiy A. M. Praktikum po logistike [Logistics workshop]. Moscow: Dashkov i K° Publ., 2012, 8th ed., 312 p.
4. Kopyl V. I. Logistika upravleniya zapasami s pomoshchyu Excel [Stock management logistics by using Excel]. Moscow: Proizvodstvenno-prakticheskoye izdaniye Publ., 2012, 316 p.
5. Kuzbozhev E. N., Tinkov S. A. Logistika: ucheb. posobiye [Logistics: tutorial]. Moscow: KNORUS Publ., 2004, 224 p.
6. Pevtsova T. A., Ryabukhina Ye. A., Bepalov A. S. Primeneniye XYZ-analiza dlya statisticheskikh raschetov pri reshenii inzhenernykh zadach [Implementing XYZ-analysis in statistical calculations for engineering purposes]. *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. tr. Mezhdunar. konf.* [Energy-efficient and resource-conserving technologies and systems: collected works of the international conference]. Saransk: Mordovia University Publ., 2014. pp. 414–422.
7. Tikhomirova A. N., Sidorenko Ye. V. Matematicheskiye modeli i metody v logistike: ucheb. posobiye [Mathematical models and methodology in logistics: tutorial]. Moscow: NIYAU MIFI Publ., 2010, 320 p.
8. Uoters D. Logistika: upravleniye tseyu postavok [Logistics: supply chain management]. Moscow: YUNITI-DANA Publ., 2003, 504 p.
9. Shraybfeder Dzh. Effektivnoye upravleniye zapasami [Efficient stock management]. Moscow: Alpina Business Books Publ., 2006, 2nd ed., 304 p.
10. Carol A. Market Models: A guide to financial Data Analysis. London: John Wiley LTD Publ., 2003, 500 p.
11. Wysocky, R. K. Project Management Process Improvement. London: Artech House Boston Publ., 2004, 235 p.

Submitted 07.09.2015

About the authors:

Pevtsova Tatyana Aleksandrovna, associate professor of chair of Algebra and Geometry of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), motuzoa@mail.ru

Ryabukhina Yelena Aleksandrovna, associate professor of chair of CAD-systems of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Pedagogy), motuzoa@mail.ru

Gushchina Oksana Aleksandrovna, associate professor of chair of CAD-systems of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: orcid.org/0000-0003-2978-9028**, motuzoa@mail.ru

For citation: Pevtsova T. A., Ryabukhina Ye. A., Gushchina O. A. Calculation of seasonality index. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 18–36. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.018

**ОБРАБОТКА ПЛАСТИН МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО
КАРБИДА КРЕМНИЯ****С. В. Ивенин***ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

В представленной работе рассматриваются варианты технологического процесса обработки пластин монокристаллического карбида кремния, начиная с резки и заканчивая полировкой. На основе работ отечественных и зарубежных авторов показано, что наиболее важным и ответственным является заключительный этап, который должен обеспечить высокое качество поверхности (шероховатость $< 0,5$ нм) и приемлемые скорости удаления материала. При этом все технологические операции взаимосвязаны, и выбор режимов обработки на данной операции влияет на условия проведения последующих обработок, поэтому каждая технологическая операция может иметь варианты реализации. Так, выбор размеров алмазного зерна, которое используется почти на всех этапах обработки, всегда проводится на основе компромисса между скоростью обработки и глубиной нарушенного слоя. Для получения наилучшего соотношения между скоростью обработки и качеством поверхности шлифовку, например, проводят в 2 или 3 этапа, последовательно уменьшая размеры алмазного зерна. Качественное выполнение финишных операций обработки пластин карбида кремния, создает возможность на последующих операциях (эпитаксия, окисление, фотолитография и т. д.) обеспечить получение карбидокремниевых приборов с заданными параметрами. Учитывая особенности карбида кремния, высокая твердость которого близка к алмазу при одновременной высокой хрупкости, решение этой проблемы требует постоянного поиска и исследования новых технологических приемов обработки. В работах различных исследователей показано, что традиционные методы обработки пластин карбида кремния, хорошо отработанные еще на кремнии, позволяют получить достаточно высокое качество поверхности, но при этом требуется больше затрат времени. Использование полирующих абразивов на основе силиказолей с добавлением наноструктурированного алмаза позволяют достигать скорости удаления карбида кремния $\sim 0,2$ мкм и шероховатости $\sim 0,4$ нм.

Ключевые слова: карбид кремния, резка, шлифовка, полировка, механическая полировка, химическая полировка, химико-механическая полировка, скорость удаления материала, СУМ, шероховатость

**MONOCRYSTALLINE SILICON
CARBIDE WAFERS PROCESSING****S. V. Ivenin***Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)*

The present paper considers the methods of processing monocrystalline SiC wafers from cutting to polishing. The review of scientific papers by Russian and foreign authors shows that the most important and crucial is the final phase, which aimed at assurance of a high quality of surface (roughness $< 0,5$ nm). Moreover, all production operations are interrelated and the selection of processing mode for this operation influences the conditions of post processing. So, every production operation may have some implementation variants. For example, the selection of size of diamond grain which is used almost at all processing phases is made on the base of processing rate – damaged layer depth tradeoff. In order to obtain the best ratio

between processing rate and quality of a surface, polishing is carried out in two or three phases, reducing consecutively the size of diamond grain. Operations of processing SiC wafers make it possible for the following operations (epitaxy, oxidation, and photolithography) to ensure producing SiC devices with the given parameters. Taking into account the properties of SiC – high hardness, similar to that of diamond, and high brittleness – the problem solving requires constant search and investigation of new methods of processing. A number of scientific works show that traditional methods of processing SiC wafers, well developed in using silicon, make it possible to get quite a high-quality surface, but it is time consuming. The use of polishing abrasives on the base of silicagel with addition of nanostructured diamond allows achieving SiC removal rate $\sim 0.2 \mu\text{m/h}$ and roughness $\sim 0.4 \text{ nm}$.

Keywords: silicon carbide, cutting, grinding, polishing, mechanical polishing, chemical polishing, chemical-mechanical polishing, material removal rate, MRR, roughness

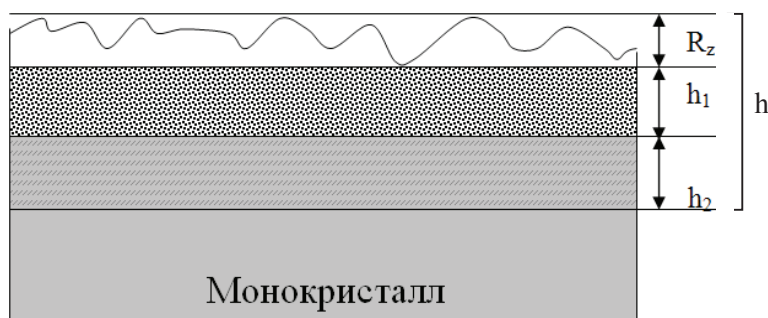
Для изготовления большинства современных полупроводниковых приборов на основе карбида кремния требуются монокристаллические пластины с эпитаксиальными слоями. Отметим, что пластины-подложки и эпитаксиальные слои должны иметь возможно более совершенное кристаллическое строение, минимум или полное отсутствие дефектов и дислокаций, минимально возможные неровности (шероховатость) поверхности ($< 0,5 \text{ nm}$).

Наиболее высокие требования предъявляются к поверхности пластин. Ориентация пластин должна выдерживаться с точностью до $1-2^\circ$, их поверхность должна быть плоской (отклонение на всем диаметре не должно превышать $\pm 1 \text{ мкм}$). Еще одним важным требованием является отсутствие нарушенного приповерхностного слоя [2].

Для выполнения перечисленных требований в технологии приборов применя-

ют различные способы обработки пластин карбида кремния: механическая и химико-механическая твердыми агентами (резка, шлифовка, травление в жидких средах); обработка в газовых средах (газовое травление и очистка); плазменная обработка (ионное и плазмохимическое травление и очистка).

Существует 2 вида абразивной (механической) обработки, т. е. воздействия твердого вещества – абразива на поверхность хрупкого материала (например, карбида кремния): обработка свободным и связанным абразивом. В обоих случаях происходит хрупкое разрушение поверхности пластины полупроводника, при этом во втором добавляется срезание выступов поверхности закрепленным зерном абразива. В результате таких воздействий образуется нарушенный слой (h), структура которого представлена на рис. 1.



Р и с. 1. Строение нарушенного слоя

F i g. 1. Structure of damaged layer

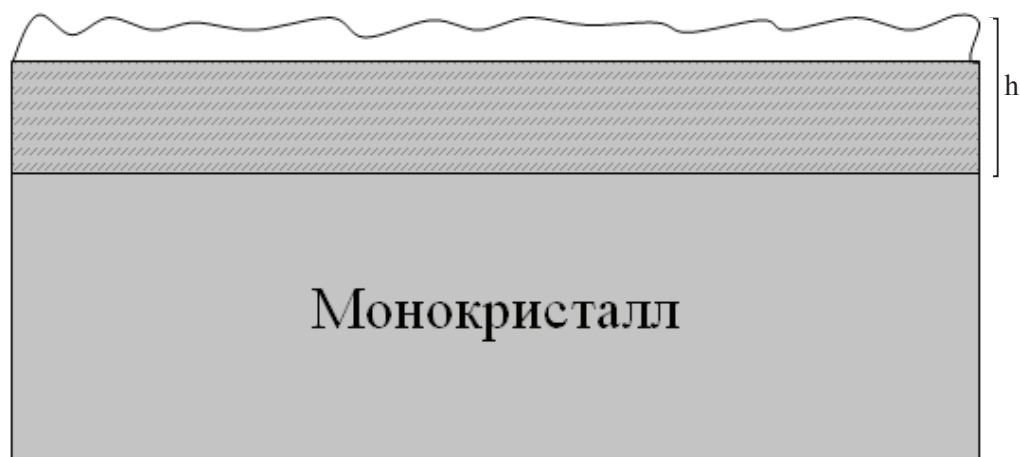
R_z – рельефный слой, состоящий из выступов и впадин; h_1 – трещиноватый слой, пронизанный трещинами и выколами; h_2 – напряженный слой, в котором действуют силы упругой деформации [Там же].



Глубина рельефного R_z и трещиноватого слоя h_1 зависит в основном от характеристик абразива (в частности размеров зерен и их прочности) однако влияние обрабатываемого материала также необходимо учитывать. Например, в гексагональном карбиде кремния (4H-SiC и 6H-SiC) пластически деформированная часть нарушенного слоя практически отсутствует, а трещиноватый слой существенно меньше, чем в других

материалах, при использовании аналогичных абразивов [1].

Структура слоя, представленная на рис. 1, соответствует результатам предварительных видов обработки (резка, шлифовка алмазными кругами). Алмазная обработка более мелким зерном на мягких притирах из ткани или на резиновой основе приводит к образованию на поверхности сетки рисок и тонкого слоя, в котором прошла пластическая деформация (рис. 2).



Р и с. 2. Строение нарушенного слоя поверхности монокристалла после обработки на тканевых притирах

Fig. 2. Structure of damaged layer surface of the single-crystal after lapping

Нарушенный после химико-механической полировки слой имеет равномерную толщину, а его свойства отличаются от свойств основного материала.

Механическую обработку можно проводить сухими абразивами, но, как правило, применяют суспензии или эмульсии абразивных материалов. При этом жидкость выполняет множество важных функций. Ее физическое воздействие заключается в распределении абразивных зерен по поверхности пластины и вымывании разрушенных зерен и частиц материала; смазывании поверхностей и отведении тепла; смягчении ударно-вибрационных усилий.

Химическое воздействие жидкости приводит к гидратации поверхности или образованию окислов и других соединений, что особенно важно для процессов полировки. Кроме этого, попадая в микротрещины, она способствует разрушению материала.

Характер обработки связанным абразивом заметно отличается от обработки свободным абразивом. Качество поверхности при обоих видах обработки может быть достигнуто примерно одинаковое, но при одном и том же количестве свободных и закрепленных зерен в случае связанного абразива скорость обработки является более высокой, а глубина на-

рушенного слоя – меньшей. Скорость шлифовки вторым способом не может быть высокой, поскольку в основе процесса лежит ударно-вибрационное действие абразивных зерен [3].

При обработке связанным абразивом важным фактором является тип связки. В зависимости от способа закрепления зерен различают твердые и вязкие, твердые и хрупкие, мягкие и пластичные, а также упругие связки. Примером инструмента с твердой и вязкой связкой служит никелевый шлифовальный круг с надежно закрепленным алмазным абразивом.

Упругие связки чаще всего применяют для полирования. Их имеют мягкие полировальники из войлока, фетра, велюра, батиста. Процесс полирования отличается от шлифования не только типом связки, но и размером зерна абразива и большей ролью химических процессов. При полировке алмазными порошками или окислами алюминия фактор механического воздействия остается основным, но уже при использовании двуокиси кремния и окислов редкоземельных элементов нельзя обойтись без учета химических реакций. Например, при полировке двуокисью кремния диаметр частиц SiO_2 может достигать больших значений, но это не отразится на качестве поверхности. Предполагается, что основную роль в этом случае играют такие химические реакции как растворение гидратированной или окислительной поверхности. Таким образом, данный процесс является химико-механическим полированием.

Качество и производительность полировки определяется тремя химическими факторами: составом суспензии, ее pH и температурой.

Существует еще один важный момент, связанный с различием свойств полированной и шлифованной поверхности. Если одна сторона отшлифована, а другая отполирована, то за счет расклинивающих усилий возникает заметный изгиб пластин. Этот эффект получил

название эффекта Тваймана и зависит от соотношения толщины и диаметра пластины, а также от размеров зерна абразива, использовавшегося при шлифовке. Для устранения эффекта Тваймана следует применять одинаковую обработку обеих поверхностей, не оставляющую нарушенных слоев [2].

Технологический процесс обработки пластин карбида кремния

Процесс подготовки пластин карбида кремния для проведения эпитаксиального роста слоев самого материала (автоэпитаксия) или для роста пленок другого материала, например, GaN, AlN (гетероэпитаксия) включает ряд необходимых технологических операций: резка, шлифовка, полировка, очистка пластин. Каждая из них может реализовываться разными способами, и поэтому технологический маршрут обработки пластин имеет варианты, обусловленные требованиями к качеству поверхности и составом оборудования для обработки и контроля.

На рис. 3 представлена схема предэпитаксиальной обработки пластин карбида кремния.

Резка слитков

Процесс резки заключается в разделении слитков полупроводникового материала на тонкие (300–600 мкм) плоскопараллельные пластины с точностью 5–7 %. Режимы резки выбирают в зависимости от вида полупроводникового материала, диаметра слитка, толщины отрезаемой пластины, требований к точности обработки. Наиболее распространенной является резка алмазным диском с внутренней режущей кромкой. Кроме того, применяются металлические полотна и проволоки с использованием алмазных абразивов.

Резка слитков проволоками с применением алмазных абразивов является предпочтительной для карбида кремния, учитывая повышенную твердость



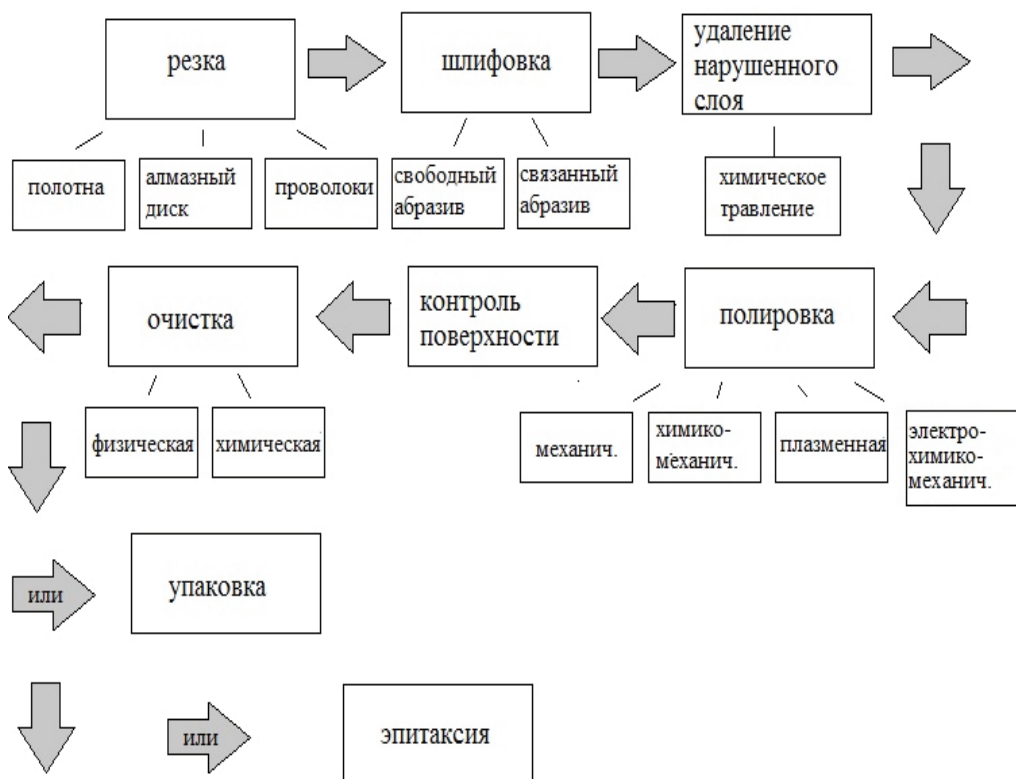
и чрезвычайно высокую хрупкость материала, а также особенность его кристаллической структуры, которая приводит к скалыванию пластин вдоль плоскости {0001}.

Резка проволоками происходит по принципу их перемотки с одного ролика на другой с большой скоростью. При этом на проволоку непрерывно подается абразивная суспензия.

Размеры алмазного зерна выбирают с путем компромисса между скоростью резки и глубиной нарушенного слоя. Учитываются также физико-химические свойства разрезаемого материала. Для карбида кремния размер алмазного зерна обычно лежит в диапазоне 63/50–80/63 мкм [5].

Полученные после разрезания слитка полупроводниковые пластины обладают рядом недостатков: механически нарушенный слой, неплоскостность и непараллельность сторон, изгиб и шероховатость поверхности; поэтому после проведения резки обязательной операцией является шлифовка. При этом в карбиде кремния слой пластической деформации практически не образуется, а глубина нарушенного слоя существенно меньше по сравнению с кремнием [6].

Для разделения монокристаллических слитков на пластины в настоящее время используются также алмазные диски с внутренней режущей кромкой с применением алмазных абразивов.



Р и с. 3. Схема технологического процесса обработки пластин карбида кремния

F i g. 3. Scheme of silicon carbide wafers processing

Шлифовка пластин

Процесс шлифовки классифицируют по технологическому и конструкторскому признакам, а также по способу использования абразивного материала.

По технологическому признаку шлифовку разделяют на предварительную и окончательную, однако возможно и большее количество этапов. По конструкторскому признаку шлифовка может быть односторонней и двусторонней. По виду используемого материала – производимой свободным и связанным абразивом.

Основное назначение операции шлифования пластин карбида кремния заключается в придании им требуемой точности геометрических форм, удалении излишнего материала (утонышении) и повышении качества поверхности. Учитывая высокую твердость карбида кремния, в качестве абразивного материала применяется, как правило, алмаз.

Шлифование пластин на разных предприятиях и фирмах проводят как связанным, так и свободным абразивом на станках как с односторонней, так и двусторонней обработкой.

Шлифование связанным абразивом проводят на шлифовальных кругах, которые представляют собой металлические диски с нанесенным на их поверхность алмазным слоем толщиной в несколько миллиметров. Круги различаются по зернистости и содержанию алмаза. Более крупный размер зерна обеспечивает большие скорости удаления материала, но и большие нарушения

поверхности и приповерхностного слоя (большая глубина нарушенного слоя). Вследствие этого шлифование проводят в 2 или даже 3 этапа, последовательно уменьшая размер зерна алмазного абразива от 100–80 до 10–3 мкм.

При шлифовании свободными абразивами в качестве шлифовального материала применяют сталь, пористый чугун, латунь, алюминий, твердое дерево и другие материалы. В качестве абразивного материала для шлифования карбида кремния допускаются алмаз и нитрид бора, поскольку только они имеют более высокую, чем у карбида кремния, твердость. Чаще всего используется алмаз, который входит в состав суспензий и паст. Размеры зерен в алмазных пастах и суспензиях для шлифования аналогичны используемым при шлифовке связанным абразивом, т. е. от 100–80 до 10–3 мкм.

В работе [1] были исследованы пластины 6H-SiC со стороны углеродной грани после механической обработки алмазными пастами с размером зерна 1, 5, 7 и 14 мкм. Нарушенный слой в данной работе имел две зоны – рельефную и трещиноватую. Общая толщина нарушенного слоя была оценена как 0,2–0,4 от диаметра зерна абразива.

В работе [13] исследовалась глубина нарушенного слоя после механической обработки пластин 6H-SiC со стороны кремниевой грани алмазными пастами с размером зерна 4, 8, 12 и 15 мкм. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Зависимость рельефного и трещиноватого слоя от размера зерна абразива

Dependence of relief and cracked layer on abrasive grain size

Размер зерна абразива, мкм	Глубина рельефного слоя, нм	Глубина трещиноватого слоя, мкм
15	100	1–3
12	50	1
8	10	0,2–0,3
4	< 1	0,1



Будем считать, что обработка пластин абразивами с размерами зерна до 3 мкм относится к процессам шлифования, а обработка более мелким зерном – полирования. При этом необходимо иметь в виду также качество поверхности, а именно глубину нарушенного слоя и шероховатость.

Полировка пластин

Процесс полировки отличается от шлифовки технологическим режимом, размерами зерна и видом абразива,

а также материалом полировальника. Кроме того, полировка проводится чаще всего с одной стороны с использованием свободного абразива. Полировальники представляют собой жесткие диски обтянутые мягким материалом: фланелью, замшей, батистом, фетром, шелком, синтетической тканью типа «политэкс» и т. д. В качестве абразива используются микропорошки (с зернистостью < 3 мкм) алмаза, оксида алюминия, оксида хрома, диоксида кремния и диоксида циркония (табл. 2) [8; 12].

Таблица 2

Table 2

Абразивы для полирования SiC

Abrasives for polishing SiC

Абразив	Твердость по Кнуппу, кг/мм ²
Алмаз	7 000
SiC	2 500
Al ₂ O ₃	2 100
Cr ₂ O ₃	1 800
Si ₃ N ₄	1 450
ZrO ₂	1 200
SiO ₂	820

На основе этих материалов готовятся суспензии и пасты. Для получения поверхности пластин высокого качества без дефектов и с шероховатостью < 0,5 нм суспензии и пасты с различными абразивами для полировки необходимо сочетать с другими видами обработки (химическими, электрохимическими, температурными, плазменными).

Как правило, стандартный процесс полировки состоит из 3 этапов [2].

1. Предварительная полировка алмазными микропорошками с размером зерна 3–2 мкм (АС 3/2). Этот этап отличается достаточно большой скоростью удаления материала, но при этом

наличием значительных дефектов поверхности.

2. Полировка более мелким алмазным зерном ~ 1–0,5 мкм при смене материала полировальника на более мягкий (например, с батиста на велюр). На этом этапе уменьшается частота вращения полировальника, но может быть увеличено давление на него. При этом скорость удаления материала остается приблизительно такой же, как на первом этапе.

3. Финишная полировка включает в себя смену материала полировальника и абразивного материала. В качестве материала полировальника можно использовать специальные тка-

ни на основе искусственного волокна. Абразивными материалами могут быть оксид хрома, двуокись кремния и двуокись циркония.

Наиболее часто для финишной полировки карбида кремния применяется коллоидная суспензия двуокиси кремния с концентрацией 75–200 г/л и $\text{pH} = 10\text{--}11$, которая достигается добавлением гидроокиси щелочного металла [3; 5]. При низких значениях pH процесс полировки недостаточно эффективен, а слишком высокие значения могут вызвать локальные вытравливания полируемого материала [14].

Из сказанного следует, что в отличие от первых двух этапов, где удаление материала происходит в основном за счет механического удаления, на третьем этапе процесс является комплексным (и механическим, и химическим), поэтому такой вид обработки принято называть химико-механическим полированием.

Количество этапов в процессах шлифовки и полировки, состав паст и суспензий, порядок их использования и введение дополнительных операций может значительно отличаться от рассмотренных и часто является предметом авторского права.

Например, в патентах РФ [4–5] имеются способы обработки подложек из карбида кремния, в которых после резки кристаллов карбида кремния на пластины операции шлифовки и полировки проводятся в 5 этапов. В патенте [4] первым этапом является двусторонняя шлифовка свободным абразивом с алмазным зерном М 40/28; вторым – доводочная шлифовка алмазной пастой АС 10/7; третьим – полировка алмазной пастой АС 3/2; четвертым – полировка в суспензии на основе силиказолей (SiO_2). После очистки химическим и гидромеханическим способом пластины сушат и – на пятом этапе – отжигают в вакууме при температуре 800–1 200 °С. В патенте [5] тех же авторов изменены четвертый

и пятый этапы: четвертый включает нанополировку суспензией, содержащей «детонационные» наноалмазы с размером зерна 1 мкм; на пятом проводится нанополировка суспензией на основе силиказолей, не содержащих твердых абразивных частиц. Такой вид обработки, согласно утверждению авторов, позволяет получить поверхности SiC пластин с шероховатостью $< 0,5$ нм.

Отличительной особенностью карбида кремния наряду с очень высокой твердостью является высокая химическая инертность в сочетании с достаточно высокой хрупкостью. Именно поэтому на заключительном этапе обработки пластин карбида кремния необходимо использовать такие абразивы и такие режимы полирования, при которых обеспечивается малая шероховатость поверхности ($< 0,5$ нм), отсутствие дефектов на поверхности и приповерхностном слое, а также достаточно высокая скорость удаления материала.

Для решения этой задачи при подготовке пластин карбида кремния к эпитаксиальному осаждению пленок различные авторы предлагают разные подходы.

В работе [2] в качестве абразивного материала использовалась спрессованная в виде диска смесь из Cr_2O_3 и акрилонитрила (1:1). Диск прижимался к пластине SiC под давлением 0,34 МПа и имел относительную скорость вращения 0,5 м/с. Данный способ позволил получить скорость обработки Si-границы 1,5 мкм/ч, а C-границы – 0,35 мкм/ч. Качество обрабатываемой поверхности при этом является более высоким, чем при полировке алмазными абразивами с размерами зерна 0,5 мкм (сравнимыми с размером зерна Cr_2O_3).

В работе [14] проведено сравнение различных абразивных материалов применяемых при химико-механическом полировании карбида кремния (табл. 3).



Химико-механическое полирование карбида кремния различными абразивами

Chemical-mechanical polishing silicon carbide with different abrasives

Абразив	Скорость обработки	Качество
Алмазная паста (размер зерна – 1 мкм)	2–2,25 мкм/ч	Поверхность оптически гладкая. Нарушенный слой составляет 50–70 нм
Cr_2O_3	С-грань – 3–3,5 мкм/ч	С-грань оптически гладкая
Коллоидный раствор диоксида кремния (размер зерна – 0,06–0,07 мкм; расход пасты – 500 мл/ч)	1) pH·10, КТ, действие минимальное; 2) pH·11, КТ, < 0,1 мкм/ч; 3) pH·10,55 °C, < 0,1 мкм/ч; 4) pH·11,55 °C, < 0,2 мкм/ч	КТ – комнатная температура; в случаях 3 и 4 дефектов на поверхности не обнаружено

При использовании на заключительном этапе полировки карбида кремния обычной суспензии на основе коллоидного кремнезема (SiO_2) получаются очень низкие скорости удаления материала ~ 0,1–0,15 мкм/ч. В связи с этим для удаления даже небольшого нарушенного слоя в 1–1,5 мкм требуется > 10 ч. Для уменьшения времени обработки необходимо увеличить как механическую, так и химическую составляющие скорости удаления материала при сохранении высокого качества поверхности.

Авторы работы [8] предлагают вводить в коллоидную суспензию на основе SiO_2 определенное количество наноразмерного алмазного абразива с размером зерна ~ 0,1 мкм, что позволяет увеличить скорость удаления материала почти в 6 раз. При этом шероховатость поверхности на площади 100x100 мкм составляет 0,55 нм. Авторы также предлагают дополнительно вводить в состав суспензии на основе SiO_2 окислитель (например, гипохлорид натрия), что позволяет увеличить скорость удаления материала до 0,92 мкм/ч при средней шероховатости на той же площади ~ 0,52 нм. Окислитель обеспечивает образование на поверхности карбида

кремния окиси кремния и последующего «мягкого» удаления слоя окисла без поверхностных повреждений пластин SiC. Существенным моментом в результатах, представленных в работе [Там же], является то, что эти данные получены при исследовании химико-механического полирования полуизолирующего 6H-SiC, который использовался в качестве подложек для получения эпитаксиальных пленок GaN.

Для обеспечения высокого качества поверхности подложки SiC важно не только правильно выбрать состав суспензии, ее pH, температуру, но и режимы финишной полировки: скорость вращения и вид материала полировальника, а также давление. Перечисленные условия полирования, в свою очередь, зависят от режимов обработки на предыдущих этапах, а именно от размеров зерна и материала абразива.

Исследуя процессы полирования полупроводникового 6H-SiC со стороны Si-плоскости (0001), авторы работы [7] установили, что процесс химико-механического полирования подложек 6H-SiC с помощью обычной коллоидной суспензии на основе кремнезема (SiO_2) является селективным по отношению к царапинам и приповерхностным де-

фектам. Они проводили полирование коллоидным кремнеземом с размером зерна 60 нм и $\text{pH} = 11$ при комнатной температуре после механического полирования алмазной суспензией с размером зерна 0,5 мкм, которое оставило на поверхности 6H-SiC царапины и приповерхностные дефекты. Химико-механическое полирование проводилось на полировальной установке «DE-DC1 Strasbough» при скорости вращения полировальника 70 об./мин и давлении на перфорированное устройство с мягкой прокладкой 5 psi, или 345 г/см². Скорость удаления материала была низкой (~ 20 нм/ч), поэтому процесс удаления приповерхностных повреждений и царапин происходил медленно, а из-за селективности, по мнению авторов, требовалось еще большее время. После 16 ч химико-механического полирования на поверхности 6H-SiC все еще можно было наблюдать повреждения с помощью атомно-силового и просвечивающего электронного микроскопов.

Более оптимистические результаты полирования 4H-SiC и 6H-SiC приводятся в работе [9]. Авторы сообщают, что они достигли высокой производительности полирования пластин карбида кремния, обеспечив высокую плоскостность и незначительные поверхностные повреждения. Процесс обработки происходил в 3 этапа и занимал ~ 200 мин. После резки проволоками образцы шлифовались на алмазном круге в течение 15 мин для удаления нарушенного слоя, образованного в процессе резки, и обеспечения плоскостности и плоскопараллельности. Второй этап – доводка, или предварительная полировка, с помощью алмазных абразивов в течение 90 мин. Третий – 95-минутное химико-механическое полирование с помощью обычной коллоидной суспензии на основе кремнезема (SiO_2). В результате такой обработки авторы получили пластины SiC со среднеквадратичным значением шероховатости 0,08–0,012 нм на пло-

щади 10 мкм². К сожалению, в работе отсутствуют более детальные сведения о параметрах каждого этапа обработки, а только утверждается, что «высокая производительность, при хорошем качестве, обеспечивалась за счет оптимизации каждого этапа», но не сообщаются условия оптимизации.

В работе [11] приведены результаты исследования процессов подготовки поверхности подложек 6H-SiC для эпитаксиального роста пленок 6H-SiC, в процессе которого было установлено, что дефекты поверхности подложки, в том числе царапины, выступы и углубления (шероховатость), полностью передаются в эпитаксиальную пленку. Для устранения данных дефектов авторы предлагают проводить заключительные этапы обработки следующим образом: после шлифовки применять обычное химико-механическое полирование коллоидной суспензией на основе кремнезема (SiO_2), а затем травление в потоке водорода, которое осуществляется в том же реакторе, где производилось эпитаксиальное выращивание пленок 6H-SiC. Химико-механическое полирование проводится при скорости вращения полировальника 150 об./мин под давлением груза коллоидной суспензии кремнезема, высота которой над поверхностью является постоянной. Время полирования варьировалось от 10 до 120 мин. Травление в атмосфере H_2 производилось при температурах 1 300, 1 500 и 1580 °C в течение 10 и 20 мин. Как показали исследования с помощью атомного силового и просвечивающего электронного микроскопов высокого разрешения, наилучшие результаты были получены при химико-механическом полировании в течение 120 мин и травлении в водороде при 1 500 °C в течение 10 мин. По утверждению авторов, они получили чистую поверхность без дефектов со среднеквадратичной поверхностной шероховатостью 0,713 нм на площади 10x10 мкм. Шероховатость эпитаксиальной пленки



выращенной на такой подложке составляла 0,489 нм на площади 10x10 мкм.

В работе [10] представлены сравнительные результаты исследований процессов химико-механического полирования полуизолированных пластин 4Н-SiC и 6Н-SiC. Усовершенствования, предложенные авторами, во многом совпадают с ранее рассмотренными улучшениями химико-механического полирования SiC, однако результаты исследований даны в этой работе более детально и полно.

Процесс обработки пластин 4Н-SiC и 6Н-SiC включал следующие этапы:

1. Резка пластин проволоками.
2. Шлифовка алмазными пастами с размером зерна 3 мкм на медном полировальнике (скорость вращения – 60 об./мин, давление – 400 г/см²).
3. Полировка с помощью алмазной суспензии с размером зерна 0,5 мкм на полировальнике с мягкой нейлоновой тканью.
4. Финишная полировка, выполненная в четырех различных вариантах: первый вариант – полировка коллоид-

ной суспензией на основе SiO₂; второй – полировка алмазной суспензией с размером зерна 0,1 мкм; третий – полировка коллоидной суспензией на основе SiO₂ с добавлением окислителя; четвертый – полировка с помощью специальной комбинированной суспензии на основе коллоидного кремнезема с добавлением субмикронного алмаза с особой формой зерна.

Во всех вариантах финишной полировки скорость вращения полировального диска была равна 60 об./мин, а давление на пластины – 300 г/см². Полное время обработки составило ~ 5 ч, из которых ~ 1,5 ч было затрачено на финишную полировку.

На всех образцах, обработанных приведенными выше способами, измерялись глубина нарушенного слоя *h*, параметры шероховатости Ra, Rq, Rt, т. е. среднеарифметическое и среднеквадратичное значение шероховатости и максимальная высота профиля, а также скорость удаления материала (СУМ). Суммарные результаты измерений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Сравнение методов финишной полировки SiC
Comparison of methods of finish polishing SiC

Параметр	Размерность	ХМП	100 нм алмаз	ХМП, обогащенный окислителем	ХМП+алмаз
СУМ	мкм/ч	< 0,1	0,5	0,2	0,9
Ra	нм	0,47	0,44	0,56	0,59
Rq	нм	0,72	0,56	0,7	0,74
Rt	нм	4,79	4,47	5,05	5,67
h	нм	10,56	27,58	10,47 (4Н-SiC)	20,17

Как видно из табл. 4, чистое химико-механическое полирование дает очень хорошие результаты по параметрам поверхностного повреждения (Ra, h), однако скорость удаления материала очень мала – < 0,1 мкм/ч.

Полирование с помощью суспензии на основе чистого алмаза с размером зерна 100 нм дает существенно более высокие скорости удаления материала (~ 0,5 мкм/ч) и сопоставимые с ХМП параметры шероховатости.

Однако этот вариант оставляет на поверхности пластины царапины, а глубина приповерхностного повреждения больше, чем в других вариантах обработки пластин.

Коллоидная суспензия на основе кремнезема (SiO_2), обогащенная окислителем (например, гипохлоридом натрия), дает в 2 раза большие скорости удаления материала ($\sim 0,2$ мкм/ч), и удовлетворительные значения приповерхностных повреждений (R_a , R_q , R_t , h). Однако использование данной суспензии сопряжено с определенными трудностями, поскольку гипохлорид натрия нестабилен в коллоидной суспензии и имеет тенденцию к быстрому высыханию.

Гибридная суспензия на основе кремнезема и алмаза (ХМП+А):СМР-D (англ.) дает более высокие скорости удаления приповерхностного слоя ($\sim 0,9$ мкм/ч), приемлемые параметры шероховатости и глубины нарушенного слоя. Для уменьшения шероховатости авторы [Там же] предлагают оптимизировать давление на полировальник. Кроме того, при использовании гибридной суспензии авторы *не наблюдали царапин на поверхности*, несмотря на использование алмаза, но глубина нарушенного слоя была $\sim$ в 2 раза больше, чем при обычном химико-механическом полировании.

Во всех рассмотренных вариантах финишной обработки пластин карбида кремния воздействие на поверхность было или механическим (в случае использования алмазного абразива), или химико-механическим (во всех остальных случаях), поэтому достигнутые минимальные значения шероховатости ($\sim 0,4$ нм) при скорости удаления материала $0,1\text{--}0,2$ мкм/ч, возможно, являются предельными для этих методов полирования.

В заключение отметим, что классические методы обработки монокристаллов полупроводников (резка, шлифовка и полировка) применимы также для монокристаллов карбида кремния, однако требуют адаптации, учитывающей особые свойства материала.

Наиболее важными для качества обработки являются ее заключительные этапы (полировка, очистка).

На заключительных этапах обработка пластин карбида кремния имеет химико-механическую и чисто химическую природу, что позволяет получать пластины высокого качества с шероховатостью $\sim 0,4$ нм, однако при этом требуются большие затраты времени.

Для увеличения скорости обработки пластин карбида кремния ведется совершенствование существующих методов и разработка методов на основе новых принципов, включая использование нанотехнологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние механической обработки на структуру поверхности монокристаллов карбида кремния / Н. И. Долотов [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1986. – № 4. – С. 69–71.
2. Мазель, Е. З. Планарная технология кремневых приборов / Е. З. Мазель, Ф. П. Пресс. – Москва : Энергия, 1974. – 410 с.
3. Обработка полупроводниковых материалов / В. И. Карбань [и др.] ; под ред. Н. В. Новикова, В. Бертольд. – Киев : Наукова думка, 1982. – 256 с.
4. Патент Российская Федерация, H01L 21/304. Способ изготовления нанополированных пластин карбида кремния. – № 234544262, опубли. 06.12.2008.
5. Патент Российская Федерация, H01L 21/304. Способ предэпитоксимальной обработки полированных подложек из карбида кремния. – № 2345443, опубли. 20.06.2008.
6. Фост, Дж. Травление карбида кремния / Дж. Фост // Травление полупроводников : сб. науч. тр. – Москва : Мир, 1965. – 265 с.



7. Selectivity and residual damage of colloidal Silica chemi-mechanical polishing of silicon carbide / J. R. Grim [et al.] // Materials Science Forum : Silicon Carbide and Related Materials. – 2006. – Vol. 527–529. – pp. 1095–1098.

The selectivity, material removal rate, and the residual subsurface damage of colloidal silica (CS) chemi-mechanical polishing (CMP) of silicon carbide substrates was investigated by using atomic force microscopy (AFM) and plan view transmission electron microscopy (TEM). Silica CMP, in most process conditions, was selective. In the damage region surrounding remnant scratches, the vertical material removal rate exceeded the planar material removal rate, which resulted in an enhancement of the scratches over the duration of the polishing process.

8. Chemi-Mechanical Polishing of on – axis Semi-insulating SiC Substrates / V. D. Heydemann [et al.] // Materials Science Forum : Silicon Carbide and Related Materials. – 2003. – Vol. 457–460. – pp. 805–808.

9. High throughput SiC water polidhing with good surface morphology / T. Kato [et al.] // Materials Science Forum : Silicon Carbide and Related Materials. – 2006. Vol. 556–557. – pp. 753–756.

10. Augmented CMP Techniques for Silicon Carbide / P. Kuo, J. Currier // Materials Science Forum : Silicon Carbide and Related Materials. – 2006. – Vol. 527–529. – pp. 1099–1102.

11. Surface preparation of 6H-SiC substrates for growth of high quality SiC epilayer / K. S. Lee [et al.] // Materials Science Forum : Silicon Carbide and Related Materials. – 2003. – Vol. 457–460. – pp. 797–800.

12. **Kihuchi, M.** Mechanochemical polishing of Silicon Carbide single crystal Chromium (III) Oxide abrasive / M. Kihuchi, Ya. Takahashi, T. Suga // Jour. Am. Ceram. Soc. – 1992. – Vol. 751. – pp. 189–193.

13. Characterisation of polishing : Related Surface Damage in (0001) Silicon Carbide Substrate / W. Qiour [et al.] // Jour. Electrochem. Soc. – 1995. – Vol. 142, no. 12. – pp. 4290–4293.

14. **Zhou, L.** Chemomechanical Polishing of Silicon Carbide / L. Zhou, V. Audurier, I. A. Powell // Jour. Electrochem. Soc. – 1997. – Vol. 144, no. 6. – pp. 161–165.

Поступила 30.07.2015 г.

Об авторе:

Ивенин Станислав Васильевич, доцент кафедры электроники и нанoeлектроники факультета электронной техники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: orcid.org/0000-0001-7468-1425**, siven38@mail.ru

Для цитирования: Ивенин, С. В. Обработка пластин монокристаллического карбида кремния / С. В. Ивенин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 37–50. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.037

REFERENCES

1. Dolotov N. I., Levchuk B. I., Makarov V. V., Tayrov Yu. M., Tsvetkov V. F. Vliyaniye mekhanicheskoy obrabotki na strukturu poverkhnosti monokristalla karbida kremniya [Impact of mechanical processing on surface structure of single silicon carbide crystal]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov* [Physics and chemistry for materials processing], 1986, no. 4, pp. 69–71.

2. Mazel Ye. Z., Press F. P. Planarnaya tekhnologiya kremniyevykh priborov [Planar technology of silicon-based hardware]. Moscow: Energiya Publ., 1974, 410 p.

3. Karban V. I., Kay P., Rogov V. V., Hofman H. [et al.]. Obrabotka poluprovodnikovyykh materialov [Semiconductor materials processing]. Kiyev: Naukova dumka Publ., 1982, 256 p.

4. Sposob izgotovleniya nanopolirovannykh plastin karbida kremniya [Method of production of nano-polished silicon carbide plates]. Pat. RF, no. 234544262, H01L 21/304, 06.12.2008.

5. Sposob predepitaksialnoy obrabotki polirovannykh podlozhek iz karbida kremniya [Method of pre-epitaxial processing of polished silicon carbide substrates]. Pat. RF no. 2345443, H01L 21/324, 20.06.2008.

6. Fost J. Travleniye karbida kremniya [Silicon carbide etching process]. Travleniye poluprovodnikov: sb. nauch. tr. [Etching of semiconductors: collected works]. Moscow: Mir Publ., 1965, 265 p.

7. Grim J. R., Skowronski M., Everson W. J., Heydemann V. D. Selectivity and residual damage of colloidal Silica chemi-mechanical polishing of silicon carbide. Materials Science Forum. Silicon Carbide and Related Materials, 2006, vol. 527–529. – pp. 1095–1098.

The selectivity, material removal rate, and the residual subsurface damage of colloidal silica (CS) chemi-mechanical polishing (CMP) of silicon carbide substrates was investigated by using atomic force microscopy (AFM) and plan view transmission electron microscopy (TEM). Silica CMP, in most process conditions, was selective. In the damage region surrounding remnant scratches, the vertical material removal rate exceeded the planar material removal rate, which resulted in an enhancement of the scratches over the duration of the polishing process.

8. Heydemann V. D., Everson W. J., Gambi R. D., Snyder D. W., Skowronski M. Chemi-Mechanical Polishing of on – axis Semi-insulating SiC Substrates. Materials Science Forum. Silicon Carbide and Related Materials, 2003, vol. 457–460. – pp. 805–808.

9. Kato T., Wada K., Hozomi E., Taniguchi H., Miuza T., Nishizawa S., Arai K. High throughput SiC water polidhing with good surface morphology. Materials Science Forum. Silicon Carbide and Related Materials. 2006, vol. 556–557. – pp. 753–756.

10. Kuo P., Currier J. Augmented CMP Techniques for Silicon Carbide. Materials Science Forum. Silicon Carbide and Related Materials, 2006, vol. 527–529, pp 1099–1102.

11. Lee K. S., Lee S. H., Kim M., Nahm K. S. Surface preparation of 6H-SiC substrates for growth of high quality SiC epilayer. Materials Science Forum. Silicon Carbide and Related Materials, 2003, vol. 457–460, pp. 797–800.

12. Kihuchi M., Takahashi Ya., Suga T. Mechanochemical polishing of Silicon Carbide single crystal Chromium (III) Oxide abrasive. Jour. Am. Ceram. Soc. 1992, vol. 751, pp. 189–193.

13. Qiour W., Skawronski M., Augustine R. C., Glass M. Characterisation of polishing – Related Surface Damage in (0001) Silicon Carbide Substrate. Jour. Electrochem. Soc., 1995, vol. 142, no. 12, pp. 4290–4293.

14. Zhou L., Audurier V., Powell I. A. Chemomechanical Polishing of Silicon Carbide. Jour. Electrochem. Soc., 1997, vol. 144, no. 6, pp. 161–165.

Submitted 30.07.2015

About the author:

Ivenin Stanislav Vasilyevich, associate professor of chair of Electronics and Nano-electronics of Oga-rev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7468-1425>, siven38@mail.ru

For citation: Ivenin S. V. Monocrystalline silicon carbide wafers processing. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 37–50. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.037



МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621:631.31

DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНОГО МОТОКУЛЬТИВАТОРА «НЕВА» МК-200

**А. В. Анохин¹, В. Ф. Купряшкин², М. Н. Чаткин²,
Н. И. Наумкин², А. Г. Капустин², А. С. Уланов²**

*¹Институт машиноведения Национальной академии наук
Республики Кыргызстан (г. Бишкек, Республика Кыргызстан)*

*²ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

Работа посвящена динамическому анализу загрузки двигателя мотокультиватора с учетом особенностей конструкции фрезерных рабочих органов и их взаимодействия с почвой. Рассмотрены области применения фрезерных мотокультиваторов как отечественных, так и зарубежных производителей. Указаны особенности конструкций рабочих органов фрезерных мотокультиваторов и отмечены их недостатки, приводящие к увеличению затрат мощности, снижению производительности и качества обработки почвы. Для установления причин снижения эффективности и наиболее оптимальных режимов функционирования фрезерных мотокультиваторов с учетом конструктивных особенностей рабочих органов и конкретных почвенных условий приведен подробный анализ конструкции фрезерных рабочих органов мотокультиватора «Нева» МК-200, заключающийся в установлении порядка и расчета рабочего угла взаимодействия их ножей с почвой. В результате динамического исследования, которое проводилось с использованием известных графоаналитических методов с учетом одного рабочего цикла, равному одному полному обороту фрезбаранов, при условии установившегося протекания технологического процесса фрезерования почвы; установлены расчетные зависимости максимального крутящего момента и требуемой мощности, необходимой для привода одного ножа. Также в ходе динамического анализа были определены значения суммарного среднего крутящего момента на приводном валу фрезбаранов. С учетом почвенных условий и конструктивно-технологических особенностей функционирования фрезерного мотокультиватора получены аналитическая и графическая зависимости требуемой мощности двигателя, необходимой для привода его рабочих органов. Обработка значений графических зависимостей требуемой мощности двигателя позволил установить ее аппроксимирующие функции, на основании которых были определены оптимальные и критические режимы функционирования мотокультиватора в зависимости от варианта комплектования фрезерных рабочих органов и конкретных почвенных условий, определяемых ее твердостью, при условии максимальной загрузки его двигателя.

Ключевые слова: фрезерный мотокультиватор, фрезбаран, двигатель, режим работы, крутящий момент, мощность, почва, твердость

DYNAMIC LOAD ANALYSIS OF THE MOTOR CULTIVATOR “NEVA” MK-200 ENGINE

**A. V. Anokhin^a, V. F. Kupryashkin^b, M. N. Chatkin^b,
N. I. Naumkin^b, A. G. Kapustin^b, A. S. Ulanov^b**

*^a Institute of Machinery Sciences of National Academy of
Sciences of the Kyrgyz Republic (Bishkek, the Kyrgyz Republic)*

^b Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The article deals with the dynamic analysis of the motocultivator motor load considering structural peculiarities of the milling work tools and their interaction with the soil. The authors describe the application areas of milling cultivators produced by domestic and foreign manufacturers. The features of the design of the milling work tools and the shortcomings leading to increased costs of power, the loss of productivity and quality of soil treatment are described. To find out the causes of reduced efficiency and establish the most optimal modes for motocultivators adjusted for the structural features of the work tools and specific soil conditions the authors have carried out a detailed analysis of the design of milling work tools of the motocultivator NEVA MK-200. The analysis includes the determination of the order and calculation of the operating angle for the interaction of the blades with the soil. The dynamic analysis has been carried out by the known semigraphical methods for one working cycle, which is equal one complete revolution of milling drums in the normal course of technological process of cutting the soil; the relations between the maximum torque and the power required to drive a knife have been calculated. The dynamic analysis has been also used to evaluate the total average torque of the drive shaft of milling drums. The analytical and graphical dependences of the engine power required to drive its work tools have been determined in view of the soil condition, structural and technological features of the functioning of the milling motocultivators. Processing the values of graphical dependences of the required engine power made it possible to establish its approximated functions. Based on the said functions, the authors have determined optimal and critical operation modes for motocultivators depending on configuration of milling work tools and soil penetration index when the engine operates under full load conditions.

Keywords: milling motor cultivator, rotor, engine, working mode, rotational power, capacity, soil, hardness

Для механизации различных сельскохозяйственных работ в личных подсобных хозяйствах, приусадебных участках, а также выполнения малых объемов работ в крупных сельскохозяйственных предприятиях широко применяются мотоблоки и мотокультиваторы как отечественного производства («Нева» МК-200, Салют 100 и др.) так и зарубежного (Caiman ECO MAX 60S C2 – Франция, MTD T/240 B – Германия, Венгрия и др.) [6; 11]. Применяемые в данных машинах фрезерные рабочие органы с Г-образными ножами предназначены, как правило, только для работы в заданных конкретных почвенных условиях. Их использование в условиях, отличных от заданных, приводит к увеличению затрат мощности, снижению производительности и качества обработки почвы. Именно поэтому при эксплуатации почвообрабатывающих машин важным вопросом является установление наиболее оптимальных режимов с учетом конструктивных особенностей рабочих органов и конкретных почвенных условий, обеспечивающих наиболее высокую эффективность их функционирования [4–5; 7; 12].

Предлагаемый материал посвящен динамическому анализу загрузки двигателя фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200-С4,5, оснащенного двигателем внутреннего сгорания Subaru EX13, с учетом особенностей конструкции фрезерных рабочих органов и их взаимодействия с почвой.

Динамические исследования почвообрабатывающих машин с фрезерными рабочими органами рассматривались в работах отечественных и зарубежных исследователей [1–3; 13–15], однако в них не предлагался анализ изменения требуемой мощности двигателя в зависимости от почвенных условий, что не позволяло охарактеризовать загруженность двигателя почвообрабатывающей фрезы и эффективность его функционирования.

Исследования динамических процессов работы фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 заключаются в определении изменения крутящего момента на приводном валу фрезбарабанов за один полный его оборот и требуемой мощности двигателя, обеспечивающего его привод.



Для решения поставленной задачи используем графоаналитические методы [9; 12]. Динамический анализ проводим за один рабочий цикл, принятый равным одному полному обороту фрезбарабанов при условии установившегося протекания технологического процесса фрезерования почвы на глубине обработки $h = 0,2$ м. В качестве объекта обработки примем малогумусный чернозем с твердостью p в интервале 0,3–1,5 МПа, что соответствует свежевспаханной и сильно уплотненной почве. Кроме того, учитываем конструктивные особенности машины и фрезбарабанов.

Для определения зависимости крутящего момента на приводном валу мотокультиватора от его угла поворота предварительно определим последовательность расположения рабочих органов (ножей) по секциям фрезбарабанов и врезания их в почву, а также рабочий угол резания ножа и величину максимального крутящего момента на приводном валу.

Анализ конструкции фрезбарабанов и порядок взаимодействия их ножей с почвой представлены на рис. 1, а его результаты – в табл. 1 [8].

Для расчета рабочего угла ножа φ_p (град.) воспользуемся расчетной схемой (рис. 2), из которой следует, что значение φ_p можно определить по следующей формуле [6]:

$$\varphi_p = 180^\circ - 2 \arcsin \left(1 - \frac{h}{R} \right), \quad (1)$$

где h – глубина фрезерования почвы, м; $h = 0,2$ м; R – радиус фрезерного барабана, м; $R = 0,16$ м [8].

После подстановки значений h и R в (1) получим $\varphi_p = 210^\circ$.

Величина максимального значения крутящего момента на приводном валу фрезбарабана от действия одного ножа определяется зависимостью:

$$M_{\max i} = \frac{9550 P_\phi}{n_\phi}, \quad (2)$$

где P_ϕ – мощность затрачиваемая на фрезерование почвы одним ножом, кВт; n_ϕ – частота вращения фрезерного барабана, мин^{-1} ; $n_\phi = 120 \text{ мин}^{-1}$ [Там же].

Значение мощности P_ϕ с учетом особенностей функционирования фрезерного мотокультиватора будет определяться зависимостью [6; 10]:

$$P_\phi = P_{\text{рез}} + P_{\text{отб}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{рез}}$ и $P_{\text{отб}}$ – мощность, затрачиваемая на резание и отбрасывание почвы одним ножом, кВт.

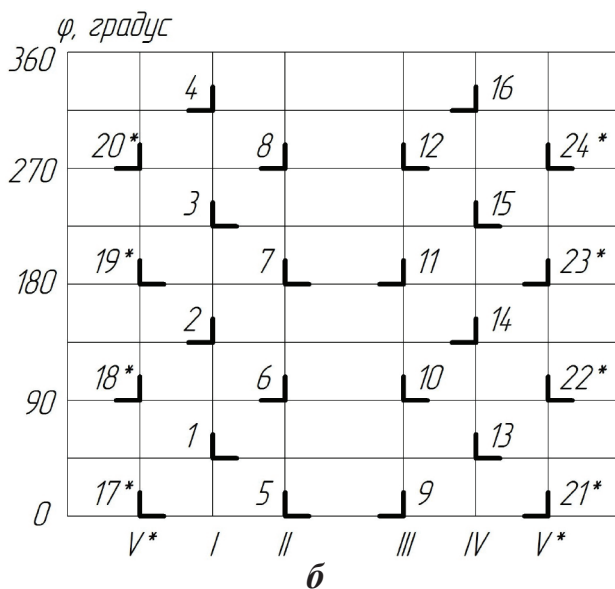
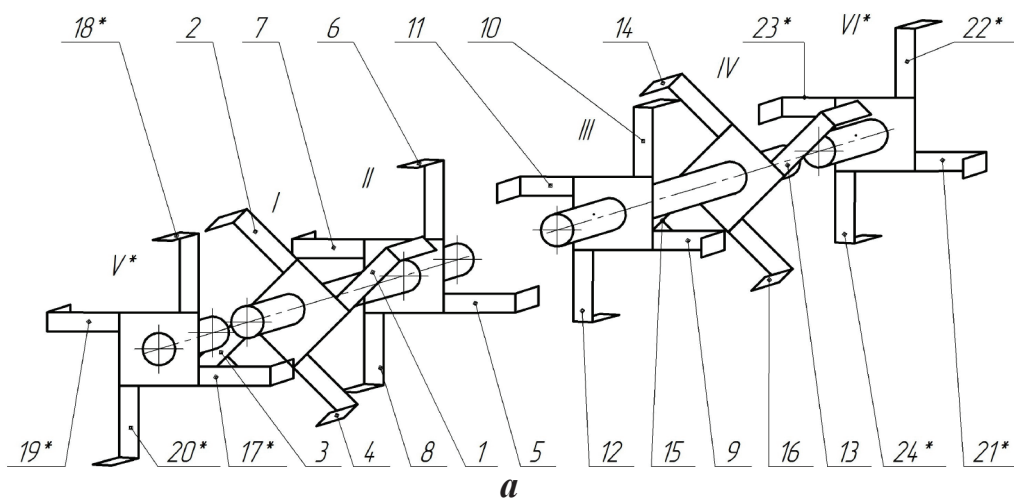
Таблица 1

Table 1

Порядок взаимодействия ножей с почвой

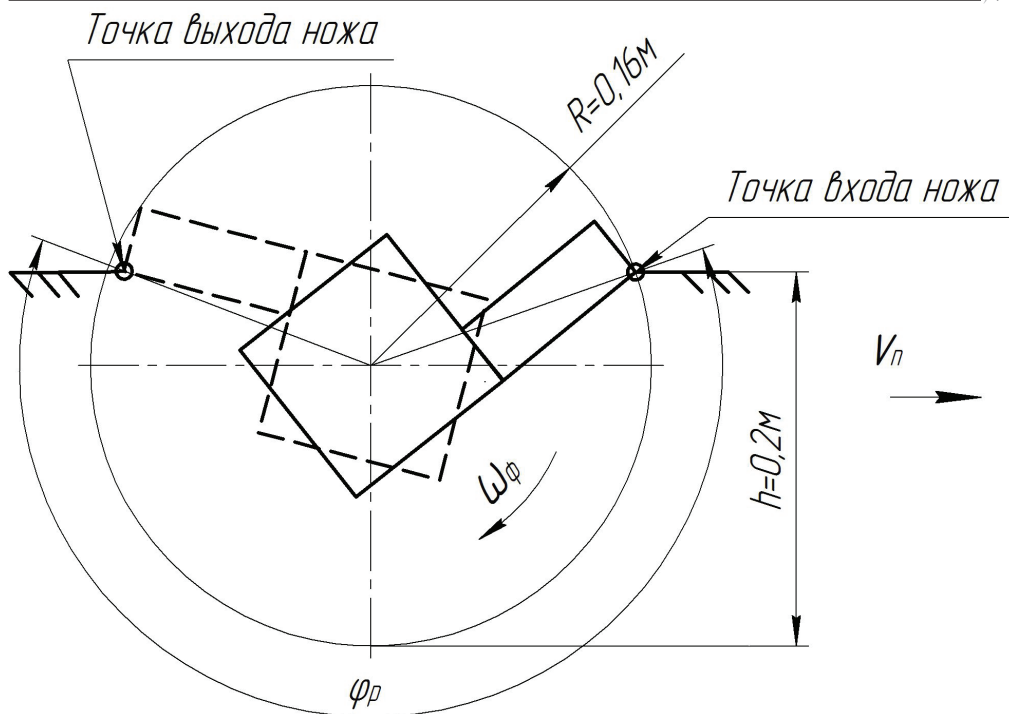
Order of knives interaction with soil

Угол поворота φ , град.	№ диска № ножа	Угол поворота φ , градус	№ диска № ножа
0	II5, III9, V17*, VI21*	180	II7, III11, V19*, VI23*
45	I1, IV13	225	I3, IV15
90	II6, III10, V18*, VI22*	270	II8, III12, V20*, VI24*
135	I2, IV14	315	I4, IV16



Р и с. 1. Схема конструкции фрезбарабанов мотокультиватора «Нева» МК-200
F i g. 1. Structure diagram of the motorcultivators “Neva” MK-200 milling drums

а – конструкция фрезбарабанов; б – расположение ножей в секциях фрезбарабанов; I, II, III, IV – номера основных секций; V*, VI* – номера дополнительных секций; 1, 2, ..., 16 – номера ножей основных секций; 17*, 18*, ..., 24* – номера ножей дополнительных секций



Р и с. 2. Расчетная схема для определения рабочего угла ножа
F i g. 2. Calculation scheme for determining the operating angle of the knife

Значения мощностей $P_{рез}$ и $P_{отб}$, согласно рекомендациям [10], рассчитываются по формулам:

$$P_{рез} = k_{рез} h b v_o 10^{-3}, \quad (4)$$

$$P_{отб} = k_{отб} h b \lambda^2 v_o 10^{-3}. \quad (5)$$

Последовательно подставляя зависимости (4) и (5) в (3) и (2) соответственно, получим:

$$P_{\phi} = h b v_o (k_{рез} + k_{отб} \lambda^2 v_o^2) 10^{-3}, \quad (6)$$

$$M_{max i} = \frac{9550 h b v_o (k_{рез} + k_{отб} \lambda^2 v_o^2) 10^{-3}}{n_{\phi}}, \quad (7)$$

где $k_{рез}$ – коэффициент резания почвы, Н/м² (согласно [Там же],

для малогумусного чернозема при твердости почвы $p = 0,3-1,5$ МПа, что соответствует свежевспаханной и сильно уплотненной почве, $k_{рез} = 5,8 \cdot 10^3 - 13,0 \cdot 10^3$ Н/м²; $k_{отб}$ – коэффициент отбрасывания почвы, Нс²/м⁴ (для указанной почвы и диапазона твердости почвы $k_{отб} = 14-13$ Нс²/м⁴); b – ширина захвата одного ножа, м (для ножа фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 – $b = 0,06$ м); v_o – окружная скорость на ножах фрезерных барабанов, м/с; λ – кинематический параметр фрезерного мотокультиватора.

Для практического использования коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$ в зависимости от конкретной твердости почвы p в указанном диапазоне, используя метод линейной интерполяции, определим их значения и на основании них составим табл. 2.

Значения коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$ и крутящего момента M_{max}
в зависимости от твердости почвы p

Values of ratios $k_{рез}$, $k_{отб}$ and torque M_{max} depending
on soil hardness p

Наименование параметра, размерность	Номер режима по твердости почвы				
	1	2	3	4	5
	Значение				
Твердость почвы p , МПа	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
Коэффициент резания $k_{рез}$, 10^3 Н/м ²	5,80	7,60	9,40	11,20	13,00
Коэффициент отбрасывания $k_{отб}$, Нс ² /м ⁴	14,00	13,75	13,50	13,25	13,00
Максимальный крутящий момент на валу фрезбарабана при взаимодействии одного ножа с почвой M_{max} , Нм	14,90	18,30	21,70	25,00	28,40

Окружную скорость на ножах v_0 (м/с) определяем расчетной зависимостью:

$$v_0 = \frac{\pi n_\phi R}{30}. \quad (8)$$

Подставляя известные значения n_ϕ и R в (8), получим $v_0 = 2$ м/с.

Значение кинематического параметра λ рассчитаем по формуле [6]:

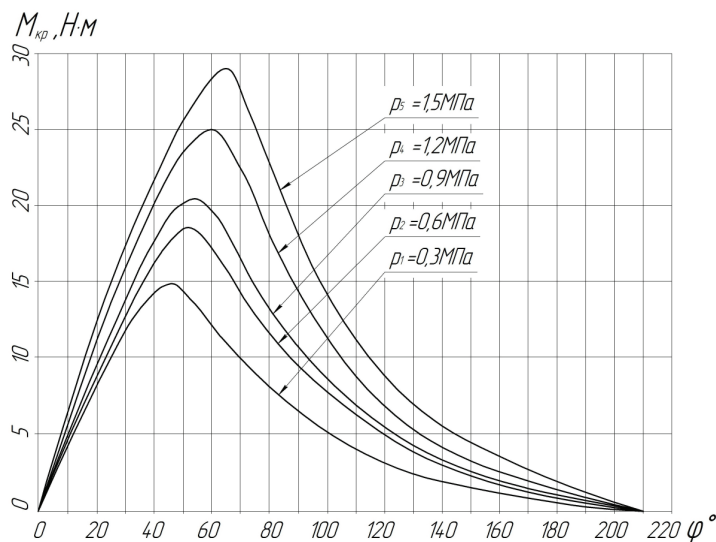
$$\lambda = \frac{\sqrt{2Rc - c^2}}{R \left(\frac{\pi(z+2)}{2z} - \arcsin \frac{R-c}{R} \right)}, \quad (9)$$

где c – высота гребня на дне борозды, м (для получения однородной обработки почвы она должна быть $c \leq 0,2h = 0,2 \cdot 0,2 = 0,04$ м [10]); $z = 2$ – количество ножей, вращающихся на одной плоскости (см. рис. 1а).

После подстановки известных значений в (9), получим $\lambda = 6$.

Таким образом, подставляя известные и найденные значения h , b , v_0 , λ , ω_ϕ и значения коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$, соответствующие показателям твердости почвы p (см. табл. 2), в (7), определим значения максимального крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии одного ножа с почвой. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Для построения графика изменения крутящего момента на приводном валу фрезбарабана при работе одного ножа воспользуемся кривой распределения приводного момента за рабочий ход для Г-образных ножей [Там же] и полученными максимальными значениями крутящего момента $M_{кр max}$ и рабочим углом $\varphi_p = 210^\circ$ при глубине обработки $h_p = 0,2$ м. В результате построим соответствующие графики изменения крутящих моментов (рис. 3).



Р и с. 3. Графики изменения крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии с почвой одного ножа в зависимости от угла его поворота
 Fig. 3. Graphics of milling drum shaft torque ratios when interacting of a knife with soil depending on knife rotation angle

1, 2, 3, 4 и 5 – зависимости $M_{кр max}$, соответствующие твердости почвы 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 и 1,5 МПа

Используя данные табл. 1, учитывая особенности взаимодействия определенного количества ножей и угловой шаг между ними ($\varphi = 45^\circ$), производим суммирование значений графиков крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии с почвой одного ножа $M_{кр max}$ в диапазоне твердости почвы 0,3–1,5 МПа, что позволит получить минимальные и максимальные значения суммарного крутящего момента на приводном валу мотокультиватора $M_{\Sigma min}$ и $M_{\Sigma max}$, Нм (табл. 3).

После этого определяем величины среднего крутящего момента $M_{кр ср}$ (Нм) на валу фрезбарабана по формуле:

$$M_{кр ср} = \frac{M_{кр max} + M_{кр min}}{2}. \quad (10)$$

Подставляя значения $M_{кр min}$ и $M_{кр max}$, соответствующие твердости почвы,

в (10), получим значения $M_{кр ср}$ (см. табл. 3).

После этого определим требуемую мощность двигателя мотокультиватора $P'_{дв}$, кВт, по формуле:

$$P'_{дв} = \frac{M_{кр ср} n_{дв}}{9550 i_o \eta_o}, \quad (11)$$

где $n_{дв}$ – частота вращения вала двигателя, мин^{-1} (для двигателя Subaru EX13 которым оснащен мотокультиватор «Нева» МК-200-С4,5 $n_{дв} = 3600 \text{ мин}^{-1}$ [8]); i_o и η_o – общее передаточное отношение и общее КПД привода фрезерных рабочих органов (учитывая конструктивные особенности фрезерного мотокультиватора, а именно наличие цепного зубчато-цепного редуктора и клиноременной передачи [Там же], а также частоту вращения фрезерных рабочих органов $n_\phi = 120 \text{ мин}^{-1}$, $i_o = 30$ и $\eta_o = 0,9$).

Подставив найденные значения $n_{\text{дв}}$, i_o , η_o и значение $M_{\text{кр}}$, взятые для твердости почвы 0,3–1,5 МПа в (11), получим значения $P'_{\text{дв}}$ (см. табл. 3). На основании значений табл. 3 построим

графики требуемой мощности двигателя $P'_{\text{дв}}$ (кВт) в зависимости от твердости почвы p (МПа) для фрезбарабанов, включающих в себя по 2 и 3 рабочие секции (рис. 4).

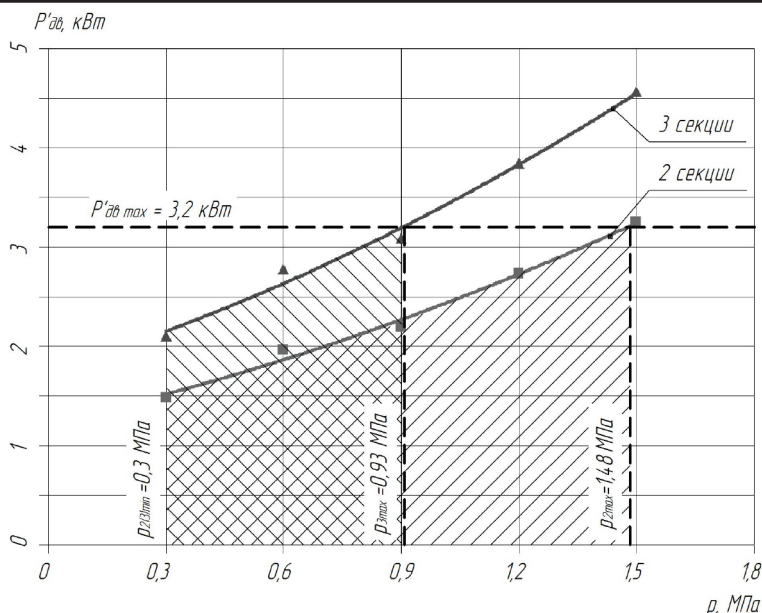
Таблица 3

Table 3

Значения крутящих моментов на валу фрезбарабана, коэффициентов неравномерности и требуемой мощности двигателя в зависимости от твердости почвы

Values of milling drum shaft torque, irregularity ratios and the required engine power depending on soil hardness

Количество рабочих секций во фрезбарабане	Параметр	Значения крутящего момента на валу фрезбарабана $M_{\text{кр}}$ и требуемой мощности двигателя $P'_{\text{дв}}$ при твердости почвы p , МПа				
		0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
2	Крутящий момент на валу фрезбарабана, Нм:					
	– минимальный $M_{\text{кр min}}$	104,5	134,3	150,4	185,1	217,6
	– максимальный $M_{\text{кр max}}$	107,4	145,8	163,5	206,6	248,5
	– средний $M_{\text{кр ср}}$	106,0	140,1	157,0	195,9	233,0
	Требуемая мощность двигателя $P'_{\text{дв}}$, кВт	1,48	1,96	2,19	2,73	3,25
3	Крутящий момент на валу фрезбарабана, Нм:					
	– минимальный $M_{\text{кр min}}$	133,0	183,6	194,9	246,6	290,3
	– максимальный $M_{\text{кр max}}$	167,8	213,2	246,3	303,4	363,0
	– средний $M_{\text{кр ср}}$	150,4	198,4	220,6	275,0	326,6
	Требуемая мощность двигателя $P'_{\text{дв}}$, кВт	2,10	2,77	3,08	3,84	4,56



Р и с. 4. Графики изменения требуемой мощности двигателя в зависимости от твердости почвы

F i g. 4. Graphics of required engine power depending on soil hardness

На основании данных рис. 4 установившим аппроксимирующие функции требуемой мощности двигателя $P'_{дв}$ (кВт) от твердости почвы p (МПа) для фрезбарабанов, включающих по 2 и 3 рабочие секции:

$$P'_{дв2} = 0,31p^2 + 0,88p + 1,22, \quad (12)$$

$$P'_{дв3} = 0,44p^2 + 1,21p + 1,75. \quad (13)$$

Величина достоверности полученных аппроксимаций составляет $R^2 = 0,99$.

Учитывая, что $P'_{дв} = P_{дв} = 3,2$ кВт (где $P_{дв}$ – мощность двигателя Subaru EX15 [Там же]), и ряд преобразований, запишем формулы (12) и (13) в виде квадратных уравнений:

$$p^2 + 2,84p - 6,4 = 0, \quad (14)$$

$$p^2 + 2,75p - 3,4 = 0. \quad (15)$$

Решив их, выясним, что для рассматриваемого фрезерного культиватора «Нева» МК-200-С4,5 критические значения твердости почвы, при которых он может эксплуатироваться при условии максимальной загрузки двигателя, равны $p_{2max} = 1,48$ МПа для фрезбарабанов с 2 рабочими секциями и $p_{3max} = 0,93$ МПа – с 3 рабочими секциями соответственно.

Результаты расчетов и анализ графика (рис. 4) свидетельствуют о том, что фрезерный мотокультиватор «Нева» МК-200-С4,5 при комплектации каждого из фрезбарабанов 2 секциями общей шириной 60 см обеспечивает при заданных технологических параметрах обработку почвы во всем рассматриваемом диапазоне ее твердостей. Однако наиболее эффективная загрузка его двигателя обеспечива-

ется при $p = 1,48$ МПа. Применение мотокультиватора со фрезбарабанами, включающими по 3 секции общей шириной 90 см, ограничивается $p = 0,93$ МПа. Как и в предыдущем случае, максимальная нагрузка двигателя обеспечивается только в одном режиме, соответствующему указанной твердости почвы.

Таким образом, проведенный динамический анализ загруженности

двигателя фрезерного мотокультиватора позволяет утверждать об ограниченности режимов его эффективного функционирования при обработке почвы с твердостью 0,3–1,5 МПа. В связи с этим необходимо найти конструктивные решения, позволяющие обеспечить расширение возможных режимов его эффективного функционирования в зависимости от свойств обрабатываемой почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ динамических нагрузок в приводе машины для обработки почвы в теплицах МПТ-1,2 / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5, Ч. 1. – С. 62–63.
2. Андреев, В. И. Исследования динамических процессов ротационных почвообрабатывающих машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Андреев. – Москва, 1969. – 28 с.
3. Динамика работы малогабаритной почвообрабатывающей фрезы ФС-0,85 / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : сб. мат-лов Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск : [б. и.], 2004. – С. 296–307.
4. Динамические условия обеспечения равномерного движения самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез с ходовыми колесами / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Нива Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 52–56.
5. Купряшкин, В. Ф. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы оптимизацией конструктивно-технологических параметров (на примере фрезы ФС-0,85) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Ф. Купряшкин. – Саранск, 2011. – 20 с.
6. Купряшкин, В. Ф. Устойчивость движения и эффективное использование самоходных почвообрабатывающих фрез : Теория и эксперимент / В. Ф. Купряшкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 140 с.
7. Мелихов, В. В. Размещение ножей на валу фрезбарабана ротационных почвообрабатывающих машин / В. В. Мелихов // Тракторы и сельхозмашины. – 1974. – № 5. – С. 17–18.
8. Мотокультиватор «Нева» МК-200 и его модификации : руководство по эксплуатации 005.65.0100 РЭ4 : ЗАО «Красный Октябрь-Нева». – Санкт-Петербург : [б. и.], 2013. – 36 с.
9. Наумкин, Н. И. Теория механизмов и машин и ее приложения в АПК / Н. И. Наумкин, Н. В. Раков, В. Ф. Купряшкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 220 с.
10. Синееков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синееков, И. М. Панов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 328 с.
11. Средства механизации для производства и переработки сельскохозяйственной продукции в малых формах хозяйствования : кат. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 280 с.
12. Чаткин, М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 316 с.
13. Чаткин, М. Н. Особенности динамического анализа работы почвообрабатывающих фрезерных машин / М. Н. Чаткин, В. Ф. Купряшкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 12. – С. 9–11.
14. Sohne, W. Einfluss von Form und Anordnung der Werkzeuge auf Antriebsmomente von Ackerfrasen, Grundl. D. Landtechn. / W. Sohne. – 1957. – № 9. – P. 696–787.
15. Tomiko, J. On the Shape of flatknight tines “Natabo” for garden type rotary tillers / J. Tomiko. – Tokyo, 1965.

Поступила 07.09.2015 г.



Об авторах:

Анохин Анатолий Васильевич, заведующий лабораторией Института машиноведения Национальной академии наук Республики Кыргызстан (Республика Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Скрябина, д. 23), кандидат технических наук, доцент, anochin_anatoli@mail.ru

Купряшкин Владимир Федорович, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, kupwf@mail.ru

Чаткин Михаил Николаевич, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3758-7066>, chatkinm@yandex.ru

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

Капустин Андрей Геннадьевич, преподаватель кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2954-9200>, pechen1214@yahoo.com

Уланов Александр Сергеевич, аспирант кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Для цитирования: Анохин, А. В. Динамический анализ загрузки двигателя фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 / А. В. Анохин [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 51–62. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051

REFERENCES

1. Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Firstov A. F., Ulanov A. S. Analiz dinamicheskikh nagruzok v privode mashiny dlya obrabotki pochvy v teplitsakh MPT-1,2 [Analysis of dynamic loads in the drive machine MPT-1,2 for soil cultivation in greenhouses]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high technologies]. 2014, no. 5, pp. 62–63.
2. Andreyev V. I. Issledovaniya dinamicheskikh protsessov rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Study of dynamic processes of rotary tillers: author's abstract of cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 1969, 28 p.
3. Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I. Dinamika raboty malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy FS-0,85 [Dynamics works of small-sized tillage cutters FS-0,85]. *Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya mekhanicheskikh i energeticheskikh sistem: sb. mat-lov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Improving the efficiency of mechanical and energy systems: Collection of materials Intern. scientific and engineering conf.]. Saransk, 2004, pp. 296–307.
4. Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I. Dinamicheskiye usloviya obespecheniya ravnomernogo dvizheniya samokhodnykh malogabaritnykh pochvoobrabatyvayushchikh frez s khodovymi kolesami [Dynamic conditions ensuring uniform motion of self-propelled small tillers cutters with running wheels] *Niva Povolzhya* [Cornfields of Povolzhye]. 2011, no. 4, pp. 52–56.
5. Kupryashkin V. F. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya samokhodnoy malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy optimizatsiyey konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov (na primere frezy FS-0,85): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of self-propelled cutter compact tillage optimization design and technological parameters (for example, the cutter FS-0,85): author's abstract of cand. eng. sci. diss.]. Saransk, 2011, 20 p.

6. Kupryashkin V. F. Ustoychivost dvizheniya i effektivnoye ispolzovaniye samokhodnykh pochvo-obrabatyvayushchikh frez: Teoriya i eksperiment [Stability of movement and effective use of self-propelled cutter tillage. Theory and experiment]. Saransk, 2014, 140 p.
7. Melikhov V. V. Razmeshcheniye nozhey na valu frezbarabana rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Placement of knives on the cutting reel shaft of rotational tillers]. *Traktory i selkhoz mashiny* [Agricultural machinery]. 1974, no. 5, pp. 17–18.
8. Motokultivator “Neva” MK-200 i yego modifikatsii: rukovodstvo po ekspluatatsii 005.65.0100 RE4: ZAO “Krasnyy Oktyabr-Neva” [Tiller “Neva” MK-200 and its modifications. Instruction manual 005.65.0100 RE4. ZAO “Krasnyy Oktyabr-Neva”], 2013, 36 p.
9. Naumkin N. I., Rakov V. F., Kupryashkin V. F. Teoriya mekhanizmov i mashin i yeye prilozheniya v APK [Theory of mechanisms and machines and its application in AIC]. Saransk, 2012, 220 p.
10. Sinekov G. N., Panov I. M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and design of tillers]. *Mashinostroyeniye* [Machine engineering]. 1977, 328 p.
11. Sredstva mekhanizatsii dlya proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii v mal'kikh formakh khozyaystvovaniya [Rigging for the production and processing of agricultural products in small farms]. Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2008, 280 p.
12. Chatkin M. N. Kinematika i dinamika rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Kinematics and dynamics of rotational tillers]. Saransk, 2008, 316 p.
13. Chatkin M. N., Kupryashkin V. F. Osobennosti dinamicheskogo analiza raboty pochvoobrabatyvayushchikh frezernykh mashin [Features dynamic analysis of tillage milling machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification in agriculture]. 2006, no. 12, pp. 9–11.
14. Sohne W. Einfluss von Form und Anordnung der Werkzeuge auf Antriebsmomente von Ackerfräsen, Grundl. D. Landtechn, 1957, no. 9, pp. 696–787.
15. Tomiko J. On the Shape of flatknife tines “Natabo” for garden type rotary tillers. Tokyo, 1965.

Submitted 07.09.2015

About the authors:

Anokhin Anatoliy Vasilyevich, head of laboratory Institute of Machinery Sciences of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (23, Skryabin str., Bishkek, the Kyrgyz Republic), Ph.D. (Engineering), docent, anochin_anatoli@mail.ru

Kupryashkin Vladimir Fedorovich, associate professor of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7512-509X>**, kupwf@mail.ru

Chatkin Mikhail Nikolayevich, head of chair of Agricultural Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3758-7066>**, chatkinm@yandex.ru

Naumkin Nikolay Ivanovich, professor of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Pedagogy), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1109-5370>**, naumn@yandex.ru

Kapustin Andrey Gennadyevich, lecturer of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2954-9200>**, pechen1214@yahoo.com

Ulanov Aleksandr Sergeyeich, post-graduate student of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6041-6911>**, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

For citation: Anokhin A. V., Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I., Kapustin A. G., Ulanov A. S. Dynamic load analysis of the motor cultivator “Neva” MK-200 engine. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 51–62. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ФЛАТТЕР

М. В. Чугунов, Н. Д. Кузьмичёв, И. Н. Полунина
ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Теория и практика оптимизации занимает важное место в естествознании и технике. При этом алгоритмы решения оптимизационных задач требуют многократного обращения к процедуре вычисления функций оптимизации (прямой расчет). Эти функции, как правило, заданы алгоритмически в пространстве высокой размерности и трудновычислимы. В связи с этим актуальной является задача построения упрощенных метамоделей (аппроксимаций) для объекта оптимизации, адекватных исходной «точной» модели в некоторой подобласти пространства и не требующих для своего анализа больших вычислительных затрат. Целью данной работы является количественная оценка вычислительной эффективности решения оптимизационных задач, основанных на аппроксимациях разного типа. В качестве объекта оптимизации рассматривается оболочка вращения, подверженная флаттеру. Исходной моделью является конечноэлементная модель оболочки, для которой образующая и распределение толщины вдоль меридиана заданы Безье-функциями. Определение критического параметра флаттера в алгебраической части сводится к решению несимметричной обобщенной задачи на собственные значения, которая реализована программно в виде AddIn-приложения SolidWorks. Для построения упрощенных метамоделей используются аппроксимации двух видов: локальные и промежуточные. В первом случае решение задачи сводится к применению метода Хана и Пауэлла, во втором – к поэтапной замене исходной модели метамоделями в подобластях пространства оптимизации конечных размеров, анализу адекватности аппроксимаций и определению на этой основе стратегии поиска. Нами была решена задача весовой оптимизации оболочки, подверженной сверхзвуковому флаттеру с использованием локальных и промежуточных многоточечных аппроксимаций. В качестве управляемых параметров в статье рассматриваются координаты ключевых точек Безье; проводится сравнительный анализ вычислительной эффективности решения в каждом из этих двух случаев. В качестве критерия вычислительной эффективности рассматривается количество обращений к процедуре прямого расчета.

Ключевые слова: оптимизация, нелинейное математическое программирование, флаттер, мета модель оптимизации, локальная многоточечная аппроксимация, промежуточная многоточечная аппроксимация

COMPUTATIONAL EFFICIENCY FOR OPTIMIZATION PROBLEMS OF REVOLUTION SHELLS WITH FLUTTER CONSTRAINTS

M. V. Chugunov, N. D. Kuzmichev, I. N. Polunina
Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The theory and practice of optimization takes an important place in natural sciences and engineering. Thus, algorithms of solving the optimization problems require repeated reference to the evaluation procedure of the optimization functions (direct computing). As a rule, these functions are algorithmically specified in the high-dimensional space and computationally expensive. In this context, the relevant problem is to create the simplified metamodels (approximations) for the optimization object. The said metamodels must be adequate for an initial "exact" model in a subarea of the space and computationally not expensive. The purpose of this work is the quantitative assessment of computational efficiency for solving the optimization problems based on different approximations types. The revolution shell subjected to flutter is considered as the object of optimization. The Finite Element Model (FEM) for the revolution shell, which meridian and thickness distribution along a meridian are set by Bezier functions is considered as the

initial model. Determination of the critical parameter of flutter in the algebraic part is reduced to the solution of the asymmetric eigenvalue problem, which is realized programmatically in the form of SolidWorks AddIn-application. To create the simplified metamodels, the approximations of two types are used: local and mid-range. In the first case, the solution of the problem is consolidated to application of the Han - Powell method, in the second case – to stage-by-stage replacement of initial model by metamodels in the subareas of the optimization space in the finite sizes, to the analysis of adequacy of approximations and to definition on this basis of the strategy of the search. The problem of weight optimization for the revolution shell, subjected to a supersonic flutter with local and mid-range multipoint approximations is solved. The coordinates of the Bezier-key points are considered as the control parameters, and their values corresponding to an optimum, coincide for the first and the second of used approaches to approximation. The comparative analysis of computing efficiency of the results is provided in each of these two cases. A number of the calling to procedure of direct computing is considered as the computational efficiency.

Keywords: optimization, nonlinear mathematical programming, flutter, optimization metamodel, local multipoint approximation, mid-range multipoint approximation

Рассматриваемая в статье задача относится к классу задач анализа и оптимизации панелей (пластин и оболочек) с точки зрения устойчивости к флаттеру. В настоящее время известны два типа панельного флаттера: первый – связанный, возникающий при взаимодействии двух собственных мод панели; второй – одномодовый, высокочастотный [1; 6]. В данной работе рассматривается первый тип флаттера при высоких сверхзвуковых скоростях с использованием поршневой (квазистатической) аэродинамической теории.

Для получения флаттерных характеристик в качестве базовой используется конечноэлементная модель, что дает возможность рассматривать геометрию оболочки в наиболее общем виде. Однако обращение к процедуре анализа состояния объекта оптимизации (прямой расчет) в оптимизационных алгоритмах реализуется многократно и связан со значительными вычислительными затратами. Одним из подходов, обеспечивающих их снижение является подход, основанный на поэтапной замене исходной «точной» модели упрощенной метамоделью.

В теории оптимизации указанный подход хорошо известен, и при его реализации, как правило, рассматривают аппроксимации трех видов: локальную, глобальную и промежуточную [8; 10] (последняя в англоязычной литературе именуется как *mid-range*).

Целью данной работы является исследование вычислительной эффективности решения задачи указанно-

го типа с использованием локальных и промежуточных аппроксимаций.

1. Конечноэлементная модель оболочки

Осесимметричная оболочка рассматривается как подконструкция составной тонкостенной конструкции вращения. При этом формируется ее параметрическая модель, описываемая Безье-функциями и определяемая координатами ключевых точек в двух подпространствах. В двумерном подпространстве, совпадающем с плоскостью осевого сечения оболочки, определяется меридиан, а в одномерном – распределение толщины вдоль меридиана (рис. 1).

$$\begin{aligned} x(t_b) &= \sum_{i=0}^{N_g-1} \Phi_{N_g,i}(t_b) x_i, \\ y(t_b) &= \sum_{i=0}^{N_g-1} \Phi_{N_g,i}(t_b) y_i, \\ h(t_b) &= \sum_{j=0}^{N_t-1} \Phi_{N_t,j}(t_b) h_j, \\ \Phi_{N_g,i}(t_b) &= C_{N_g}^{(i)} t_b^i (1-t_b)^{N_g-i}, \\ C_{N_g}^{(i)} &= \frac{N_g!}{i!(N_g-1)!}, \\ \Phi_{N_t,j}(t_b) &= C_{N_t}^{(j)} t_b^j (1-t_b)^{N_t-j}, \\ C_{N_t}^{(j)} &= \frac{N_t!}{j!(N_t-1)!}, 0 \leq t_b \leq 1. \end{aligned} \quad (1)$$

В этих формулах $x(t_b), y(t_b), h(t_b)$ – искомые функции, x_i и y_i – координаты ключевых точек сплайна; $i = 0, N_g - 1$, где N_g – количество ключевых точек, задающих образующую оболочки; h_j – координаты ключевых

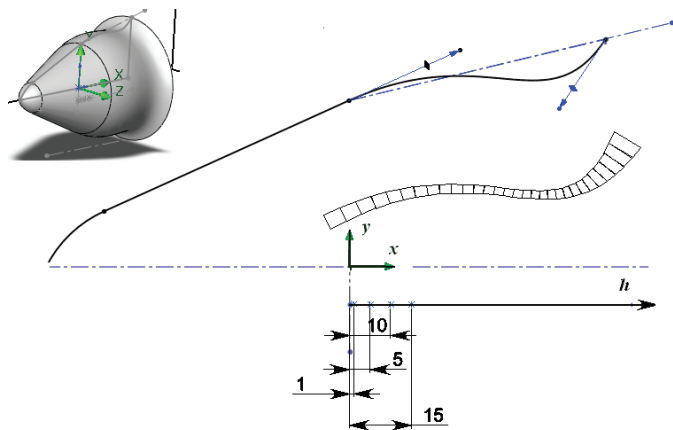


точек на числовой оси; $j = \overline{0, N_t - 1}$, где N_t – количество ключевых точек, задающих распределение толщины вдоль образующей. На рис. 1 показан вариант оболочки при некотором фиксированном наборе значений координат всех ключевых точек. В качестве конечного элемента используется тонкостенный усеченный конус [4]. На основе принципа Гамильтона

получаем уравнение колебаний консервативной системы как ансамбля конечных элементов:

$$(K - \omega^2 M)u_A = 0, \quad (2)$$

где K – матрица жесткости; M – матрица масс; u_A – вектор амплитуд перемещений для узловых точек; ω – частота собственных колебаний.



Р и с. 1. Геометрическая модель оболочки

F i g. 1. Geometric model of shell

Аэродинамическое давление определяется в соответствии с известным выражением [2]:

$$p_a = \frac{2q}{\sqrt{M^2 - 1}} \left(\frac{\partial w}{\partial s} + \frac{1}{U} \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \frac{\partial w}{\partial t} \right), \quad (3)$$

где $q = \frac{\rho_a U^2}{2}$ – динамическое давление потока; ρ_a – плотность газа; U – скорость потока; M – число Маха. В этом случае уравнение колебаний оболочки как неконсервативной системы приобретает следующий вид [3; 5]:

$$(K + p^2 M + p \rho_a D + \rho_a A)u_A = 0, \quad (4)$$

где A и D – матрицы ансамбля конечных элементов (аэродинамической жесткости и аэродинамического демпфирования соответственно); p – комплексная собственная частота. Если собственные вектора задачи (2) используются в качестве нового базиса, то уравнение флаттера приобретает следующую форму:

$$\tilde{G}u + p \rho_a \tilde{D}u + p^2 E u = 0, \quad (5)$$

где $\tilde{G} = \Omega + \rho_a \tilde{A}$; Ω – диагональная матрица, содержащая собственные значения, т. е. квадраты частот, соответствующих колебаниям в вакууме $\omega_1^2, \omega_2^2, \omega_3^2$, и т. д. на главной диаго-

нали; $\tilde{A} = R^T A R$, $\tilde{D} = R^T D R$; u – собственный вектор в новом базисе; E – единичная матрица.

Дальнейшее решение сводится к анализу изменения комплексных собственных частот p при возрастании параметра потока. В качестве критерия наступления флаттера рассматривается появление в спектре кратных собственных значений с последующим выходом одного из них на положительную полуплоскость, что и соответствует колебаниям с возрастающей амплитудой, т. е. флаттеру. Детали построения и тестирования данной конечноэлементной модели подробно изложены в работе [4].

2. Постановка и решение оптимизационной задачи

Оптимизационная задача ставится и решается как задача нелинейного математического программирования (НМП) в следующем виде:

найти $\min_{x \in R^n} C(x)$ при ограничениях

$$A_i \leq x_i \leq B_i, i = \overline{1, n}, \phi_k(x) \geq 0, k = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где x – вектор управляемых параметров; $C(x)$ – целевая функция, выражающая собой критерий качества объекта проектирования (массу оболочки); n – количество управляемых параметров и, соответственно, количество геометрических ограничений (размерность пространства оптимизации); A_i и B_i , – геометрические ограничения снизу и сверху на управляемые параметры соответственно; m – количество функциональных ограничений. В качестве управляемых параметров рассматриваются координаты ключевых точек Безье (1).

При этом оптимизационная задача (6) решается с использованием аппроксимаций как последовательность оптимизационных задач с поэтапной заменой функций оптимизации упро-

щенными аналитическими моделями (метамоделями), сформированными на основе анализа результатов экспериментов с исходной конечноэлементной моделью.

Промежуточные аппроксимации

В этом случае метамодели строятся поэтапно в отдельных подобластях пространства оптимизации конечных размеров, определенных движущимися границами на каждом этапе итерационного процесса. Таким образом, вместо исходной оптимизационной задачи (6) имеем серию оптимизационных задач следующего вида:

найти $\min_{x \in R^n} \tilde{C}^{(r)}(x)$ при ограничениях

$$\tilde{A}_i^{(r)} \leq x_i^{(r)} \leq \tilde{B}_i^{(r)}, \quad i = \overline{1, n}, \phi_k^{(r)}(x) \geq 0, k = \overline{1, m}, r = \overline{1, N}, \quad (7)$$

где $\tilde{C}^{(r)}(x)$ – аппроксимация целевой функции; $\tilde{\phi}_k^{(r)}(x)$ – аппроксимации функциональных ограничений; $\tilde{A}_i^{(r)}$ и $\tilde{B}_i^{(r)}$ – геометрические ограничения снизу и сверху соответственно; индекс r соответствует номеру этапа оптимизационного процесса; N – количество этапов, необходимое для достижения заданной точности.

Структура метамodelей такова, что включают в себя свободные параметры a_i , $i = \overline{0, n}$, определяемые по результатам экспериментов, проведенных с конечноэлементной моделью объекта в P точках, назначенных в пространстве R^n согласно некоторому плану эксперимента. Для определения свободных параметров используется метод взвешенных наименьших квадратов [8; 10], а в качестве аппроксимирующих функций – мультипликативная модель следующего вида:

$$\tilde{C}(a) = a_0 \prod_{i=1}^n x_i^{a_i} a. \quad (8)$$



Локальная аппроксимация

В качестве метода, предусматривающего локальные аппроксимации, в данной работе используется метод Пауэлла [9] как последовательность задач квадратичного программирования:

$$\min_{d \in R^n} \frac{1}{2} d^T H_r d + \nabla C(x_r)^T d \quad (9)$$

при ограничениях

$$\nabla \phi_k(x_r)^T d + \phi_k(x_r) \geq 0, k = \overline{1, m}.$$

Матрица H_r представляет собой положительно определенную аппроксимацию Гесса функции Лагранжа $L(x, \lambda) = C(x) - \lambda^T \varphi(x)$, $\varphi(x) = (\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_m(x))^T$, r – номер итерации. При этом положительная определенность матрицы H_r обеспечивается итерационной BFGS-процедурой, использующей только градиенты функций и не требующей явного вычисления вторых производных. Компоненты вектора множителей Лагранжа λ , соответствующие неактивным ограничениям, автоматически обращаются в нуль. Существенной особенностью метода является также то, что задача минимизации (1) формулируется в терминах шага d из некоторой исходной точки в направлении к оптимальной. Таким образом, $x_{r+1} = x_r + \alpha_r d_r$. Параметр α_r определяется как результат минимизации одномерной функции, исходя из предложенного Пауэллом критерия оптимального выигрыша по следующей схеме:

найти $\min_{\alpha > 0} \Theta(\alpha)$, где

$$\Theta(\alpha) = C(x + \alpha d) + \sum_{i=1}^m \mu_i |\min(0, \phi_i(x + \alpha d))|;$$

$$\mu_i = \max(|\lambda_i|, \frac{1}{2}(\mu_i^* + |\lambda_i|)), \text{ где } \mu_i^* -$$

значение параметра μ_i на предыдущей итерации (на первой итерации $\mu_i = |\lambda_i|$). Самой важной причиной для выбора нами этого алгоритма оптимизации являлся тот факт, что он относится к классу квазиньютоновских методов и требует для своей реализации только первые производные функций, т. е. анализ чувствительности первого порядка.

3. Анализ чувствительности

Функциональные ограничения $\phi_k^{(r)}(x)$ задачи (1) формулируются

в виде $\phi_k^{(r)}(x) = \frac{\rho_f^{(k)}}{\rho_0^{\min}} - 1$, где $\rho_f^{(k)}$ – плот-

ность потока, соответствующая наступлению флаттера с формой колебаний, соответствующей волновому числу $k = n_g$, $n_g = \overline{n_1, n_2}$ (n_1 и n_2 – начальное и конечное значение волнового числа в спектре учитываемых собственных значений задачи (4)) – минимальная плотность флаттера, соответствующая исходному проектному решению. Таким образом, в части анализа чувствительности актуальной является задача определения частных производных

$$\phi_k^{(r)}(x)_{,i} = \frac{1}{\rho_0^{\min}} \frac{\partial \rho_f^{(k)}}{\partial x_i}.$$

В соответствии с работой [3] производные от плотности должны определяться следующим образом:

$$\frac{\partial \rho_f^{(k)}}{\partial x_i} = \frac{\operatorname{Re}[(v^T T_{,x_i} u) / (v^T T_{,p} u)]}{\operatorname{Re}[(v^T T_{,\tilde{A}_0} u) / (v^T T_{,p} u)]}, \quad (10)$$

где матрица $T = \Omega + p \tilde{A} + \tilde{G} + p p_a \tilde{D} + p^2 E$, $T_{,x_i}, T_{,p_i}, T_{,\rho_{ai}}$ – частные производные от $x(t_b)$ по x_i ,

p и ρ_a соответственно; v – собственные вектора сопряженной по отношению к (5) задачи. В работе [12] представлены детали численной реализации формулы (10) и результаты

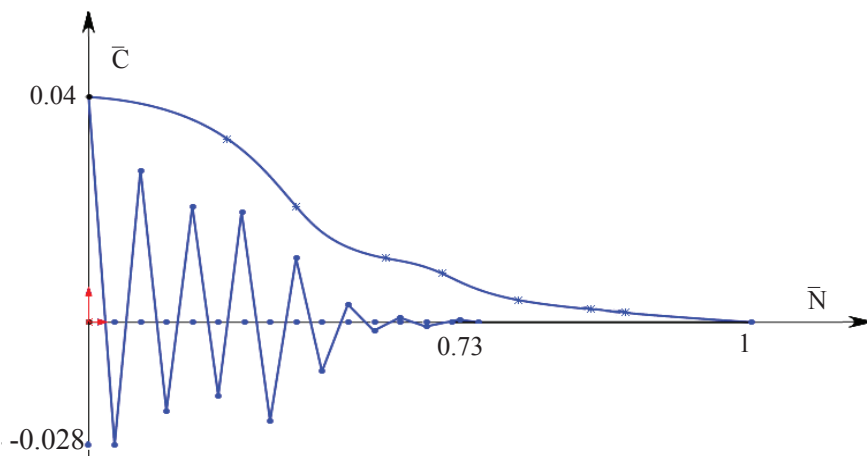
в отношении анализа чувствительности к флаттеру оболочек различного вида.

4. Программная реализация

Высокий уровень развития программных средств в виде САЕ-систем делает бессмысленной разработку программного обеспечения «с нуля», при этом проблема расширения функционала этих систем является достаточно актуальной. Одним из примеров решения задач рассматриваемого класса на подобной основе может служить, в частности, подход, представленный в работе [7]. В данной работе программная реализация представляет собой два dll-модуля, являющиеся AddIn-приложениями к системе SolidWorks и в полной мере использующими функционал SolidWorks на основе API и COM-интерфейсов [4–5]. В частности, SolidWorks используется в качестве пост- и препроцессорного средства; кроме этого, используется функционал SolidWorks Flow Simulation для решения аэродинамической задачи. В остальном изложенные в данной работе методы и алгоритмы расширяют штатный функционал SolidWorks.

5. Результаты и выводы

В работе [11] представлены результаты решения задачи оптимизации по массе оболочки вращения, геометрия которой и распределение толщины заданы согласно (1), $N_g = 2$, $N_t = 2$, а в качестве метода решения частных задач (7) использовался метод Бокса (нулевого порядка), будем условно этот подход идентифицировать символом А. В данной работе указанная задача была решена двумя методами: 1) на основе многоточечных промежуточных аппроксимаций и с использованием метода Хана и Пауэлла для решения задач (7); 2) на основе локальных аппроксимаций в виде (11), т. е. метод Хана и Пауэлла был использован напрямую без построения промежуточных метамоделей (10). Будем идентифицировать два последних подхода как В и С соответственно. Результаты решения задачи А, В и С полностью совпали, при этом с точки зрения вычислительной эффективности подходы А и В друг от друга практически не отличаются, поскольку анализ метамоделей (8) не требует значительных вычислительных затрат.



Р и с. 2. Анализ вычислительной эффективности
F i g. 2. Analysis of computational efficiency



Одним из важных критериев вычислительной эффективности оптимизационного алгоритма является количество обращений к процедуре прямого расчета. Поэтому сравнение вычислительной эффективности подходов В и С представлен на рис. 2 в следующих безразмерных координатах: по оси абсцисс откладывается параметр $\bar{N} = N_0 / N_{Amax}$, где N_0 – количество совершенных обращений к процедуре прямого расчета; N_{Amax} – общее количество обращений к процедуре прямого расчета в подходе В, $\bar{C} = \frac{C - C_{opt}}{C_{opt}}$, где C – значение целевой функции при N_0 -ном обращении; C_{opt} – оптимальное значение целевой функции.

В заключение отметим, что метод промежуточных аппроксимаций обеспечивает значительное снижение вычислительных затрат (до 30 %) по сравнению с аппроксимациями локального типа. При этом выбор метода решения частной оптимизационной задачи с точки зрения трудоемкости не имеет существенного значения.

Практический опыт работы, полученный в процессе решения оптимизационных задач разного рода, позволяет также утверждать, что метод промежуточных аппроксимаций наиболее эффективен на начальных стадиях оптимизации в режиме интерактивного вариантного проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алгазин, С. Д. Флаттер пластин и оболочек / С. Д. Алгазин, И. А. Кийко. – Москва : Наука, 2006. – 247 с.
2. Вольмир, А. С. Оболочки в потоке жидкости и газа : Задачи гидроупругости / А. С. Вольмир – Москва : Наука, 1979. – 387 с.
3. Сейранян, А. П. Оптимизаци флаттерных характеристик / А. П. Сейранян, А. В. Шаранюк // Труды Армянской Академии Наук. – 1984. – Т. XXXVII, № 5. – С. 38–50.
4. Чугунов, М. В. Анализ сверхзвукового флаттера осесимметричной оболочки с меридианом в виде сплайна в среде SolidWorks на базе API [Электронный ресурс] / М. В. Чугунов // Наука и образование : электронное научно-техническое издание. – 2012. – № 4. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/348787.html>.
- В статье решается задача о сверхзвуковом флаттере осесимметричной оболочки при числах Маха, больших 1.7. Рассматриваемая оболочка является элементом составной конструкции вращения, и образуемая ее задана Безье-сплайном. В качестве метода решения используется МКЭ. Приводится решение тестовых задач.
5. Чугунов, М. В. Программный модуль для решения задач оптимального проектирования в среде SolidWorks на базе API [Электронный ресурс] / М. В. Чугунов, Ю. А. Небайкина // Наука и образование : электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 9. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/206217.html>.
- В работе представлена методика и ее программная реализация для решения задач оптимального проектирования на базе API SolidWorks. В процессе решения задачи функции оптимизации поэтапно аппроксимируются упрощенными аналитическими зависимостями, анализ которых не требует больших вычислительных затрат. Приложение реализовано в виде AddIn DLL-модуля, функционирующего в адресном пространстве SolidWorks и использующего COM-интерфейс.
6. Экспериментальное наблюдение одномодового панельного флаттера в сверхзвуковом потоке газа / В. В. Веденеев [и др.] // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 427, № 6. – С. 768–770.
7. Vedeneev, V. V. Numerical analysis of single mode panel flutter in a viscous gas Flow / V. V. Vedeneev // Proceedings of the ASME 2010 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels FEDSM-ICNMM2010. – pp. 1–6.

8. **Polynkin, A.** Mid-range metamodel assembly building based on linear regression for large scale optimization problems. / A. Polynkin, V. V. Toropov // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2011. – № 4. – pp. 1–13.
9. **Powell, M. J. D.** A fast algorithm for nonlinear constrained optimization calculations / M. J. D. Powell // Report DAMTP 77/NA 2, University of Cambridge. – 1977.
10. **Toropov, V. V.** Multipoint approximation method in optimization problems with expensive function values / V. V. Toropov // In: Sydow, A. (ed.) Computational Systems Analysis, Elsevier. – 1992. – pp. 207–212.
11. **Chugunov, M. V.** Optimization of axisymmetric shells for flutter / M. V. Chugunov, V. P. Malkov, E. N. Batrakov, V. V. Toropov // Proc. of 1st ASMO UK / ISSMO Conf. on Engineering Design Optimization. Ilkley, MCB University Press. – 1999. – pp. 119–125.
12. **Chugunov, M. V.** Optimization of axisymmetric thin-walled shells with flutter constraints by simulation approach method and sensitivity analysis / M. V. Chugunov, V. P. Malkov // Transaction of St-Petersburg academy of sciences for strength problems. – 1997. – Vol. 1. – pp. 93–100.

Поступила 19.01.2015 г.

Об авторах:

Чугунов Михаил Владимирович, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин Рузавского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5318-5684>, m.v.chugunov@mail.ru

Кузьмичёв Николай Дмитриевич, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин Рузавского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), доктор физико-математических наук, профессор, kuzmichevnd@rambler.ru

Полунина Ирина Николаевна, доцент кафедры общетехнических дисциплин Рузавского института машиностроения ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат педагогических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1093-8401>, my_pk@mail.ru

Для цитирования: Чугунов, М. В. Вычислительная эффективность для решения задачи оптимизации оболочек вращения при ограничениях на флаттер / М. В. Чугунов, Н. Д. Кузьмичёв, И. Н. Полунина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 63–71. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.063

REFERENCES

1. Algazin S. D., Kiyko I. A. Flutter plastin i obolochek [Flutter of plates and coverings]. Moscow: Nauka Publ., 2006, 247 p.
 2. Volmir A. S. Obolochki v potoke zhidkosti i gaza: Zadachi gidrouprugosti [Coverings in streams of fluids and gases: problems of hydroelasticity]. Moscow: Nauka Publ., 1979, 387 p.
 3. Seranyan A. P., Sharanyuk A. V. Optimizatsiya flatternykh kharakteristik [Optimization of flutter properties]. *Trudy Armyanskoy Akademii Nauk* [Proceedings of Academy of Sciences of Armenia], 1984, vol. XXXVII, no. 5, pp. 38–50.
 4. Chugunov M. V. Analiz sverkhzvukovogo flattera osesimmetrichnoy obolochki s meridianom v vide splayna v srede SolidWorks na baze API [Analysis of supersonic flutter of axis-symmetrical covering with spline meridian by means of SolidWorks API]. *Nauka i obrazovaniye: elektronnoye nauchno-tekhnicheskoye izdaniye* [Science and education: electronic academic and technical publication]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/348787.html>.
- The problem of supersonic flutter of an axisymmetric shell for Mach number greater than 1.7 is solved in the article. This shell is an element of a complex structure of rotation, and its meridian is formed with Bezier-spline. FEM is used for the analysis. Solutions of test tasks are provided.*



5. Chugunov M. V., Nebaykina Yu. A. Programmnyy modul dlya resheniya zadach optimalnogo proyektirovaniya v srede SolidWorks na baze API [Optimization of designing with a programme unit by means of SolidWorks API]. *Nauka i obrazovaniye: elektronnoye nauchno-tehnicheskoye izdaniye* [Science and education: electronic academic and technical publication]. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/206217.html>.

The method and its program realization for the solution of optimal design problems on the basis of API SolidWorks are presented in this paper. In the course of the solution of this problem the functions are approximated step by step by the simplified analytical dependences, which do not demand big computing expenses for the analysis. The appendix is realized in the form of AddIn of the DLL module functioning in address space of SolidWorks with usage of the COM-interface.

6. Vedeneyev V. V. [et al.]. Eksperimentalnoye nablyudeniye odnomodovogo panelnogo flattera v sverkhzvukovom potoke gaza [Experimental observation of single-mode panel flutter in supersonic stream of gas]. *Doklady akademii nauk* [Proceedings of Academy of Sciences]. 2009, vol. 427, no. 6, pp. 768–770.

7. Vedeneyev V. V. Numerical analysis of single mode panel flutter in a viscous gas Flow. Proceedings of the ASME 2010 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels FEDSM-ICNMM2010, pp. 1–6.

8. Polynkin A., Toropov V. V. Mid-range metamodel assembly building based on linear regression for large scale optimization problems. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2011, no. 4, pp. 1–13.

9. Powell M. J. D. A fast algorithm for nonlinear constrained optimization calculations. Report DAMTP 77/NA 2, University of Cambridge. 1977.

10. Toropov V. V. Multipoint approximation method in optimization problems with expensive function values. In: Sydow, A. (ed.) *Computational Systems Analysis*, Elsevier. 1992, pp. 207–212.

11. Chugunov M. V., Malkov V. P., Batrakov Ye. N., Toropov V. V. Optimization of axisymmetric shells for flutter. Proc. of 1st ASMO UK. ISSMO Conf. on Engineering Design Optimization. Ilkley: MCB University Press Publ., 1999, pp. 119–125.

12. Chugunov M. V., Malkov V. P. Optimization of axisymmetric thin-walled shells with flutter constraints by simulation approach method and sensitivity analysis. *Transaction of St-Petersburg academy of sciences for strength problems*. 1997, vol. 1, pp. 93–100.

Submitted 19.01.2015

About the authors:

Chugunov Mikhail Vladimirovich, head of chair of General Technical Subjects of Ruzayevka Machinery Institute of Ogarev Mordovia State University (93, Lenina str., Ruzayevka, Russia), Ph.D. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5318-5684>, m.v.chugunov@mail.ru

Kuzmichev Nikolay Dmitriyevich, head of chair of General Scientific Subjects of Ruzayevka Machinery Institute of Ogarev Mordovia State University (93, Lenina str., Ruzayevka, Russia), Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor, kuzmichevnd@rambler.ru

Polunina Irina Nikolayevna, associate professor of chair of General Technical Subjects of Ruzayevka Machinery Institute of Ogarev Mordovia State University (93, Lenina str., Ruzayevka, Russia), Ph.D. (Pedagogy), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1093-8401>, my_pk@mail.ru

For citation: Chugunov M. V., Kuzmichev N. D., Polunina I. N. Computational efficiency for optimization problems of revolution shells with flutter constraints. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 63–71. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.063

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ УПЛОТНЕННЫМИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫМИ АБРАЗИВНЫМИ СРЕДАМИ

В. А. Скрябин

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)*

В статье приведены особенности обработки поверхностей деталей со сложным профилем незакрепленным шлифовальным материалом. Представлены схемы методов обработки и результаты практической реализации финишной обработки с целью достижения заданной величины шероховатости обрабатываемых поверхностей. Для данного способа обработки силы инерции близки к нулю, поскольку давление абразивного слоя на обрабатываемую поверхность детали определяется действием сжатого воздуха на обрабатывающую среду через эластичную оболочку. В отличие от методов финишной обработки деталей инерционно уплотненным абразивом, в которых формирование уплотненного абразивного слоя происходит за счет сил инерции, в предлагаемом способе обработки уплотненная абразивная масса формируется статически под действием давления сжатого воздуха на эластичную оболочку камерного устройства и прижимается непосредственно к обрабатываемой поверхности. Таким образом, предлагаемый способ обработки деталей со статическим уплотнением обрабатывающей среды обеспечивает расширение технологических возможностей способа и повышение производительности и качества обработки. В рассматриваемом способе обработки режущий инструмент формируется автоматически из незакрепленных абразивных частиц, которые находятся в составе суспензии, путем уплотнения их в слой или эластичный брусok. При этом абразивные частицы находятся в состоянии плотной упаковки и копируют форму обрабатываемой поверхности. Исследования производительности и качества обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой показана на рисунках. Установка зафиксирована на столе вертикально-сверлильного или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. В кольцевую полость ее камеры подается сжатый под давлением воздух, в результате чего рабочая среда уплотняется и копирует форму обрабатываемой поверхности детали.

Ключевые слова: деталь со сложным профилем, незакрепленный шлифовальный материал, метод обработки, шероховатость, уплотненный абразивный слой, инерция, эластичная оболочка, камерное устройство, абразивная частица, состояние плотной упаковки, микротвердость, остаточное напряжение, пластическое деформирование, поверхностный слой

FEATURES OF INTRICATE-SHAPED PARTS BY CLOSE-SETTLED FINE ABRASIVE MEDIA

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

The article deals with the particular surface treatment of complex profile parts with loose abrasives, the schemes of processing methods and results of practical implementation of finishing in order of achieving a predetermined magnitude of roughness of the processed surfaces. Inertia forces for this processing method are minimal since the pressure of the abrasive layer on the treated surface is defined by exposure of compressed air steam to the treating medium through



an elastic membrane. Unlike the methods of the finish machining with an inertially densified abrasive in which the formation of the densified abrasive layer occurs due to inertial forces, the proposed method of treating means that compacted abrasive mass is formed statically with pressure of compressed air stream to the elastic shell of the chamber and then presses the device directly to the treated surface. Thus, the proposed method enhances the technological capabilities and improves productivity and quality of processing. The cutting tool here is automatically generated from the loose abrasive particles, which are included as a compound of a suspension, when they are compacted into a layer or an elastic bar. At the same time, the abrasive particles copy a shape of a treated surface. Examination of productivity and quality of details such as disks and cams was carried on a test unit, scheme of which is given. The unit is fixed on a table of vertical drilling or radial drilling machine and is connected to its stem. Its annular cavity chamber is supplied with compressed air stream, and it condenses the working fluid, which copies the shape of the machined surface of a workpiece.

Keywords: intricate-shaped details, loose abrasive, methods of treatment, roughness, surface, compacted abrasive layer, inertia, elastic shell chamber device, abrasive particles, dense packing, microhardness, residual stresses, plastic deformation surface layer

Одним из проблемных вопросов отделочно-зачистной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов является обеспечение ее производительности и качества. Эти параметры трудно, а иногда и невозможно обеспечить традиционными методами абразивной обработки. Одним из способов, позволяющих решить эту сложную задачу, является применение камерного метода обработки данных деталей уплотненными средами, абразивными наполнителями которых являются зерна и микропорошки хромистого и титанистого электрокорунда марок 32А, 33А, 34А, 37А, а также карбида кремния зеленого марок 62С, 63С, 64С – очень твердых и обладающих высокой режущей способностью.

Необходимо также отметить, что для данного способа обработки силы инерции близки нулю, поскольку давление абразивного слоя на обрабатываемую поверхность детали определяется действием сжатого воздуха на обрабатывающую среду через эластичную оболочку. В отличие от методов финишной обработки деталей инерционным уплотненным абразивом, в которых формирование уплотненного абразивного слоя происходит за счет сил инерции, в предлагаемом способе обработки уплотненная абразивная масса формируется статически под действием давления сжатого воздуха на эластичную оболочку камерного устройства и прижимается непосредственно к обрабатываемой

поверхности. Таким образом, предлагаемый способ обработки деталей со статическим уплотнением обрабатывающей среды обеспечивает расширение технологических возможностей способа и повышение производительности и качества обработки. Режущий инструмент формируется автоматически из незакрепленных абразивных частиц, которые находятся в составе суспензии, путем уплотнения их в слой или эластичный брусок. При этом абразивные частицы находятся в состоянии плотной упаковки и копируют форму обрабатываемой поверхности [2–3].



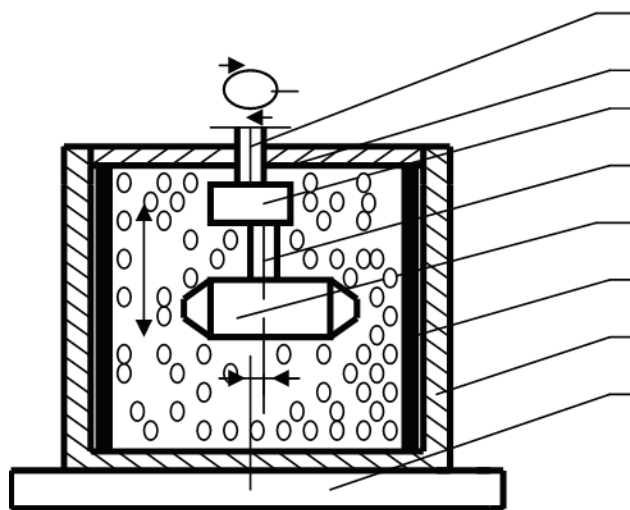
Р и с. 1. Промышленная установка

Fig. 1. Industrial installation

Исследования производительности и качества обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке, общий вид и схема которой показаны на рис. 1–2. Установка зафиксирована на столе вертикально-сверлильного или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем.

Работа такого устройства (рис. 2) осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь 4 с радиусом R закрепляют на эксцентричной оправке 5 с экс-

центриситетом E , которая устанавливается на вал ротора 8. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводком 6 с шариками. Ротор помещают в камеру 2 с эластичными стенками 3, заполненную абразивной средой A , и сообщают ему вращение с угловой скоростью $\omega = V / (E + R)$. Сверху камера закрывается крышкой 7. Максимальная величина угловой скорости – 7 рад/с. В кольцевую полость камеры подают сжатый воздух, в результате чего рабочая среда уплотняется.



Р и с. 2. Схема отделочно-зачистной обработки колеса турбины турбокомпрессора
F i g. 2. Scheme turbocharger diesel finishing and peeling

При этом уплотненная абразивная среда точно копирует форму профиля погруженной в нее детали. Ротору 8 посредством автоматического регулирования режимных параметров станка сообщается вращательное движение с реверсом и возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения со скоростью V и амплитудой колебаний детали $80 \cdot 10^{-3}$ м.

Время выравнивания давления (заполнения возникшего зазора между поверхностью детали и абразивной средой) зависит от инерционности среды. Для эффективной обработки всего контура, требуется обеспечить равномерную ин-

тенсивность воздействия на все его точки. Для этого необходимо определить эксцентриситет E оси оправки относительно оси ротора:

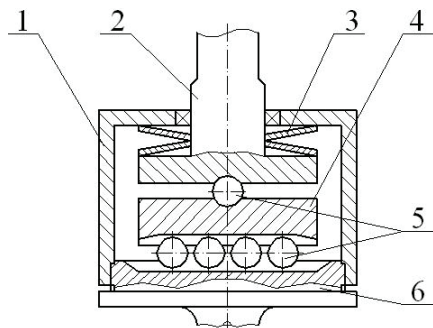
$$E = 0,5D - R,$$

где D – диаметр описанной окружности колеса турбины, $м \cdot 10^{-3}$; R – радиус смещения, $м \cdot 10^{-3}$.

Необходимо отметить, что угловую скорость выбирают в зависимости от твердости материала детали. Однако при высокой угловой скорости вращения детали этого недостаточно, чтобы



гарантировать равномерность обработки всего контура. Для обеспечения непрерывности контакта поверхности детали с абразивной средой предлагается крепить деталь на роторе посредством эксцентричной оправки, самоустанавливающейся под воздействием сил резания (рис. 3).



Р и с. 3. Конструкция самоустанавливающейся оправки

F i g. 3. Design of the self-adjusting mandrel

В ее корпусе 1 монтируется хвостовик 2 с тарельчатыми пружинами 3. В пазах поводка 4 оправки установлены два ряда шариков 5 перпендикулярно друг другу, которые входят в пазы оправки 6, на которой крепится деталь. Такая конструкция обеспечивает перемещение оси оправки относительно оси ротора и контакт поверхности детали с абразивной средой.

Давление абразивной среды P_2 с учетом конструктивных параметров установки, радиуса эластичной оболочки R_0 , радиуса детали R , нормальной компоненты напряжения радиальном направлении σ_R , коэффициента Пуассона ν , действующее непосредственно на поверхность детали, P – давления, приложенного к эластичной оболочке, можно определить в соответствии с работой [2].

$$P_2 = (\sigma_R)_{R=R_0} = P \left[1 - \frac{R^2 - R_0^2}{R^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_0^2} \right]. \quad (1)$$

В данном способе уплотненный абразивный слой обладает определенной упругостью и облегает профиль погруженной в него детали, точно копируя при этом форму ее профиля. В этом случае обеспечивается практически одинаковое давление на все участки профильной поверхности и происходит их равномерная обработка. Упругую абразивную среду можно рассматривать в первом приближении как изотропную, поскольку ее абразивные частицы ориентированы случайным образом.

Известно, что при любом способе обработки обрабатывающий (режущий) инструмент является одним из главных факторов, определяющих качественные характеристики операции технологического процесса, поэтому его исследованию уделяется большое внимание.

В обработке деталей свободным абразивом, являющимся тонким методом финишной обработки и основанном на удалении металла с обрабатываемой поверхности, инструмент также имеет большую значимость. Однако в этом методе он не существует отдельно от процесса обработки. Свободный абразив в состоянии поставки и даже абразивная суспензия, приготовленная на его основе, вне рассматриваемого метода обработки не являются инструментом и не несут всей необходимой информации для исследования. В данном способе, при обработке деталей в уплотненной абразивной среде, в качестве режущего инструмента применяют сухие или влажные (абразивная суспензия) абразивные зерна или порошки в уплотненном и напряженном состоянии.

В уплотненной абразивной среде между зернами отсутствует жесткая связка, в отличие от шлифовальных кругов. Однако благодаря сильным фрикционным связям абразивная среда обладает достаточно высокой прочностью и жесткостью и представляется как целостный инструмент.

Ранее было отмечено, что в свободном состоянии зерна абразивной среды обладают достаточно хорошей подвижностью, что позволяет им копировать форму обрабатываемой детали. Вследствие этого 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 применять сложные операции по профилированию и правке режущих инструментов.

При обработке деталей уплотненной абразивной средой сьем материала происходит путем резания выступами микрорельефа поверхности зерна. Из литературных источников следует, что независимо от зернистости абразива, выступы микрорельефа 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. Эти размеры на порядок ниже размеров режущих элементов выступов микропрофиля абразивного зерна при шлифовании и полировании.

Именно поэтому обработка деталей в уплотненной абразивной среде является более тонким видом абразивной обработки и обеспечивает получение меньшей шероховатости поверхности. При такой обработке зерна в абразивной среде в течение длительного времени сохраняют свою режущую способность: микровыступы на них достаточно быстро разрушаются, образуя при этом новые выступы, которые также являются режущими элементами. Кроме этого, в процессе обработки происходит частичная замена абразивных зерен, которые контактируют с поверхностью детали. При обработке в абразивной среде возможен поворот зерна и ориентация его новой гранью к обрабатываемой поверхности.

Благодаря этим причинам можно сказать, что абразивные зерна работают в режиме самозатачивания и по-

этому имеют высокую режущую способность. Кроме того, 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 оно будет не скользить, а перекатываться по поверхности, не удаляя при этом микростружку, что приводит к понижению качества и производительности обработки данным способом. Таким образом, вопрос взаимодействия между абразивными зернами и обрабатываемыми поверхностями является актуальным и требует тщательной обработки.

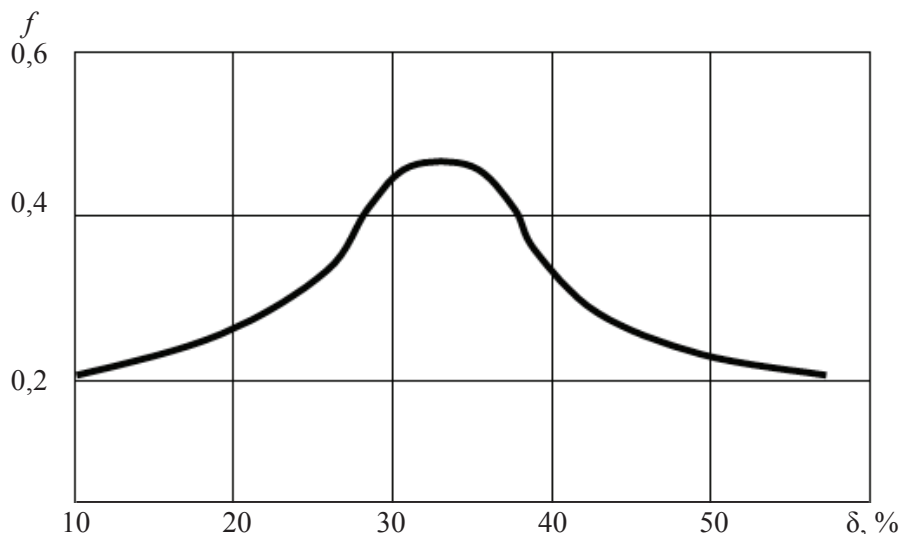
Известно, что надежное закрепление абразивного зерна будет иметь место тогда, когда момент сил, стремящийся повернуть абразивную частицу, будет меньше момента сил, удерживающего частицу от поворота [4–5]. Также известно, что фактором, влияющим на прочное закрепление абразивных зерен, является коэффициент внутреннего трения f и что для большинства абразивных сред значения данного коэффициента находятся в диапазоне 0,6–0,9.

В литературе указывается, что под воздействием вибраций происходит уменьшение коэффициента f зернистых сред, и снижение внутреннего трения может произойти до величины, когда зернистая среда приобретает свойства вязкой жидкости. Это явление получило название *виброожигижение*. В результате исследований было установлено, что при воздействии вибраций на коэффициент внутреннего трения наиболее существенное влияние оказывает отношение ускорения колебаний к ускорению свободного падения g , а также влажность δ и зернистость z среды. Необходимо также



отметить, что зависимость от влажности имеет сложный характер. Из рис. 4 видно, что с увеличением влажности

коэффициент внутреннего трения возрастает до определенного момента, а затем начинает убывать.



Р и с. 4. Зависимость коэффициента внутреннего трения зернистости среды от ее влажности при наличии вибраций ($Z = 0,5$ мм)

F i g. 4. Dependence of abrasive grit internal friction on its moisture in presence of vibration ($Z = 0,5$ mm)

Важно отметить, что наибольшей прочностью при наличии вибраций и без них обладают среды объемной влажностью 20–25 %, что непосредственно приводит к преобладанию процесса микро-резания над полидеформационным и усталостным разрушением. Минимальное внутреннее трение имеют полностью водонасыщенные и сухие среды. Анализ зависимости коэффициента внутреннего трения (рис. 4) обрабатываемой среды от ее зернистости показал, что с уменьшением зернистости происходит снижение внутреннего трения среды.

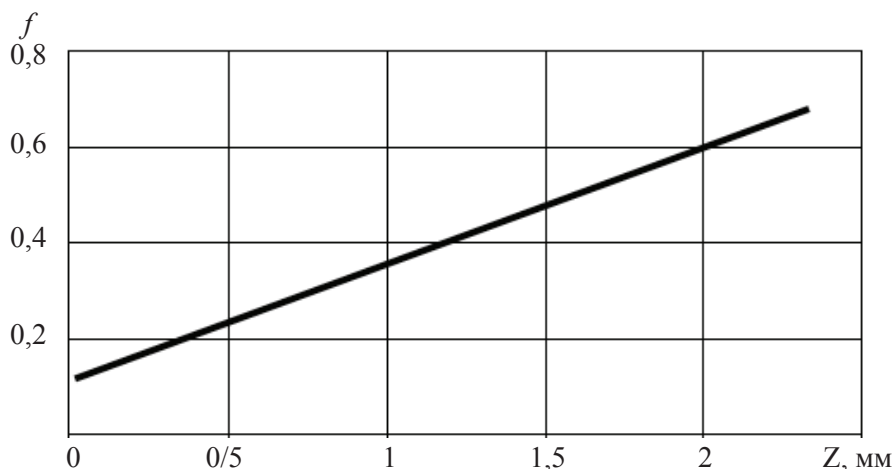
Представленные зависимости (рис. 4–5) показывают, что коэффициент внутреннего трения может быть $< 0,4$. В этом случае происходит нарушение прочности закрепления зерна и в результате снижается

режущая способность инструмента, поэтому при исследовании процесса обработки необходимо учитывать виброожижение обрабатываемой среды и выбирать необходимые режимы и условия обработки, чтобы не допустить такого состояния.

Из анализа схем обработки деталей в уплотненной обрабатываемой среде видно, что в случае обработки при их вращении без вибраций, условия, вызывающие виброожижение среды, отсутствуют. Однако когда обработка происходит по схемам, в которых деталь совершает колебательные движения, состояние виброожижения абразивной среды становится возможным. Необходимо отметить, что процесс обработки протекает стабильно при условии непрерывного контактирования абразивной среды и участка контура в течение оборота ротора с деталями

вокруг собственной оси (или большего времени). Эксперименты с использованием деталей с различным профилем свидетельствуют, что ударный характер взаимодействия поверхности кулачка и уплотненной абразивной среды не проявляется при ограничении угловой скорости ротора в пределах 5 рад/с, скорости возвратно-поступательного движения относительно оси вращения детали $V = (0,1-0,5) \cdot 10^{-3}$ м/с, амплитуды колебаний детали $80 \cdot 10^{-3}$ м

и применении самоустанавливающейся эксцентриковой оправки. Давление подводимого сжатого воздуха соответственно составило 0,1–0,2 МПа. Эксцентриситет E изменялся в диапазоне 15–20 мм. Изменение величины подводимого давления сжатого воздуха осуществлялось редукционным пневмоклапаном 122–12–У4 ГОСТ 18468–79. регистрация давления осуществляется манометром МВТПС–100–ОМ–2 ГОСТ 12733–79 с ценой деления 0,005 МПа.



Р и с. 5. Зависимость коэффициента внутреннего трения от зернистости среды при наличии вибраций ($\delta = 20\%$)

F i g. 5. Dependence of iabrasive grit nternal friction on its moisture in presence of vibrations ($\delta = 20\%$)

Экспериментальная установка позволяет обрабатывать широкую номенклатуру деталей. Образцы изготавливались из специальной труднообрабатываемого жаропрочного сплава ЖСЗДК твердостью 40–45 HRC и исходной шероховатостью поверхности $R_a = 2,5-3,2$ мкм. В качестве абразивных сред использовались абразивные порошки карбида кремния зеленого марки 63С50 с объемной влажностью 20–22 %. Жидкой составляющей среды служил 2%-ный водный раствор тринатрийфосфата. Производительность обработки оценивалась по величине массового съема металла

с единицы площади обрабатываемой поверхности и измерялась путем сравнения массы детали до, и после обработки.

Камерная обработка в статически уплотненной абразивной среде преимущественно используется для средние и крупногабаритных деталей, которые в силу своих размеров и формы не могут быть обработаны в галтовочных барабанах, а также объемной, виброабразивной и центробежно-планетарной обработкой.

Существуют ограничения по размерам и массе обрабатываемых деталей, связанные с объемом и конструк-



цией рабочей камеры установки для полирования. Определены следующие соотношения объема рабочей камеры

установки, максимальной массы обрабатываемых деталей и их габаритных размеров (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Соотношение основных параметров установки и обрабатываемой детали

Ratio of basic parameters of installation and parts under processing

Объем рабочей камеры установки, л	2,5	5,0	15,0
Максимальная масса обрабатываемых деталей, кг	1,0	3,0	6,0
Максимальный габаритный размер деталей, м·10 ⁻³	70	140	300

Ограничением в конструкции обрабатываемых деталей является также наличие пазов, выемок, канавок, внутренних отверстий, доступ обрабатывающей среды к которым затруднен.

В процессе обработки деталей следует учитывать, что выбор зернистости шлифовального материала зависит от исходной шероховатости. Согласно исследованиям рекомендуются соотношения между этими параметрами, которые представлены в табл. 2.

Типичными представителями деталей, обрабатываемых предлагаемым способом, являются колесо турбины и вращающийся направляющий аппарат турбокомпрессора дизеля.

Для данных деталей очень трудоемкими являются финишные операции обработки рабочих поверхностей, которые в настоящее время выполняются или вручную, или методами, обеспечивающими частичную механизацию процесса обработки со сравнительно низкой производительностью.

Таблица 2

Table 2

Соотношения исходной шероховатости поверхности детали и зернистости абразивного материала

The ratio of initial roughness of the part surface and the abrasive grit

Исходная шероховатость обрабатываемой поверхности, Ra, мкм	Зернистость абразивного материала, Z
25–12,5	160–200
6,3–3,2	80–125
1,6–0,8	40–80
0,8–0,4	M5–M63

Технологическая последовательность предлагаемого способа обработки колес турбины и вращающихся

направляющих аппаратов турбокомпрессора дизеля представлена в табл. 3. Суммарное основное время

обработки ручной финишной обработки сложнопрофильных поверхностей деталей турбокомпрессора дизеля по базовому варианту составляет

$t_o = 150$ мин. При обработке колеса турбины по проектируемому варианту основное время составляет $t_o = 6-10$ мин.

Таблица 3

Table 3

Сравнительные характеристики технологической последовательности финишной обработки колес турбины и вращающихся направляющих аппаратов турбокомпрессора дизеля уплотненной абразивной средой по отношению к базовым методам финишной обработки

Comparative characteristics of technological sequence of finishing turbine wheels and rotating guide vanes of diesel turbocharger with compacted abrasive substance in relation to basic methods of finishing

Колесо турбины – 1820.06.222	
Наименование операции	Наименование операции
Базовый вариант	Проектируемый вариант
Вручную шлифовальной машинкой с абразивным кругом	Полировальная (полирование уплотненной обрабатывающей средой на установке)

Таким образом, производительность обработки при требуемой шероховатости поверхности ($R_a = 0,8-0,63$ мкм) повышается в 15–25 раз, что свидетельствует о достаточно высокой эффективности предлагаемого камерного способа полирования деталей уплотненной обрабатывающей средой.

Выбор значений режимных параметров и условий обработки в уплотненной обрабатывающей среде производится исходя из анализа конструкции детали, физико-механических свойств ее материала и требований, предъявляемых к поверхности детали, и основывается на результатах проведенных теоретических и экспериментальных исследований [1; 6]. При этом должны быть учтены геометрические параметры технологических установок, а также конкретные условия производства.

Основными технологическими факторами, оказывающими наиболь-

шее влияние на процесс обработки в уплотненной абразивной среде, являются состав абразивной среды, давление подводимого сжатого воздуха, соотношение радиальных размеров обрабатываемой детали и эластичной оболочки, скорость резания и продолжительность обработки.

Состав абразивной среды выбирается в первую очередь и характеризуется видом абразивного материала, его зернистостью, влажностью и составом смазочно-охлаждающей жидкости.

Вид абразива определяется исходя из механических свойств материала детали и необходимости того, чтобы твердость абразива значительно превосходила твердость обрабатываемого материала. В качестве абразивного материала, как правило, рекомендуется использовать электрокорунд нормальный и белый. Для финишной обработки сложнопро-



фильных деталей из жаропрочных литейных сплавов широкое применение нашли зерна и микропорошки хромистого и титанистого электрокорунда марок 32А, 33А, 34А, 37А, а также карбида кремния зеленого марок 62С, 63С, 64С – очень твердых и обладающих высокой режущей способностью. Выбор данных марок абразивного материала обусловлен их высокими режущими свойствами, сравнительно высокой износостойкостью и способностью обеспечивать хорошее качество обрабатываемой поверхности. Кроме того, они относительно дешевые и наиболее распространенные.

Зернистость абразивной среды назначается исходя из величины исходной шероховатости поверхности с учетом требуемого качества поверхности. Необходимо отметить, что с уменьшением исходной шероховатости зернистость уменьшается.

Выбор влажности абразивной среды зависит от конкретных условий производства. Наиболее предпочтительными являются влажные абразивные среды, поскольку они обеспечивают лучшее качество поверхности обработанной детали. Кроме того, применение влажных сред вследствие обеспечения лучшего теплоотвода из зоны микрорезания позволяет использовать более интенсивные технологические режимы и, таким образом, увеличивать производительность обработки.

Однако сухие абразивные среды также обладают некоторыми достоинствами: облегчают проведение операции по загрузке–разгрузке обрабатываемой среды вследствие своей повышенной текучести, а также исключают необходимость очистки деталей после обработки от налипших абразивных частиц. Они могут быть рекомендованы к применению в случае использования низких скоростей резания и при возникновении малых тепловых потоков.

При обработке деталей предлагаемым способом большое значение имеет процентное содержание жидкой компоненты в абразивной среде. Это связано с тем, что жидкая составляющая оказывает сильное воздействие на прочность контактного взаимодействия между зернами и благодаря этому влияет на режущие свойства абразивной среды. В связи с этим с целью обеспечения высокой режущей способности среды ее объемную влажность рекомендуется назначать в диапазоне 20–22 %.

В качестве составляющей обрабатываемой абразивной среды рекомендуется использовать жидкости следующего состава:

- 1) 1–2 % тринатрийфосфата, остальное – вода;
- 2) 0,5–1 % кальцинированной соды, остальное – вода;
- 3) 0,5–1,0 % нитрита натрия, остальное – вода;
- 4) 0,5–1,0 % карбоната кальция, остальное – вода;
- 5) 1,0–1,5 % полиэтиленового эфира (ОП-7, ОП-10), остальное – вода;
- 6) 1,0–1,5 % триэтаноламина, остальное – вода.

Рекомендуемые жидкости обладают хорошим моющим и охлаждающим действием, блескообразующей способностью, а также замедляют процессы коррозии и являются малотоксичными.

В состав рабочей жидкости с целью повышения производительности обработки могут быть введены добавки поверхностно-активных веществ: 0,5–1,0 % калиевого мыла; 1,0–1,5 % олеиновой кислоты; 1,5–3,5 % эмульсолов Э2 (в этом случае обеспечивается повышение производительности обработки в 1,5–2,0 раза). Отметим, что олеиновая кислота и эмульсол обладают большой токсичностью, и поэтому применять их рекомендуется только в отдельных случаях. Достойные

результаты показали также рабочие жидкости Аквол-8 (2–10%-ный водный раствор), Аквол-10М, Аквол-14 (3–12%-ный водный раствор).

После выбора состава обрабатываемой среды назначают величину давления сжатого воздуха (исходя из уже принятого состава обрабатываемой среды, геометрических параметров установок и требуемой шероховатости поверхности).

Подводимое давление сжатого воздуха предварительно определяется на основании эмпирических зависимостей и условия микрорезания материала детали выступами микрорельефа абразивного зерна, а затем уточняется с учетом экспериментальных исследований шероховатости поверхности детали после обработки.

Величина скорости резания, как правило, назначается на основании исследований исходя из условия обеспечения необходимого качества,

а также максимальной производительности обработки.

Если нагрев детали превышает допустимую величину, то необходимо снизить скорость резания или, если это допустимо, повысить теплопроводность абразивной среды путем увеличения ее влажности. Варьирование указанных параметров производится до тех пор, пока нагрев детали не будет превосходить значение допустимой величины.

Время обработки задается в последнюю очередь с учетом исходной шероховатости, твердости материала детали, а также выбранных режимных параметров и условий обработки (как правило, оно составляет 3–5 мин). При этом меньшим значениям режимных параметров соответствует большая продолжительность обработки.

Рекомендуемые ориентировочные режимы обработки в зависимости от твердости материала деталей приведены в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Рекомендуемые значения режимных параметров обработки

Recommended values of operating parameters for processing

Способ обработки	Твердость материала детали, МПа	Давление воздуха, P , МПа	Скорость резания, V , м/с	Время обработки, t , мин
Камерная обработка деталей типа дисков	200–1 000 1 000–3 000 3 000–8 000	0,05–0,75 0,075–0,10 0,075–0,15	0,6–1,5	1–2 2–3 3–4
Камерная обработка деталей типа колес турбины и вращающихся направляющих аппаратов	200–1 000 1 000–3 000 3 000–8 000	0,05–0,75 0,075–0,10 0,075–0,15	0,4–0,6	6–10 8–10 10–12

Более точные значения применительно к конкретным типоразмерам деталей могут быть определены по вышеприведенной методике. Правильный выбор режимов в данных способах об-

работки имеет большое значение. Рекомендуемые режимы наряду с высокой производительностью обеспечивают формирование высоких качественных характеристик обработанных деталей.

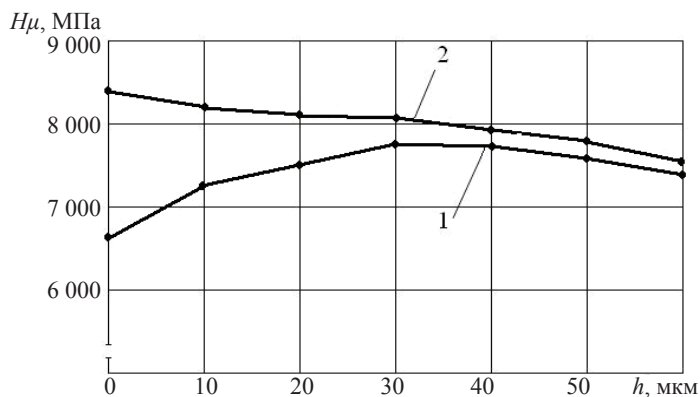


Шероховатость обработанной поверхности R_a , хотя и является качественным показателем, не может полностью характеризовать эксплуатационные свойства поверхности; важными показателями являются также микротвердость $H\mu$ и остаточные напряжения σ . При абразивной обработке металлов происходит пластическое деформирование поверхностного слоя и его наклеп, в результате чего обрабатываемая поверхность упрочняется, повышается ее микротвердость и изменяются физико-механические свойства. Исследование изменения микротвердости поверхностного слоя в результате обработки статически уплотненным незакрепленным абразивом проводили на образцах из труднообрабатываемых литейных сплавов ЖСЗДК твердостью 40–45 HRC. Эксперименты проводились на приборе ПМТ-3 при нагрузке на алмазную пирамиду – 1Н. Исследования изменения микротвердости по глубине поверхностного слоя произво-

дились по методу косых шлифов; результаты представлены на рис. 6.

Из проведенных исследований видно, что микротвердость поверхностного слоя после обработки в статически уплотненной абразивной среде значительно повышается. Объясняется это тем, что в предлагаемом способе финишной обработки деталей происходит процесс резания металла с определенным пластическим деформированием поверхностного слоя. При этом часть энергии расходуется на диспергирование металла, а часть аккумулируется в форме образования и скопления дислокаций.

Поскольку предлагаемый способ является низкотемпературным (температуры в зоне контакта не превышают 150°C), то в процессе обработки отсутствуют определенные условия, приводящие к разупрочнению и, следовательно, поверхность получает деформационное упрочнение. Проведенные эксперименты подтвердили этот вывод.



Р и с. 6. Изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя:

1 – микротвердость исходной поверхности; 2 – микротвердость поверхности обработанной уплотненной обрабатывающей средой ($V = 0,6$ м/с; $P = 0,1$ МПа; $t = 6$ мин; абразив 63С50)

Fig. 6. Depth – variations of the surface layer microhardness: 1 – microhardness of original surface; 2 – microhardness of surface processed with compacted polishing substance ($V = 0.6$ m/s, $P = 0.1$ MPa; $t = 6$ min; abrasive 63C50)

Если сравнить наклеп, образуемый в предлагаемом способе обработки, с получаемым в других методах абразивной обработки, то можно отметить, что его величина в рассматриваемом способе

несколько меньше, но распространяется он на большую глубину. Это можно объяснить характером исходных свойств поверхностного слоя и особенностями протекания процесса обработки, для которого

характерны меньшее контактное давление и гораздо большая длительность абразивного воздействия. Как видно из рис. 6, микротвердость исходной поверхности в поверхностном слое меньше, чем на глубине. Это объясняется как частичным обезуглероживанием поверхностного слоя в процессе закалки, так и отпуском после термообработки, который приводит к образованию в поверхностном слое тростита и аустенита отпуска, имеющих пониженную твердость по сравнению с основной мартенситной структурой. Обработкой уплотненным абразивом удаляется этот дефектный поверхностный слой, что само по себе приводит к некоторому увеличению микротвердости.

Низкие температуры и умеренный наклеп за счет пластической деформации от абразивного воздействия обеспечивают повышение микротвердости поверхностного слоя. Повышение микротвердости оказывает положительное влияние на износостойкость поверхностей при трении, усталостную прочность, контактную выносливость и коррозионную стойкость деталей.

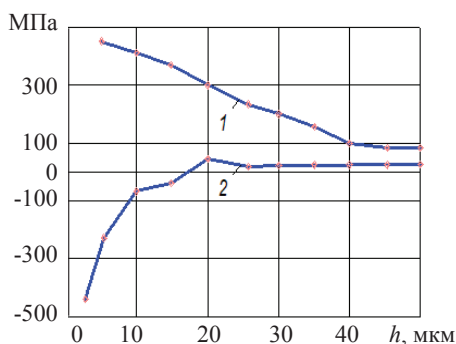
Согласно исследованиям [1; 6] метода обработки деталей незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами, в поверхностном слое возникают значительные сжимающие напряжения (величина внутренних напряжений достигает 450–550 МПа). Остаточные напряжения в данном способе обработки формируются под действием незначительных пластических деформаций. Это объясняется тем, что процесс протекает при низких температурах, что исключает возможность температурных структурных превращений в поверхностном слое. Кроме того, в результате структурных изменений в поверхностном слое (частичного превращения остаточного аустенита в мартенсит) возрастает его удельный объем, что приводит к возникновению дополнительных сжимающих остаточных напряжений. Аналогичное обстоя-

тельство следует отметить также для способа обработки деталей статически уплотненной абразивной средой в силу общих физических закономерностей процесса обработки.

Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое повышают усталостную прочность деталей при циклическом нагружении, предел их выносливости и качество.

При экспериментальных исследованиях и расчетах остаточных напряжений использовался метод Давиденкова. Тензометрирование деформаций образцов осуществлялось при удалении с них поверхностных слоев с помощью электролитического полирования.

Предшествующей операцией была термическая обработка деталей. Поскольку в результате нее в металле сохраняется значительное количество остаточного аустенита, удельный вес которого меньше удельного веса мартенсита, то в поверхностном слое деталей до обработки имели место растягивающие остаточные напряжения. Их значения у поверхности достигали 450 МПа и уменьшались по мере удаления вглубь металла (рис. 7).



Р и с. 7. Остаточные напряжения в поверхностном слое деталей, обработанных уплотненным абразивом: 1 – до обработки; 2 – после обработки

Fig. 7. Residual stresses in surface layer of the parts processed with compacted abrasive: 1 – before processing; 2 – after processing



Измерение остаточных напряжений после обработки рассматриваемым способом показало, что в поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения. Величина их у поверхности колебалась от 400 до 500 МПа, а на глубине 15–20 мкм сжимающие остаточные напряжения переходили в незначительные растягивающие напряжения. Остаточные напряжения в поверхностном слое обработанных деталей примерно равны по величине и знаку остаточным напряжениям в известных методах финишной обработки, но формирование их происходит при несколько отличных условиях. Низкотемпературные условия протекания процесса обработки уплотненным потоком свободного абразива дают основание предположить, что фазовых превращений в поверхностном слое не происходит. Многочисленные эксперименты подтвердили это, и случаев прижогов на поверхности деталей после обработки не наблюдалось. Следовательно, остаточные напряжения в данном способе формируются только под действием силового фактора, то есть пластических деформаций.

При абразивном воздействии уплотненного слоя на обрабатываемую поверхность в поверхностном слое происходит пластическое деформирование металла, что способствует увеличению удельного объема деформированного металла. При низких температурах это обстоятельство, как отмечалось выше, приводит к появлению в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений.

В указанных условиях должны возникать остаточные сжимающие напряжения, пропорциональные степени пластического деформирования, то есть величине наклепа поверхностного слоя. При сравнительно небольшом контактом давлении уплотненный абразивный брусок не обеспечивал интенсивного пластического деформирования. Процесс обработки происходил

с преобладанием микрорезания, что было показано выше при исследовании шероховатости [7–10].

С учетом данного обстоятельства следовало бы ожидать, что в рассматриваемом способе обработки будут иметь место малые значения остаточных сжимающих напряжений, поскольку микротвердость поверхностного слоя повышается в результате обработки только на 10–12 %. Экспериментальные исследования, однако, показали, что остаточные напряжения достигают 400–500 МПа, т. е. являются значительными. Объясняется это структурными изменениями в поверхностном слое, вызывающими дополнительные сжимающие остаточные напряжения. Выше было отмечено, что при абразивном воздействии уплотненного бруска в поверхностном слое происходит частичное превращение остаточного аустенита в мартенсит. При этом возрастает удельный объем поверхностного слоя, в результате чего в нем возникают дополнительные сжимающие остаточные напряжения.

Режимы обработки и зернистость абразива влияют на остаточные напряжения в поверхностном слое. Их изменение, ведущее к увеличению интенсивности абразивного воздействия, приводит к возрастанию сжимающих остаточных напряжений. Однако при всех изменениях режимов обработки в поверхностном слое обрабатываемых деталей формируются только сжимающие остаточные напряжения, что говорит об устойчивости процесса. Поверхностный слой деталей, обработанный по рассматриваемому способу, имеет качественные характеристики, не уступающие поверхностям, полученным другими известными способами финишной обработки.

Для реализации данного способа был выполнен комплекс работ по проектированию, изготовлению и внедрению в производство специальной уста-

новки. Эти работы были произведены ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» (ПГУ), в том числе совместно с ОАО «Пензадизельмаш» и ОАО «СКБТ» (г. Пенза).

Обработку поверхностей деталей предлагаемым способом с уплотнением обрабатывающей среды посредством давления сжатого воздуха на эластичную оболочку рабочей камеры можно рекомендовать в случаях финишной обработки наружных поверхностей деталей типа:

- колес турбин и вращающихся направляющих аппаратов;
- длинномерных деталей (при соответствующей модернизации установок);
- наружных поверхностей деталей под гальванопокрытие.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований способа обработки деталей, а также разработанные на их основе рекомендации по выбору эффективных режимов и условий обработки позволили спроектировать технологические процессы полирования колес турбин и вращающихся направляющих аппаратов.

Применение рекомендуемых режимов и условий обработки является довольно эффективным при полировании вышеуказанных деталей. На промышленном варианте установки (см. рис. 1) в условиях среднесерийного производства для этих деталей были отработаны эффективные режимы и условия обработки камерного полирования, приведенные в табл. 5.

Производственные испытания вышеуказанных деталей турбокомпрессора дизеля на ОАО «СКБТ», обработанных с рекомендуемыми режимными параметрами, показали, что ресурс их работы увеличился в 1,2–1,5 раза.

Применение эффективных режимных параметров дало значительный экономический эффект при финишной обработке деталей.

Применение новой технологии по сравнению с базовой обеспечивает сокращение машинного времени полирования в 15–25 раз и снижение шероховатости поверхности R_a с 2,5–3,2 до 0,8–0,63 мкм.

Полученные данные свидетельствуют о возможности широкого применения камерного способа обработки деталей для различных типов производств – от мелкосерийного до крупносерийного.

Выводы

1. Показано, что обработка камерным способом в статически уплотненной абразивной среде, используется преимущественно для средне- и крупногабаритных деталей, которые в силу своих размеров и формы не могут быть обработаны в галтовочных барабанах, а также объемной, виброабразивной и центробежно-планетарной обработкой.

2. Определены соотношения основных параметров установки и обрабатываемой детали, а также исходной шероховатости поверхности детали и зернистости абразивного материала.

3. Основные результаты исследований нашли практическое применение в виде внедрения в производство новой технологии, опытно-промышленной установки и соответствующих рекомендаций по выбору режимов и условий обработки. Данное оборудование используется на промышленных предприятиях для обработки деталей турбокомпрессора дизеля, а также многочисленного ряда деталей, имеющих сложнопрофильные поверхности.

4. Показано, что предложенная схема обработки дает возможность уменьшить шероховатость обработанной поверхности R_a с 3,2–2,5 до 0,8–0,63 мкм. При этом микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 10–12 % на глубине 30–50 мкм с формированием остаточных сжимающих напряжений до 400–500 МПа.

5. Исследования показали, что ресурс работы деталей, обработанных предложенным способом, повышается в 1,2–1,4 раза.



Таблица 5
Table 5

Эффективные режимы и условия финишной обработки деталей механизма газораспределения дизеля
Effective modes and conditions for finishing diesel valve gear parts

Наименование детали	Рабочая жидкость		Абразивный наполнитель	Режимные параметры			Исходная шероховатость поверхности, мкм	Полученная шероховатость поверхности, мкм
	Состав	Количество, %		V , м/с	P , МПа	t , мин		
Колесо турбины 1820.06.222	Na_2CO_3 ; калиевое мыло; Na_3PO_4 ; H_2O	0,5–1,0 0,5–1,0 1,0–2,0 98,0–96,0	Электрокорунд хромистый и титанистый марок 32A10–25; 33A10–25; 34A40–80; 27A40–80. Карбид кремния зеленый марок 62C10–25; 63C10–25; 63C40–80; 64C40–80.	0,40–0,60	0,10–0,15	6–10	2,5–3,2	0,80–0,63
	$CaCO_3$; $NaNO_2$; $C_{17}H_{33}COOH$; H_2O	0,5–1,0 0,5–1,0 1,0–1,5 98,0–96,5						
	Na_2CO_3 ; калиевое мыло; Na_3PO_4 ; H_2O	0,5–1,0 0,5–1,0 1–2,0 98,0–96,0						
Аппарат 4208.06.203	Аквол-8 (2–10%-ный водный раствор); Аквол-10М; Аквол-14 (3–12%-ный водный раствор)			0,40–0,60	0,10–0,15	6–10	2,5–3,2	0,80–0,63

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Мартынов, А. Н.** Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами / А. Н. Мартынов. – Саратов : Изд-во Саратов. Гос. техн. ун-та, 1981. – 212 с.
2. Патент Российская Федерация, МКИ В 24 В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. – №1803308, опубл. 23.03.93, Бюл. № 11.
3. **Скрябин, В. А.** Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография / В. А. Скрябин. – Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. – 120 с.
4. **Скрябин, В. А.** Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами / В. А. Скрябин, Ю. В. Рыбаков // Машиностроитель. – 2000. – № 2. – С. 16–17.
5. **Скрябин, В. А.** Камерный способ обработки сложнопрофильных деталей уплотненным мелкодисперсным абразивом / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе, Ю. В. Рыбаков // Технология металлов. – 2003. – № 1. – С. 19–24.
6. **Скрябин, В. А.** Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем / В. А. Скрябин, Г. И. Свечникова // Машиностроитель. – 2011. – № 4. – С. 18–22.
В статье излагаются результаты экспериментальных исследований финишной абразивной обработки деталей с различным профилем, показывающие влияние технологических факторов на удельный съем металла и позволяющие прогнозировать производительность обработки деталей. Приводится описание работы оборудования, использованного при проведении экспериментальных исследований.
7. **Скрябин, В. А.** Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем / В. А. Скрябин // Машиностроитель. – 2011. – № 3. – С. 18–22.
В статье излагаются результаты экспериментальных исследований деталей с различным профилем, показывающие влияние технологических факторов финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем и позволяющие прогнозировать шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей. Приводится описание работы оборудования, использованного при проведении экспериментальных исследований. Даются рекомендации по выбору технологических режимов обработки.
8. **Скрябин, В. А.** Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на производительность обрабатываемых поверхностей деталей сложного профиля / В. А. Скрябин // Машиностроитель. – 2011. – № 4. – С. 16–23.
9. **Скрябин, В. А.** Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем / В. А. Скрябин, Г. И. Свечникова // Машиностроитель. – 2012. – № 4. – С. 18–22.
10. **Скрябин, В. А.** Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами : монография / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. – 240 с.

Поступила 19.03.2015 г.

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «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

Для цитирования: Скрябин, В. А. Особенности обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными абразивными средствами / В. А. Скрябин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 72–89. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.072



REFERENCES

1. Martynov A. N. Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiyami salami [Bases of method of treatment of details a free abrasive close-settled inertia forces]. Saratov: Sarat. State University Publ., 1981, 212 p.
2. Pat. RF 1803308, MKI: B24B 31/104. Method of treatment of details. Of V. A. Skryabin. 23.03.93, no. 11.
3. Skryabin V. A. Osnovy protsessa submikrorezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom: monografiya [Bases of process of submicrometre at treatment of details an unsupported abrasive: a monography]. Penza: PVAIU Publ., 1992, 120 p.
4. Skryabin V. A., Rybakov Yu. V. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [New method of finish treatment of details the free мелкодисперсными environments]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2000, no. 2, pp. 16–17.
5. Skryabin V. A., Shirladze A. G., Rybakov Yu. V. Kamernyy sposob obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennym melkodispersnym abrazivom [Vitrol-chamber of treatment of figurine details the close-settled fine abrasive]. *Tekhnologiya metallov* [Technology of metals]. 2003, no. 1, pp. 19–24.
6. Skryabin V. A., Svechnikova G. I. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilom [Experimental researches of the productivity of finish abrasive treatment of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 4, pp. 18–22.
The article publishes the results of the pilot studies of finishing abrasive processing of different profile details. It demonstrates influence of technology factors on metal-removal rate to estimate the impact of these factors on productivity. The description of work equipment is provided.
7. Skryabin V. A. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na sherokhovatost obrabatyvayemykh poverkhnostey detaley s razlichnym profilom [Research of influence of technological factors and the conditions anglistikoje of finish abrasive treatment on the roughness of processed surfaces of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 3, pp. 18–22.
The article publishes the results of the pilot studies of different profile details. It demonstrates influence of finishing abrasive processing technology factors on roughness of processed surfaces of details with various profile. The data allows to predict roughness of the processed surfaces of details. The description of work equipment is provided. The article contains the recommendations on technological modes of processing are made.
8. Skryabin V. A. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na proizvoditelnost obrabatyvayemykh poverkhnostey detaley slozhnogo profilya [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* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 3, pp. 16–23.
9. Skryabin V. A., Svechnikova G. I. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilom [Experimental researches of the productivity of finish abrasive treatment of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2012, no. 4, pp. 18–22.
10. Skryabin V. A., Shirladze A. G. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhno-profilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami: monografiya [The Technological providing of quality of treatment of figurine details close-settled fine environment: monography]. Staryy Oskol: Thin knowledge-based technologies Publ., 2015, 240 p.

Submitted 19.03.2015

About the author:

Skryabin Vladimir Aleksandrovich, professor of chair of Machine Engineering Technology of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Dr.Sci. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru

For citation: Skryabin V. A. Features of intricate-shaped parts by close-settled fine abrasive media. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 72–89. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.072

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

В. А. Скрябин

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)*

В статье приведены особенности обработки поверхностей деталей со сложным профилем незакрепленным шлифовальным материалом. В предыдущих исследованиях были определены интервалы изменения давления абразивной среды на обрабатываемую поверхность, а также скорости резания, при которых обеспечивается возможность высокой производительности и качества процесса обработки и исключается появление брака вследствие перегрева детали. Исследования обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке, которая зафиксирована на столе вертикально-сверлильного станка или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Работа такого устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь закрепляют на специальной оправке, которая устанавливается на вал ротора. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводком с шариками. Ротор помещают в камеру с эластичными стенками, заполненную абразивной средой, и сообщают ему вращение с определенной угловой скоростью ω . В кольцевую полость камеры подают воздух под давлением, в результате чего среда уплотняется, а камере сообщается вращательное движение посредством зубчатой передачи. Кроме этого, она совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения, перемещаясь относительно неподвижных кулачков. Для уменьшения нагрузки на кулачки служит демпфирующая пружина. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что на качество формируемой поверхности детали при камерной обработке оказывают влияние в основном следующие параметры: давление воздуха, прикладываемое к эластичной оболочке, зернистость абразивного материала, твердость детали, соотношение диаметральных размеров детали и эластичной оболочки при обработке. В статье представлены результаты практической реализации финишной обработки, которые позволяют получить заданную величину шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Ключевые слова: деталь со сложным профилем, незакрепленный шлифовальный материал, метод обработки, шероховатость, поверхность, обработка деталей типа дисков и кулачков, экспериментальная установка, параметры обработки, результаты практической реализации, заданная величина шероховатости обрабатываемых поверхностей

BASIC PARAMETERS EFFECT OF TREATMENT PROCESS ON INTRICATE-SHAPED PARTS' SURFACES ROUGHNESS

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

The article presents the particular surface treatment of complex profile parts with loose abrasives. In previous studies we have defined ranges of pressure abrasive onto the surface, and the cutting speed at which high productivity and quality of the processing are obtained, and scrapping of details due to overheating is eliminated. Researches of such de-



tails as disks and cams were carried out in a test unit, which is fixed on a table of a vertical drilling machine or radial drilling machine and connected to its stem. The workpiece for such research is fixed on a special holder, which is mounted on the rotor shaft. Lead balls allow moving the mandrel axis relatively to the hinge axis of the rotor. The rotor is placed in a chamber with elastic walls filled with abrasive medium and imparts a rotation with a certain angular velocity. The annular chamber cavity supplied with air under pressure, as a result of which the medium is condensed, and the chamber communicates rotational movement through a gear. In addition, it performs a reciprocating motion along the rotation axis, moving relative to the fixed jaw. There is a damping spring designed to reduce the load on the cams. The experimental results show that the surface quality of the parts formed in the processing chamber is influenced mainly by the following parameters: the air pressure applied to the elastic shell grit abrasive, hardness of the part, the ratio of the diametral dimensions of the part and the elastic sheath during processing. The article also presents the results of the practical implementation of finishing treatments which allow to obtain a predetermined value of roughness of processed surfaces.

Keywords: intricate-shaped details, loose abrasive, methods of treatment, roughness, surface, treatment of disk-type of cam-type details, test unit, basic parameters of treatment, results of practical implementation, predetermined value of roughness of the processed surfaces

Высокая эффективность финишной обработки деталей типа тел вращения со сложным профилем может быть достигнута незакрепленным абразивным материалом, уплотненным в камере статическим давлением сжатого воздуха через эластичную оболочку [3–5].

В предыдущих исследованиях [6; 8] были определены интервалы изменения давления абразивной среды на обрабатываемую поверхность, а также скорости резания, при которых обеспечивается возможность высокой производительности обработки и исключается появление брака вследствие перегрева детали. Полученные результаты послужили основой для исследований производительности процесса обработки в уплотненной абразивной среде. Они осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1–2 соответственно [5; 7].

Установка зафиксирована на столе вертикально-сверлильного станка или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Работа такого устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь 2 закрепляют на оправке 3, которая устанавливается на вал ротора 10. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводом 9 с шариками 8. Ротор помещают в камеру 7 с эластичными стенками 6,

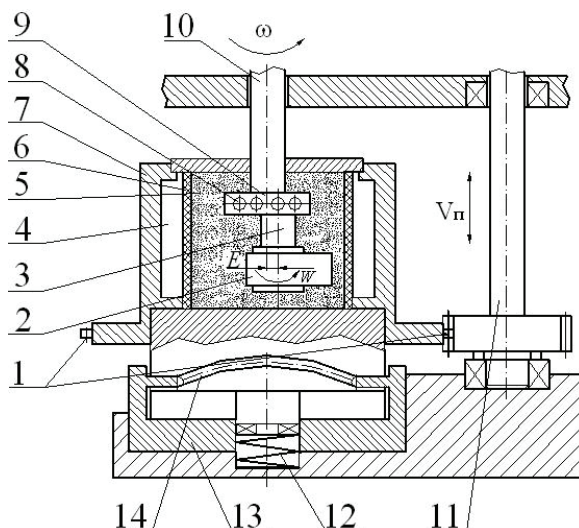
заполненную абразивной средой 5, и сообщают ему вращение со скоростью $\dot{E} = V / (E + R)$. Максимальная величина угловой скорости составляет 10 рад/с. В кольцевую полость камеры 4 подают воздух под давлением, в результате чего среда 5 уплотняется и точно копирует форму профиля погруженной в нее детали. Камере 7 посредством зубчатой передачи 1 сообщается вращательное движение от приводного вала 11. При этом она совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения, перемещаясь относительно неподвижных кулачков 13, входящих в зацепление с кулачковой прорезью 14 камеры. Для уменьшения нагрузки на кулачки служит демпфирующая пружина 12.

Необходимо отметить, что угловую скорость выбирают в зависимости от твердости материала детали. Однако при высокой угловой скорости вращения детали этого недостаточно, чтобы гарантировать равномерность обработки всего контура. В этом случае на качество обработки начинает оказывать влияние даже незначительное отклонение контура от круглости, а инерционность абразивной среды не позволяет уменьшить время выравнивания давления до определенной величины.

Время выравнивания давления (заполнения 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 воздейст-

вия на все его точки. Для этого необходимо определить эксцентриситет E оси оправки относительно оси ротора. Эксцентриситет определяется следующим образом (рис. 1).



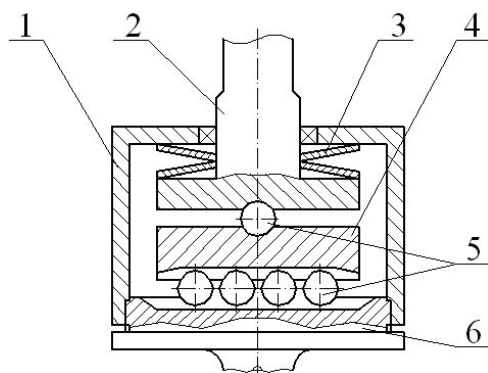
Р и с. 1. Схема установки, реализующей способ обработки
F i g. 1. Scheme of installation for processing method implementing

$$E = 0,5D - r, \quad (1)$$

где D – диаметр описанной окружности, $\text{м} \cdot 10^{-3}$; r – радиус смещения, $\text{м} \cdot 10^{-3}$.

Для обеспечения непрерывности контакта поверхности детали с абра-

зивной средой предлагается крепить деталь на роторе посредством эксцентричной оправки, самоустанавливающейся под воздействием сил резания. Конструкция такой оправки приведена на рис. 2.



Р и с. 2. Конструкция самоустанавливающейся оправки
F i g. 2. Design of the self-adjusting mandrel



В ее корпусе 1 монтируется хвостовик 2 с тарельчатыми пружинами 3. В пазах поводка 4 оправки установлены два ряда шариков 5 перпендикулярно друг другу, которые входят в пазы оправки, на которой крепится деталь. Такая конструкция обеспечивает перемещение оси оправки относительно оси ротора и контакт поверхности детали с абразивной средой 6.

Необходимо отметить, что процесс обработки протекает стабильно при условии непрерывного контактирования абразивной среды и участка контура с отклонением от круглости в течение оборота вокруг собственной оси ротора с деталями (или большего времени). Эксперименты с использованием деталей с различным профилем (например, кулачков) свидетельствуют, что ударный характер взаимодействия поверхности кулачка и уплотненной абразивной среды не проявляется при ограничении угловой скорости ротора в пределах 10 рад/с, скорости возвратно-поступательного движения относительно оси вращения детали $V_{\text{п}} = (0,1-0,5) \cdot 10^{-3}$ м/с и применении самоустанавливающейся эксцентриковой оправки [3; 9].

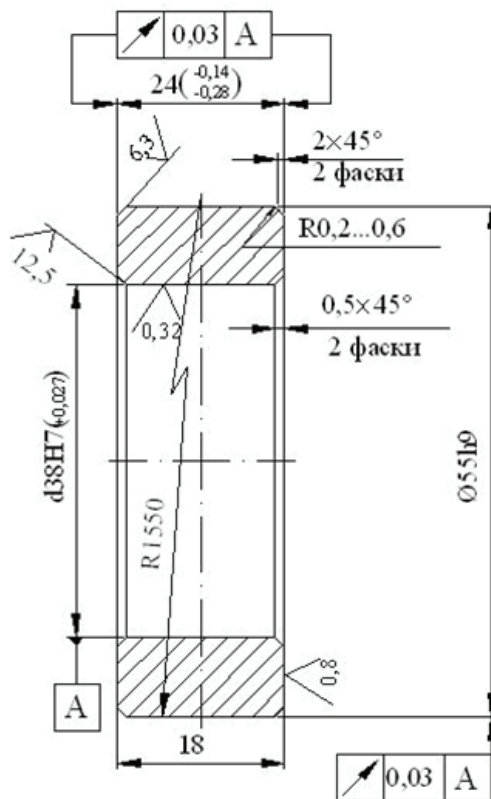
Изменение величины подводимого давления сжатого воздуха осуществлялось редукционным пневмоклапаном 122-12-У4 ГОСТ 18468-79. Регистрация давления осуществляется манометром МВПС-100-ОМ-2 ГОСТ 12733-79 с ценой деления 0,005 МПа.

Описанная экспериментальная установка позволяет обрабатывать широкую номенклатуру деталей начиная от дисков и кулачков и заканчивая плоскими деталями при соответствующей модернизации установки. Образцы деталей для исследования производительности и шероховатости обработки приведены на рис. 3–4. Образцы изготавливались из стали 12ХНМА и 18Х2Н4МА с твердостью 57–63 HRC и исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,6\text{--}0,8$ мкм.

В качестве абразивных сред использовались порошки электрокорунда марки 14А различных зернистостей с объемной влажностью 20 %. Жидкой составляющей среды служил 2%-ный водный раствор тринатрийфосфата.

Производительность обработки оценивалась по величине массового съема металла с единицы площади обрабатываемой поверхности и измерялась путем сравнения массы детали до и после обработки.

Взвешивание образцов производилось на микроаналитических весах АДВ-200М с точностью до 0,0001 г.

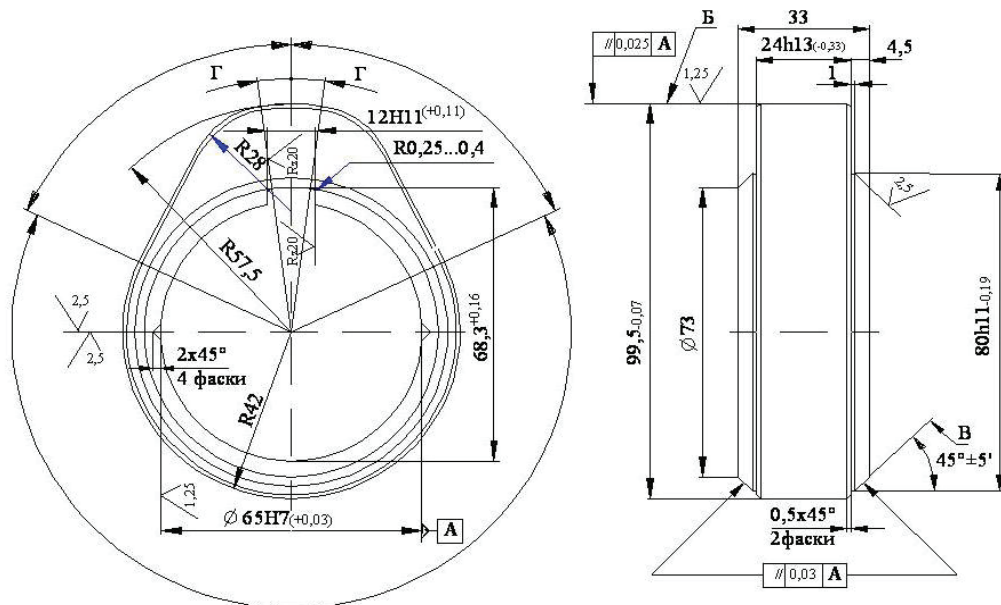


Р и с. 3. Ролик механизма газораспределения
дизеля

Fig. 3. Roller of the diesel valve timing gear

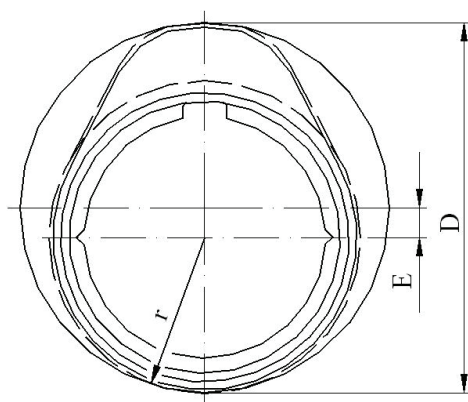
Исследования шероховатости поверхности детали проводились на экспериментальной установке, общий вид которой показан на рис. 5. Измерение высоты неровностей поверхности производилось по параметру R_a на профилометре модели 283 завода

«Калибр». Исследование производительности и шероховатости обработки осуществлялось с использованием методики многофакторного планирования эксперимента. На рис. 5 приведена схема для определения эксцентриситета E .



Р и с. 4. Опытный образец детали (кулачек распредвала дизеля 1 – 517ПДГ.92.15), использованный при проведении исследований

F i g. 4. Prototype parts (cam of diesel camshaft 1 – 517PDG.92.15) used in the research



Р и с. 5. Схема для определения эксцентриситета оси оправки относительно оси ротора

F i g. 5. Scheme for mandrel axis eccentricity determining about rotor axis

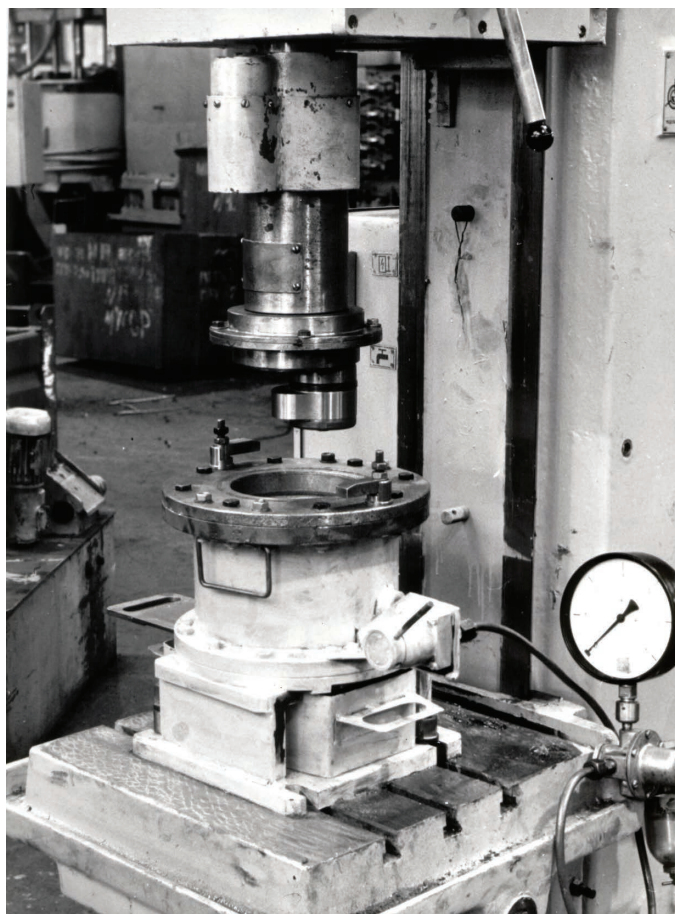


Предлагаемое устройство для полирования деталей камерным способом состоит из камеры, блока подготовки воздуха, шпинделя и эксцентричной оправки (рис. 6).

Для обеспечения работы устройства требуется источник сжатого воздуха с давлением не ниже 0,2 МПа.

Камера, через пневмораспределитель соединенная с блоком подготовки воздуха, устанавливается на столе вертикально-сверлильного станка и кре-

пится болтами. Блок подготовки воздуха включает в себя: вентиль муфтовый РУ16ДУ ГОСТ 9086-74, клапан 122-12 ГОСТ 18468-79, манометр МТ-1Ф60-10-74 ГОСТ 8628-77, фильтр влагоотделитель 22-10-80 ГОСТ 17437-81, обратный клапан 10-2-УХЛ4 ГОСТ 21324-83. Он монтируется на корпусе станка в месте, удобном для обслуживания, и соединяется с источником сжатого воздуха.



Р и с. 6. Общий вид варианта промышленной установки для полирования деталей предлагаемым камерным способом в уплотненной обрабатывающей среде

F i g. 6. General view of industrial unit for parts polishing by offered chamber method in compacted processing substance

Основные данные установки.

1. Класс точности станка – Н
2. Объем рабочей камеры, л: 2,5; 4,5; 7,0
3. Объем контейнера для сбора наполнителя, л: 2,5; 4,5; 7,0
4. Наибольшая масса обрабатываемых деталей, кг – 5,0
5. Суммарная масса обрабатываемых деталей, не более, кг – 5,0
6. Длина обрабатываемой детали, наибольшая, мм – 400
7. Диаметр цилиндрических деталей, не более, мм – 300
8. Частота вращения ротора, мин⁻¹: 68, 100, 140, 195, 275, 400, 530, 750, 1100
9. Давление воздуха в сети, МПа – 0,4–0,6
10. Количество одновременно обрабатываемых деталей, шт. – 1–80
11. Потребляемая мощность, кВт – 1,5–3
12. Род тока: трехфазный, переменный
13. Напряжение, В – 380
14. Масса установки, кг – 25
15. Машинное время обработки, мин – 1–5
16. Габаритные размеры, мм – 415×300×670.

При эксплуатации установок подобного типа перед началом работы необходимо проверить надежность крепления камеры на столе станка. Затем необходимо приготовить рабочую смесь и засыпать ее внутрь камеры, очистить оправку от загрязнений, установить и закрепить на ней деталь. В дальнейшем нужно опустить шпиндель станка вниз до упора, после чего зажать верхнюю крышку специальными поворотными рычагами. После этого следует установить с помощью клапана 122–12 ГОСТ 18468–79 и манометра МТ–1 (Ф–60–10–4) ГОСТ 8628–77 требуемую величину давления воздуха, подводимого к эластичной стенке камеры и частоту вращения шпинделя. Установка давления воздуха и частоты вращения шпинделя про-

изводится перед началом каждой рабочей смены. После этого необходимо включить привод станка и произвести обработку деталей.

По окончании цикла обработки нужно отключить подачу воздуха, выключить вращение шпинделя станка, раскрыть крышку и освободить деталь. Следует отметить, что отсчет времени обработки выполняется специальным реле времени.

Замена рабочей среды производится после сильного ее истирания или загрязнения. Для этого необходимо выдвинуть отсекаТЕЛЬ, освободить окно в нижней части рабочей емкости и протолкнуть рабочую среду в выдвижной ящик, находящийся под камерой. После этого отсекаТЕЛЬ задвигается и производится новая загрузка рабочей среды в камеру установки.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что на качество формируемой поверхности детали при камерной обработке оказывают влияние в основном следующие параметры: давление воздуха, прикладываемое к эластичной оболочке, зернистость абразивного материала, твердость детали, соотношение диаметральных размеров детали и эластичной оболочки при обработке.

Уплотненный абразивный слой обладает определенной инерционностью. При взаимодействии с поверхностью детали типа кулачка в первую очередь обрабатывается участки поверхности максимального диаметра, а участки поверхности минимального диаметра – настолько, насколько позволяет инерционность уплотняющей среды. Исходя из того, что основное абразивное воздействие оказывается на деталь уплотненной обрабатывающей средой, для обеспечения всесторонней обработки поверхности необходимо при ее вращении осуществлять разрушение уплотненного абразивного слоя относительно контура детали.



Одной из основных динамических характеристик процесса обработки деталей в уплотненной обрабатывающей среде является давление среды на ее поверхности посредством эластичной оболочки. Оно определяет характер протекания абразивного воздействия. Поэтому исследование динамических характеристик метода обработки необходимо начинать с определения давления абразивной среды на деталь.

Необходимо отметить, что для решения поставленной задачи в первом приближении могут быть применены уравнения теории упругости [1; 9–10]. Это связано в первую очередь со спецификой свойств зернистых сред, которые при всестороннем сжатии ведут себя как упругодеформируемые твердые тела.

Как уже отмечалось ранее, основными параметрами камерного способа обработки являются давление, подводимое к эластичной оболочке, и со-

отношение радиальных размеров эластичной оболочки и обрабатываемой детали. На основании теоретических исследований с целью проверки их результатов были проведены экспериментальные исследования.

Эксперименты проводились при обработке роликов механизма газораспределения дизеля, изготовленных из стали 18Х2Н4МА с исходной шероховатостью поверхности $R_a = 0,32–0,28$ мкм и твердостью поверхности 58–60 HRC. Обработка осуществлялась в камерном устройстве с радиусом эластичной оболочки $R_l = 100$ мм.

Режимные параметры были следующими: частота вращения деталей – $n = 125$ мин⁻¹; абразивный материал – электрокорунд белый марки 25А; жидкая фаза – 1,5–2 % водный раствор Na_2CO_3 ; продолжительность обработки – 4 мин. Остальные исходные данные, а также результаты экспериментов приведены в табл. 1–2.

Таблица 1

Table 1

Исходные данные и результаты экспериментов

Initial data and results of experiments

№	Зернистость абразива Z, мкм	Радиус детали R_d , мм	Давление на эластичную стенку P , МПа	Значение шероховатости поверхности R_a (мкм) в эксперименте №					Среднее значение R_a , мкм
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	20	0,01	0,32	0,32	0,32	0,30	0,30	0,311
2	10	20	0,02	0,29	0,28	0,27	0,28	0,28	0,280
3	10	20	0,03	0,28	0,27	0,28	0,28	0,26	0,274
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	10	20	0,04	0,24	0,22	0,23	0,23	0,22	0,228
5	10	20	0,05	0,18	0,18	0,17	0,20	0,22	0,190
6	10	20	0,06	0,18	0,16	0,16	0,19	0,15	0,168
7	10	20	0,07	0,14	0,12	0,13	0,13	0,12	0,128
8	10	20	0,08	0,072	0,075	0,078	0,074	0,075	0,0748
9	10	20	0,09	0,062	0,060	0,055	0,052	0,054	0,0566
10	10	20	0,1	0,055	0,06	0,05	0,048	0,051	0,0528
11	10	20	0,11	0,052	0,054	0,055	0,058	0,060	0,0558
12	10	20	0,12	0,061	0,065	0,062	0,066	0,067	0,0642
13	10	20	0,13	0,072	0,075	0,077	0,076	0,072	0,0744
14	10	20	0,14	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,1120
15	10	20	0,15	0,17	0,18	0,16	0,18	0,15	0,168
16	10	20	0,16	0,26	0,24	0,23	0,26	0,24	0,2460
17	10	20	0,17	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28	0,28
18	10	20	0,18	0,29	0,30	0,28	0,31	0,32	0,300
19	10	20	0,19	0,28	0,27	0,30	0,31	0,30	0,2920
20	10	20	0,20	0,28	0,27	0,30	0,31	0,30	0,2920
21	10	20	0,21	0,29	0,32	0,27	0,30	0,32	0,2920



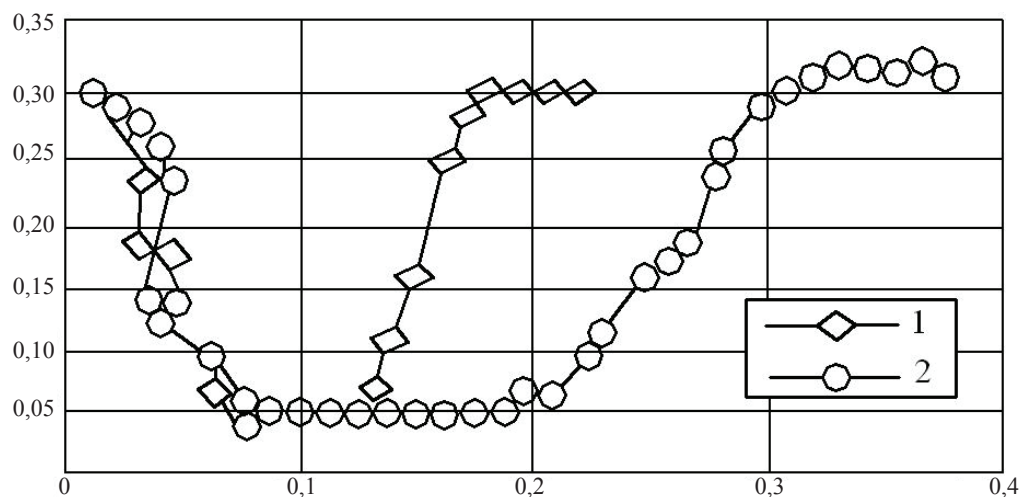
Исходные данные и результаты экспериментов

Initial data and results of experiments

№	Зерни- стость абра- зива Z, мкм	Ра- диус детали R_2 , мм	Давле- ние на эла- стич- ную стенку P , МПа	Значение шероховатости поверхности R_a (мкм) в эксперименте №					Среднее значение R_a , мкм
				1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	80	0,01	0,30	0,32	0,29	0,31	0,30	0,3040
2	10	80	0,02	0,29	0,32	0,28	0,31	0,30	0,3000
3	10	80	0,03	0,27	0,30	0,29	0,30	0,27	0,2860
4	10	80	0,04	0,27	0,26	0,28	0,26	0,25	0,2640
5	10	80	0,05	0,23	0,25	0,22	0,25	0,24	0,2380
6	10	80	0,06	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,1300
7	10	80	0,07	0,15	0,12	0,14	0,13	0,14	0,1360
8	10	80	0,08	0,12	0,089	0,11	0,098	0,11	0,1054
9	10	80	0,09	0,082	0,076	0,072	0,080	0,074	0,0768
10	10	80	0,1	0,055	0,050	0,048	0,056	0,058	0,0534
11	10	80	0,11	0,052	0,048	0,05	0,056	0,048	0,0498
12	10	80	0,12	0,051	0,055	0,049	0,052	0,05	0,0514
13	10	80	0,13	0,052	0,054	0,048	0,053	0,054	0,0522
14	10	80	0,14	0,050	0,055	0,05	0,054	0,055	0,0528
15	10	80	0,15	0,051	0,054	0,052	0,056	0,06	0,0546
16	10	80	0,16	0,052	0,055	0,054	0,058	0,055	0,0548
17	10	80	0,17	0,050	0,052	0,055	0,058	0,055	0,0540
18	10	80	0,18	0,055	0,055	0,058	0,060	0,060	0,0576
19	10	80	0,19	0,070	0,075	0,074	0,076	0,075	0,0740

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	10	80	0,20	0,075	0,075	0,080	0,082	0,082	0,0763
21	10	80	0,21	0,11	0,10	0,12	0,10	0,11	0,1080
22	10	80	0,22	0,12	0,13	0,11	0,13	0,13	0,1240
23	10	80	0,23	0,15	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17
24	10	80	0,24	0,17	0,18	0,18	0,19	0,16	0,1760
25	10	80	0,25	0,18	0,17	0,17	0,19	0,19	0,1800
26	10	80	0,26	0,19	0,18	0,22	0,23	0,23	0,2100
27	10	80	0,27	0,24	0,22	0,22	0,24	0,25	0,2340
28	10	80	0,28	0,26	0,27	0,28	0,29	0,28	0,2760

На рис. 7 приведены графические результаты экспериментов. Кривая 1 соответствует отношению $R_2/R_1 = 0,2$, а кривая 2 – отношению $R_2/R_1 = 0,8$.



Р и с. 7. Графические зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности детали от давления уплотненной обрабатывающей среды при различных соотношениях радиальных размеров детали и эластичной оболочки камерного устройства

F i g. 7. Characteristics curve of part surface roughness depending on pressure of compacted abrasive substance with different ratios of radial dimensions of part and elastic membrane of chamber device



Анализируя приведенные графические зависимости, можно отметить следующее.

1. При использовании камерного способа полирования деталей необходимо правильно выбирать соотношение диаметральных размеров детали и оболочки устройства. Это обеспечит стабильное протекание процесса полирования в более широком диапазоне давлений. В нашем случае при соотношении радиальных размеров и эластичной оболочки $R_2/R_1 = 0,2$ соответственно стабильное протекание процесса обеспечивается при диапазоне давлений $P = 0,08\text{--}0,12$ МПа, а при соотношении $R_2/R_1 = 0,8$ при $P = 0,09\text{--}0,19$ МПа. Бо-

лее широкий оптимальный диапазон давлений обеспечит возможность обработки деталей с большим перепадом обрабатываемых диаметров.

2. В каждом конкретном случае существует определенный предел давления, при котором процесс полирования практически не осуществляется. При соотношении $R_2/R_1 = 0,2$ это давление $P \approx 0,18$ МПа, а при соотношении $R_2/R_1 = 0,8$ давление $P \approx 0,32$ МПа.

3. При использовании давления меньше оптимального возможно получение более низкой шероховатости поверхности, однако в этом случае резко снижается производительность обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голушкевич, С. С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды / С. С. Голушкевич. – Ленинград ; Москва : Гостехиздат, 1948. – 148 с.
2. Мартынов, А. Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами / А. Н. Мартынов. – Саратов : Изд-во Сарат. Гос. техн. ун-та, 1981. – 212 с.
3. Патент Российская Федерация, МКИ В 24 В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. – №1803308, опубли. 23.03.93. Бюл. № 11.
4. Скрябин, В. А. Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография / В. А. Скрябин. – Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. – 120 с.
5. Скрябин, В. А. Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами : монография / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. – 240 с.
6. Скрябин, В. А. Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами / В. А. Скрябин, Ю. В. Рыбаков // Машиностроитель. – 2000. – № 2. – С. 16–17.
7. Скрябин, В. А. Камерный способ обработки сложнопрофильных деталей уплотненным мелкодисперсным абразивом / В. А. Скрябин, А. Г. Схиртладзе, Ю. В. Рыбаков // Технология металлов. – 2003. – № 1. – С. 19–24.
8. Скрябин, В. А. Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем / В. А. Скрябин, Г. И. Свечникова // Машиностроитель. – 2011. – № 4. – С. 18–22.
9. Скрябин, В. А. Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем / В. А. Скрябин // Машиностроитель. – 2011. – № 3. – С. 18–22.
10. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Д. Ж. Гудьер. – Москва : Наука, 1985. – 576 с.

Поступила 06.05.2015 г.

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «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

Для цитирования: Скрыбин, В. А. Влияние основных параметров процесса обработки на шероховатость поверхностей деталей сложного профиля / В. А. Скрыбин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 90–102. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.090

REFERENCES

1. Golushkevich S. S. Ploskaya zadacha teorii predelnogo ravnovesiya sypuchey sredy [Flat task of theory of maximum equilibrium of friable environment]. Leningrad; Moscow: Gostehizdat Publ., 1948, 148 p.
2. Martinov A. N. Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiyami silami [Bases of method of treatment of details a free abrasive close-settled inertia forces]. Saratov: Sarat. State University Publ., 1981, 212 p.
3. Pat. RF 1803308, МКИ: B24B 31/104. Method of treatment of details. Of V. A. Skryabin. 23.03.93, no. 11.
4. Skryabin V. A. Osnovy protsessa submikrorezaeniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom: monografiya [Bases of process of submicrometre at treatment of details an unsupported abrasive: monography]. Penza: PVAIU Publ., 1992, 120 p.
5. Skryabin V. A., Shirladze A. G. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhno-profilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami: monografiya [Technological providing of treatment quality of intricate shape detail by sealed small-size dispersion materials: monography]. Staryy Oskol: Thin knowledge-based technologies Publ., 2015, 240 p.
6. Skryabin V. A., Rybakov Yu. V. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [New method of detail finish treatment by small-size dispersion abrasive]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2000, no. 2, pp.16–17.
7. Skryabin V. A., Shirladze A. G., Rybakov Yu. V. Kamernyy sposob obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennym melkodispersnym abrazivom [Vitrol-chamber of treatment of figurine details the close-settled fine abrasiveIntricate shape detail vitro-chamber process by sealed small-size dispersion abrasive]. *Tekhnologiya metallov* [Technology of metals]. Moscow: Science and technologies Publ., 2003, no. 1, pp.19–24.
8. Skryabin V. A., Svechnikova G. I. 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* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 4, pp. 18–22.
9. Skryabin V. A. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na sherokhovatost obrabatyvayemykh poverkhnostey detaley s razlichnym profilem [Research of influence of technological factors and the conditions of finish abrasive treatment on the roughness of processed surfaces of details with the different profile]. *Mashinostroitel* [Machine Engineer]. Moscow: Turn-center Publ., 2011, no. 3, pp.18–22.
10. Tymoshenko S. P., Gudyer D. G. Teoriya uprugosti [Theory of resiliency]. Moscow: Science Publ., 1985, 576 p.

Submitted 06.05.2015

About the author:

Skryabin Vladimir Aleksandrovich, professor of chair of Machine Engineering Technology of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>**, vs_51@list.ru

For citation: Skryabin V. A. Basic parameters effect of treatment process on intricate-shaped parts' surfaces roughness. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 90–102. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.090



ТРАНСПОРТ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ: ФАКТОРЫ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

И. А. Семина

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

В статье рассматриваются факторы формирования транспорта Республики Мордовия. Развитию транспорта в регионе способствуют благоприятные природные факторы, выгодное экономико-географическое положение. В РМ наиболее распространенными являются сухопутные виды транспорта. Внутренний водный транспорт потерял свое транспортное значение к концу XIX в. Большую роль в повышении качества автомобильных дорог сыграло строительство в 1960 гг. асфальтовых и асфальтобетонных заводов в РМ, открытие карьеров по добыче щебня. На территории современной РМ вдоль транспортных магистралей размещаются промышленные предприятия. Транспортная инфраструктура имеет второстепенное значение по отношению к территориальным элементам производства. В транспортных узлах возникают оптимальные условия для формирования промышленных узлов и центров. Важную роль в развитии транспортной системы РМ играет сеть городов и административных центров, от размещения которых зависят направления и мощность основных внутри- и межрегиональных грузовых и пассажирских потоков. Современная транспортная сеть региона рассматривается по видам транспорта. Автомобильный транспорт является ведущим, выполняет основные пассажироперевозки и перевозки сельскохозяйственных грузов в пределах региона; ряд районов имеют только автодорожную сеть. Представлены результаты анализа показателей надежности и морфологии дорожной сети по административным районам РМ, выявлены транспортные проблемы и обозначены приоритеты развития регионального транспорта. Во всех районах РМ надежность начертания дорожных сетей не соответствует нормативным значениям, их конфигурационные особенности не отличаются полицентричностью и цикличностью; доминирует республиканский центр, связи, циклические звенья дорожной сети имеют низкое техническое состояние. Существующая древовидная дорожная сеть РМ сдерживает социально-экономическое развитие региона. Основные направления концепции развития транспорта республики соответствуют приоритетам государственной транспортной политики и способствуют формированию современной эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение движения потоков пассажиров и товаров, снижение транспортных издержек в экономике.

Ключевые слова: транспорт, факторы развития, транспортная система, транспортный узел, инфраструктура, дорожная сеть, показатели, доступность, проблемы развития

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-02526 А)

TRANSPORT IN REPUBLIC OF MORDOVIA: FACTORS, PROBLEMS AND PROSPECTS

I. A. Semina

Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The article deals with factors of transport development in Republic of Mordovia. Good natural factors, economic and geographical position are favorable for developing the transport industry

© Семина И. А., 2015

in the region. The ground transport is the most common one in Mordovia. Waterways transport lost its relevance and significance by the end of the 19th century. Construction of asphalt and bitumen concrete plants and opening of large gravel quarries in Mordovia in the 1960s played an important role in improving the quality of roads. On the territory of the modern Mordovia, plants and factories are placed along the highways. The transport infrastructure is of the secondary importance in relation to the territorial aspect of production. The transportation hubs create optimum conditions for developing industrial hubs and centers. An important role for developing the transport system in Mordovia belongs to cities and administrative centers; their location influences on the direction and power of the major intra- and inter-regional freight and passenger traffic. The article considers the modern transport network in the region by the kinds of transport. Vehicular transport carries the basic passenger and agricultural goods traffic within the region; some areas have only a road network. The article describes the results of the analysis of the road network reliability and morphology in the Republic administrative regions of, transportation problems, and the priorities for the regional transport industry development. In all regions of Mordovia, the reliability of the road network tracing does not meet the standard values, their configuration is not particularly cyclical and characterized by a polycentric. In the center of Republic, the cyclic links of the road network are of a low technical condition. The existing tree-shaped road net in Mordovia hinders the socio-economic development of the region. The main directions for developing the transport industry of the Republic correspond to the priorities of the state transport policy and are aimed at creating a modern and efficient transport infrastructure for the accelerating passengers and freight traffic, and reducing transportation costs.

Keywords: transport, development factors, transport system, transport knot, infrastructure, road network, indicators, availability, development problems

Acknowledgement: The study was supported by Russian Foundation for Basic Research (project no. 15-05-02526 A)

Развитию транспорта на территории Республики Мордовия способствуют благоприятные природные факторы, а также выгодное экономико-географическое, в том числе транспортно-географическое положение. В РМ наиболее распространёнными являются сухопутные виды транспорта. Внутренний водный транспорт потерял свое транспортное значение уже к концу XIX в.

Большую роль в повышении качества автомобильных дорог сыграло строительство в 1960 гг. асфальтовых и асфальтобетонных заводов в РМ, открытие карьеров по добыче щебня. Однако несмотря на это, в конце 1960-х – начале 1970-х гг. отмечалось слабое развитие автомобильного транспорта, что отрицательно сказывалось на народном хозяйстве РМ и тормозило экономический подъем многих ее районов и малых городов [1].

На территории современной РМ вдоль транспортных магистралей размещаются промышленные предприятия. В Саранско-Рузаевском промышленном узле сосредоточена большая часть основных фондов промышленности

и выпускается около 70 % промышленной продукции республики. Его функционирование способствует формированию транспортных узлов, которые обслуживают промышленные центры. В Чамзинско-Комсомольском, Ковылкинском и Зубово-Полянском транспортных узлах сочетаются автомобильный и железнодорожный виды транспорта. Благоприятные транспортно-географические условия способствовали размещению ведущих региональных производств именно в данных узлах. Характер взаимосвязи элементов территориальной структуры хозяйства и обслуживающей его инфраструктуры сложен: чаще всего транспортная инфраструктура имеет второстепенное значение по отношению к территориальным элементам производства, но именно в транспортных узлах возникают оптимальные условия для формирования промышленных узлов и центров.

Важную роль в развитии транспортной системы РМ играет система расселения, в частности сеть городов



и административных центров, от размещения которых зависят направления и мощность основных внутри- и межрегиональных грузовых и пассажирских потоков [10].

Формирование сети городских поселений республики началось более 100 лет назад, и главную роль при этом играл военно-стратегический фактор. Строительство в XX в. автотранспортных магистралей способствовало развитию городов. Около городов и крупных населенных пунктов росло количество центров и увеличивалась густота транспортной сети. Промышленные центры, сосредоточивающие определенные виды социально-экономической деятельности, формируют территориальные зоны влияния, размеры которых зависят от функциональной специфики и масштабов этих видов деятельности.

Лесные болотистые районы РМ (Темниковский, Zubovo-Полянский) стали заселяться гораздо позднее, и расселение в них носит очаговый характер. Поселки городского типа тяготеют к крупным транспортным путям, сельские поселения располагаются в местах, удобных для развития отраслей сельскохозяйственного производства. Города и поселки привязаны к транспортным узлам, месторождениям полезных ископаемых и районам, пригодным для промышленной переработки сырья. Территориальные связи формируют социально-экономическое единство территории. Между центрами административных районов возникает интенсивный обмен (населением, товарами, информацией), и постепенно в этих местах транспортная сеть становится более густой. Между структурой расселения и конфигурацией транспортной сети существуют прямые взаимосвязи. Величина транспортного потока, как правило, определяется величиной населенного пункта. Населенные пункты не однотипны по своим функциям и неравномерно рас-

пределяются по территории. Четко выделяются города, образуя систему центров, а также сельские населенные пункты и поселки городского типа. После сооружения транспортная сеть, связывающая населенные пункты, становится важным фактором, воздействующим на дальнейшее формирование структуры расселения, развитие промышленности и сельского хозяйства.

Масштабы изменения численности населения в районах РМ неодинаковы. Согласно данным последней переписи, наиболее интенсивно сокращение числа жителей происходило в западных и юго-восточных районах. Более стабильна численность населения в центральной и восточной частях, что может объясняться развитой сетью городов и благоприятными транспортными условиями. Сеть поселений в РМ устойчива. «Точки локализации» населения в значительной мере обусловлены выгодным транспортно-географическим положением [7]. Среди городских поселений наиболее выгодно расположены г. Саранск и г. Рузаевка. Саранско-Рузаевский узел имеет федеральное значение и самую высокую транспортную доступность населенных пунктов в зоне своего влияния.

Удобным экономико-географическим положением в регионе отличаются также поселки городского типа (Ромоданово, Чамзинка, Комсомольский). Они расположены близко к республиканскому центру, имеют промышленный потенциал и являются интегральными транспортными узлами. Из 22 районных центров РМ 7 расположены вне железных дорог с расстоянием до ближайших железнодорожных станций от 12 км (с. Кочкурово) до 110 км (с. Теньгушево). Значительно удалены от железных дорог г. Краснослободск (52 км) и г. Темников (71 км).

В РМ административные районы расположены относительно близко к республиканскому центру. Автомобильный транспорт является ведущим,

поскольку именно он выполняет основные пассажироперевозки и перевозки сельскохозяйственных грузов в пределах региона; ряд районов имеют только автодорожную сеть. Природные условия, транспортно-географическое положение, сочетание на территории региона отраслей машиностроительного, агропромышленного и строительного межотраслевых комплексов, устойчивая сеть поселений, относительно небольшие расстояния между столицей, промышленными и административными центрами – все это способствует экономическому развитию и эффективному функционированию транспортной системы РМ [4]. В то же время наличие большого количества средних и малых рек, недостаток собственных высококачественных строительных и других природных материалов, недостаточная материальная и производственная база, остаточные признаки «депрессивности» экономики сдерживали и сдерживают развитие транспорта в РМ.

Особенностью транспортной системы РМ является почти полное отсутствие речного и авиационного транспорта (которые играют вспомогательную роль). Речной транспорт не развит, поскольку реки РМ не судоходны и используются только в производственной деятельности, для нужд сельского хозяйства и населения. Из-за отсутствия топливно-энергетических ресурсов и относительно небольшой площади региона авиационным транспортом выполняются только внешнерегionalные перевозки. Внутриреспубликанские аэропорты (ранее существовавшие) не используются в виду их нерентабельности и убыточности в условиях рыночных отношений. Однако в прошлом, в периоды распутицы, для части периферийных районов республики авиация являлась единственным видом транспорта.

Современная транспортная сеть РМ представлена основными видами

транспортных коммуникаций, обслуживающих промышленное, сельскохозяйственное производство и население, а также автомобильными и железными дорогами, что демонстрирует их исключительную роль в формировании транспортной системы и предъявляет ее развитию и функционированию значительные требования. По территории РМ проходят газопроводы «Ямбург – Тула», «Уренгой – Центр», «Саратов – Н. Новгород – Череповец».

По железным дорогам РМ осуществляются транспортные связи центра Российской Федерации с регионами Поволжья, Южным Уралом, Сибирью, Казахстаном, Средней Азией, Дальним Востоком. Однако следует отметить, что сеть железных дорог РМ размещена неравномерно. Железные дороги не построены в Атюрьевском, Ельниковском, Инсарском, Краснослободском, Б.Березниковском, Дубенском и Б.Игнатовском районах, что сказывается на развитии их производственного потенциала и производственно-технологических, культурно-бытовых и трудовых связях. Поскольку все населенные пункты должны иметь возможность сообщаться, возникает необходимость в путях сообщения, технических средствах транспорта и службе перевозок, которые обеспечивали бы определенный объем грузов и пассажиропотоков, необходимую скорость сообщения и достойное качество обслуживания. Отметим, что из 544 км железных дорог общего пользования электрифицированными являются только 332 км; 379 км – не общего пользования. Плотность железнодорожных путей на 1 000 км² территории в среднем по РМ составляет 35 км, железнодорожных путей общего пользования – 21 км [2].

Общая протяженность автомобильных дорог общего пользования регионального значения составляет ~ 7,0 тыс. км, из них с твердым покрытием – > 5,4 тыс. км. Плотность



дорог общего пользования с твердым покрытием в РМ, составляет 268 км на 1 000 км² [Там же]. В то же время в некоторых регионах РФ этот показатель в 1,5–2 раза больше, чем в РМ: например, в Чувашской Республике 307 км на 1 000 км², Калининградской – 417 км на 1 000 км², Московской – 536 км на 1 000 км² и т. д. В целом по РФ на 1 000 км² приходится 57 км автомобильных дорог с твердым покрытием [5].

Плотность ведомственных автомобильных дорог с твердым покрытием на 1 000 км² территории в 2013 г. составила 16 км, в то время как в 2003 г. этот показатель имел значение 44 км. Наибольшая протяженность ведомственных дорог приходится на Zubovo-Polyanskiy, Ichalkovskiy, Krasnoslobodskiy, Atyashevskiy и Ruzaevskiy районы. Ведомственные дороги, имеющие непрочное твердое покрытие или без твердого покрытия, разрушаются и «исчезают»: с 2003 г. до 2013 г. их протяженность уменьшилась почти в 3 раза. Доля автомобильных дорог с твердым покрытием от протяженности автомобильных дорог общего пользования в РМ составила 54,7 % [2]. Это 12 место по данному показателю среди 14 субъектов Приволжского федерального округа [11].

Наличие автомобильного транспорта в районах республики РМ дифференцировано: наибольшее количество автомобилей наблюдается в городах и поселках городского типа в таких районах как Zubovo-Polyanskiy, Krasnoslobodskiy, Chamzinskiy (> 500 ед.); наименьшее значение показателя отмечается в Tenguшевском, Bolshoberezhnikovском и Kadoshkinsком районах (< 100 ед.) [3].

Составной частью транспортной системы РМ является автомобильный пассажирский транспорт, который осуществляет пассажирские перевозки по 304 маршрутам, из которых 55 – городских, 179 – пригородных, 70 – муниципальных и 10 – междугородних.

Таким образом, пассажирский автомобильный транспорт, как наиболее массовый и универсальный, значительно опережает по темпу развития, объему перевозок и пассажирообороту все другие виды пассажирского транспорта. При этом преимущественное развитие получил автобусный автотранспорт, представляющий собой наиболее массовый вид пассажирского транспорта общего пользования, хотя по числу автобусов на 100 тыс. чел. населения РМ занимает только 12 место в ПФО [5].

Железнодорожный транспорт каждый день обслуживает внутрирегиональные перевозки пассажиров по направлениям «Саранск – Рузаевка», «Саранск – Ковылкино», «Рузаевка – Красный Узел», «Красный Узел – Канаш». В секторе пассажирских перевозок железнодорожным транспортом происходят структурные изменения. Например, с 01.01.2011 г. из состава деятельности ОАО «РЖД» были полностью выведены пригородные пассажирские перевозки, которые теперь осуществляются вновь созданными пригородными пассажирскими компаниями ОАО «Самарская пригородная пассажирская компания», ОАО «Содружество».

Авиационный транспорт играет незначительную роль в перевозках пассажиров и пассажирообороте РМ, однако в настоящее время по сравнению с 2005 г. показатели его работы возросли более чем в 3 раза [2].

При изучении конфигурационных особенностей транспортных сетей административных районов РМ рассчитывались показатели Канского, отражающие топологические свойства морфологии транспортных сетей: цикломатическое число, индекс формы, индекс связанности (таблица). По исследуемым показателям морфологии транспортной сети выделяются Chamzinskiy, Zubovo-Polyanskiy и Romodanovskiy районы. Также отметим, что во всех районах РМ надежность начертания дорожных сетей не соответству-

ет нормативным значениям, поскольку связки и циклические звенья сети имеют, как правило, неудовлетворительное техническое состояние [6]. Существующая древовидная дорожная сеть РМ

сдерживает социально-экономическое развитие региона [1; 6]. Таблица, рисунок отражают основные проблемы развития транспортных сетей административных районов РМ.

Т а б л и ц а

Table

Показатели и проблемы развития дорожной сети административных районов РМ
Results and problems of road network development in administrative districts of the RM

Районы и наличие проблем развития дорожной сети (1 – низкое техническое состояние местных дорог, 2 – низкое техническое состояние ведомственных дорог выполняющих общепользовательские функции, 3 – ненадежное начертание дорожной сети, 4 – контраст в обеспеченности грузо- и пассажироперевозками)	Показатели морфологии сети		
	Цикломатическое число графа	Индекс связанности	Индекс формы
Ардатовский (2, 3)	1	1,0	3,7
Атюрьевский (1, 2, 3, 4)	0	0,9	2,6
Атяшевский (2, 3)	3	1,1	2,8
Б.Березниковский (2, 3, 4)	4	1,1	3,0
Б.Игнатовский (1, 2, 3, 4)	1	1,0	3,4
Дубенский (2, 3)	4	1,1	3,0
Ельниковский (2, 3)	1	1,0	4,0
Зубово-Полянский (1, 4)	10	1,2	4,7
Инсарский (2, 3)	1	0,9	2,3
Ичалковский (1, 2, 3, 4)	2	1,0	4,6
Кадошкинский (1, 2, 3, 4)	1	1,0	4,0
Ковылкинский (1, 2, 3)	4	1,0	6,0
Кочкуровский (1, 2, 3, 4)	5	1,1	2,4
Краснослободский (3, 4)	1	1,0	3,2
Лямбирский (2, 3, 4)	2	0,9	2,0
Ромодановский (2, 3, 4)	1	1,1	5,2
Рузаевский (1, 2, 3, 4)	4	1,2	4,1
Старошайговский (2, 3)	3	1,1	3,3
Темниковский (2, 3)	3	1,1	4,5
Теньгушевский (1, 2, 3, 4)	6	1,2	4,1
Торбеевский (2, 3, 4)	7	1,2	5,0
Чамзинский (2, 3)	7	1,2	6,2
Городской округ Саранск	2	1,1	3,3

Интегральная транспортная доступность измеряется в средневзвешенных затратах времени, необходимых для того, чтобы добраться из любого населенного пункта до любого другого в пределах определенной территории. Показатель рассчитывается отдельно для грузовых и пассажирских перевозок. Он характеризует потенциальные возможности осуществления разнообразных транспортных связей, оценивает техническую надежность сети коммуникаций и надежность их начертания [6].

Единого норматива интегральной транспортной доступности для региональной сети не существует, его определяют отдельно для каждого региона. Постоянство нормативов для административного района (1,75 ч для пассажироперевозок и 2,4 ч – для грузоперевозок) связано с высоким удельным весом регулярных связей. Независимо от размеров территории района все его жители нуждаются в более или менее регулярном потреблении услуг социально-гарантированного минимума (специализированная медпомощь, учреждения культуры и соцобеспечения, ремонт бытовой техники и т. д.) [9]. Коэффициент технической надежности (см. рисунок) представляет собой отношение фактической и нормативной скоростей на участке дорожной сети и имеет нормативное значение, равное 1,0. По этому признаку районы могут быть разделены на технически ненадежные ($K < 0,5$), средненадежные ($0,5 < K < 1,0$) и нормативно надежные ($K > 1,0$). Проведенные расчеты показали, что средняя техническая скорость грузовых перевозок на дорогах РМ составляет от 42 км/ч до 79 км/ч (при взятой за норматив 90 км/ч). Средняя региональная скорость пассажироперевозок составила 67,41 км/ч, грузоперевозок – 65,24 км/ч. Данная расчетная скорость зависит, прежде всего, от дорожных условий и технических характеристик подвиж-

ного состава (максимальной скорости, мощности двигателя и т. д.). Нормативный коэффициент технической надежности, равный 1,0, при котором можно двигаться по автомобильной дороге со средней технической скоростью 90 км/ч при грузоперевозках, не достигнут ни в одном из районов РМ и варьирует от 0,61 до 0,88, что позволяет охарактеризовать дорожную сеть как «средненадежную» (см. рисунок).

Изучение пространственного своеобразия региона невозможно без полного учета территориальных аспектов развития транспортной системы [8]. Конфигурация транспортной сети, размещение узлов, транспортно-инфраструктурная обеспеченность и обслуживаемость влияют на характер потребления транспортных услуг. На территории РМ наблюдается дифференциация транспортной обеспеченности по административным районам [1], проявление географических контрастов между центром и периферией, которые становятся причиной возникновения и воспроизводства территориального неравенства, социальной территориальной несправедливости.

Обозначим основные направления концепции развития регионального транспорта.

1. Приоритетные направления государственной транспортной политики.
2. Развитие современной эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение движения потоков пассажиров, товародвижения, снижение транспортных издержек в экономике.
3. Развитие сети автомобильных дорог, железнодорожного транспорта и железнодорожной инфраструктуры, организация скоростного пассажирского движения «Самара – Саранск», развитие воздушного парка и наземной инфраструктуры.
4. Сохранение существующей транспортной сети, доведение ее технического состояния до уровня, соот-



ветствующего нормативным требованиям. В настоящее время реконструируются наиболее загруженные участки дорог с целью обеспечения по ним бесперебойного и безопасного движения.

5. Обеспечение надежной автомобильно-дорожной связи всех районов РМ, создание такой транспортной сети, которая позволит выполнить задачу повышения транспортной доступности прилегающих к г. Саранску территорий, обеспечивая выход также в соседние регионы.

6. Юридическое и хозяйственное закрепление автомобильных дорог для конкретизации изначального финансо-

вого потока с целью создания соответствующей финансовой и материальной базы для их поддержания и развития.

7. Выделение в процессе исследования дорожных участков, которые по совокупности показателей транспортно-инфраструктурной составляющей являются наиболее проблемными.

8. Распределение приоритетности капложений между компонентами транспортной сети, а именно между подвижным составом и сетью постоянных устройств, в пользу последнего.

9. Использование выгод транспортно-географического положения в региональном социально-экономическом развитии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Логинава, Н. Н.** Экистическая и транспортная системы в структуре региональной экономики / Н. Н. Логинава, И. А. Семина, Л. Н. Фоломейкина // Государственная служба. – 2013. – № 6. – С. 32–35.
2. Мордовия : Стат. ежегодник / Мордовиястат. – Саранск, 2014. – 463 с.
3. Наличие автомобильного транспорта в Республике Мордовия : 011 : Стат. сб. / Мордовиястат. – Саранск, 2011. – 37 с.
4. Пространственный анализ и оценка социально-экономического развития региона : монография // И. А. Семина [и др.] ; под. ред. А. М. Носонова, И. А. Семиной. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 228 с.
5. Российский статистический ежегодник : 2014 : Стат. сб. / Росстат. – Москва, 2014. – 693 с.
6. **Семина, И. А.** Методология изучения региональной транспортной инфраструктуры (на примере Мордовии) / И. А. Семина // Известия РАН (Географическая серия). – 2009. – № 1. – С. 48–56.
7. **Семина, И. А.** «Транспортно-географическое положение» в региональных исследованиях / И. А. Семина // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 131–137.
8. **Семина, И. А.** Пространственный анализ в региональном исследовании транспорта с использованием ГИС-технологий [Электронный ресурс] / И. А. Семина, Л. Н. Фоломейкина // Географический вестник. – 2009. – № 2. – URL: <http://geo-vestnik.psu.ru>.
9. **Семина, И. А.** Социально-географические аспекты исследования транспорта / И. А. Семина, Е. Э. Хохлова // Огарёв-Online. – 2014. – № 10 (24). – С. 10.
10. Социальные и экономико-географические исследования региона (на примере Республики Мордовия) / Н. Н. Логинава [и др.] // Вестник Удмуртского Университета. – 2012. – № 3. – С. 127–136.
11. Транспорт и связь в России : 2014 : стат. сб. / Росстат. – Москва, 2014. – 114 с.

Поступила 13.08.2015 г.

Об авторе:

Семина Ирина Анатольевна, заведующий кафедрой физической и социально-экономической географии географического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат географических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7468-3102>, isemina@mail.ru

Для цитирования: Семина, И. А. Транспорт Республики Мордовия: факторы, проблемы и перспективы развития / И. А. Семина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 103–112. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.103

REFERENCES

1. Loginova N. N., Semina I. A., Folomeykina L. N. Ekisticheskaya i transportnaya sistemy v strukture regionalnoy ekonomiki [Ekistical and transport systems in the structure of the regional economy]. *Gosudarstvennaya sluzhba* [Civil Service], 2013, no. 6, pp. 32–35.
2. Mordoviya: Stat. yezhegodnik. [Mordovia: Statistical Yearbook]. Saransk, 2014, 463 p.
3. Nalichiyе avtomobilnogo transporta v Respublike Mordoviya: 011 [Availability of road transport in the Republic of Mordovia: 011]. *Mordoviya: Stat. yezhegodnik* [Mordovia: Statistical Yearbook]. Saransk, 2011, 37 p.
4. Semina I. A., Nosonov A. M., Loginova N. N. [et al.]. Prostranstvennyy analiz i otsenka sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regiona: monografiya [Spatial analysis and evaluation of socio-economic development of the region: monography]. Saransk: Mordovia University Press Publ., 2014, 228 p.
5. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik: 2014 [Russian Statistical Yearbook. 2014]. Moscow, 2014, 693 p.
6. Semina I. A. Metodologiya izucheniya regionalnoy transportnoy infrastruktury (na primere Mordovii) [Methodology study of regional transport infrastructure (the Republic of Mordovia case study)]. *Izvestiya RAN. Geograficheskaya seriya* [Proceedings of RAS. Geography series]. 2009, no. 1, pp. 48–56.
7. Semina I. A. “Transportno-geograficheskoye polozheniye” v regionalnykh issledovaniyakh [“Transport and geographical location” in regional studies]. *Problemy regionalnoy ekologii* [Issues of regional ecology]. 2011, no. 4, pp. 131–137.
8. Semina I. A., Folomeykina L. N. Prostranstvennyy analiz v regionalnom issledovanii transporta s ispolzovaniyem GIS-tekhnologiy [Spatial analysis in the study of regional transport using GIS technology]. *Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin]. 2009, no. 2. URL: <http://geo-vestnik.psu.ru>.
9. Semina I. A., Khokhlova Ye. Ye. Socialno-geograficheskiye aspekty issledovaniya transporta [Socio-geographical aspects of the study of transport]. *Ogarev-Onlayn* [Ogarev-Online]. 2014, no. 10 (24), pp. 10.
10. Loginova N. N., Presnyakov V. N., Semina I. A., Sotova L. V., Fedotov Y. D., Folomeykina L. N. Socialnyye i ekonomiko-geograficheskiye issledovaniya regiona (na primere Respubliki Mordoviya) [Social and economic-geographical research in the region (the Republic of Mordovia case study)]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Udmurt University Bulletin], 2012, no. 3, pp. 127–136.
11. Transport i svyaz v Rossii: 2014: stat. sb. [Transport and communication in Russia: 2014: Statistical Yearbook]. Moscow, 2014, 114 p.

Submitted 13.08.2015

About the author:

Semina Irina Anatolyevna, head of chair of Physical and Human Geography of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Geography), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7468-3102>**, isemina@mail.ru

For citation: Semina I. A. Transport in Republic of Mordovia: factors, problems and prospects. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 103–112. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.103

**MULCH AND IRRIGATION EFFECTS ON TOMATO PERFORMANCE AND WEED INFESTATION**

**M. K. Shahadat^a, M. A. Rahman^a, M. G. Miah^b,
A. K. M. A. Hoque^b, S. Cundu^a**

^aBangladesh Agricultural Research Institute (Gazipur-1701, Bangladesh)

*^bBangatandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University
(Gazipur-1701, Bangladesh)*

The experiment was conducted at the Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University research farm, Gazipur, Bangladesh during November 2008 to March 2009 for determining the effects of irrigation and mulch on the performance of tomato. The experiment was laid out in a split-plot design with three replications where mulch materials (*Senna* leaf, rice straw and no-mulch) were assigned in main plots, while five irrigation levels (IW/CEP 1.0, IW/CEP 0.75, IW/CEP 0.50, IW/CEP 0.25, and IW/CEP 0.0) were distributed in sub-plots. *Senna* leaf mulch gave 4.64 % and 25.02% higher tomato yield than rice straw and no mulch treatment, respectively. IW/CPE 1.0 produced 5.64 %, 13.40 %, 33.04 %, and 87.65 % more yield compared to IW/CPE 0.75, 0.50, 0.25 and no irrigation levels, respectively. *Senna* leaf mulch with IW/CPE 1.0 level of irrigation produced the highest (58.54 t ha⁻¹) yield, which did not vary significantly with rice straw with IW/CPE 1.0 (56.89 t ha⁻¹) and *Senna* leaf mulch with IW/CPE 0.75 (56.73 t ha⁻¹). Reducing sugar, total sugar and ascorbic acid were increased with the decreasing irrigation levels, but β carotene increased with increasing irrigation levels. Weed was suppressed significantly under mulch materials than no mulch treatment. Therefore, *Senna* leaf could be used as potential mulch material for soil moisture conservation, higher tomato yield and weed suppression. About 26 % irrigation water could be saved without significant yield loss if *Senna* leaf is used as mulch.

Keywords: tomato, weed, mulch, irrigation, yield

**ВЛИЯНИЕ МУЛЬЧИРОВАНИЯ И ОРОШЕНИЯ
НА УРОЖАЙНОСТЬ ТОМАТОВ И ПОДАВЛЕНИЕ
РОСТА СОРНЯКОВ**

**М. К. Шахадат¹, М. А. Рахман¹, М. Г. Миах²,
А. К. М. А. Хокуе², С. Кунду¹**

*¹Сельскохозяйственный исследовательский институт
Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)*

*²Сельскохозяйственный университет Бангабандху
им. Муджибура Рахмана (г. Газипур-1701, Бангладеш)*

Эксперимент проводился на исследовательской ферме Аграрного Университета Бангабандху Шейх Муджибур Рахман, округ Газипур, Бангладеш с ноября 2008 по март 2009 г. Целью эксперимента было выявить влияние орошения и мульчирования на урожайность томатов. Эксперимент проводился на дробных делянках и включал в себя 3 серии; основные участки или мульчировались (листьями сенны и рисовой со-

ломой) или оставались без мульчирования, в то же время на дробных делянках использовались 5 уровней орошения (IW / CPE 1,0, IW/CPE 0,75, IW/CPE 0,50, IW/CPE 0,25, и IW/CPE 0,0). Мульчирование листьями сенны дало прирост урожая томатов на 4,64 и 25,02 % выше, чем при мульчировании рисовой соломой и при отсутствии мульчирования соответственно. При уровне орошения IW/CPE 1,0 урожай был выше на 5,64, 13,40, 33,04 и 87,65 % по сравнению с уровнями IW/CPE 0,75, 0,50, 0,25 и при отсутствии полива соответственно. Мульчирование листьями сенны в сочетании с уровнем орошения IW/CPE 1,0 дало самый высокий урожай (58,54 т/га – 1), который существенно не отличался при мульчировании рисовой соломой и применении уровня орошения IW/CPE 1,0 (урожайность 56,89 т/га – 1), мульчирование листьями сенны в сочетании с уровнем орошения IW/CPE 0,75 дало урожай 56,73 т/га – 1. Повышение содержания редуцирующего сахара, общего сахара и аскорбиновой кислоты наблюдалось в томатах при снижении уровня орошения, тогда как содержание β -каротина увеличивалось при повышении уровня орошения. Мульчирование значительно подавляло рост сорняков. Следовательно, листья сенны можно использовать в качестве мульчи для сохранения влаги в почве, повышения урожайности томатов и подавления роста сорняков. Использование для мульчирования листьев сенны позволяет сэкономить около 26 % оросительной воды без существенной потери урожайности.

Ключевые слова: томаты, сорняки, мульча, орошение, урожайность

Introduction

Tomato (*Lycopersicon esculentum*) belonging to the family Solanaceae, is a very popular and world's most widely grown vegetable after potato and sweet potato [2]. Among different varieties of tomato, "Shila" is one of the most popular varieties in Bangladesh which gives better yield, available in the market and can be stored relatively long time as fresh [1].

Statistics shows that tomato growing area increased by 145 % in the period of 2003–2004 compared to 1971–72. Although its total production increased by 98 %, but yield per unit area (ton ha^{-1}) decreased by 18 % at the same time [3]. An average yield of 7.4 Mg ha^{-1} is, however, poor compared to other tropical countries [4]. This poor yield is due to the use of low-yielding varieties, improper cultural practices including insufficient supply of nutrients and water and poor disease management [5]. These facts suggest that there is a possibility to increase tomato yield per unit area as well as total production by using appropriate management techniques.

Tomato is grown in the Rabi (dry) season (November through March) in Bangladesh, when lack of water becomes a serious constraint for crop production. Tomato is sensitive to water stress [4; 7–8]. Both excess and shortage of irrigation are detrimental to its growth and yield. Water stress during the growth stage of plant increases flower drop

and retards fruit growth [9]. Calculating soil water balance based on evaporation and rainfall is easily understood and suitable for crop irrigation scheduling [10].

Application of mulch material is one of the good agronomic practices that could conserve soil environment and reduce weed infestation. The mulch promotes crop growth and development and increase crop yield. Weed growth is suppressed by the mulch as it can prevent the penetration of light needed for weed growth [11]. Mulch can also retard the loss of moisture from the soil, maintaining higher and uniform soil moisture thus reducing the irrigation frequency [12].

Zhang et al. [13] observed that mulching with straw reduced soil evaporation loss and increased water use efficiency of wheat in northern China. In Bangladesh, rice straw is used as traditional mulch and its potential use has been evaluated by many researchers [14–15]. Besides mulch, rice straw is also used as fuel, cattle feed, house making material etc. but the availability of rice straw is reducing because of extensive use. In this situation tree leaves could be used as potential mulch material. *Senna siamea* is a good agroforestry species, whose leaf is hard, decomposes slowly and persists in the soil for long time [16].

Estimation of the amount and rate of the crop water use may help avoid over and under irrigation of crops, thus leading to increase in the water use efficiency. In the con-



text of increased tomato yield in water available condition, it is important to understand the causes or mechanism of the observed yield advantage and reduced irrigation cost under different mulches. This is perhaps, related to better soil moisture conservation due to probable lower rate of evapotranspiration resulting from mulching effect.

Information on the interaction effect of moisture regimes and tree leaf mulches in tomato is lacking in Bangladesh. However, it is possible that there is a positive interaction of these two important inputs that might have reduced the irrigation water requirement and ultimately contributed to better yield of tomato.

The findings of this study also have another economic importance from practical point of view. This study results will help farmers, particularly subsistence farmers to use irrigation water more judiciously. It is also believed that mulching has the potential to suppress weeds, which ultimately reduces the competition between the crop and weeds and thus improve crop yield. In the mean time, this will also reduces production cost because in this way farmers need not to use much inorganic fertilizers and other agrochemicals due to mulches and this will ultimately conserve the soil environment as well as agro-ecosystem.

Thus, the present study was aimed:

- To examine the yield and quality of tomato under different irrigation and mulching regimes.
- To determine the optimum rate of irrigation water for tomato production during the dry season.
- To understand the weed suppression due to application of mulch.
- To compare tree leaf mulch with rice straw mulch for tomato production.

Materials and methods

Experimental condition

The experiment was conducted at the experimental farm of the Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur during October, 2008 to March, 2009. The location of the experimental site located in an upland condition which is situated at 24°09' N latitude and 90°20' E longitude with an elevation of 8.20 m above the mean sea level [17]. The location is situated in the sub-tropical climatic zone characterized by heavy rainfall during May to September and scanty during the rest of the year. During the study period, daily maximum and minimum air temperature was recorded as 27.13° C and 19.3° C, respectively (Fig. 1). Maximum and minimum relative humidity was 86.5 % and 78.3 %, respectively (Fig. 2). It is noted that there was no rainfall before final irrigation.

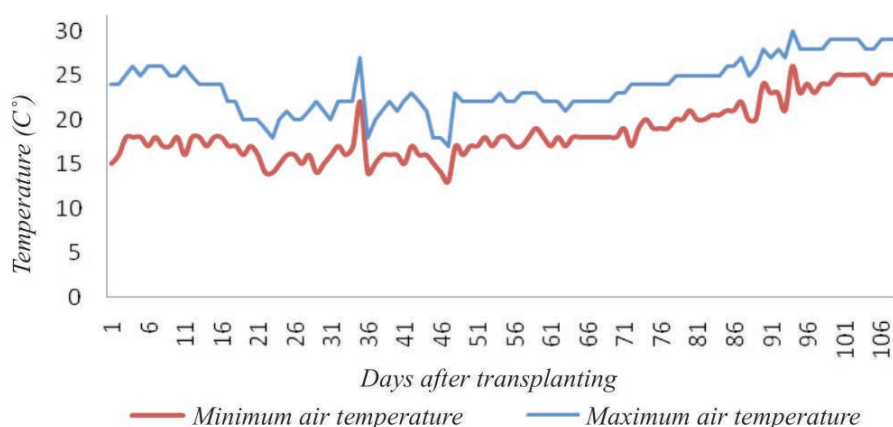


Fig. 1. Atmospheric temperature during the study period

Р и с. 1. Температура окружающей среды в течении изучаемого периода

Soil of the experimental site was silty clay loam in texture belonging to Sarna series having 1.59 g cm⁻³ bulk density.

Soil pH, total nitrogen and organic matter content were 6.15, 0.077 % and 1.64 %, respectively.

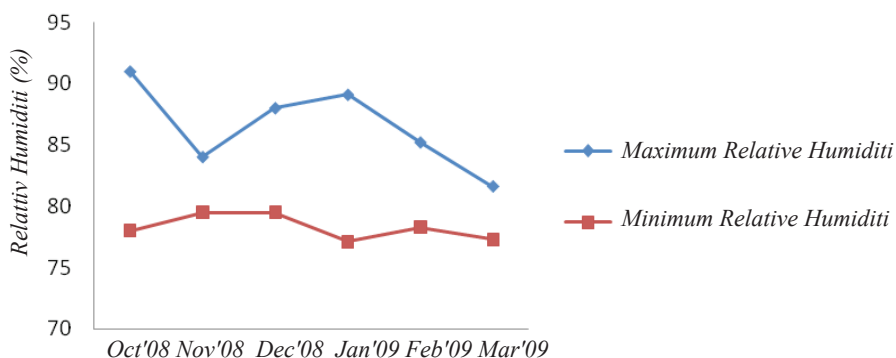


Fig. 2. Atmospheric relative humidity during the study period

Рис. 2. Относительная влажность воздуха в изучаемый период

Experimental treatments

The experiment was laid out in split-plot design with three replications. Main-plots were treated with three mulch materials viz. open field i.e. no mulch (M_0), rice straw (M_1) and *Senna siamea* leaf (M_2). *Senna siamea* leaf and rice straw were sundried on a threshing floor for about five days and spread on the field after one week from the transplanting of seedlings at the rate of 5 ton ha⁻¹. Sub-plots were treated with five irrigation levels viz. no irrigation (I_0), irrigation water/cumulative pan evaporation (CPE) 0.25=10 mm/40 mm (I_1), IW/CPE 0.50 = 20/40 mm (I_2), IW/CPE 0.75 = 30/40 mm (I_3) and IW/CPE 1.00 = 40/40 mm (I_4). Surface irrigation was applied based on CPE and rainfall (fig. 3). When CPE was equal or exceeded 40 mm, then 0, 10, 20, 30 and 40 mm of irrigation water (IW) were applied in the I_0 , I_1 , I_2 , I_3 and I_4 treatments, respectively. Forty five unit plots, 4 m × 2 m in size, adjacent blocks and neighboring plots were separated by 2.5 m and 0.5 m spacing, respectively. Thirty three (33) days old healthy, uniform seedlings of BARI Tomato 8 (Shila) were transplanted at 60 cm×60 cm spacing.

Measurements

Soil water content (0–30 cm) was measured at different DAT. Daily pan evaporation data was collected from the nearest weather station. Five plants were selected randomly from each plot excluding borders. At each harvesting, number of fruits per plant, fruit width, fruit length and fruit weight was recorded. At the second harvest, after recording data, some of the fruits were preserved to determine total Sugar, reducing Sugar, β -Carotene and ascorbic acid as described by Pleshkov (1976) and Nagata et al. (1992). After final harvest, a square frame was placed in the center of each plot to collect weed samples. Weed samples were then oven dried at 70° C for 72 hours.

Data analysis

All data were subjected to the analysis of variance (ANOVA) with computer software. The significance of the treatment effect was determined using the F-test, and Duncan's multiple range test (DMRT) was used to determine the significance of the difference among the means of the treatments at the 5 % probability level.

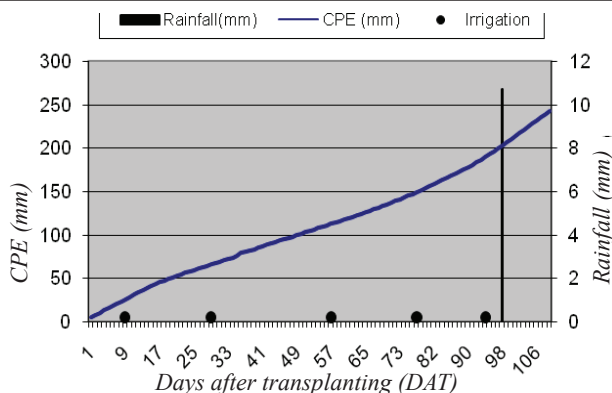


Fig. 3. Cumulative pan evaporation (CPE) and rainfall recorded during the experiment. Solid circle represents irrigation date

Р и с. 3. Полное кумулятивное испарение и количество осадков в период эксперимента. Черными точками обозначены дни орошения

Results and discussion

Soil Water Content

In general, soil water content increased with irrigation. Higher soil water content was conserved in the mulch treated plots (M_1 and M_2) compared to no mulch (M_0) treated plots. In contrast, soil water content was higher under the *Senna* leaf mulch (M_2) than the straw mulch (M_1) plot. Doring et al. [18] observed higher soil water content in mulch treat-

ment compared to no mulch treatment. Initially (8 DAT), soil water content did not vary much among the mulch treatments, because same amount of irrigation (40 mm) was applied to all the treatments after seedling transplanting. After application of irrigation, soil water content decreased gradually with time and again it rose (at 35, 63 and 84 DAT) when following irrigation was applied (Fig. 4). Similar trend of variation in soil moisture content was observed by Rahman [19].

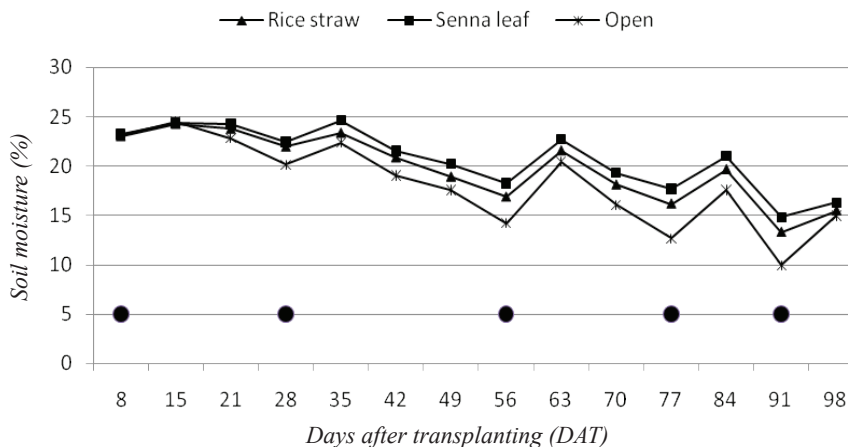


Fig. 4. Soil moisture content at different days after transplanting as influenced by mulching. Black circles indicate days of irrigation

Р и с. 4. Изменение показателей увлажненности почвы под влиянием мульчирования после пересадки

The highest plant height was observed under mulch treatments than no mulch (M_0) treatment. *Senna* leaf mulch (M_2) treatment produced the tallest plant (78.36 cm), which was statistically similar to straw mulch treatment (M_1) (6.78 cm). Similar plant height of tomato was found by (Hasan, 2006) when mulched by Mahogany tree leaf. Among the irrigation levels, the highest plant height (80.48 cm) was observed at IW/CPE 1.0 (I_4) treatment, which was statistically similar to IW/CPE 0.75 (I_3) (79.68 cm) and IW/CPE 0.5 (I_2) (78.23 cm) treatments. Significantly the smallest plant (66.31 cm) was recorded in no irrigation (I_0) treatment. The combined effect of mulch and irrigation was insignificant, where the tallest and smallest plants were noted in *Senna* leaf mulch with IW/CPE 1.0 (M_2I_4) and no mulch with no irrigation (M_0I_0) treatment, respectively.

The highest number of clusters was found in *Senna* leaf mulch (7.16), which did not vary significantly with straw mulch (6.78). However, significantly the minimum number of clusters per plant (5.52) was recorded in no mulch treatment. The number of clusters per plant was significantly influenced by irrigation levels. The highest number of clusters per plant was recorded in the highest level of irrigation (I_4), which was statistically similar with I_3 treatment. Thereafter, the number of clusters decreased significantly with decreasing the level of irrigation and reached to the minimum in no irrigation treatment. The highest number of clusters per plant was noted in M_2I_4 (8.46), which were insignificantly followed by M_1I_4 , M_2I_3 , M_1I_3 , M_1I_2 and M_2I_2 treatments.

A strong variation was observed among the mulch materials in producing number of fruits per plant where significantly the highest and lowest number of fruits per plants was recorded in M_2 (26.18) and in M_0 (23.87) treatments. Among the irrigation levels, the maximum number of fruits per plant was found in I_4 treatment, which did not vary

significantly with I_3 treatment. Significantly the minimum number of fruits was noted in I_0 (21.05) treatment. In case of combined effects, number of fruits was the highest in M_1I_4 (27.94) that was insignificantly followed by M_2I_4 (27.81), M_2I_3 (27.61), M_1I_3 (27.44), M_2I_2 (27.25), M_1I_2 (27.21) and M_0I_4 (26.71) treatments.

Fruit diameter did not vary significantly between two mulch materials but it varied significantly when no mulch material was applied. The highest fruit diameter (55.07 mm) was recorded in *Senna* leaf mulch (M_2), while significantly the lowest value (52.97 mm) was recorded in no mulch treatment. Fruit diameter was the highest in I_4 treatment (55.87 mm), which was statistically similar to I_3 treatment (55.78). Significantly the lowest fruit diameter was noted in the no irrigation level (51.00 mm) (Table 2). Ara [21] revealed that fruit diameter decreased progressively with decreasing irrigation levels. The combined effect of mulch and irrigation was insignificant, where the maximum and minimum fruit diameter was noted in *Senna* leaf mulch with IW/CPE 1.0 and no mulch with no-irrigation treatments, respectively.

The highest fruit length (51.38 mm) was observed in *Senna* mulch (M_2) treatment, which was statistically similar with rice straw mulch (M_1), while the lowest fruit length (49.15 mm) was observed in no mulch (M_0) treatment.

Among the irrigation levels, fruit length was maximum (51.33 mm) in I_4 treatment which was statistically similar to I_3 (50.86 mm) treatment. Fruit length decreased distinctly after that. However, significantly the minimum fruit length was noted in no-irrigation level. In case of combined effect, fruit length was the highest in M_1I_4 (51.51 mm) treatment, which was closely followed by M_2I_4 (51.46 mm), M_2I_3 (51.00 mm), M_1I_3 (50.99 mm), M_0I_4 (51.00 mm), M_2I_2 (50.82 mm), M_1I_2 (50.76 mm) and M_0I_3 (50.58 mm) treatments. Similar results also reported by Rahman [19], where he



found the highest fruit length in *Senna siamea* leaf much with IW/CPE 1.0 irrigation level.

Individual fruit weight was not affected by mulch materials, where the highest (65.42 g) and the lowest (62.72 g) values were recorded in *Senna* leaf and no mulch treatments, respectively. On the other hand, individual fruit weight was influenced significantly by irrigation levels. The highest fruit weight was found in I_4 (68.01 g) level which was statistically similar to I_3 (67.48 g). The lowest fruit weight was observed in no irrigation level i.e. I_0 (56.00 g).

In case of combined effect, maximum fruit weight was found in M_2I_4 (68.67 g), which was statistically similar to M_2I_3 (68.27 g), M_1I_4 (68.18 g), M_1I_3 (68.10 g), M_0I_4 (67.97 g), M_2I_2 (67.78 g) and M_1I_2 (67.27 g) levels. Begum (1999) recorded maximum average fruit weight under the highest irrigation level, which progressively decreased with decreased irrigation and observed smallest fruit under no irrigation condition.

The highest fruit yield (48.97 t ha⁻¹) was noted in *Senna* leaf mulch (M_2) treatment and it was significantly higher than straw mulch (M_1) (46.80 t ha⁻¹). Signifi-

cantly the lowest yield (39.17 t ha⁻¹) was recorded in no-mulch treatment.

Among the irrigation levels, significantly the highest (54.68 t ha⁻¹) and significantly the lowest (29.14 t ha⁻¹) increasing fruit yield was obtained in IW/CPE 1.0 (I_4) and no-irrigation (I_0) treatment, respectively.

In case of combined effects, M_2I_4 treatment gave the highest fruit yield (58.54 t ha⁻¹), which was insignificantly followed by M_2I_3 (56.73 t ha⁻¹) and M_1I_4 (56.89 t ha⁻¹) treatments. The lowest yield was noted in M_0I_0 (27.42 t ha⁻¹). Begum et al. [7] reported that irrigation is indispensable and high frequency of irrigation is required for obtaining good yield of tomato in the clay terrace soil of Bangladesh.

The cultivation of tomato with *Senna* leaf mulch produced higher fruit yield of 4.43 % and 20.01 % than rice straw and no mulch treatments, respectively. Maximum irrigation level (IW/CPE 1.0) produced 5.34 % and 24.83 % more yield than IW/CPE 0.75 and minimum (IW/CPE 0.25) irrigation levels, respectively. Mohapatra et al. [22] mentioned that irrespective of irrigation level, mulch material gave higher yield because of better moisture conservation than no mulch treatment.

Table
Таблица

Main and combined effects of irrigation and mulch materials on the performance of tomato
Влияние орошения и мульчирования на урожай томатов по отдельности и одновременно

Treatment	Plant height (cm)	Number of cluster	No. of fruits per plant	Fruit diameter (mm)	Fruit length (mm)	Individual fruit weight (g)	Yield (t ha ⁻¹)
1	2	3	4	5	6	7	8
Mulch materials							
M_0	72.41 b	5.52 b	23.87 c	52.97 b	49.15 b	62.72 a	39.17 c
M_1	76.70 a	6.78 a	25.58 b	54.50 a	50.00 a	64.98 a	46.80 b
M_2	78.36 a	7.16 a	26.18 a	55.07 a	50.38 a	65.42 a	48.97 a
Irrigation levels							
I_0	66.31 c	4.31 d	21.05 d	51.00 d	47.38 d	56.00 d	29.14 e
I_1	74.43 b	5.80 c	24.44 c	53.30 c	49.39 c	64.20 c	41.10 d

1	2	3	4	5	6	7	8
I ₂	78.23 a	7.13 b	26.13 b	54.95 b	50.27 b	66.16 b	48.22 c
I ₃	79.68 a	7.43 ab	27.13 a	55.78 ab	50.86 a	67.48 ab	51.76 b
I ₄	80.48 a	7.76 a	27.30 a	55.87 a	51.33 a	68.01 a	54.68 a
Combination of mulch materials and irrigation levels							
M ₀ I ₀	62.87	3.80 g	19.97 g	50.10	46.19 f	55.36 e	27.42 i
M ₀ I ₁	71.33	5.20 e	22.95 ef	52.38	48.75 d	62.16 d	36.89 g
M ₀ I ₂	73.35	5.40 e	23.57 ef	52.78	49.24 cd	62.60 d	38.85 fg
M ₀ I ₃	76.19	6.33 cd	26.15 bc	54.60	50.58 ab	65.50 bc	44.08 e
M ₀ I ₄	78.29	6.86 bc	26.71 abc	54.99	51.00 ab	67.97 ab	48.60 d
M ₁ I ₀	65.07	4.26 fg	20.85 g	51.03	47.39 e	56.33 e	28.99 hi
M ₁ I ₁	75.09	5.46 de	24.47 de	53.31	49.37 cd	63.61 cd	41.79 ef
M ₁ I ₂	80.60	7.96 a	27.21 abc	55.85	50.76 ab	67.27ab	51.87 c
M ₁ I ₃	81.53	7.96 a	27.44 abc	56.52	50.99 ab	68.10 ab	54.46 bc
M ₁ I ₄	81.23	8.26 a	27.94 a	55.78	51.51 a	68.18 ab	56.89 ab
M ₂ I ₀	71.00	4.86 ef	22.33 f	51.88	48.56 d	56.32 e	31.02 h
M ₂ I ₁	76.87	6.73 c	25.90 cd	54.21	50.06 bc	66.83 ab	44.62 e
M ₂ I ₂	80.73	7.70 ab	27.25 abc	56.23	50.82 ab	67.78 ab	53.95 bc
M ₂ I ₃	81.30	8.03 a	27.61 ab	56.21	51.00 ab	68.27 ab	56.73 ab
M ₂ I ₄	81.90	8.46 a	27.81 ab	56.83	51.48 a	68.67 a	58.54 a

Means within a column followed by the same letters are not significantly at the 5 % level according to DMRT.

M₀ = No mulch; M₁ = Rice straw and M₂ = *Senna siamea* leaves. I₀ = No irrigation; I₁ = IW/CPE 0.25 = 10mm/40mm; I₂ = IW/CPE 0.50 = 20mm/40mm; I₃ = IW/CPE 0.75 = 30mm/40mm; I₄ = IW/CPE 1.0 = 40mm/40mm.

Relationship between irrigation levels and tomato yield under different mulch materials

The yield response of tomato as influenced by different levels of irrigation under different mulch materials is presented in Figure 5. The linear relationships between irrigation levels and fruit yield of tomato were estimated as $Y = 6.715x + 28.827$ ($R^2 = 0.87^{**}$), $Y = 6.847x + 26.25$ ($R^2 = 0.88^{**}$) and $Y = 4.955x + 24.30$ ($R^2 = 0.957^{**}$) for *Senna* leaf mulch, rice straw and no mulch respectively, where R^2 values are very high and highly significant. From the regression line, it is ob-

vious that irrigation levels influenced 96 %, 89 % and 87 % of fruit yield of tomato under no mulch, rice straw and *Senna* leaf mulch, respectively. The relationships also stated that yield of tomato was changed at the rate of 4.9 t ha⁻¹, 6.8 t ha⁻¹ and 6.7 t ha⁻¹ for no mulch, rice straw and *Senna* leaf mulch, respectively, per unit of changing of irrigation. Using these equations, it showed that the yield of tomato did not decrease significantly up to 26 % of irrigation reduction for both the mulch materials and up to 19 % of irrigation reduction for no mulch without significant yield loss.

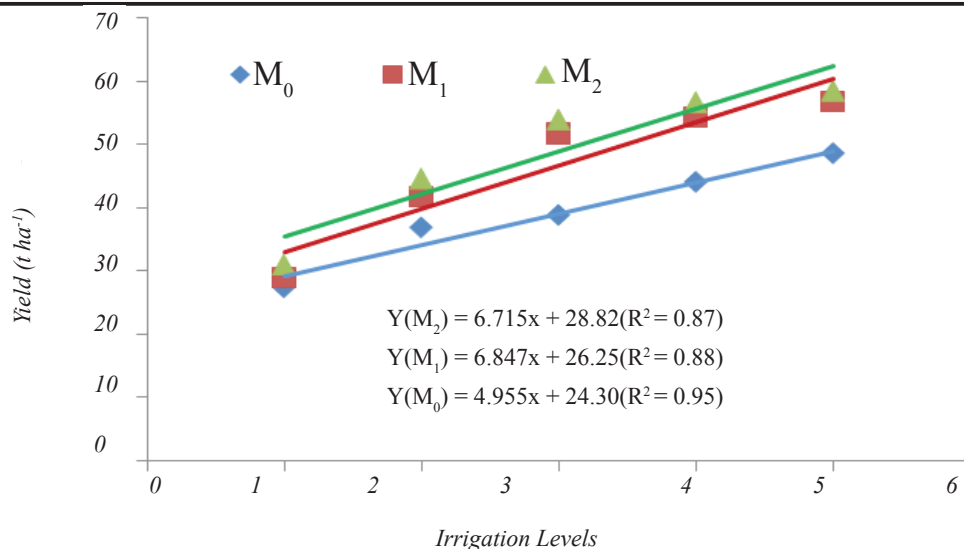


Fig. 5. Trend in tomato fruit yield as affected by different mulch treatments and irrigation levels. (1 = No irrigation; 2 = IW/CPE 0.25; 3 = IW/CPE 0.50; 4 = IW/CPE 0.75; 5 = IW/CPE 1.0; M₀ = No Mulch, M₁ = Rice straw and M₂ = *Senna siamea* leaf)

Р и с. 5. Показатели урожая томатов при применении различных методов мульчирования и объемов орошения (1–без орошения; орошение/испарение: 2–2–0,25; 3–0,50; 4–0,75; 5–1,0; M₀ – без мульчирования, M₁ – мульчирование рисовой соломой, M₂ – листья *Senna Siamea*)

Fruit Quality

β -carotene content of tomato was influenced due to application of mulch materials and irrigation levels. The β -carotene content of tomato was relatively higher in mulch treatments compared to no-mulch treatment; and the values increased with increasing irrigation levels. The β -carotene content did not vary much among the mulch materials under I₀ and I₁ irrigation levels. However, under I₂ and I₃ irrigation levels, β -carotene content was remarkably higher in both mulch materials compared to no-mulch treatment. The ascorbic acid content was higher in no-mulch treatment compared to mulch treatments. In general, ascorbic acid of tomato fruit decreased with increasing irrigation levels from I₀ to I₄. The highest (15.52 mg 100 g⁻¹) and the lowest (8.30 mg 100 g⁻¹) ascorbic acid contents were noted in M₀I₀ and M₂I₄ treatments, respectively. Reducing sugar content of tomato

was decreased gradually with increasing irrigation levels. Reducing sugar content was the highest (22.51 mg 100 g⁻¹) at no irrigation under no mulch (I₀M₀) and the lowest (15.04 mg 100 g⁻¹) under *Senna* leaf treatment (I₄M₂). At I₄ irrigation level, reducing sugar content was almost equal among the mulch materials but at other irrigation levels, the highest values were noted in no-mulch treatment, which was followed by rice straw and *Senna* leaf mulch. The highest (39.69 mg 100 g⁻¹) and the lowest (26.41 mg/100 g) total sugar contents were noted at no irrigation under no mulch and at IW/CPE 1.0 under *Senna* leaf treatments, respectively. At I₄ treatment total sugar content did not vary among the mulch materials but marked variation occurred with the increase of irrigation level from I₃ to I₀. However, total sugar contents were very close in *Seena* leaf mulch and rice straw mulch irrespective of irrigation levels.

Dry weight of weed

Significantly the highest weed dry weight was recorded in no mulch treatment. Although the lowest weed dry weight (58.69 g m^{-2}) was found in *Senna* leaf treatment, it was statistically similar to rice straw mulch (76.98 gm^{-2}) treatment. Significantly lower weed bio-

mass was also reported by Kamara et al. [16] using *Senna* leaf mulch and by Ramakrishna et al. [12] using rice straw mulch compared to no mulch treatment. *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Desmodium trifolium*, *Alternanthera sessilis*, *Setaria viridis* etc. are some common weed species found in the study.

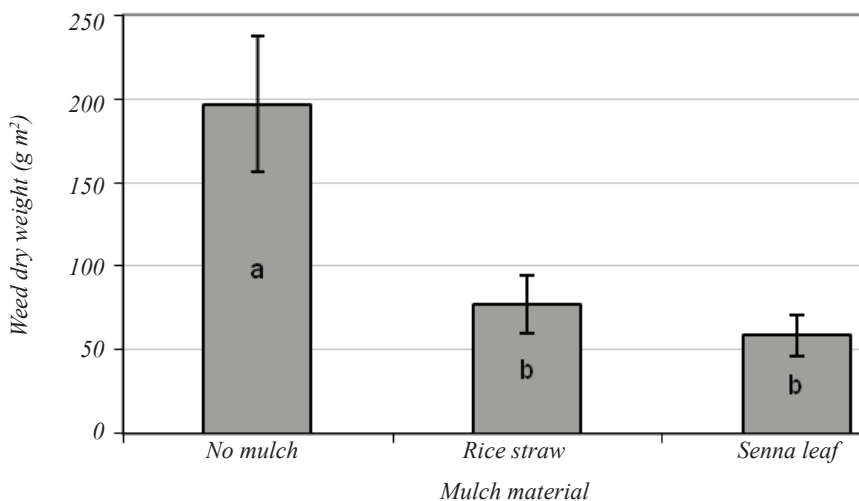


Fig. 6. Effect of mulch materials on dry weight of weed grown in the tomato field. Measurement was done after final harvest of tomato fruit. Means followed by a common letter are not significantly different at 5% level of significance according to DMRT. Bars represent $\pm$ SE

Р и с. 6. Влияние материала мульчирования на сухой вес сорняков на томатном поле. Показатели, не имеющие значимых различий (до 5 % по тесту Дункана), объединены под общими литерами

Conclusions

Both mulch materials and irrigation levels have an influential effect on different morphological characters, yield and yield contributing characters and quality of tomato. *Senna* leaf mulch gave 4.64 and 25.02 % higher tomato yield than rice straw and no mulch treatment, respectively. IW/CPE 1.0 produced 5.64, 13.40, 33.04, and 87.65 % more yield compared to IW/CPE 0.75, 0.50, 0.25 and no irrigation levels, respectively. About 26 % and 19 % irrigation water could be saved

without significant yield loss if *Senna* leaf and rice straw are used as mulch. Reducing sugar, total sugar and ascorbic acid were increased with the decreasing irrigation levels, but β carotene increased with increasing irrigation levels. About 235 % and 155.5 % weed was suppressed in *Senna* leaf and rice straw mulch, respectively. Therefore, *Senna* leaf could be used as potential mulch material for soil moisture conservation, higher tomato yield and weed suppression even than rice straw mulch.



REFERENCES

1. Ahamed T. 2003. Effect of different light levels on growth, yield and quality of tomato varieties. M. S. Thesis, Dept. of Agroforestry and Environment, BSMRAU, Gazipur, Bangladesh.
2. Rashid M. M. 1993. Sabji Biggyan (in Bengal). First edition, Bangla Academy, Bangladesh. pp. 387–393.
3. BBS, 2005. Handbook of Agricultural Statistics, December 2005. Bangladesh Bureau of Statistics, People's Republic of Bangladesh.
4. FAO, 1988. FAO Production of Year Book of 1987. Basic data unit. Rome, Italy. p. 179.
5. Ali M., Alam Z., Akanda A. M. 1994. Grafting-A Technique to Control Soil-Borne Disease of Tomato and Eggplant. IPSA-JAICA Project Publication No. 4. IPSA, Gazipur, Bangladesh.
6. Begum M. N. 1999. Effects of irrigation and phosphorus on the yield and quality in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). M. S. Thesis. BSMRAU, Gazipur, Bangladesh.
7. Begum M. N., Rahman A. J. M. S., Egashira K. 2001. Effect of irrigation and application of phosphorus fertilizer on the yield and water use of tomato grown on a clay terrace soil of Bangladesh. *Journal of the Faculty of Agriculture*. Kyushu University 45(2): 611–619.
8. Bose T. K., Som M. G. 1986. Vegetable crops in India. B. Mitra Naya Prokash, Bidhan Sarani, Calcutta, India.
9. Doroenbas M., Kassam A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irri. Drain. Pp. 33. Rome.
10. Jones H. G. 2004. Irrigation scheduling: Advantages and Pitfalls of Plant-based Methods. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2427–2436.
11. Ossom E. M., Pace P. F., R. L. Rhykerd R. L., Rhycard C. L. 2001. Effect of mulch on weed infestation, soil temperature, nutrient concentration and tuber yield in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. In Papua New Guinea. *Tropical Agriculture (Trinidad)*. 78: 144–151.
12. Ramakrishna A., Tam H. M., Wani S. P., Long T. D. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research*. 95: 115–125.
13. Zhang X., Chen S., Liu M., Pei D., Sun H. 2005. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the north China plain. *Agronomy Journal* 97: 783–790.
14. Rahman M. J., Uddin M. S., Uddin M. J., Begum S. A., Halder N. K., Hossain M. F. 2004. Effect of different mulches on potato at the saline soil of southern Bangladesh. *Journal of Biological Sciences* 4(1): 1–4.
15. Haque M. S., Islam M. R., Karim M. A. H. 2003. Biomass production and growth rates at different phenophases of garlic as influenced by natural and synthetic mulches. *Asian Journal of Plant Sciences* 2(1): 90–96.
16. Kamara A. Y., Akobundu I. O., Sanginga N., Jutzi S. C. 2000. Effect of mulch from selected multipurpose trees (MPTs) on growth, nitrogen nutrient and yield of maize (*Zea mays* L.), *J. Agronomy and Crop Science*. 184: 73–80.
17. Anonymous. 1989. Annual Weather Report. IPSA, Meteorological Station. IPSA, Salna. Gazipur. P–2.
18. Doring T. F., Brandt M. M., Heb J., Finckh M. R., Saucke H. 2005. Effect of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in originally grown potatoes. *Field Crop Research*. 94: 238–249.
19. Rahman M. A. 2008. Potential Application of Tree Leaves for Crop Production and Soil Environment Change during the Dry Season of Bangladesh. A Dissertation of Doctor of Philosophy. Graduate School of Social and Cultural Studies, Kyushu University, Japan.
20. Hasan M. R. 2006. Effect of tree leaves on crop productivity and soil properties at different nitrogen levels. M. S Thesis, Dept. of Agroforestry and Environment, BSMRAU, Gazipur, Bangladesh.
21. Ara M. J. F. 2005. Effect of photosynthetically active radiation and moisture regimes on the performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). MS Thesis. Dept. of Agroforestry and Environment, BSMRAU, Gazipur, Bangladesh.
22. Mohapatro B. K., Lenka D., Naik P. 1998. Effect of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize. *Ann. Agric. Res.* 19(2): 210–211.

Submitted 28.08.2015

*About the authors:*

Shahadat M. K., Scientific Officer, Agronomy Division, Bangladesh Agricultural Research Institute, Gazipur-1701, Bangladesh

Rahman M. A., Assistant Professor, Agronomy Division, Bangladesh Agricultural Research Institute, Gazipur-1701, Bangladesh

Miah M. G., Professor, Department of Agroforestry and Environment, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur-1706, Bangladesh

Hoque A. K., Scientific Officer, Professor, Department of Agroforestry and Environment, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur-1706, Bangladesh

Cundu S., Scientific Officer, Horticulture Research Center, Planning and Evaluation Division, Bangladesh Agricultural Research Institute, Gazipur-1701, Bangladesh

For citation: Shahadat M. K., Rahman M. A., Miah M. G., Hoque A. K. M. A., Cundu S. Mulch and irrigation effects on tomato performance and weed infestation. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 113–124. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.113

Поступила 28.08.2015 г.

Об авторах:

Шахадат М. К., научный сотрудник отдела агрономии Сельскохозяйственного исследовательского института Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)

Рахман М. А., старший научный сотрудник отдела агрономии Сельскохозяйственного исследовательского института Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)

Миа М. Г., профессор кафедры агролесничества и экологии Сельскохозяйственного университета Бангабандху им. Муджибура Рахмана Сельскохозяйственного исследовательского института Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)

Хок А. К., профессор кафедры агролесничества и экологии Сельскохозяйственного университета Бангабандху им. Муджибура Рахмана Сельскохозяйственного исследовательского института Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)

Кунду С., научный сотрудник исследовательского центра растениеводства, отдел планирования и оценки Сельскохозяйственного исследовательского института Бангладеш (г. Газипур-1701, Бангладеш)

Для цитирования: Влияние мульчирования и орошения на урожайность томатов и подавление роста сорняков / М. К. Шахадат [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 113–124. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.113



ВЛИЯНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ И ПЕРЕЗИМОВКИ РАСТЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

А. В. Ивойлов¹, Т. Н. Чернышёва²

¹ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

²Мордовский центр Гидрометеослужбы (п. Ялга, Россия)

В статье приводятся результаты сорокалетних сопряженных наблюдений в центральной части Республики Мордовия по влиянию агрометеорологических показателей (количество атмосферных осадков, ГТК периода вегетации, глубина промерзания почвы, высота снежного покрова) на урожайность зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Мироновская 808. В результате исследований было установлено, что значительные колебания продуктивности пшеницы при ежегодном использовании практически одинаковой агротехники в основном связаны с режимом увлажнения периода вегетации и условиями перезимовки растений. Урожайность озимой пшеницы, как правило, определяется осадками, выпавшими в мае. При этом наибольшая продуктивность отмечается при сумме осадков 50–60 мм. При увеличении количества осадков (> 60 мм) или их уменьшении (< 50 мм) урожайность озимой пшеницы снижается. Зависимость зерновой продуктивности озимой пшеницы от ГТК периода вегетации также значительна. При ГТК = 1,4–1,6 формируется наибольшая ее урожайность, что соответствует годам с достаточным увлажнением (климатическая норма – 1,1). Основными метеорологическими факторами перезимовки озимой пшеницы являются промерзание почвы и высота снежного покрова. При промерзании > 50 см почвы урожайность озимой пшеницы снижается, поскольку оно, как и высота снежного покрова, оказывает непосредственное влияние на температуру почвы на глубине узла кущения. Высота снежного покрова 40–50 см позволяет получить высокий урожай озимой пшеницы, однако при дальнейшем ее увеличении происходит снижение урожайности, поскольку длительное залегание мощного снежного покрова ведет к выпреванию растений. Кроме этого, показывается, что в благоприятные по погодным условиям годы урожайность зерна озимой пшеницы при возделывании ее по чистому пару бывает высокой и в сочетании с передовой агротехникой достигает 4,0–4,5 т/га и более даже без внесения удобрений; приводится фенология растений озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, погодные условия, вегетационный период, перезимовка, фенология, урожайность, корреляция

INFLUENCE OF AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS GROWING SEASON AND OVERWINTERING PLANTS ON YIELD OF WINTER WHEAT IN CENTRAL PART OF REPUBLIC OF MORDOVIA

A. V. Ivoylov^a, T. N. Chernysheva^b

^aOgarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

^bMordovia Hydrometeorological Services Centre (Yalga, Russia)

The results of forty years of paired observations in the central part of the Republic of Mordovia on the impact of agro-meteorological parameters (precipitation, hydro-thermic factor of the growing season, the depth of soil freezing, snow cover) on the yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) of Mironovskaya 808 breed. Research has shown that, under conditions of almost unchanging farming techniques, significant fluctuations in the productivity of wheat are mainly associated with the regime of moistening the growing season and overwintering conditions for plants. Winter wheat yield is mainly determined by precipitation of May. The highest productivity is marked with the amount of precipitation of 50–60 mm. By increasing the amount of precipitation (60 mm) or decrease (less than 50 mm), winter wheat decreases. The dependence of grain productivity of winter wheat from hydrothermic factor of the growing season is also significant. Hydrothermic factor equal to 1.4 to 1.6 formed its highest yield, which corresponds to the year with sufficient moisture (climatic norm of 1.1). The main meteorological factors of overwintering for winter wheat are soil freezing and the snow depth. When the soil is freezing for more than 50 cm, the yield is reduced since frozen soil and snow cover have a direct impact on the soil temperature at a depth of tillering node. Snow depth of 40–50 cm allows to obtain high yields of winter wheat, but a further increase reduces the showings of the yield, as thick snow layer leads to damping-off of plants. It is shown that the winter wheat grain yield in the cultivation of it at a dead fallow under the favorable weather conditions and with an advanced cultivation techniques reaches 4.0–4.5 t/ha and more, even without fertilization. Phenology of winter wheat is submitted.

Keywords: winter wheat, weather conditions, vegetation period, the conditions of overwintering, phenology, yield, correlation

Большое значение для получения устойчивых урожаев озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), своевременного планирования валовых сборов зерна на основе прогноза ожидаемой продуктивности, принятия обоснованных хозяйственных решений имеет рациональное использование агрометеорологической информации [4; 8]. Именно поэтому знание связи урожайности озимой пшеницы с воздействующими на нее агрометеорологическими факторами достаточно актуально [10]. Для условий РМ имеются такие сведения об озимой ржи и других культурах [1–2], но отсутствуют об озимой пшенице.

В связи с этим нами были определены средние даты наступления фаз роста и развития озимой пшеницы Мироновская 808, районированной в РМ с 1969 г., и проведена количественная оценка влияния отдельных агрометеорологических факторов на ее урожайность. Для этого использовались данные учетов Агрометеорологической станции г. Саранск (в настоящее время – отдел наблюдений Мордовского центра Гидрометеослужбы) за 1974–2014 гг. и сопряженные с ними сведения об

урожайности культуры на опытном поле отдела первичного семеноводства Мордовского НИИ сельского хозяйства, где выполнялись агрометеорологические наблюдения.

Пшеница во все годы возделывалась по неудобренному черному пару. Почва участка представляет собой чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый среднемощный среднегумусный с высоким содержанием (по Кирсанову) подвижных фосфатов и повышенным обменного калия. Агротехника является традиционной для условий РМ [3]. Норма высева – 5 млн всх. семян/га. При посеве вносились нитроаммофоска или азофоска (30–50 кг/га в физическом весе). Статистическая обработка данных осуществлялась методом корреляционно-регрессионного анализа с применением программы «Stat» (версия 2.6, ИВЦ МарГУ, 1993 г.).

Анализ данных свидетельствует о том, что средний срок посева озимой пшеницы приходился на последний день августа (табл. 1). Фаза всходов, быстрота наступления которой зависит от температуры и влажности почвы, наступала в среднем через 10 дней. На



Таблица 1
Table 1

Даты наступления фенологических фаз развития озимой пшеницы Мироновская 808 (Агрометеорологическая станция, г. Саранск, 1974–2014 гг.)

Dates of phenological phases for winter wheat Mironovskaya-808 (agro-meteorological station, Saransk, 1974–2014)

Дата наступления фазы, показатель	Фенологическая фаза												
	Посев	Всходы	3-й лист	Кушение	Прекращение осенней вегетации	Возобновление весен-ней вегетации	Выход в трубку	Колошение	Цветение	Молочное состояние зерна	Восковое состояние зерна	Полная спелость	Дата уборки
Самая ранняя	18.08	26.08	04.09	08.09	21.09	28.03	14.04	24.05	28.05	12.06	26.06	04.07	09.07
Год	1977	1977	1977	1977	1977	2007	1983	1975	1975	1975	1975	1975	1975
Средняя	31.08	10.09	18.09	25.09	19.10	14.04	03.05	05.06	13.06	27.06	14.07	26.07	29.07
Межфаз-ный пери-од, дни	–	10	8	7	24	–	19	33	8	14	17	12	3
Самая поздняя	16.09	24.09	18.10	04.11	20.11	02.05	20.05	16.06	26.06	16.07	31.07	16.08	19.08
Год	2013	1976, 2013	2013	2013	1995	1979	1981	1994	1980	1994	1980	1978	1982

18-й день после посева растения озимой пшеницы образуют 3 листа.

Продолжительность периода от всходов до начала кущения за 40 лет наблюдений составляла в среднем 15 дней. Чем позднее была посеяна пшеница, тем продолжительнее был данный период от всходов до кущения. В отдельные годы при поздних сроках сева пшеница не успевала раскуститься осенью (1976, 1978, 1985, 1993 гг.). В таких случаях ее кущение происходило весной.

Вегетация озимой пшеницы осенью прекращается при температуре воздуха 5 °С и ниже. Средняя дата приходится на 19 октября. Межфазный период от всходов до прекращения осенней вегетации пшеницы составляет в среднем 39 дней. Ввиду различных метеорологических условий период от полных всходов до прекращения осенней вегетации озимой пшеницы длится 26–71 дней ($V = 55\%$).

Весной при наступлении температуры 5 °С пшеница начинает отрастать и дополнительно куститься. Средняя дата возобновления весенней вегетации – 14 апреля, однако в отдельные годы вегетация растений может начинаться в последние дни марта или в первых числах мая. Фаза выхода в трубку отмечается, как правило, на 19-й день после возобновления весенней вегетации.

Пшеница в условиях РМ выколашивается в среднем в первой декаде июня. Однако при запоздалой весне или позднем сроке сева дата наступления этой фазы может отклоняться на 11 дней. Как правило, озимая пшеница цветет через 8 дней после колошения. Восковая спелость зерна отмечается во второй половине июля, а через 12 дней – его полная спелость. Средний срок уборки озимой пшеницы приходится на последние дни июля, однако в сухие жаркие годы ее начинают убирать в конце первой декады июля, а в годы с дождливым летом – в конце второй декады августа.

Урожайность зерна пшеницы варьировалась от 1,64 (1981 г.) до 4,83 т/га (1992 г.). Многомерный статистический анализ данных показал, что значительные колебания продуктивности пшеницы при ежегодном использовании практически одинаковой агротехники в основном связаны с режимом увлажнения периода вегетации и условиями перезимовки растений.

В связи с тем, что РМ расположена в зоне неустойчивого увлажнения [5] и обеспеченность посевов влагой имеет решающее значение в создании уровня продуктивности культуры, нами была оценена роль осадков периода вегетации в формировании урожайности озимой пшеницы Миrowsкая 808. Оказалось, что суммарное количество осадков весенне-летнего периода вегетации недостаточно четко определяло уровень урожайности зерна из-за крайне неравномерного их выпадения. В то же время наиболее тесная зависимость сбора зерна пшеницы установлена от майских осадков, и это неслучайно. В данный период формируется колос (IV–VII этапы органогенеза по Ф. М. Куперман), развивается наибольшая вегетативная масса растений, происходит интенсивный рост озимой пшеницы, усиленное развитие ее корневой системы и активное использование имеющихся в почве влаги и элементов минерального питания [6].

Уравнение регрессии, устанавливающее связь между урожайностью озимой пшеницы (Y , т/га) и суммой осадков за май (O_v , мм), имеет следующий вид:

$$Y = 2,346 + 0,0475 O_v - 0,00045 O_v^2; R = 0,65; n = 40, \quad (1)$$

где R – индекс коэффициента корреляции; n – число лет наблюдений.

В соответствии с уравнением (1), наибольшая урожайность озимой пшеницы формируется при сумме осадков за май 50–60 мм при климатической норме за май 44 мм (табл. 2).



**Урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости
от выпадения суммы осадков в мае**

Yields of winter wheat Mironovskaya-808 depending on precipitation amount in May

Показатель	Сумма осадков за май, мм							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Урожайность, т/га	2,78	3,12	3,37	3,53	3,60	3,58	3,47	3,27

Как показатель увлажненности территории значительное распространение в России и за рубежом получил гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова [9]. Нами была оценена связь ГТК за период вегетации озимой пшеницы Мироновская 808 с ее урожайностью (У, т/га), которая выражается следующим уравнением регрессии:

$$Y = 0,552 + 3,77 \text{ ГТК} - 1,25 \text{ ГТК}^2; \quad (2) \\ R = 0,59; n = 40.$$

В соответствии с уравнением (2), наибольшая урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 получена при ГТК = 1,4–1,6, что соответствует годам с повышенной влажностью климата (табл. 3). В сухие и сильно увлажненные годы урожайность зерна озимой пшеницы существенно снижается.

Таблица 3

Table 3

**Урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости
от выпадения суммы осадков в мае**

Yields of winter wheat Mironovskaya-808 depending on HC during growing season

Показатель	ГТК							
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Урожайность, т/га	2,36	2,77	3,07	3,28	3,38	3,38	3,29	3,09

Известно, что урожайность озимой пшеницы в значительной степени зависит также от условий перезимовки. Сезонное промерзание почвы, вызванное отрицательным тепловым балансом в ней зимой, является одним из основных факторов, определяющих перезимовку озимой пшеницы [7; 10].

Зависимость урожайности озимой пшеницы (У, т/га) от максимальной глубины промерзания почвы (П, см) выражается следующим уравнением регрессии:

$$Y = 3,521 + 0,01259 \text{ П} - 0,00017 \text{ П}^2; \quad (3) \\ R = 0,53; n = 40.$$

В соответствии с уравнением (3), при увеличении глубины промерзания почвы (> 50 см) урожайность озимой пшеницы снижается (табл. 4).

Зависимость урожайности зерна озимой пшеницы (Y , т/га) от высоты снежного покрова (B , см) имеет следующий вид:

$$Y = 0,2246 B - 0,002432 B^2 - 0,947; R = 0,61; n = 40. \quad (4)$$

Таблица 4

Table 4

Урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от глубины промерзания почвы

Yields of winter wheat Mironovskaya-808 depending on depth of soil freezing

Показатель	Глубина промерзания почвы, см					
	25	50	75	100	125	150
Урожайность, т/га	2,73	3,73	3,51	3,08	2,44	1,58

При увеличении высоты снежного покрова до 46 см (табл. 5) урожайность озимой пшеницы повышается. Однако как при высоком снежном покрове (> 50 см), так и незначительном (< 40 см) происходит

снижение урожайности, поскольку длительное залегание на полях мощного снежного покрова приводит к выпреванию растений, а в дальнейшем – к изреженности и гибели части стеблей.

Таблица 5

Table 5

Урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от высоты снежного покрова

Yield of winter wheat Mironovskaya-808 depending on depth of snow cover

Показатель	Высота снежного покрова, см					
	20	30	40	50	60	70
Урожайность, т/га	2,57	3,60	4,14	4,20	3,77	2,86

Таким образом, значительное варьирование урожайности озимой пшеницы в условиях РМ наряду с агротехническими и социально-экономическими причинами связано с колебаниями режима влажности почвы, температуры воздуха и условиями перезимовки. В благоприятные с точки зрения влагообеспечения и перезимовки годы урожайность зерна озимой пшеницы при

ее возделывании по чистому пару бывает высокой и в сочетании с передовой агротехникой даже без внесения удобрений достигает 4,0–4,5 т/га и более.

Основными метеорологическими факторами перезимовки озимой пшеницы являются промерзание почвы и высота снежного покрова. При промерзании почвы > 50 см урожайность озимой пшеницы снижается, поскольку



ку оно, как и высота снежного покрова, оказывает непосредственное влияние на температуру почвы на глубине узла кушения.

Высота снежного покрова 40–50 см позволяет получать хороший урожай озимой пшеницы, однако при ее дальнейшем увеличении происходит снижение урожайности, поскольку длительное залегание мощного снежного покрова ведет к выпреванию растений.

Урожайность озимой пшеницы в основном определяется осадками,

выпавшими в мае. При этом наибольшая продуктивность отмечается при сумме осадков 50–60 мм. При увеличении количества осадков (> 60 мм) или их уменьшении (< 50 мм) урожайность озимой пшеницы снижается. Зависимость зерновой продуктивности озимой пшеницы от ГТК периода вегетации также значительна. При ГТК = 1,4–1,6 формируется наибольшая ее урожайность, что соответствует годам с достаточным увлажнением (климатическая норма 1,1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроклиматические ресурсы Мордовской АССР. – Москва : Гидрометеиздат, 1971. – 106 с.
2. Агроклиматический справочник по Мордовской АССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1959. – 116 с.
3. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия : метод. руководство / Под общ. ред. А. М. Гурьянова. – Саранск : [б. и.], 2003. – 428 с.
4. Биоклиматический потенциал России : теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]. – Москва : Товарищество науч. изд. КМК, 2006. – 512 с.
5. Бучинский, И. Е. Засухи и суховеи / И. Е. Бучинский. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
6. Куперман, Ф. М. Морфофизиология растений / Ф. М. Куперман. – Москва : Высш. шк., 1973. – 256 с.
7. Моисейчик, В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур / В. А. Моисейчик. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 294 с.
8. Николаев, М. В. Современный климат и изменчивость урожаев / М. В. Николаев. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1994. – 200 с.
9. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии : Нечерноземная зона европейской части РСФСР / Под ред. И. Г. Грингофа. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. – 526 с.
10. Уланова, Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы / Е. С. Уланова. – Москва : Гидрометеиздат, 1975. – 302 с.

Поступила 28.08.2015 г.

Об авторах:

Ивойлов Александр Васильевич, профессор кафедры почвоведения, агрохимии и земледелия Аграрного института ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор сельскохозяйственных наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5355-6251>**, ivoilov.av@mail.ru

Чернышёва Татьяна Николаевна, инженер-метеоролог отдела наблюдений Мордовского центра Гидрометеослужбы (Россия, п. Ялга, ул. Мичурина, д. 5), ivoilov.av@mail.ru

Для цитирования: Ивойлов, А. В. Влияние агрометеорологических условий периода вегетации и перезимовки растений на урожайность озимой пшеницы в центральной части Республики Мордовия / А. В. Ивойлов, Т. Н. Чернышёва // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 125–132. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.125

REFERENCES

1. Agroklimaticheskiye resursy Mordovskoy ASSR [Agroclimatic resources of Mordovian ASSR]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1971, 106 p.
2. Agroklimaticheskiy spravochnik po Mordovskoy ASSR [Agroclimatic reference of Mordovian ASSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1959, 116 p.
3. Adaptivnyye tekhnologii vozdel'yvaniya selskokhozyaystvennykh kultur v usloviyakh Respubliki Mordoviya: metod. rukovodstvo [Adaptive technologies of cultivation of agricultural crops in the Republic of Mordovia: methodical guide], ed. by A. M. Guryanov. – Saransk: [b. i.], 2003, 428 p.
4. Gordeyev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A., Sirotenko O. D. Bioklimaticheskiy potentsial Rossii: teoriya i praktika [Bioclimatic potential of Russia: theory and practice]. Moscow: Tovarishestvo nauch. izd. KMK Publ., 2006, 512 p.
5. Buchinskiy I. Ye. Zasukhi i sukhovei [Drought and hot winds]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976, 214 p.
6. Kuperman F. M. Morfofiziologiya rasteniy [Morphophysiology of plants]. Moscow: Vyssh. shk. Publ., 1973, 256 p.
7. Moiseychik V. A. Agrometeorologicheskiye usloviya i perezimovka ozimyykh kultur [Agrometeorological conditions and overwintering of winter crops]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975, 294 p.
8. Nikolayev M. V. Sovremennyy klimat i izmenchivost urozhayev [Modern climate and variability of the yields]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1994, 200 p.
9. Spravochnik agronoma po selskokhozyaystvennoy meteorologii: Nechernozemnaya zona yevropeyskoy chasti RSFSR [Reference book on agricultural meteorology: non-Chernozem zone of the European part of the RSFSR], ed. by I. G. Gringof. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1986, 526 p.
10. Ulanova Ye. S. Agrometeorologicheskiye usloviya i urozhaynost ozimoy pshenitsy [Agrometeorological conditions and yield of winter wheat]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1975, 302 p.

Submitted 28.08.2015

About the authors:

Ivoylov Aleksandr Vasilyevich, professor of chair of Agronomical Pedology, Chemistry and Agriculture of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Agriculture), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5355-6251>, ivoilov.av@mail.ru

Chernysheva Tatyana Nikolayevna, meteorologist of Observations department of Mordovia Hydrometeorological Services Centre (5, Michurina str., Yalga, Russia), ivoilov.av@mail.ru

For citation: Ivoylov A. V., Chernysheva T. N. Influence of agrometeorological conditions growing season and overwintering plants on yield of winter wheat in central part of Republic of Mordovia. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 125–132. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.125



**Редакция журнала «Вестник Мордовского университета»
объявляет о наборе научных статей**

Редакция журнала «Вестник Мордовского университета» принимает не опубликованные ранее научные статьи и дискуссионные материалы научного характера (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

Журнал приветствует статьи, имеющие потенциально высокий импакт-фактор и/или содержащие материал о значительных достижениях в указанных направлениях.

Материалы, выполненные в текстовом редакторе MS Word, представляются в редакцию в распечатанном и электронном вариантах (для иногородних авторов допускается пересылка авторского оригинала статьи по электронной почте). Рекомендуемый объем статей – 8–10 страниц; для рецензий, отзывов, обзоров – до 6 страниц.

Порядок изложения материала (кроме рецензий, отзывов и обзоров):

1. УДК (проставляется в левом верхнем углу первой страницы).
2. Название на русском языке (выравнивание по центру страницы, полужирным, прописными).
3. Инициалы и фамилия автора (авторов) на русском языке (выравнивание по центру, полужирным), аффилиация.
4. Аннотация на русском языке (200–250 слов, выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
5. Ключевые слова на русском языке (не менее 5, выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
6. Название на английском языке (выравнивание по центру страницы, полужирным, прописными).
7. Инициалы и фамилия автора (авторов) на английском языке (выравнивание по центру страницы, полужирным), аффилиация.
8. Аннотация на английском языке (200–250 слов, выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
9. Ключевые слова на английском языке (не менее 5, выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
10. Основной текст (выравнивание по ширине страницы, кегль 14, через полуторный интервал).
11. Список использованных источников на русском языке (не менее 10 пунктов), который сортируется по алфавиту и оформляется согласно требованиям ГОСТа 7.0.9–2009. Сначала указываются источники на русском языке, затем – на иностранных языках. Фамилии и инициалы авторов в списке, а также названия источников должны быть верными, описания источников – как можно более полными.
12. Список использованных источников на английском языке (References), представляющий собой перевод всех пунктов списка.

Рисунки должны быть в отдельных файлах (программ, с помощью которых они были созданы), пронумерованными, с верными подписями, хорошего качества (не менее 600 x 600 пикселей). Таблицы также должны быть пронумерованы и подписаны.

Подробные правила представления рукописей в редакцию опубликованы на официальном сайте: <http://vestnik.mrsu.ru>.

Вместе со статьей в редакцию необходимо представить лицензионный договор (в 2 экземплярах), заверенные обязательство и рецензию доктора наук (кроме информационных сообщений и статей членов редакционной коллегии и редакционного совета журнала). Кроме этого, необходима авторская справка (на русском и английском языках), в которой указываются фамилия, имя, отчество (полностью), должность, ученая степень, научное звание, контактный телефон, адрес электронной почты.

В журнале «Вестник Мордовского университета» принята четырехуровневая система рецензирования статей:

1. Проверка текста статьи на соответствие требованиям, предъявляемым к публикациям в научном журнале и на наличие заимствованного текста (мониторинг несанкционированного цитирования осуществляется с помощью системы «Антиплагиат»). Статья должна содержать не менее 85 % оригинального текста; в противном случае она направляется автору на доработку или снимается.



2. Открытое внешнее рецензирование (автор и рецензент знают друг о друге). В данном случае рецензентами должны быть лица, имеющие ученую степень доктора наук. Редакция имеет право направить представленную автором статью на дополнительное рецензирование одному или более независимым рецензентам.

3. «Одностороннее слепое» внутреннее рецензирование (рецензент знает имя автора, автор не знает имени рецензента). Проводится членами экспертного совета журнала, сформированного согласно требованиям ВАК.

4. «Двустороннее слепое» рецензирование (рецензент и автор не знают имен друг друга). Осуществляется в случае поступления дискуссионных материалов и неоднозначной оценки члена экспертного совета журнала.

Рецензент на основании анализа статьи принимает решение или рекомендовать ее к публикации (без доработки или с доработкой), или о необходимости направить на дополнительное рецензирование, или о ее отклонении. В случае несогласия автора статьи с замечаниями рецензента его мотивированное заявление рассматривается редакционной коллегией. Срок действия рецензии – 1 год.

В основе решения о публикации лежат достоверность, научная значимость и актуальность рассматриваемой работы. 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 (Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors) и Кодексе поведения для издателя журнала (Code of Conduct for Journal Publishers), разработанных Комитетом по публикационной этике – Committee on Publication Ethics (COPE). Рассматривая рецензирование как важнейшее звено в обеспечении обмена научной информацией, редакция выдвигает к рецензентам требования по соблюдению конфиденциальности, объективности, беспристрастности, ясности и аргументированности выражения своего мнения, соблюдения принципа признания первоисточников.

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 (подписной индекс в каталоге агентства «Роспечать» – 70539), 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 Н. Н. Плеханковой, С. В. Голованова, О. Ю. Малышева

Компьютерная верстка А. С. Полутина

Информационная поддержка Р. В. Карасева

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Подписано в печать 01.12.2015 г. Дата выхода в свет 21.12.2015 г.

Формат 70 × 100 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 11,05.

Тираж 300 экз. Заказ № 1427. Свободная цена.

Отпечатано в типографии Издательства Мордовского университета

430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, 24

**“Mordovia University Bulletin” invites the authors for collaboration**

“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 journal covers the following specialties:

- 01.04.00 Physics
- 05.13.00 Computer Science and Computer Facilities and Management
- 05.20.00 Agroengineering System Processes and Machines
- 14.01.00 Clinical Medicine
- 14.03.00 Medicobiological Sciences

The journal gives preference to the articles with potentially high impact factor or containing significant advances in considered areas of science.

The journal reserves the right to refuse in publication of an article in case it fails to meet the requirements for academic publications or has elements of defamation, insult, plagiarism or copyright abuse.

Materials should be comprised in MS Word text processor and submitted to the journal as printed and electronic copies. Recommended volume for an article is 8–10 pages; for a review, report, survey – up to 6 pages.

Material exposition order (excepting reviews, reports, surveys):

1. Universal Decimal Classification (in the left higher corner of a page).
 2. Title in Russian (with uppercase bold letters and center alignment).
 3. Surname and initial letters of name of author (names of authors) in Russian (bold with center alignment), affiliation.
 4. Abstract in Russian (200–250 words, center alignment, 12 font size).
 5. Keywords in Russian (not less than 5, center alignment, 12 font size).
 6. Title in English (with uppercase bold letters and center alignment).
 7. Surname and initial letters of name of author (names of authors) in English (bold with center alignment).
 8. Abstract in English (200–250 words, center alignment, 12 font size).
 9. Keywords in English (not less than 5, center alignment, 12 font size).
 10. Body of text (14 font size, line spacing – 1,5).
 11. References list in Russian (up to 10 items) in alphabetical order, formatted according to GOST 7.0.9–2009. Russian language references are listed first, then – references in foreign languages. Surnames and initial letters of names should be correct, references information is as complete as possible.
 12. References list in English, which is translation of all items of the Russian references list.
- Pictures should be monochromatic, in separate files, numbered, of a good quality (not less than 600 x 600 pixels). Pictures in JPEG format are not accepted. Tables are also numbered and signed.
- Detailed requirements and guidelines for submitted manuscripts are available at the official website of the journal: <http://vestnik.mrsu.ru>.

Besides the material itself, authors should submit the licensing contract (2 copies), statutory obligation and review from a Doctor of Sciences (except for information statements and articles authored by editorial council members). Information about author in Russian and English is obligatory. It must contain: name, surname, patronymic, appointment, scholastic degree, academic rank, contact telephone number, email address.

The journal has adopted a 4-level system of reviewing of papers/manuscripts:

1st level – checking the compliance of the main body of the article with submission requirements and for the availability of the borrowed text. Monitoring of unauthorized citation is carried out with the use of Plagiarism detection system;

2nd level – public external reviewing (author and reviewer are familiar with each other). External reviewing implies receiving a review of the author’s manuscript. Along with a manuscript the author provides a review of his/her paper prepared by specialists in this specific scientific domain. Reviewers should be holders of a doctoral degree. At this stage of reviewing the editorial board has the right to forward the paper for a further review to one or more independent reviewers who may be scholars whose research interest are consistent with the research theme of presented for a review paper.

Signed, stamped or seal collective or individual reviews containing grounded reasons for publication of the reviewed paper in the journal, along with the paper itself signed by the author are taken to the editorial board in an electronic format and as a paper-based version (in this case the electronic copy is compulsory);

3rd level – “unilateral blind” internal reviewing (reviewer knows the author’s name but the author does not know the reviewer’s name) – reviewing is carried out by members of the journal’s expert board that is formed according to requirement of Highest Attestation Committee on degrees conferment;

4th level – “double blind” reviewing (reviewer and author are not familiar with each other) – reviewing is carried out when a paper to be reviewed is debating in nature or ambivalently evaluated by a member of the journal’s expert board. In order to improve the objectivity of views on papers to be reviewed, the editorial board has the right to arrange for an anonymous review, i.e. not to let the reviewer know the author’s name whose article is to be reviewed.

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. The review is valid for a 1 year.

As a basis of the decision there is authenticity, scholarly importance and topicality of article under consideration. 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). Editorial staff regards peer review as the most important part of scientific information exchange and submits a claim about abidance by privacy policy, objectivity, detachment, clarity and argumentativeness of expressing of opinion, abidance by the principle of acknowledgement of original sources of information.

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 (subscription index in “Rospechat” agency list – 70539), requests of universities, educational institutions and individuals and pay-on-delivery mailing.

Vdovin Sergey Mikhaylovich – Editor in chief. Tel.: +7 (8342) 24-48-88.

Polutin Sergey Viktorovich – Deputy editor in chief. Tel.: +7 (8342) 32-81-57.

Gordina Svetlana Viktorovna – Executive editor. Tel.: +7 (8342) 48-14-24.



Editor *L. A. Pudovkina*

Translation *N. N. Plekhankova, S. V. Golovanov, O. Yu. Malyshev*

Desktop publishing *A. S. Polutin*

Informational support *R. V. Karasev*

Distributed in Russian Federation and foreign countries.

Signed to print 01.12.2015. Date of publishing 21.12.2015.

Sheet size $70 \times 100 \frac{1}{16}$, Conventional printed sheets 11,05.

Number of copies 300. Order no. 1427. Free price.

Publishing House of Mordovia State University

24, Sovetskaya str., 430005 Saransk, Republic of Mordovia