



2015, Том 25, № 1  
DOI: 10.15507/VMU.025.201501

Основан в январе 1990 г.  
Выходит один раз в квартал

Серия «Естественные  
и технические науки»

# ВЕСТНИК МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- С. М. Вдовин** – *главный редактор*, кандидат экономических наук
- С. В. Полутин** – *заместитель главного редактора*, доктор социологических наук, профессор
- С. В. Гордина** – *ответственный секретарь*, кандидат педагогических наук
- П. В. Сенин** – научный руководитель серии «Естественные и технические науки», доктор технических наук, профессор
- А. Ю. Маслова** – научный руководитель серии «Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки», доктор филологических наук, профессор
- Н. Ш. Ватолкина** – координатор Международного редакционного совета, кандидат экономических наук, доцент

## EDITORIAL BOARD

- S. M. Vdovin** – *Editor in chief*, Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences
- S. V. Polutin** – *Deputy editor in chief*, Doctor of Sciences degree holder in Sociological sciences, professor
- S. V. Gordina** – *Executive editor*, Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Pedagogical sciences
- P. V. Senin** – scientific supervisor of “Engineering and Natural Sciences” series, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences, professor
- A. Yu. Maslova** – scientific supervisor of “Humanitarian, Economic and Social Sciences” series, Doctor of Sciences degree holder in Philologic sciences, professor
- N. Sh. Vatulkina** – international council coordinator, Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences, associate professor

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору в сфере  
связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),  
свидетельство ПИ № ФС77-54869 от 26.07.2013 г.

Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать» – 70539

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

**Founder and editorial house address:**  
68, Bolshevistskaya Str., 430005, Saransk,  
Republic of Mordovia, Russia.  
Telephone, fax: +7 (8342) 48-14-24.

**E-mail:** [vestnik\\_mrsu@mail.ru](mailto:vestnik_mrsu@mail.ru)

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

### Серия «Естественные и технические науки»

**Ф. Т. Агеев** – д. мед. н., профессор (Москва, Россия) • **Е. И. Алексеева** – д. мед. н., профессор (Москва, Россия),  
**В. Н. Анисимов** – д. мед. н., профессор (Москва, Россия) • **Л. А. Балькова** – д. мед. н., профессор (Саранск, Россия),  
**Е. М. Дзюнов** – д. физ.-мат. н., профессор, действ. чл. РАН (Москва, Россия) • **А. А. Еровиченков** – д. мед. н., профессор (Москва, Россия),  
**В. Т. Ерофеев** – д. техн. н., профессор (Саранск, Россия) • **О. Е. Железникова** – к. техн. н., доцент (Саранск, Россия),  
**Л. А. Игумнов** – д. физ.-мат. н., профессор (Н. Новгород, Россия) • **В. И. Калашников** – д. техн. н., профессор (Пенза, Россия),  
**А. П. Калинин** – д. мед. н., профессор, чл.-кор. РАМН (Москва, Россия) • **В. Н. Кечемайкин** – к. экон. н., доцент (Саранск, Россия),  
**А. А. Котляров** – д. мед. н., профессор (Обнинск, Россия) • **А. В. Котин** – д. техн. н., профессор (Саранск, Россия),  
**Ю. Б. Лишманов** – д. мед. н., профессор, чл.-кор. РАМН (Томск, Россия) • **В. И. Мидленко** – д. мед. н., профессор (Ульяновск, Россия),  
**Л. М. Макаров** – д. мед. н., профессор (Москва, Россия) • **В. А. Маргулис** – д. физ.-мат. н., профессор (Саранск, Россия),  
**С. А. Микаева** – д. техн. н., профессор (Москва, Россия) • **К. Н. Нищев** – к. физ.-мат. н., доцент (Саранск, Россия),  
**Ю. Н. Прытков** – д. сельскохоз. н., профессор (Саранск, Россия) • **В. А. Скрыбин** – д. техн. н., профессор (Пенза, Россия),  
**И. И. Чучаев** – к. физ.-мат. н., доцент (Саранск, Россия) • **А. А. Ямашкин** – д. геогр. н., профессор (Саранск, Россия).

### Серия «Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки»

**Н. М. Арсентьев** – д. ист. н., профессор, чл.-кор. РАН (Саранск, Россия) • **Н. В. Буренина** – к. филол. н., доцент (Саранск, Россия),  
**Е. Я. Бурлина** – д. филол. н., профессор (Самара, Россия) • **П. А. Гагаев** – д. психол. н., профессор (Пенза, Россия),  
**Н. Д. Гуськова** – д. экон. н., профессор (Саранск, Россия) • **Г. В. Ившина** – д. психол. н., профессор (Казань, Россия),  
**Г. Б. Кошарная** – д. социол. н., профессор (Пенза, Россия) • **В. И. Крусс** – д. юрид. н., профессор (Тверь, Россия),  
**М. И. Ломшин** – д. психол. н., к. филол. н., профессор (Саранск, Россия) • **Н. П. Макаркин** – д. экон. н., профессор (Саранск, Россия),  
**В. Г. Маралов** – д. психол. н., профессор (Череповец, Россия) • **Ю. А. Мишанин** – д. филол. н., профессор (Саранск, Россия),  
**С. Г. Пилипенко** – к. юрид. н., доцент (Саранск, Россия) • **И. Е. Повериннов** – к. социол. н., доцент (Саранск, Россия),  
**О. Ю. Рыбаков** – д. юрид. н., профессор (Москва, Россия) • **Т. А. Салимова** – д. экон. н., профессор (Саранск, Россия),  
**Ф. А. Селезнев** – д. ист. н., профессор (Нижний Новгород, Россия) • **Т. Н. Сидоркина** – кандидат культурологии, доцент (Саранск, Россия),  
**Ю. Н. Сушкова** – д. ист. н., доцент (Саранск, Россия) • **Л. В. Табаченко** – д. филол. н., доцент (Ростов-на-Дону, Россия),  
**Е. М. Тужилова-Орданская** – д. юрид. н., профессор (Уфа, 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**, 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 Агро-биотехнологии при Университете им. Александра Стулгинскиса, доктор биомедицинских наук, профессор (Каунас, Литва)  
**Ганс Гуски**, член сообщества патологии г. Потсдама, доктор наук, профессор (Берлин, Германия)  
**Духовскис Повилас**, заведующий лабораторией физиологии растений Института садоводства и овощеводства Литовского научного центра аграрных и лесных наук, действительный член АН Литвы, хабилитированный доктор, профессор (Бабгай, 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 Милаи 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**, кандидат исторических наук, профессор, заведующий кафедрой истории России Белорусского государственного университета (Минск, Республика Беларусь)

## EDITORIAL BOARD

### “Engineering and Natural Sciences” series

**F. T. Ageyev** – d. med. sc., professor (Moscow, Russia) • **E. I. Alekseyeva** – d. med. sc., professor (Moscow, Russia)  
**V. N. Anisimov** – d. med. sc., professor (Moscow, Russia) • **L. A. Balykova** – d. med. sc., professor (Saransk, Russia)  
**E. M. Dianov** – d. phys.-math. sc., professor, member-corr. of RAS (Moscow, Russia) • **A. A. Erovičnikov** – d. med. sc., professor (Moscow, Russia)  
**V. T. Erofeev** – d. tech. sc., professor (Saransk, Russia) • **O. E. Zheleznikova** – c. tech. sc., docent (Saransk, Russia)  
**L. A. Igumnov** – d. phys.-math. sc., professor (N. Novgorod, Russia) • **V. I. Kalashnikov** – d. tech. sc., professor (Penza, Russia)  
**A. P. Kalinin** – d. med. sc., professor, member-corr. of RAMS (Moscow, Russia) • **V. N. Kechemaykin** – c. nat. sc., docent (Saransk, Russia)  
**A. A. Kotlyarov** – d. med. sc., professor (Obninsk, Russia) • **A. V. Kotin** – d. tech. sc., professor (Saransk, Russia)  
**Yu. B. Lishmanov** – d. med. sc., professor, member-corr. of RAMS (Tomsk, Russia) • **V. I. Midlenko** – d. med. sc., professor (Ulyanovsk, Russia)  
**L. M. Makarov** – d. med. sc., professor (Moscow, Russia) • **V. A. Margulis** – d. phys.-math. sc., professor (Saransk, Russia)  
**S. A. Mikayeva** – d. tech. sc., professor (Moscow, Russia) • **K. N. Nishchev** – c. phys.-math. sc., docent (Saransk, Russia)  
**Yu. N. Prytkov** – d. agr. sc., professor (Saransk, Russia) • **V. A. Skryabin** – d. tech. sc., professor (Penza, Russia)  
**I. I. Chuchayev** – c. phys.-math. sc., docent (Saransk, Russia) • **A. A. Jamashkin** – d. geogr. sc., professor (Saransk, Russia)

### “Humanitarian, Economic and Social Sciences” series

**N. M. Arsenyev** – d.hist.sc., professor, member-corr. of RAS (Saransk, Russia) • **N. V. Burenina** – c.phil.sc., docent (Saransk, Russia)  
**E. Ya. Burlina** – d.philos.sc., professor (Samara, Russia) • **P. A. Gagayev** – d.psych.sc., professor (Penza, Russia)  
**N. D. Guskova** – d.econ.sc., professor (Saransk, Russia) • **G. V. Ivshina** – d.psych.sc., professor (Kazan, Russia)  
**G. B. Kosharnaya** – d.soc.sc., professor (Penza, Russia) • **V. I. Kruss** – d.ju.sc., professor (Tver, Russia)  
**M. I. Lomshin** – d.psych.sc., c.phil.sc., professor (Saransk, Russia) • **N. P. Makarkin** – d.e.sc., professor (Saransk, Russia)  
**V. G. Maralov** – d.psych.sc., professor (Cherepovets, Russia) • **Yu. A. Mishanin** – d.phil.sc., professor (Saransk, Russia)  
**S. G. Pilipenko** – c.ju.sc., docent (Saransk, Russia) • **I. E. Poverinov** – c.soc.sc., docent (Saransk, Russia)  
**O. Yu. Rybakov** – d.ju.sc., professor (Moscow, Russia) • **T. A. Salimova** – d.econ.sc., professor (Saransk, Russia)  
**F. A. Seleznev** – d.hist.sc., professor (N. Novgorod, Russia) • **T. N. Sidorkina** – c.cult., docent (Saransk, Russia)  
**Yu. N. Sushkova** – d.hist.sc., docent (Saransk, Russia) • **L. V. Tabachenko** – d.phil.sc., docent (Rostov-na-Donu, Russia)  
**E. M. Tuzhilova-Ordanskaya** – d.ju.sc., professor (Ufa, Russia)

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

**Allahverdi Surhay**, head of Forest Industry chair of Bartın University, Doctor of Sciences degree holder in biological sciences, professor (Bartın, Turkey)

**Bobryshev Yuriy Veniaminovich**, senior research associate of School of Medical Sciences, Faculty of Medicine, University of New South Wales, Doctor of Sciences degree holder in biology, professor (Sydney, Australia)

**Bukvich Rayko**, professor of Geographic institute “Jovan Cvijic” of Serbian academy of sciences and arts, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Belgrad, Serbia)

**Bulgakov Aleksey Grigoryevich**, professor of Faculty of Architecture of Dresden University of Technology, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences, professor (Dresden, Germany)

**Burbulis Natalya**, director of Institute of Rural Culture, research adviser of Agrobiotechnology laboratories of Aleksandras Stulginskis University, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Kaunas, Lithuania)

**Guski Gans**, Potsdam Pathology community member, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Berlin, Germany)

**Duchovskis Pavelas**, 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, Candidate of Sciences (PhD) in Physico-Mathematical sciences (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 Agrarian Sciences of Ukraine, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural Sciences, professor (Gluhov, Ukraine)

**Radovanovich Milan**, director of Geographic institute «Jovan Cvijic» of Serbian academy of sciences and arts, professor (Belgrad, Serbia)

**Sosunov Aleksandr Alekseyevich**, Columbia University, department of neurosurgery, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (New York, USA)

**Yanovskiy Oleg Antonovich**, head of Russian history chair of Belorussia State University Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Historical sciences, professor (Minsk, Belarus)

## СОДЕРЖАНИЕ

С. М. Вдовин. «Вестнику Мордовского университета» – 25 лет .....	10
--	----

### МАТЕМАТИКА

В. Д. Ширяев, Е. В. Анощенкова, Р. Р. Бикмурзина. Теоретико-игровые модели функционирования древовидных и ромбовидных систем управления .....	13
В. И. Никонов, В. Д. Антошкин. К задаче оптимизации расположения сферических треугольников .....	24
И. В. Харитонова. Дифференцированный подход к организации самостоятельной работы студентов при обучении математике .....	30
Г. С. Евдокимова, В. Д. Бочкарева. Математическая культура – высшее проявление образованности и профессиональной компетентности .....	37

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

В. Н. Кечемайкин, С. Э. Майкова, Л. В. Масленникова, Ю. Г. Родиошкина. Особенности организации подготовки студентов инженерных специальностей в современных условиях развития машиностроения .....	44
А. А. Федченко, В. Ю. Федченко, С. Е. Маскайкина, И. В. Бурьянов. Использование программных комплексов при изучении студентами специальных дисциплин .....	52
В. А. Скрябин, М. А. Рейес Альмейда. Совершенствование технологии обработки поршней из алюминиевых сплавов с покрытием никель-рений-фосфор .....	59
В. А. Скрябин. Повышение эффективности шлифования ёлочных замковых соединений лопаток турбокомпрессоров .....	71
В. А. Скрябин. Контактное взаимодействие незакрепленного дискретного шлифовального материала с поверхностями обрабатываемых деталей из порошковых материалов .....	82
С. П. Кудаев, М. В. Чугунов, А. Г. Фоминов, С. И. Борискин, В. В. Курганов, А. М. Кармишин. Моделирование процесса сварки боковой стенки вагона зерновоза в среде SolidWorks Simulation .....	96
Ю. Г. Юфкин, Н. Н. Веснушкина. Динамическая модель расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками .....	101

### СТРОИТЕЛЬСТВО

П. С. Ерофеев, В. Ф. Манухов, С. Н. Карпушин. Применение технологии BIM в архитектурном учебном проектировании зданий и сооружений .....	105
В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов. Архитектура древнейшего центрального жилища кавказо-памирского мегарегиона как лоно кристаллизации творческой идеи «купол на квадрате» .....	110
В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов. Архитектура древнейших центральных сооружений кавказо-памирского мегарегиона как определитель пути этногенеза и этнической истории и культуры алано-осетин .....	128

## CONTENTS

<b>S. M. Vdovin.</b> Mordovia University Bulletin celebrates a 25 <sup>th</sup> anniversary .....	10
---	----

### MATHEMATICS

<b>V. D. Shirayev, E. V. Anoshchenkova, R. R. Bikmurzina.</b> Game-theoretic models of tree-structure and diamond-structure systems of management functioning .....	13
<b>V. I. Nikonov, V. D. Antoshkin.</b> On the problem of optimizing of the arrangement of spherical triangles .....	24
<b>I. V. Kharitonova.</b> Differentiated approach to organization of unsupervised work of students learning math .....	30
<b>G. S. Evdokimova, V. D. Bochkareva.</b> Mathematical culture – the highest expression of human education and professional competence .....	37

### MACHINE ENGINEERING

<b>V. N. Kechemaykin, S. E. Maykova, L. V. Maslennikova, Yu. G. Rodioshkina.</b> Features of training of engineering students in the modern conditions of engineering development .....	44
<b>A. A. Fedchenko, V. Yu. Fedchenko, S. E. Maskaykina, I. V. Buryanov.</b> Use of software systems in the study of students of special subjects .....	52
<b>V. A. Skryabin, M. A. Reyes Almeida.</b> Technological improvement of finish abrasive treatment of pistons made of aluminum alloys with nickel-rhenium-phosphorus coverage .....	59
<b>V. A. Skryabin.</b> Increase of efficiency of polishing of fir-tree interlocks of shoulder-blades of turbo-compressors .....	71
<b>V. A. Skryabin.</b> Pin co-operating of unsupported discrete polishing material with surfaces of workparts from powder-like materials .....	82
<b>S. P. Kudayev, M. V. Chugunov, A. G. Fominov, S. I. Boriskin, V. V. Kurganov, A. M. Karmishin.</b> Simulation of welding process of side wall of a grain car in SolidWorks Simulation environment .....	96
<b>Yu. G. Yufkin, N. N. Vesnushkina.</b> Dynamic model of a boring tool with floating cutter blocks .....	101

### COUNSTRUCTION

<b>P. S. Erofejev, V. F. Manukhov, S. N. Karpushin.</b> The use of BIM technology in architectural design school buildings and constructions .....	105
<b>V. B. Besolov, A. V. Besolov.</b> The architecture of an ancient centric dwelling in Caucasus-Pamir megaregion as a cradle of crystallization of creative ideas for dome on square .....	110
<b>V. B. Besolov, A. V. Besolov.</b> Architecture of ancient centric structures in Caucasus-Pamir megaregion as a determinant of the ethnogenesis process of development, ethnic history and culture of Alan-Ossetianes .....	128

# ИНСТИТУТ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПУБЛИКАЦИЙ

## Серия «Естественные и технические науки»

### Медицина

- Балаиов Владимир Павлович*, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Бибнева Тамара Николаевна*, кандидат медицинских наук (Москва, Россия)  
*Блинов Дмитрий Сергеевич*, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Власов Алексей Петрович*, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Герасимова Наталья Геннадьевна*, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Давыдкин Василий Иванович*, кандидат медицинских наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Еремина Елена Юрьевна*, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Инчина Вера Ивановна*, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Камаев Игорь Александрович*, доктор медицинских наук, профессор (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)  
*Ураков Александр Ливиевич*, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный изобретатель Российской Федерации (Ижевск, Россия)

### Биология

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

### Математика

- Андреев Александр Сергеевич*, доктор физико-математических наук, профессор (Ульяновск, Россия)  
*Смолянов Андрей Григорьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Щенников Владимир Николаевич*, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)

### Физика и химия

- 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)  
*Логунов Михаил Владимирович*, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Рябочкина Полина Анатольевна*, доктор 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)

### Технические науки

- Амелькина Светлана Анатольевна*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Ащрятов Альберт Аббясович*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Богатов Андрей Дмитриевич*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Горбунов Алексей Алексеевич*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Животовский Григорий Альбертович*, доктор технических наук, доцент (Нижегород, Россия)  
*Ивлиев Сергей Николаевич*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Коваленко Ольга Юрьевна*, доктор технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Кокинов Андрей Михайлович*, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Кудаев Сергей Петрович*, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Митин Эдуард Валерьевич*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Панфилов Степан Александрович*, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Римшин Владимир Иванович*, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)  
*Федоренко Анатолий Степанович*, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Чугунов Михаил Владимирович*, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)

### Науки о Земле

- Каверин Александр Владимирович*, кандидат географических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Масляев Валерий Николаевич*, кандидат географических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Носонов Артур Модестович*, доктор географических наук, доцент (Саранск, Россия)

### Сельскохозяйственные науки

- Вельматов Анатолий Павлович*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)

*Емельянов Сергей Владимирович*, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Ершиев Александр Павлович*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Зенкин Сергей Александрович*, доктор ветеринарных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Ивойлов Александр Васильевич*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Матяев Владимир Иванович*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Смолин Николай Васильевич*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Тельцов Леонид Петрович*, доктор естественных наук, профессор (Саранск, Россия)

## **Серия «Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки»**

### **Экономика**

*Ананьев Михаил Александрович*, доктор экономических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Артемова Светлана Степановна*, доктор экономических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Кормишклина Людмила Александровна*, доктор экономических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Краковская Ирина Николаевна*, доктор экономических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Неретина Евгения Алексеевна*, доктор экономических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Осипов Владимир Иванович*, доктор экономических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Полушкина Татьяна Михайловна*, доктор экономических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Федоськина Людмила Александровна*, кандидат экономических наук, доцент (Саранск, Россия)

### **Юриспруденция**

*Дудко Игорь Геннадьевич*, доктор юридических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Емелькина Ирина Александровна*, доктор юридических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Еремин Алексей Роевлович*, доктор юридических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Калинкина Любовь Даниловна*, кандидат юридических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Фомина Лилия Юрьевна*, кандидат юридических наук (Саранск, Россия)  
*Худойкина Татьяна Викторовна*, доктор юридических наук, профессор (Саранск, Россия)

### **История, социология и философия**

*Богатова Ольга Анатольевна*, доктор социологических наук (Саранск, Россия)  
*Богатырев Эдуард Дмитриевич*, доктор исторических наук доцент (Саранск, Россия)  
*Гагаев Андрей Александрович*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Елдин Михаил Александрович*, кандидат философских наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Емелькина Ирина Владимировна*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Изергина Нина Ивановна*, доктор политических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Кистанов Сергей Васильевич*, кандидат исторических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Корнишина Галина Альбертовна*, доктор исторических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Мочалов Евгений Владимирович*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Новикова Надежда Львовна*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Сергеенкова Вера Васильевна*, кандидат исторических наук, доцент (Минск, Республика Беларусь)  
*Трифонов Геннадий Федорович*, кандидат геолого-минералогических наук, доктор философских наук, профессор (Чебоксары, Россия)  
*Шапошников Лев Евгеньевич*, доктор философских наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)

### **Педагогика и психология**

*Андронов Владимир Петрович*, доктор психологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Винтин Игорь Анатольевич*, доктор педагогических наук, кандидат философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Мешков Николай Иванович*, доктор психологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Романов Константин Михайлович*, доктор психологических наук, профессор (Саранск, Россия)

### **Филология**

*Акимова Эльвира Николаевна*, доктор филологических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Анашкина Ирина Александровна*, доктор филологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Антонов Юрий Григорьевич*, доктор филологических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Гудкова Светлана Петровна*, доктор филологических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Демин Василий Иванович*, доктор филологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Ивлева Алина Юрьевна*, доктор философских наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Киржаева Вера Петровна*, доктор педагогических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Клементьева Елена Филипповна*, кандидат филологических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Конкина Лариса Семеновна*, доктор филологических наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Кудрявцева Раиса Алексеевна*, доктор филологических наук, профессор (Иошкар-Ола, Россия)  
*Ракин Анатолий Николаевич*, старший научный сотрудник института языка, литературы и истории Коми научно-го центра УрО РАН (Сыктывкар, Россия)  
*Свойкин Константин Бертольдович*, доктор филологических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Филиппова Ольга Викторовна*, доктор педагогических наук, доцент (Саранск, Россия)  
*Фурманова Валентина Павловна*, доктор педагогических наук, профессор (Саранск, Россия)

### **Искусствоведение и культурология**

*Воронина Наталья Ивановна*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Лосинова Марина Васильевна*, доктор философских наук, профессор (Саранск, Россия)  
*Прокаева Ольга Николаевна*, кандидат философских наук (Саранск, Россия)

# INSTITUTE OF PUBLICATIONS PEER REVIEWING

## “Engineering and Natural Sciences” series

### Medicine

- Balashov Vladimir Pavlovich*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Bebneva Tamara Nikolayevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Medical sciences (Moscow, Russia)  
*Blinov Dmitriy Sergeevich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Vlasov Aleksey Petrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Gerasimova Natalya Gennadyevna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Davydkin Vasily Ivanovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Medical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Eremina Elena Yuryevna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Inchina Vera Ivanovna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kamayev Igor Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Nizhny Novgorod, Russia)  
*Korableva Natalya Nikolayevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Medical sciences, docent (Syktyvkar, Russia)  
*Leshchankina Nina Yuryevna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Mozerov Sergey Alekseyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Obninsk, Russia)  
*Moiseyeva Inessa Yakovlevna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Penza, Russia)  
*Mosina Larisa Mikhaylovna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Novikova Ljudmila Vladimirovna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Pavelkina Vera Fedorovna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Piksin Ivan Nikiforovich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Plotnikova Nadezhda Alekseevna*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Uraikov Aleksandr Liviyeovich*, Doctor of Sciences degree holder in Medical sciences, professor, honorary inventor of Russian Federation (Izhevsk, Russia)

### Biology

- Devyatkin Arkady Anatolyevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Biological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Kadimaliev Davud Ali-ogly*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kuznetsov Vyacheslav Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Lukatkin Aleksandr Stepanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Silayeva Tatyana Borisovna*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Trofimov Vladimir Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Shlyakhhtin Gennadiy Viktorovich*, Doctor of Sciences degree holder in Biological sciences, professor (Saratov, Russia)

### Mathematics

- Andreyev Aleksandr Sergeevich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Ulyanovsk, Russia)  
*Smolyanov Andrey Grigoryevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Physico-mathematical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Shchennikov Vladimir Nikolayevich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Saransk, Russia)

### Physics and chemistry

- Vasin Viktor Alekseyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Zyuzin Aleksandr Mikhaylovich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kurkov Andrey Semenovich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Moscow, Russia)  
*Logunov Mikhail Vladimirovich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Ryabochkina Polina Anatolyevna*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Tomilin Oleg Borisovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Physico-mathematical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Shorokhov Aleksey Vladimirovich*, Doctor of Sciences degree holder in Physico-mathematical sciences, docent (Saransk, Russia)

### Engineering science

- Amelkina Svetlana Anatolyevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Ashryatov Albert Abbyasovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Bogatov Andrey Dmitriyevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Gorbunov Aleksey Alekseyevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Zhivotovskiy Grigoriy Albertovich*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Nizhny Novgorod, Russia)  
*Ivliyev Sergey Nikolayevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Kovalenko Olga Yuryevna*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Kokinov Andrey Mikhaylovich*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kudayev Sergey Petrovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Physico-mathematical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Mitin Eduard Valeryevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Panfilov Stepan Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Rimshin Vladimir Ivanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, professor (Moscow, Russia)  
*Fedorenko Anatoly Stepanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Chugunov Mikhail Vladimirovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences sciences, docent (Saransk, Russia)

### Earth science

- Kaverin Aleksandr Vladimirovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Geographical sciences, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Maslyayev Valeriy Nikolayevich*, candidat (PhD) degree holder in Geographical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Nosonov Artur Modestovich*, Doctor of Sciences degree holder in Geographical sciences, docent (Saransk, Russia)

### Agricultural science

- Velmatov Anatoly Pavlovich*, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Emeljanov Sergey Vladimirovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Agricultural sciences, docent (Saransk, Russia)

*Eryashev Aleksandr Pavlovich*, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Zenkin Sergey Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in veterinary sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Ivoylov Aleksandr Vasilyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Matyayev Vladimir Ivanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Smolin Nikolay Vasilyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Agricultural sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Teltskov Leonid Petrovich*, Doctor of Sciences (D. Sc.) degree holder, professor (Saransk, Russia)

## “Humanitarian, Economic and Social Sciences” series

### Economics

*Ananyev Mikhail Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Artemyeva Svetlana Stepanovna*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kormishkina Ljudmila Aleksandrovna*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Krakovskaya Irina Nikolayevna*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Neretina Evgeniya Alekseyevna*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Osipov Vladimir Ivanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Polushkina Tatyana Mikhaylovna*, Doctor of Sciences degree holder in Economic sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Fedoskina Lyudmila Aleksandrovna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences, docent (Saransk, Russia)

### Jurisprudence

*Dudko Igor Gennadyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Juridical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Emelkina Irina Aleksandrovna*, Doctor of Sciences degree holder in Juridical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Eremin Aleksey Roaldovich*, Doctor of Sciences degree holder in Juridical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kalinkina Lyubov Danilovna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Juridical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Fomina Liliya Yuryevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Juridical sciences (Saransk, Russia)  
*Khudoykina Tatyana Viktorovna*, Doctor of Sciences degree holder in Juridical sciences, professor (Saransk, Russia)

### History, sociology and philosophy

*Bogatova Olga Anatolyevna*, Doctor of Sciences degree holder in Sociological sciences (Saransk, Russia)  
*Bogatyrev Eduard Dmitriyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Historical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Gagayev Andrey Aleksandrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Eldin Mikhail Aleksandrovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Philosophical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Emelkina Irina Vladimirovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Izergina Nina Ivanovna*, Doctor of Sciences degree holder in Political sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kistanov Sergey Vasilyevich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Historical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Kornishina Galina Albertovna*, Doctor of Sciences degree holder in Historical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Mochalov Yevgeniy Vladimirovich*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Novikova Nadezhda Lvovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Trifonov Gennadiy Fedorovich*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Geological and Mineralogical sciences,  
 Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Cheboksary, Russia)  
*Sergeyenkova Vera Vasilyevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Historical sciences, docent (Minsk, Respublika Belarus)  
*Shaposhnikov Lev Yevgenyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Nizhny Novgorod, Russia)

### Pedagogics and psychology

*Andronov Vladimir Petrovich*, Doctor of Sciences degree holder in Psychological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Vintin Igor Anatolyevich*, Doctor of Sciences degree holder in Pedagogical sciences, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Meshkov Nikolay Ivanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Psychological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Romanov Konstantin Mikhaylovich*, Doctor of Sciences degree holder in Psychological sciences, professor (Saransk, Russia)

### Philology

*Akimova Elvira Nikolayevna*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Anashkina Irina Aleksandrovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Antonov Yuriy Grigoryevich*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Gudkova Svetlana Petrovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Demin Vasily Ivanovich*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Ivleva Alina Yuryevna*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Kirzhayeva Vera Petrovna*, Doctor of Sciences degree holder in Pedagogical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Klementyeva Yelena Filippovna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Philological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Konkina Larisa Semenovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Kudryavceva Raisija Alekseyevna*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, professor (Joshkar-Ola, Russia)  
*Rakin Anatoliy Nikolayevich*, senior research associate of institute of language, literature and history of Komi of RAS  
*Svoykin Konstantin Bertoldovich*, Doctor of Sciences degree holder in Philological sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Filippova Olga Viktorovna*, Doctor of Sciences degree holder in Pedagogical sciences, docent (Saransk, Russia)  
*Furmanova Valentina Pavlovna*, Doctor of Sciences degree holder in Pedagogical sciences, professor (Saransk, Russia)

### Art criticism and culturology

*Voronina Natalya Ivanovna*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Loginova Marina Vasil'evna*, Doctor of Sciences degree holder in Philosophical sciences, professor (Saransk, Russia)  
*Prokayeva Olga Nikolayevna*, Candidat of Sciences (PhD) degree holder in Philosophical sciences (Saransk, Russia)

## «ВЕСТНИКУ МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» – 25 ЛЕТ

**С. М. Вдовин**

В статье раскрываются основные задачи и направления деятельности журнала «Вестник Мордовского университета» в составе Мордовского государственного университета; дается характеристика журнала в свете современных требований к рецензируемым научным изданиям.

**Ключевые слова:** «Вестник Мордовского университета», Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, редакция, наука, образовательный процесс, научное сообщество.

## MORDOVIA UNIVERSITY BULLETIN CELEBRATES A 25<sup>th</sup> ANNIVERSARY

**S. M. Vdovin**

The article describes the main tasks and fields of activity of “Mordovia University Bulletin” journal, affiliated with Ogarev Mordovia State University, and gives an overview of the journal according to the modern demands for peer-reviewed journals.

**Keywords:** Mordovia University Bulletin, Ogarev Mordovia State University, editorial staff, science, educational process, academic community.

Исполнилось 25 лет научному журналу «Вестник Мордовского университета», который был создан на основании приказа Министерства высшего и среднего профессионального образования РСФСР от 26 октября 1989 г. «Об организации в Мордовском университете журнала “Вестник Мордовского университета”».

Появление первого научно-публицистического журнала, издаваемого на русском языке, стало значимым событием в жизни крупнейшего вуза автономной республики. Деятельность редакции всегда способствовала разрешению множества неотложных и важных задач, стоявших перед высшей школой. Благодаря мультидисциплинарной направленности «Вестника Мордовского университета» в нем публикуются материалы, способствующие развитию фундаментальной и прикладной науки, образования и интеллектуальных технологий, внедрению научных достиже-

ний в учебный процесс по подготовке высококвалифицированных кадров, повышению авторитета российского научно-информационного пространства в мировом сообществе. Целью журнала является передача полифонии мнений и суждений авторов, занимающих по всем принципиальным вопросам определенную позицию.

Учредителем, издателем и ведущим координирующим научным сообществом журнала является ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» – один из ведущих классических университетов Российской Федерации, эффективно реализующий передовые образовательные практики. Как национальный исследовательский университет он занимает ведущие позиции в стратегических областях мировой науки, формирует эффективные механизмы межвузовского взаимодействия, генерирует общественно значимые инициативы, вырабаты-

© Вдовин С. М., 2015

вает направления общенационального академического развития.

В настоящий момент укрепляется интеграция Мордовского университета с основными исследовательскими центрами и научными школами России, расширяется сотрудничество с университетами и предприятиями Великобритании, Германии, Финляндии, Китая, Венгрии, Швеции, Бельгии и ряда других стран мира путем выполнения совместных проектов и программ.

Ежегодно вуз организует более 40 всероссийских и международных конференций. Ведущие научные коллективы вносят весомый вклад в получение новых естественно-научных, гуманитарных и научно-технических знаний путем подготовки монографий, учебников и учебных пособий для студентов и учащихся школ, а также сборников научных трудов, энциклопедической и другой научно-методической литературы. Сотрудниками университета публикуется более 4 тыс. статей в год, в том числе в зарубежных изданиях.

«Вестник Мордовского университета» является творческой площадкой для публикации, распространения и обсуждения новейших идей, взглядов, подходов и других результатов научных исследований. Редакция публикует статьи самого высокого уровня, привлекая в качестве авторов признанных профильных специалистов. Значительную их часть составляют ученые вузов, руководители и педагоги всех типов научных учреждений, работники сферы управления регионов России, а также стран ближнего и дальнего зарубежья.

Приоритетными задачами и направлениями деятельности рецензируемого научного журнала «Вестник Мордовского университета» являются:

- сбор, анализ и публикация объективной информации по различным научным направлениям;
- обобщение и распространение опыта образовательных и научных учреждений Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья;

- содействие совершенствованию интеграционного мирового научного пространства;

- анализ генезиса и современного состояния ведущих тенденций научных процессов в мировом пространстве;

- публикация научных материалов высокой теоретической и практической значимости, подготовленных на достойном научном уровне;

- обеспечение широкого обмена научной информацией между вузами и другими организациями;

- повышение публикационной активности национальных авторов, рейтинга научных организаций России и уровня национальных публикаций в мировом научном сообществе по данным их цитирования;

- укрепление известности и авторитетности издания, рост числа постоянных подписчиков;

- осуществление рекламно-информационной деятельности;

- привлечение спонсоров и коммерческих структур для сотрудничества и финансирования издания журнала.

Привлечение и отбор статей в журнал осуществляют редакционный совет, редакционная коллегия, команда внештатных рецензентов. В состав редакционного совета входят высокоцитируемые ученые международного уровня:

В. Н. Анисимов – член-корреспондент РАН, профессор, руководитель отдела канцерогенеза и онкогеронтологии НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова Минздрава России (индекс Хирша в WOS – 26, в Scopus – 31);

Е. М. Дианов – академик РАН, директор Научного центра волоконной оптики РАН (индекс Хирша в WOS – 28, в Scopus – 34);

Л. М. Макаров – профессор, руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФМБА России на базе ФГБУЗ ЦДКБ Федерального медико-биологического агентства (индекс Хирша в WOS – 4, в Scopus – 5);

В. А. Маргулис – профессор, заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарева» (индекс Хирша в WOS – 5, в Scopus – 12);

Ю. В. Бобрышев – профессор, старший научный сотрудник кафедры анатомии медицинского факультета Университета Нового Южного Уэльса (Сидней, Австралия) (индекс Хирша в WOS – 16, в Scopus – 29);

П. Духовскис – заведующий лабораторией физиологии растений Института садоводства и овощеводства Литовского научного центра аграрных и лесных наук, действительный член АН Литвы, хабилитированный доктор, профессор (Бабтай, Литва) (индекс Хирша в WOS – 7, в Scopus – 8);

Ф. В. Кусмарцев – кандидат физико-математических наук, декан физического факультета Университета Лафборо (Лафборо, Великобритания) (индекс Хирша в WOS – 12, в Scopus – 12);

А. А. Сосунов – профессор Колумбийского университета, департамент нейрохирургии (Нью-Йорк, США) (индекс Хирша в WOS – 12, в Scopus – 14).

«Вестник Мордовского университета» является рецензируемым изданием: все рукописи проходят тщательную экспертную оценку. Рецензия обязатель-

на как основной документ экспертизы, проводимой редакцией для определения соответствия публикуемого материала научно-тематической направленности журнала.

Кроме популяризации науки, образования и производства, журнал к настоящему времени является частью образовательного процесса: редакцией сформирована база для прохождения научно-производственной практики студентов III–IV курсов специальностей «Русский язык и литература» и «Журналистика».

Редакцией ведется непрерывное улучшение формата журнала в соответствии с требованиями международных стандартов оформления научных изданий и публикаций Web of Science и Scopus; организована подписка на журнал для российских и зарубежных читателей.

Журнал является участником партнерства «Комитет по этике научных публикаций» (<http://publicet.org>). Все выпуски журнала находятся в открытом доступе на сайте журнала, на платформе Научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru>, и в базах данных «КиберЛенинка», «Издательство ЛАНЬ», Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Research Journals Indexing (DRJI) и др.

*Поступила 25.12.2014 г.*

*Об авторе:*

**Вдовин Сергей Михайлович**, ректор ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат экономических наук, [rector@mrsu.ru](mailto:rector@mrsu.ru)

*Для цитирования:* Вдовин, С. М. «Вестнику Мордовского университета» – 25 лет / С. М. Вдовин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 10–12. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.010

*About the author:*

**Vdovin Sergey Mikhaylovich**, rector of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences, [rector@mrsu.ru](mailto:rector@mrsu.ru)

*For citation:* Vdovin S. M. “Vestniku Mordovskogo Universiteta” – 25 let [Mordovia University Bulletin celebrates a 25<sup>th</sup> anniversary]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 10–12. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.010

## ТЕОРЕТИКО-ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДРЕВОВИДНЫХ И РОМБОВИДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**В. Д. Ширияев, Е. В. Анощенкова, Р. Р. Бикмурзина**

В статье рассматриваются статические модели иерархических систем управления. Практика создания и функционирования различных организационных, в том числе эколого-экономических, систем показывает, что процедура управления в них должна быть построена по иерархическому принципу. Задачи анализа и синтеза иерархических систем не укладываются в рамки обычной теории оптимального управления, так как в условиях взаимодействия подсистем становится неоднозначным само понятие оптимальности. Управление в рамках эколого-экономической системы, как правило, предполагает наличие иерархической структуры, отдельные элементы которой имеют собственные цели, не совпадающие с целью развития системы в целом. Нами рассматриваются древовидные и ромбовидные системы управления. Конфликтно-управляемые системы с иерархической структурой сводятся к иерархическим играм. Общий анализ двухуровневой модели иерархической системы управления сводится к нахождению решения игры. Древовидная система управления формализуется как бескоалиционная игра  $(n+1)$  лица (административного центра и производственных подразделений  $B_1, \dots, B_n$ ), а ромбовидная система управления – как бескоалиционная игра четырех лиц в нормальной форме. В качестве принципа оптимальности в бескоалиционном случае используется равновесие по Нэшу. Приводятся конструктивные методы нахождения оптимальных решений для таких систем. При этом наблюдалась множественность ситуаций равновесия по Нэшу, что объясняется доминирующей ролью центра  $A_0$  в игре. Существование доминирующего игрока возможно и в других задачах конфликтного управления, однако мы ограничились лишь рассмотрением древовидных и ромбовидных систем управления.

**Ключевые слова:** древовидная система управления, ромбовидная система управления, иерархическая игра, оптимальная стратегия, равновесие по Нэшу, задача параметрического программирования.

## GAME-THEORETIC MODELS OF TREE-STRUCTURE AND DIAMOND-STRUCTURE SYSTEMS OF MANAGEMENT FUNCTIONING

**V. D. Shiryayev, E. V. Anoshchenkova, R. R. Bikmurzina**

Static models of hierarchical systems of management are considered in this research. The practice of creating and functioning of various organizational systems (including economic systems) shows that the process of their management should be based on the hierarchical principle. The goals of analysis and synthesis of hierarchical systems go beyond general optimal control theory, as with subsystems interacting, the very notion of optimality gets ambiguous. As a rule, the management within the scope of an economic system implies the presence of a hierarchical structure, the individual elements of which have their own goals, that could be different from the goal of the system's development in whole.

Tree-structure and diamond-structure systems of management are studied in this research. Conflict-controlled systems with hierarchical structure are added up to hierarchical games. In rather general conditions the analysis of a two-level model of hierarchical system of management comes to finding of the solution for a game. Tree-structure system of man-

agement is formalized as a non-cooperative game ( $n+1$ ) of a player (administrative center and operating departments  $B_1, \dots, B_n$ ). Diamond-structure system of management is formalized as a non-cooperative game with four players in its normal form. Nash equilibrium is used as a principle of optimality in a noncooperative game. Constructive methods of finding optimal solutions for these kinds of systems are provided. Multiplicity of Nash equilibria encountered is determined by dominating role of the core  $A_0$  in the game. It goes without saying that the existence of a dominant player is possible in other tasks of conflict management. In our research, however, we confine ourselves to studying tree-structure and diamond-structure system of management only.

**Keywords:** tree-structure system of management, diamond-structure system of management, hierarchical game, optimal strategy, Nash equilibrium, parametric programming task.

Иерархическая структура управления (ИСУ) – это система управления, состоящая из последовательности уровней управления, следующих друг за другом в порядке определенного приоритета. Между элементами различных уровней иерархии могут быть как вертикальные, так и горизонтальные связи, выражаемые в обмене информацией, выборе согласованных решений и т. д. ИСУ характеризуются тем, что подразделения нижних уровней выбирают свои управления в рамках ограничений, наложенных подразделениями вышестоящих уровней, имеющих с ними вертикальные связи.

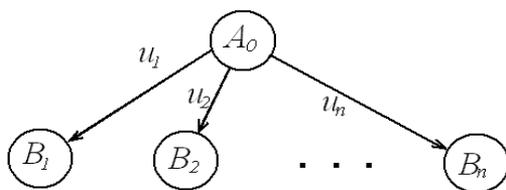
Основной причиной возникновения иерархической структуры управления является невозможность своевременного сбора и переработки большого объема информации об управляемых процессах единым управляющим центром, что может привести к принятию решений по неполной или устаревшей информации [1; 3; 5; 7; 10]. Обработка информации и принятие решений отдельными элементами системы (подсистемами) позволяет обычно уменьшать влияние такого рода неопределенности.

Практика создания и функционирования организационных систем показывает, что процедуры управления в них должны быть построены по иерархическому принципу. Типичным примером системы управления с иерархической структурой является система расчета народнохозяйственных планов капитальных вложений, начиная от отдела сводного планирования капитальных вложений (первый уровень иерархии) и заканчивая соответствующими отделами городских

и районных исполнительных комитетов (последний уровень иерархии). Промежуточными уровнями управления здесь являются подотделы планирования капитальных вложений отраслевых отделов, подразделений НИИ и др.

Задачи анализа и синтеза иерархических систем не укладываются в рамки обычной теории оптимального управления, так как в условиях взаимодействия подсистем становится неоднозначным само понятие «оптимальность». Необходимость учета несовпадения интересов элементов экономической системы, наличия неопределенных факторов и различной степени информированности на разных уровнях признана экономистами и специалистами в области исследования операций.

В математической постановке иерархические системы обычно классифицируются по числу уровней и характеру вертикальных связей. В настоящее время наиболее разработанная область теории ИСУ – двухуровневые иерархические системы [2; 4; 6; 8]. Структуру такой системы образуют «центр» (подсистема, осуществляющая управление в системе) и  $n$  подчиненных центру подсистем («производителей»). В этом случае центр является единственным элементом верхнего уровня, а  $n$  «производителей» составляют  $n$  элементов нижнего уровня. Структуру ИСУ удобно задавать графом связей. Вершины графа соответствуют элементам системы, дуги графа могут отражать как материальные, так и информационные связи. На рис. 1 изображена двухуровневая ИСУ, состоящая из центра и  $n$  «производителей».



Р и с. 1

Управление центра  $A_0$  обозначим через  $u=(u_1, u_2, \dots, u_n)$ , где  $u_i$  – управляющее воздействие центра на подчиненное ему подразделение  $B_i$ , находящееся на втором уровне иерархии, а пространство управлений –  $U$ . Будем считать, что подсистемы обладают определенными правами принятия решений, т. е.  $B_i$  выбирают управления  $v_i \in U_i(u)$ , где  $U_i(u)$  – пространство управлений подразделения  $B_i$ , предопределенное управлением  $u \in U$ , которое выбирается центром  $A_0$ . Векторы  $v_i$  – это продукты, т. е. результаты функционирования нижней ступени иерархии.

Будем считать, что центр  $A_0$  сам ничего не «производит», а «интересуется» совокупным результатом производства, «производители» же заинтересованы в своих результатах. Тогда критерий эффективности для центра можно выразить в виде  $h_0(u, v_1, v_2, \dots, v_n)$  ( $h_0 \geq 0$ ). Критерий эффективности  $i$ -й подсистемы в конечном счете представляет собой функцию  $h_i(u_i, v_i)$ , ( $h_i \geq 0$ ),  $i = \overline{1, n}$ , т. е.  $h_i$  зависит только от управления центра и управления данной подсистемы. В этом случае говорят, что модель двухуровневой иерархической системы имеет «верную» структуру. При этом все исследования значительно упрощаются.

Для определенности будем считать, что центр и «производители» стремятся максимизировать свои критерии эффективности. Далее везде множества  $U$  и  $U_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , а следовательно, и  $\prod_{i=1}^n U_i$  предполагаются компактными, а функции  $h_0$  и  $h_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , – непрерывными. Важнейшая особенность иерархических систем состоит в том, что первый ход делает центр, выбирая и сообщая каждому  $B_i$  значение  $u_i$ .

В общей постановке анализ двухуровневой модели ИСУ сводится к нахождению решения игры  $(n+1)$  лица [4; 6; 8]. При этом можно рассматривать как бескоалиционный, так и кооперативный варианты игры. Для формального описания игры необходимо определить ее участников, их критерии эффективности, стратегии и ограничения на поведение игроков. Задав описание игры, необходимо выбрать принцип оптимальности (принцип рационального поведения), что, в свою очередь, позволяет определить решение игры. В дальнейшем в качестве принципа оптимальности в бескоалиционном случае мы будем использовать равновесие по Нэшу.

Сообщая о своем управлении подчиненным подразделениям, центр тем самым входит в некоторую кооперацию с ними. В связи с этим практически более содержательным подходом является применение к данной задаче формализма кооперативных игр. Использование методологии кооперативной теории к ИСУ является естественным и по той причине, что во многих практических ситуациях принятия решений иерархическая система рассматривается как единый организм. При моделировании ИСУ кооперативными играми мы имеем дело с двумя элементами игры: характеристической функцией, измеряющей потенциальные силы коалиций, и векторами выигрышей игроков как дележей из  $S$ -ядра. Выбор  $S$ -ядра в качестве решения кооперативной игры как модели ИСУ объясняется тем, что недоминируемые дележи являются наиболее подходящими объектами достижения соглашений между индивидуумами, имеющими различные предпочтения. Однако применение этого принципа оптимальности затрудняется тем, что для многих игр  $S$ -ядро оказывается пустым. В связи с этим важной задачей является определение условий существования непустого  $S$ -ядра.

#### 1. Древоидная система управления

Перейдем теперь к исследованию конкретных ИСУ. Различия между обычными двух- и трехуровневыми системами управ-

ления не являются принципиальными. Обобщая схему двухуровневых систем для трехуровневых, получаем (рис. 2) для:

$$A_0: h(u, v_1, \dots, v_n, \varphi_{11}, \dots, \varphi_{ij}, \dots, \varphi_{nm_n}) \rightarrow \max_{u \in U},$$

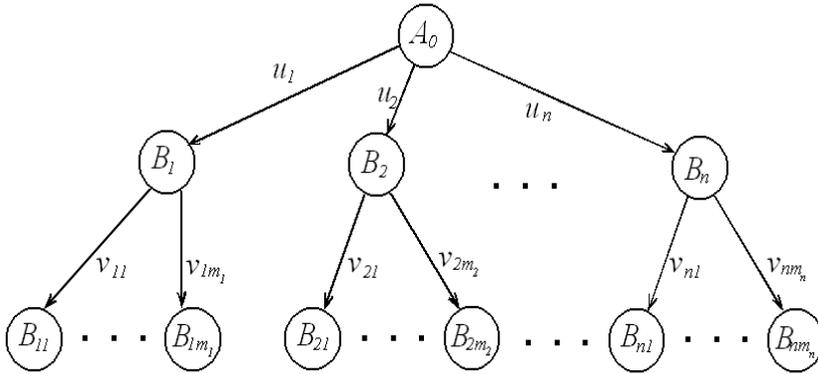
где  $\varphi_{ij}$  – управляющее воздействие подразделения третьего уровня иерархии  $B_{ij}$ ;

$$B_i: h_i(u_i, v_i, \varphi_{i1}, \dots, \varphi_{im_i}) \rightarrow \max_{v_i \in U_i(u_i)}, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

где  $v_i = (v_{i1}, \dots, v_{ij}, \dots, v_{im_i})$ ,  $v_{ij}$  – воздействие  $B_i$  на  $B_{ij}$ ;

$$B_{ij}: h_{ij}(v_{ij}, \varphi_{ij}) \rightarrow \max_{\varphi_{ij} \in U_{ij}(v_{ij})},$$

где  $U_{ij}(v_i)$  – множество управлений  $B_{ij}$ , предопределенное выбором управления  $v_i$  подразделения  $B_i$ .



Р и с. 2

В приведенных простейших схемах (см. рис.1–2) предполагается, что множество управлений и целевых функций подразделения  $i$ -го уровня зависит только от подразделений, предшествующих ему по иерархической линии, и не зависят от других подразделений  $i$ -го уровня (вертикальные связи). Под такое описание попадают, например, системы с последовательным подчинением подразделений.

Для простоты ограничимся рассмотрением двухуровневых систем, так как основные положения можно обобщить для более сложных систем. Рассмотрим древовидную систему управления с одним управляющим центром  $A_0$  и  $n$  подчиненными производственными подразделениями (см. рис. 1). Математически задача формулируется следующим образом [6–7].

Центр  $A_0$  распределяет ресурсы между производственными подразделениями  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , которые используют эти

ресурсы для производства продукции. Выигрыши управляющего центра  $A_0$  и  $n$  производственных подразделений  $B_1, B_2, \dots, B_n$  зависят от продукции, производимой  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Вектор ресурсов, имеющийся в распоряжении центра  $A_0$ , обозначим через  $b$ . Центр  $A_0$  выбирает вектор  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  из множества:

$$U = \{u = (u_1, \dots, u_k, \dots, u_n) \mid u_k \geq 0,$$

$$u_k \in R^l, k = \overline{1, n}; \sum_{k=1}^n u_k \leq b, b \geq 0\}.$$

Здесь  $u_k$  интерпретируется как вектор ресурса, выделяемый центром  $A_0$  производственному подразделению  $B_k$ . Возможности предприятия  $B_k$  определяются ресурсом  $u_k$ , получаемым от  $A_0$ , т. е. предприятие  $B_k$  выбирает свою производственную программу из множества  $U_k(u)$  неотрицательных векторов:  $v_k \in U_k(u) \subset R^m$ .

Пусть  $v = (v_1, \dots, v_k, \dots, v_n)$ . Множество векторов  $\{v\}$  стеснено ограничениями:  $v_k A_k \leq u_k + \alpha_k, v_k \geq 0, k=1, 2, \dots, n.$  (1)

Здесь вектор  $v_k$  интерпретируется как производственная программа  $k$ -го производственного подразделения по различным видам продукции;  $A_k$  – производственная, или технологическая, матрица  $k$ -го производственного подразделения ( $A_k \geq 0$ );  $\alpha_k$  – вектор наличных ресурсов  $k$ -го производственного подразделения ( $\alpha_k \geq 0$ ).

Формализуем задачу как бескоалиционную игру  $(n+1)$  лица – административного центра  $A_0$  и производственных подразделений  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Множество участников-игроков и множества их стратегий мы уже определили. Определим функции выигрыша. Для игрока  $A_0$ :

$$K_0(u, v_1(u_1), \dots, v_n(u_n)) = \sum_{i=1}^n (a_i, v_i(u)),$$

где  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  – стратегия игрока  $A_0$ ;  $v_i(u_i)$  (производственная программа  $B_i$  зависит от ресурса  $u_i$ , выделяемого ему центром  $A_0$ , поэтому его стратегия есть функция от параметра  $u_i$  или в общем случае от  $u$ ) – стратегия игрока  $B_i$ , удовлетворяющая условию (1);

$a_i (a_i \geq 0, a_i \in R^1, i = \overline{1, n})$  – вектор полезности центра  $A_0$  от продукции, выпускаемой  $i$ -м производственным подразделением;

$(a_i, v_i(u))$  – скалярное произведение векторов  $a_i$  и  $v_i(u)$ . Функция выигрыша игрока  $B_i (i = \overline{1, n})$ :

$$K_i(u, v_1(u_1), \dots, v_n(u_n)) = (c_i, v_i(u)),$$

где  $c_i (c_i \geq 0, c_i \in R^1, i = \overline{1, n})$  – вектор полезности  $B_i$  от своей продукции.

Каждый из игроков естественно стремится максимизировать свой выигрыш. Таким образом, мы определили бескоалиционную игру  $(n+1)$  лица в нормальной форме:

$$\Gamma = \{A_0, B_1, \dots, B_n\}, U,$$

$$\{U_i(u)\}_{i \in [1, n]}, \{K_i(\bullet)\}_{i \in [0, n]}.$$

2. Ситуация равновесия по Нэшу в древовидной иерархической игре

Заметим, что игроки  $B_i, i = \overline{1, n}$ , выбирают свои стратегии (производственные

программы) в зависимости от стратегии игрока  $A_0$ . Рассматриваемая игра является игрой с полной информацией и, следовательно, в ней существует ситуация равновесия в чистых стратегиях.

Найдем ситуацию равновесия в описанной выше бескоалиционной игре. Рассмотрим задачу параметрического программирования (параметром является вектор  $u$ ):

$$\max_{v_i} (c_i, v_i(u)) \quad (2)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} v_i A_i &\leq u_i + \alpha_i, \\ v_i &\geq 0, u_i &\geq 0, \alpha_i &\geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решение задачи (2) – (3)  $v_i^* = v_i^*(u)$  оказывается функцией параметра  $u$  и определяет оптимальную стратегию игрока  $B_i$ . Выигрыш игрока  $B_i$  в ситуации  $v_i^*(u)$  равен  $(c_i, v_i^*(u))$ .

Пусть далее  $u^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$  – решение задачи:

$$\max_u \sum_{i=1}^n (a_i, v_i^*(u)) \quad (4)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n u_i &\leq b, \\ u_i &\geq 0, i = \overline{1, n}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Заметим, что задача (4) – (5) является задачей нелинейного программирования с существенно разрывной целевой функцией (максимизация ведется по  $u$ , а  $v_i^*(u)$  – разрывная функция параметра  $u$ ). Вектор  $u^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$  определяет оптимальный план распределения ресурсов, с точки зрения игрока  $A_0$ .

*Теорема 1.* Совокупность

$$(u^*, v_1^*(u), \dots, v_i^*(u), \dots, v_n^*(u)), \quad (6)$$

где  $u^*$  – решение задачи (4) – (5), а  $v_i^*(u)$  – решение задачи (2) – (3) при параметре  $u$ , является ситуацией равновесия в рассматриваемой игре.

*Доказательство.* По определению решения задачи (4) – (5) для всех  $u \in U$ :

$$\begin{aligned} K_0(u^*, v_1^*(u^*), \dots, v_n^*(u^*)) &= \\ &= \sum_{i=1}^n (a_i, v_i^*(u^*)) \geq \sum_{i=1}^n (a_i, v_i^*(u)) = \\ &= K_0(u, v_1^*(u), \dots, v_n^*(u)), \end{aligned}$$

по определению же решения задачи (2) – (3) для всех  $v_i \in U_i(u_i)$ :

$$\begin{aligned} K_i(u^*, v_1^*(u^*), \dots, v_i^*(u^*), \dots, v_n^*(u^*)) &= \\ &= (c_i, v_i^*(u^*)) \geq (c_i, v_i(u^*)) = \\ &= K_i(u^*, v_1^*(u^*), \dots, v_{i-1}^*(u^*), \\ &v_i(u^*), v_{i+1}^*(u^*), \dots, v_n^*(u^*)), i = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Таким образом, каждому из игроков  $A_0, B_1, \dots, B_n$  невыгодно в одностороннем порядке отклоняться от ситуации (6), т. е. она является равновесной.

Эта ситуация устойчива к отклонению от нее любой коалиции  $S \subset \{B_1, \dots, B_n\}$ . Действительно, пусть  $S = \{B_{i_1}, \dots, B_{i_q}\}$  – произвольная группа игроков (без  $A_0$ ). Для любого  $\{B_{i_k}\} \in S, k = \overline{1, q}$ , и любой стратегии  $\bar{v}^S = (\bar{v}_{i_1}, \dots, \bar{v}_{i_q})$  имеем:

$$\begin{aligned} K_{i_k}(u^*, v_1^*(u^*), \dots, v_i^*(u^*), \dots, v_n^*(u^*)) &= \\ &= (c_{i_k}, v_{i_k}^*(u^*)) \geq (c_{i_k}, \bar{v}_{i_k}(u^*)) = \\ &= K_{i_k}(u^*, v^*(\bar{u}^*) \parallel \bar{v}^S(u^*)). \end{aligned}$$

Итак, групповое отклонение от ситуации равновесия (6) невыгодно ни для одного из игроков  $B_1, \dots, B_n$ . Следовательно, ситуация (6) будет сильно равновесной, если предполагать, что в коалицию будут вступать лишь игроки  $B_1, \dots, B_n$ , и почти сильно равновесной, если в коалицию может вступить и игрок  $A_0$  [8].

Построим еще одну ситуацию равновесия в игре Г. Рассмотрим задачу нелинейного программирования:

$$\max_{v_i} (c_i, v_i(0)) \quad (7)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} v_i A_i &\leq \alpha_i, \\ v_i &\geq 0, \alpha_i \geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Пусть  $v_i^*(0)$  – решение задачи (7) – (8). Положим  $(c_i, v_i^*(0)) = \beta_i$ . Пусть далее  $\bar{u} = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n)$  и  $\bar{v} = (\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_n)$  – решение задачи:

$$\max_u \max_{v_i, i \in \{1, n\}} \sum_{i=1}^n (a_i, v_i(u)) \quad (9)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n u_i &\leq b, \\ (c_i, v_i(u)) &\geq \beta_i, i = \overline{1, n}, \\ u_i &\geq 0, v_i \geq 0, i = \overline{1, n}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Определим стратегию

$$[u^H]^* = ([u_1^H]^*, [u_2^H]^*, \dots, [u_n^H]^*), \text{ где}$$

$$[u_i^H]^* = \begin{cases} \bar{u}_i, & \text{если } v_i = \bar{v}_i, \\ 0, & \text{если } v_i \neq \bar{v}_i. \end{cases}$$

Эту стратегию будем называть стратегией «наказания», смысл происхождения которой ясен из определения. Положим

$$\bar{v}_i(u) = \begin{cases} \bar{v}_i, & \text{если } u = \bar{u} \\ \text{произвольная функция } v_i(u), & \\ \text{удовлетворяющая ограничениям} & \\ \text{если } u \neq \bar{u}. & \end{cases} \quad (3)$$

*Теорема 2.* Совокупность

$$([u^H]^*, \bar{v}_1(\bar{u}), \dots, \bar{v}_i(\bar{u}), \dots, \bar{v}_n(\bar{u})) \quad (11)$$

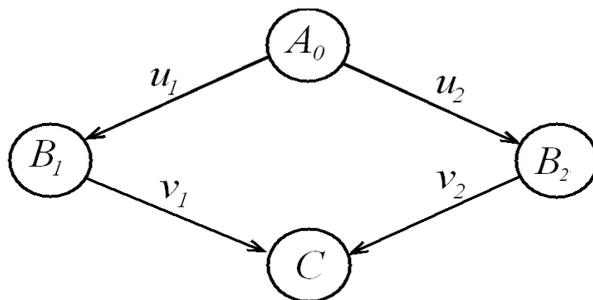
является ситуацией равновесия в рассматриваемой игре.

*Доказательство.* По определению решения задачи (9) – (10) для всех  $u \in U$ :

$$\begin{aligned}
 & K_0 \left( [u^H]^*, \bar{v}_1(\bar{u}), \dots, \bar{v}_i(\bar{u}), \dots, \bar{v}_n(\bar{u}) \right) = \\
 & = \sum_{i=1}^n (a_i, \bar{v}_i(\bar{u})) \geq \sum_{i=1}^n (a_i, v_i(u)) = \\
 & = K_0(u, \bar{v}_1(u), \dots, \bar{v}_i(u), \dots, \bar{v}_n(u)),
 \end{aligned}$$

а для всех  $v_i \in U_i(u_i)$ :

$$\begin{aligned}
 & K_i \left( [u^H]^*, \bar{v}_1(\bar{u}), \dots, \bar{v}_i(\bar{u}), \dots, \bar{v}_n(\bar{u}) \right) = \\
 & = (c_i, \bar{v}_i(\bar{u})) \geq (c_i, v_i^*(0)) = \beta_i, i = \overline{1, n}.
 \end{aligned}$$



Р и с. 3

Управление подразделения двойного подчинения  $C$  зависит как от управления  $B_1$ , так и от управления  $B_2$ . Простейшая ромбовидная система управления является примером иерархической системы с тремя уровнями принятия решения. На высшем уровне находится административный центр, располагающий материальными и трудовыми ресурсами. Он воздействует на деятельность двух подчиненных ему административных центров, принадлежащих следующему уровню. От решений, принимаемых этими центрами, зависит объем производства предприятия, находящегося на нижнем уровне иерархической системы.

Построим теоретико-игровую модель этой системы управления. Будем рассматривать ее как игру четырех лиц. Задача состоит в построении оптимального плана действий административных центров  $A_0, B_1$  и  $B_2$ .

Обозначим через  $b$  вектор ресурсов, которыми располагает игрок  $A_0$ .

Следовательно, ситуация (11) является равновесной по Нэшу в игре  $\Gamma$ . Можно показать, что эта ситуация устойчива против отклонения от нее любой коалиции игроков  $S \subset \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ .

### 3. Ромбовидная система управления

На практике часто встречаются организации двойного (параллельного) подчинения. Иерархические системы с подразделениями двойного подчинения называются ромбовидными [8; 10]. Простейшая схема ромбовидной системы управления приведена на рис. 3.

Переходя к игровой постановке, будем считать, что на первом шаге ходит игрок  $A_0$  и выбирает элемент (стратегию)  $u = (u_1, u_2)$  из множества:

$$\begin{aligned}
 & U = \{u = (u_1, u_2) | u_k \geq 0, u_k \in R^l, \\
 & k = 1, 2; u_1 + u_2 \leq b, b \geq 0\}.
 \end{aligned}$$

Вектор  $u_i$  интерпретируется как набор ресурсов  $l$  наименований, выделяемых центром  $A_0$  для  $B_i, i = 1, 2$ . Множество  $U$  будем называть множеством стратегий игрока  $A_0$ . Элемент  $u \in U$  ограничивает возможность выбора игроков  $B_1$  и  $B_2$  на следующем шаге. Другими словами, множество альтернатив игрока  $B_1$  является функцией параметра  $u_1$  (будем обозначать ее через  $B_1(u_1)$ ) и аналогично множество альтернатив игрока  $B_2$  оказывается функцией параметра  $u_2$  ( $B_2(u_2)$ ). Через  $v_1 \in B_1(u_1)$  и  $v_2 = B_2(u_2)$  обозначим элементы мно-

жеств альтернатив игроков  $B_1$  и  $B_2$  соответственно.

На третьем шаге ходит игрок  $C$ . Его выбор (производственная программа) зависит от ресурсов  $v_1$  и  $v_2$ , т. е. множество альтернатив игрока  $C$  оказывается функцией параметров  $v_1$  и  $v_2$ . Обозначим его через  $C(v_1, v_2)$ , а элементы этого множества (производственные программы) – через  $w$ :

$$C(v_1, v_2) = \{w \mid wA \leq z + \alpha, w \geq 0, w \in R^k\},$$

где  $A$  – технологическая матрица для игрока  $C$  ( $A \geq 0$ ), компоненты вектора  $z = (v_1, v_2)$  являются компонентами вектора ресурсов, которые используются игроком  $C$ ;  $\alpha$  – вектор наличных ресурсов производственного подразделения  $C$  ( $\alpha \geq 0$ ).

Итак, стратегиями игрока  $A_0$  являются элементы  $u = (u_1, u_2) \in U$ ; стратегиями игроков  $B_1$ ,  $B_2$  и  $C$  – функции  $v_1(u_1)$ ,  $v_2(u_2)$  и  $w(v_1, v_2)$  соответственно, со значениями в множествах  $B_1(u_1)$ ,  $B_2(u_2)$  и  $C(v_1, v_2)$ , которые каждому возможному выбору игрока (или игроков), находящегося на более высоком уровне, ставят в соответствие выбор альтернативы данного игрока.

Определим функции выигрыша игроков. Выигрыши всех игроков зависят только от производственной программы  $w$ , выбираемой игроком  $C$ . Пусть  $((u_1, u_2), v_1(u_1), v_2(u_2), w(v_1, v_2))$  – некоторая ситуация игры, т. е.

$$u = (u_1, u_2) \in U, v_1 \in B_1(u_1), v_2 \in B_2(u_2), w \in C(v_1, v_2).$$

Тогда функции выигрыша игроков  $A_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  и  $C$  будут равны соответственно:

$$J_{A_0}((u_1, u_2), v_1(u_1), v_2(u_2), w(v_1, v_2)) = f_1(w);$$

$$J_{B_1}((u_1, u_2), v_1(u_1), v_2(u_2), w(v_1, v_2)) = f_2(w);$$

$$J_{B_2}((u_1, u_2), v_1(u_1), v_2(u_2), w(v_1, v_2)) = f_3(w);$$

$$J_C((u_1, u_2), v_1(u_1), v_2(u_2), w(v_1, v_2)) = f_4(w).$$

Здесь мы предполагаем, что  $f_i \geq 0$ ,  $i = \overline{1, 4}$ , и существует такое  $w_0 \in C(v_1, v_2)$ , что при всех  $v_1 \in B_1(u_1)$ ,  $v_2 \in B_2(u_2)$ ,  $u \in U$   $f_1(w_0) = f_2(w_0) = f_3(w_0) = f_4(w_0) = 0$ .

Таким образом мы определим бескоалиционную игру четырех лиц в нормальной форме:

$$\Gamma = \langle \{A_0, B_1, B_2, C\}, U, B_1(u_1),$$

$$B_2(u_2), C(v_1, v_2), f_1, f_2, f_3, f_4 \rangle.$$

4. Ситуация равновесия по Нэшу в ромбовидной иерархической игре

Найдем ситуацию равновесия по Нэшу в построенной игре. Для каждой пары  $(v_1, v_2)$ , где  $v_1 \in B_1(u_1)$ ,  $v_2 \in B_2(u_2)$ , игрок  $C$  решает следующую задачу параметрического программирования:

$$\max_w f_4(w) \quad (12)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} wA \leq z + \alpha, \\ w \geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решение задачи (12) – (13)  $w^* = w^*(v_1, v_2)$  оказывается функцией параметров  $v_1$  и  $v_2$  и определяет оптимальную стратегию игрока  $C$ . Выигрыш игрока  $C$  в ситуации  $w^*$  равен  $f_4(w^*)$ .

Рассмотрим вспомогательную параметрическую (с параметрами  $u_1, u_2$ ) игру  $\Gamma'(u_1, u_2) = \langle \{B_1, B_2\}, B_1(u_1), B_2(u_2), f_2, f_3 \rangle$  двух лиц  $B_1$  и  $B_2$ , где  $f_2 = f_2(w(v_1, v_2))$  и  $f_3 = f_3(w(v_1, v_2))$  – функции выигрыша игроков  $B_1$  и  $B_2$  соответственно.

Предположим, что в игре  $\Gamma'(u_1, u_2)$  существует ситуация равновесия по Нэшу –  $(v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2))$ . Пусть пара  $(u_1^*, u_2^*)$  есть решение следующей задачи нелинейного программирования:

$$\max_{(u_1, u_2)} f_1(w^*(v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2))) \quad (14)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} u_1 + u_2 &\leq b, \\ u_1 \geq 0, u_2 &\geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Решив эту задачу, найдем векторы  $u_1^*, u_2^*$ , определяющие оптимальные планы распределения ресурсов, с точки зрения игрока  $A_0$ .

*Теорема 3. Совокупность*

$$\left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*, v_2^*, w^* \right), \quad (16)$$

где  $(u_1^*, u_2^*)$  – решение задачи (14) – (15);  $(v_1^*, v_2^*)$  – ситуация равновесия в игре  $\Gamma'(u_1^*, u_2^*)$ ;  $w^*$  – решение задачи (12) – (13) при параметрах  $v_1^*, v_2^*$ , является ситуацией равновесия по Нэшу в игре  $\Gamma$ .

*Доказательство.* Для удобства введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} J_{A_0} \left( (u_1, u_2), v_1(u_1, u_2), v_2(u_1, u_2), w(v_1, v_2) \right) &= \\ = f_1 \left( w(v_1(u_1, u_2), v_2(u_1, u_2)) \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{B_1} \left( (u_1, u_2), v_1(u_1, u_2), \right. \\ \left. v_2(u_1, u_2), w(v_1, v_2) \right) = f_2 \left( w(v_1, v_2) \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{B_2} \left( (u_1, u_2), v_1(u_1, u_2), \right. \\ \left. v_2(u_1, u_2), w(v_1, v_2) \right) = f_3 \left( w(v_1, v_2) \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_C \left( (u_1, u_2), v_1(u_1, u_2), \right. \\ \left. v_2(u_1, u_2), w(v_1, v_2) \right) = f_4 \left( w(v_1, v_2) \right). \end{aligned}$$

По определению решения задачи (14) – (15), для всех  $(u_1, u_2) \in U$ :

$$\begin{aligned} J_{A_0} \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) &= \\ = \max_{(u_1, u_2) \in U} f_1 \left( w^*(v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2)) \right) &= \\ = f_1 \left( w^*(v_1^*(u_1^*, u_2^*), v_2^*(u_1^*, u_2^*)) \right) &\geq \\ \geq f_1 \left( w^*(v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2)) \right) &= \\ = J_{A_0} \left( (u_1, u_2), v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right). \end{aligned}$$

Поскольку  $v_1^*$  и  $v_2^*$  образуют ситуацию равновесия по Нэшу во вспомогательной игре  $\Gamma'(u_1, u_2)$ , то

$$\begin{aligned} J_{B_1} \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), \right. \\ \left. v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) = f_2 \left( w^*(v_1^*, v_2^*) \right) &\geq \\ \geq f_2 \left( w^*(v_1, v_2) \right) = J_{B_1} \left( (u_1^*, u_2^*), v_1 \right. & \\ \left. (u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) \end{aligned}$$

для всех  $v_1 \in B_1(u_1)$ ,

$$\begin{aligned} J_{B_2} \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) &= \\ = f_3 \left( w^*(v_1^*, v_2^*) \right) &\geq f_3 \left( w^*(v_1^*, v_2) \right) = \\ = J_{B_2} \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), v_2 \right. & \\ \left. (u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) \end{aligned}$$

для всех  $v_2 \in B_2(u_2)$ .

По определению решения задачи (12) – (13), для всех  $w \in C(v_1, v_2)$ :

$$\begin{aligned} J_C \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), \right. \\ \left. v_2^*(u_1, u_2), w^*(v_1, v_2) \right) &= \\ = \max_{w \in C(v_1, v_2)} f_4 \left( w(v_1, v_2) \right) &= f_4 \left( w^*(v_1, v_2) \right) \geq \\ \geq f_4 \left( w(v_1, v_2) \right) = J_C \left( (u_1^*, u_2^*), v_1^*(u_1, u_2), \right. & \\ \left. v_2^*(u_1, u_2), w(v_1, v_2) \right). \end{aligned}$$

Следовательно, ситуация (16) действительно является равновесной по Нэшу в игре  $\Gamma$  четырех лиц  $A_0, B_1, B_2$  и  $C$ .

Аналогично тому, как это делалось в случае древовидной системы управления, можно показать, что эта ситуация устойчива и против отклонения от нее любой группы игроков  $S \subset \{A_0, B_1, B_2\}$ .

Таким образом, иерархические системы управления предполагают наличие нескольких сторон, каждая из которых стремится к достижению своей цели, т. е. это типичная конфликтно-управляемая система. Именно поэтому принятие решения в таких системах, с позиций теории игр многих лиц, вполне оправдано. Особенностью игр, служащих моделями иерархических систем, является то, что в них имеется один игрок, выбирающий

свои стратегии независимо, а стратегии остальных зависят от выбора одного или нескольких игроков. При такой постановке для определения оптимальных стратегий игроков естественным образом возникают параметрические оптимизационные задачи. Это, безусловно, вносит дополнительные сложности,

в первую очередь технического порядка. Между тем в настоящее время для решения параметрических задач имеются достаточно хорошо разработанные вычислительные алгоритмы и поэтому такой способ определения оптимальных стратегий игроков можно считать конструктивным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гермейер, Ю. Б.** О некоторых задачах теории иерархических систем / Ю. Б. Гермейер, Н. Н. Моисеев // Проблемы прикладной математики и механики. – Москва : Наука, 1971. – С. 30–43.
2. **Горелик, В. А.** Иерархические оптимизационно-координирующие системы / В. А. Горелик // Кибернетика. – 1978. – № 1. – С. 87–94.
3. **Горелик, В. А.** Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах / В. А. Горелик, А. Ф. Кононенко. – Москва : Радио и связь, 1982. – 144 с.
4. **Кононенко, А. Ф.** Теоретико-игровой анализ двухуровневой иерархической системы управления / А. Ф. Кононенко // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1974. – № 5. – С. 1161–1170.
5. **Кононенко, А. Ф.** Теория игр и иерархические структуры / А. Ф. Кононенко // Планирование и управление экономическими целенаправленными системами. – Новосибирск : Наука, 1974. – С. 63–72.
6. **Моисеев, Н. Н.** Иерархические структуры и теория игр / Н. Н. Моисеев // Техническая кибернетика. – 1973. – № 6. – С. 1–11.
7. **Петросян, Л. А.** Древовидные системы управления / Л. А. Петросян, В. Д. Ширяев // Качественная теория дифференциальных уравнений и теория управления движением. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1985. – С. 80–90.
8. **Петросян, Л. А.** Иерархические игры : учебное пособие / Л. А. Петросян, В. Д. Ширяев. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1986. – 92 с.
9. **Ширяев, В. Д.** Древовидная иерархическая модель управления : материалы Республиканской научно-практической конференции «Формирование инновационной модели развития региона» / В. Д. Ширяев, Т. Н. Нестерова. – Саранск, 2003. – Ч. 1. – С. 163–166.
10. **Ширяев, В. Д.** Ромбовидная иерархическая система управления : материалы Всероссийской научной конференции «Проблемы устойчивого социально-экономического и культурного развития регионов Российской Федерации» / В. Д. Ширяев, Т. Н. Нестерова. – Саранск : Тип. «Крас. Окт.», 2004. – С. 217–219.

*Поступила 05.03.2014 г.*

*Об авторах:*

**Ширяев Виктор Дмитриевич**, профессор 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 физико-математических наук, доцент, [Shiryayevvd@mail.ru](mailto:Shiryayevvd@mail.ru)

**Анощенкова Екатерина Васильевна**, преподаватель кафедры фундаментальной информатики факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), [anoshehnkovaev@mail.ru](mailto:anoshehnkovaev@mail.ru)

**Бикмурзина Равиля Ряшитовна**, 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, [bravilya@mail.ru](mailto:bravilya@mail.ru)

Для цитирования: Ширяев, В. Д. Теоретико-игровые модели функционирования древовидных и ромбовидных систем управления / В. Д. Ширяев, Е. В. Анощенко, Р. Р. Бикмурзина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 13–23. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.013

## REFERENCES

1. Germeier Yu. B., Moiseev N. N. O nekotorykh zadachakh teorii ierarkhicheskikh sistem [On Some Problems of Hierarchical Systems Theory]. *Problemy prikladnoy matematiki i mekhaniki* – Problems of Applied Mathematics and Mechanics. Moscow, 1971, pp. 30–43.
2. Gorelik V. A. Ierarkhicheskie optimizatsionno-koordiniruyushchie sistemy [Hierarchical optimization and coordination systems]. *Cybernetics* – Kibernetika, 1978, no. 1, pp. 87–94.
3. Gorelik V. A., Kononenko A. F. Teoretiko-igrovye modeli prinyatiya resheniy v ekologo-ekonomicheskikh sistemakh [Game-theoretic models for decision-making in ecological and economic systems]. Moscow, Radio and Communications Publ., 1982, 144 p.
4. Kononenko A. F. Teoretiko-igrovoy analiz dvukhurovnevoy ierarkhicheskoy sistemy upravleniya [Game theoretic analysis of the two-level hierarchical structure of management]. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki* – The Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics, 1974, no. 5, pp. 1161–1170.
5. Kononenko A. F. Teoriya igr i ierarkhicheskie struktury [Game theory and hierarchical structures]. *Planirovanie i upravlenie ekonomicheskimi ts yelenapravlennymi sistemami* – Planning and managing of economic intentional systems. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 63–72.
6. Moiseev N. N. Ierarkhicheskie struktury i teoriya igr [Hierarchical structures and game theory]. *Tekhnicheskaya kibernetika* – Technical Cybernetics. 1973, no. 6, pp. 1–11.
7. Petrosyan L. A., Shiryayev V. D. Drevovidnye sistemy upravleniya [Tree-structure systems of management]. *Kachestvennaya teoriya differentsialnykh uravneniy i teoriya upravleniya dvizheniem* – Qualitative theory of differential equations and motion control theory. Saransk, Mordovia State University Press Publ., 1985, pp. 80–90.
8. Petrosyan L. A., Shiryayev V. D. Ierarkhicheskie igry: uchebnoe posobie [Hierarchical Games: Tutorial]. Saransk, Mordovia State University Press Publ., 1986, 92 p.
9. Shiryayev V. D., Nesterova T. N. Drevovidnaya ierarkhicheskaya model upravleniya [Tree-structure hierarchical model of management]. *Materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii "Formirovanie innovatsionnoy modeli razvitiya regiona"* – Materials of Republican Theoretical and Practical Conference "Formation of an Innovation Model for Regional Development". Saransk, 2003, part 1, pp. 163–166.
10. Shiryayev V. D., Nesterova T. N. Rombovidnaya ierarhicheskaja sistema upravleniya [Diamond-structure hierarchical system of management]. *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Problemy ustoychivogo sotsialno-ekonomicheskogo i kulturnogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii"* – Materials of All-Russian Scientific Conference "Problems of Stable Socio-Economic and Cultural Development of Russian Federation Regions". Saransk, Krasniy Oktyabr Publ., 2004, pp. 217–219.

### About the authors:

**Shiryayev Viktor Dmitriyevich**, professor of Fundamental Informatics chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Physico-mathematical sciences, docent, Shiryayevvd@mail.ru

**Anoshchenkova Ekaterina Vasilyevna**, lecturer of Fundamental Informatics chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), anoshelnkovaev@mail.ru

**Bikmurzina Ravilya Ryashitovna**, associate professor (docent) of Fundamental Informatics chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Pedagogical sciences, bravilya@mail.ru

For citation: Shiryayev V. D., Anoshchenkova E. V., Bikmurzina R. R. Teoretiko-igrovye modeli funktsionirovaniya drevovidnykh i rombovidnykh sistem upravleniya [Game-theoretic models of tree-structure and diamond-structure systems of management functioning]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 13–23. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.013

## К ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

**В. И. Никонов, В. Д. Антошкин**

В статье предлагается решение задачи оптимизации расположения треугольной сети средствами аналитической геометрии на сфере. Рассматривается задача о вписании в произвольный сферический треугольник равностороннего сферического треугольника наименьшей площади. Данная задача формулируется путем введения полярной системы координат на сфере и использованием некоторых результатов аналитической геометрии. Переход от полярной системы координат к тангенциальной через введение новых переменных позволяет свести исходную задачу к решению ряда более простых задач и получить аналитическое решение. Полученное решение дает более точные расчеты в задачах оптимизации при конструировании сборных сферических оболочек.

**Ключевые слова:** сборная сферическая оболочка, треугольная сеть, сферический треугольник, сферическое расстояние, площадь сферического треугольника.

## ON THE PROBLEM OF OPTIMIZING OF THE ARRANGEMENT OF SPHERICAL TRIANGLES

**V. I. Nikonov, V. D. Antoshkin**

The paper proposes a solution for the problem of optimizing of location of a triangular network using analytic geometry on a sphere. The authors consider the problem of refinement of equilateral spherical triangle of the smallest area in an equilateral spherical triangle. This problem can be formulated by introducing a polar coordinate system on the sphere and using of some of the results of analytical geometry. The transition from a polar coordinate system to the tangential by introducing the new variables allows to convert the original problem to the solution of a number of simpler problems and to receive an analytical solution. The resulting solution allows for more accurate calculations in optimization problems in the construction of prefabricated spherical shells.

**Keywords:** spherical segmental shell, triangular net, spherical triangle, spherical distance, area of a spherical triangle.

При конструировании сборных сферических оболочек возникает задача оптимального расположения треугольной сети на сфере с целью минимальности числа типоразмеров. В работах [3–4] были предложены некоторые варианты решения этой задачи.

В данной работе приводятся математическая постановка задачи оптимизации и способы ее решения.

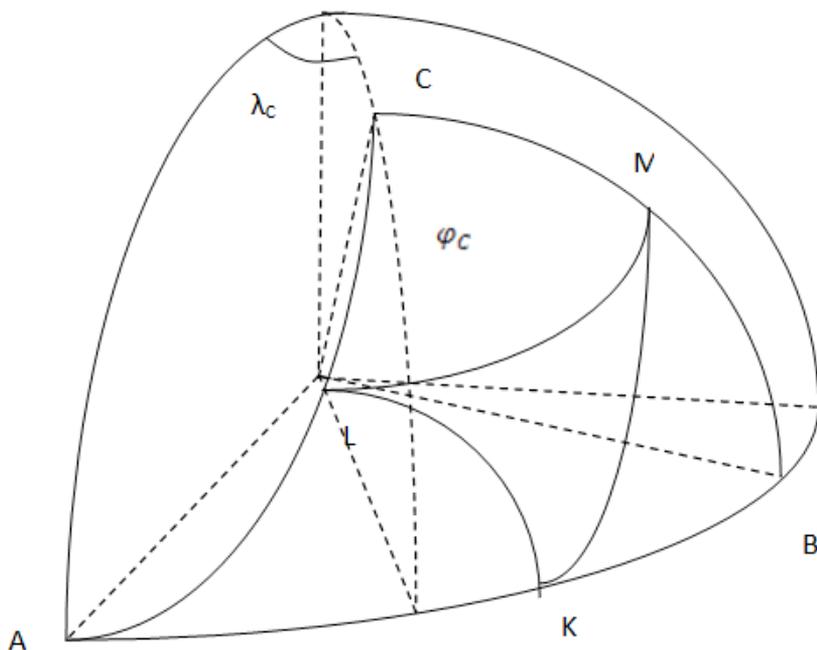
Пусть имеется произвольный сферический треугольник  $ABC$ , внутренние углы которого равны соответственно  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Как известно [1–2], всякий такой треугольник определяется по каким-либо трем заданным параметрам.

*Постановка задачи.* В треугольник  $ABC$  требуется вписать равносторонний сферический треугольник наименьшей площади.

Для решения поставленной задачи воспользуемся результатами аналитической геометрии на сфере [1]. Подобно прямоугольным координатам на плоскости, введем координаты на сфере. Возьмем точку  $A$  данного треугольника и назовем ее началом системы координат. Две взаимно перпендикулярные окружности больших кругов, проходящих через точку  $A$ , будут являться координатными осями. Таким образом, произвольная точка на сфере будет однозначно определена

двумя координатами – широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$  (рисунок). Данную систему коор-

динат можно назвать полярной системой сферических координат.



Р и с у н о к

Прямой на сфере будем называть любую окружность большого радиуса. Тогда уравнение прямой, проходящей через точки  $M_1(\varphi_1, \lambda_2)$  и  $M_2(\varphi_2, \lambda_2)$ , имеет вид:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \sin(\lambda - \lambda_2) - \operatorname{tg} \varphi_2 \sin(\lambda - \lambda_1)}{\sin(\lambda_1 - \lambda_2)}, \quad (1)$$

а расстояние  $s$  между этими точками, которое называется сферическим, определяется из соотношения:

$$\begin{aligned} \cos s &= \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \\ &+ \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2). \quad (2) \end{aligned}$$

Таким образом, данный сферический треугольник в выбранной системе координат определяется точками:

$$\begin{aligned} A(0, 0), B(0, \lambda_B), C(\varphi_C, \lambda_C), \\ 0 \leq \varphi_C < \frac{\pi}{2}, 0 \leq \lambda_C \leq \lambda_B < \frac{\pi}{2}. \end{aligned}$$

Составив уравнения сторон треугольника  $ABC$  по формуле (1), получим следующее:

$$AB - \operatorname{tg} \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = 0, 0 \leq \lambda \leq \lambda_B,$$

$$AC - \operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_C}{\sin \lambda_C} \sin \lambda, 0 \leq \lambda \leq \lambda_C,$$

$$BC - \operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_C}{\sin(\lambda_C - \lambda_B)} \sin(\lambda - \lambda_B),$$

$$\lambda_C \leq \lambda \leq \lambda_B.$$

Предположим, что  $MNK$  – искомый вписанный равносторонний треугольник. Обозначим внутренний угол этого треугольника  $D$ , длину стороны –  $s$ . С учетом системы координат, получаем:  $K(0, \lambda_K), L(\varphi_L, \lambda_L), M(\varphi_M, \lambda_M)$ . Тогда из (2) определим сферическое расстояние между этими точками:

$$\begin{aligned}
 LK - \cos s &= \cos \varphi_L \cos(\lambda_K - \lambda_L), \\
 MK - \cos s &= \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K), \\
 LM - \cos s &= \sin \varphi_L \sin \varphi_M + \\
 &+ \cos \varphi_L \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_L).
 \end{aligned}$$

Для того чтобы всякий треугольник, вписанный в треугольник  $ABC$ , был равносторонним, необходимо выполнение ряда условий:

$$\begin{cases}
 \cos \varphi_L \cos(\lambda_K - \lambda_L) = \\
 = \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K), \\
 \cos \varphi_L \cos(\lambda_K - \lambda_L) = \sin \varphi_L \sin \varphi_M + \\
 + \cos \varphi_L \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_L).
 \end{cases} \quad (3)$$

При этом

$$L \in AC \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_L = \frac{\operatorname{tg} \varphi_C}{\sin \lambda_C} \sin \lambda_L,$$

$$0 \leq \lambda_L \leq \lambda_B,$$

$$\begin{aligned}
 K \in AB \Rightarrow \varphi_K &= 0, \lambda = \\
 &= \lambda_K, 0 \leq \lambda_K \leq \lambda_B,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \in BC \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_M &= \\
 &= \frac{\operatorname{tg} \varphi_C}{\sin(\lambda_C - \lambda_B)} \sin(\lambda_M - \lambda_B).
 \end{aligned}$$

Определяя взаимосвязь внутреннего угла со сферическим расстоянием равностороннего треугольника, получаем соотношение:

$$\cos D = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{s}{2}}{2},$$

из которого определяется связь с введенными координатами:

$$\cos D = \frac{\cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K)}{1 + \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K)}.$$

Пусть  $S_{KLM}$  – площадь треугольника  $KLM$ , тогда

$$S_{KLM} = 3D - \pi \quad (\text{для сферы радиуса } R=1).$$

Из этого очевидно, что площадь будет наименьшей при наименьшем угле  $D$ .

Таким образом, поставленная задача свелась к задаче минимизации угла сферического равностороннего треугольника, как функции введенных координат  $D = D(\varphi_M, \lambda_K, \lambda_M)$ , удовлетворяющие условиям (3).

*Задача условной минимизации:*

Найти наименьшее значение функции:

$$D = \arccos \frac{\cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K)}{1 + \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K)},$$

удовлетворяющей системе условий:

$$U: \begin{cases}
 0 \leq \varphi_L \leq \varphi_C, 0 \leq \varphi_M \leq \varphi_C, \\
 0 \leq \lambda_K \leq \lambda_B, 0 \leq \lambda_L \leq \lambda_C, \\
 \lambda_C \leq \lambda_M \leq \lambda_B, \cos \varphi_L \cos(\lambda_K - \lambda_L) = \\
 = \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K), \cos \varphi_L \\
 \cos(\lambda_K - \lambda_L) = \sin \varphi_L \sin \varphi_M + \\
 + \cos \varphi_L \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_L).
 \end{cases}$$

По условию задачи, треугольник  $KLM$  – сферический равносторонний треугольник, поэтому угол  $D$  удовлетворяет условию:

$$\pi < 3D < 3\pi. \quad (4)$$

Отсюда приходим к условию:

$$\frac{\pi}{3} < D < \pi. \quad (5)$$

Тогда, если ввести обозначение

$$z = \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_K), \quad (6)$$

то функция

$$D = \arccos \frac{z}{1+z}$$

удовлетворяет (4), если

$$-\frac{1}{2} < z < 1. \quad (7)$$

Следует отметить, что в области (5) выполняется условие

$$D' = -\frac{1}{\sqrt{1+2z}(1+z)} < 0,$$

следовательно, наименьшее значение функции  $D = D(\varphi_M, \lambda_K, \lambda_M)$  в области (5) может принимать при наибольшем значении величины  $z$ .

Таким образом, исходная задача оптимизации принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & \max_U z, \\ & -\frac{1}{2} < z < 1. \end{aligned}$$

Введя обозначения

$$\begin{aligned} p &= \frac{\operatorname{tg} \varphi_C \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \lambda_C}}{\operatorname{tg} \lambda_C}, \\ q &= \frac{\operatorname{tg} \varphi_C \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \lambda_C}}{\operatorname{tg} \lambda_n - \operatorname{tg} \lambda_n}, k = \operatorname{tg} \lambda_B, \end{aligned} \quad (8)$$

и проведя замену переменных

$$x = \operatorname{tg} \lambda_L, y = \operatorname{tg} \lambda_M,$$

получим соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi_L = \frac{px}{\sqrt{1+x^2}}, \operatorname{tg} \varphi_M = \frac{q(k-y)}{\sqrt{1+y^2}}.$$

При этом функцию  $z$  можно представить в следующем виде:

$$z = \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_K x}{\sqrt{1+(1+p^2)x^2} \sqrt{1+\operatorname{tg}^2 \lambda_K}}. \quad (9)$$

Тогда условия равенства сторон  $KL$ ,  $LM$  и  $KM$  треугольника  $KLM$  примут вид:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \lambda_K = \frac{\sqrt{1+(1+p^2)x^2} - \sqrt{1+y^2+q^2(k-y)^2}}{x\sqrt{1+y^2+q^2(k-y)^2} - y\sqrt{1+(1+p^2)x^2}}, \\ \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_K x}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 \lambda_K}} = \frac{pxy}{\sqrt{1+y^2}} + \frac{1+xy}{\sqrt{1+y^2+q^2(k-y)^2}}. \end{cases}$$

Таким образом, исходная задача свелась к поиску максимума функции (9), удовлетворяющей условию (10) в области

$$0 \leq x \leq \operatorname{tg} \lambda_C, \operatorname{tg} \lambda_C \leq y \leq \operatorname{tg} \lambda_B.$$

Следует отметить, что система (9) определяет неявную функцию  $y = y(x)$  или  $x = x(y)$ . Тогда  $\operatorname{tg} \lambda_K$  также будет функцией одной переменной  $x$  или  $y$ . В результате полученная задача условной оптимизации может быть сведена к нахождению максимального значения функции  $z = z(y)$  в области (11).

*Случай произвольного остроугольного равнобедренного сферического треугольника*

Предположим, что треугольник  $ABC$  – равнобедренный остроугольный треугольник. Тогда соотношения (8) принимают вид:

$$\begin{aligned} p &= \frac{\operatorname{tg} \varphi_C \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \lambda_C}}{\operatorname{tg} \lambda_C}, \\ q &= \frac{p}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 2\lambda_C}}, k = \operatorname{tg} 2\lambda_C. \end{aligned}$$

Возможны два случая:

- точка  $K$  расположена на биссектрисе угла  $C$ ;
- точка  $K$  расположена не на биссектрисе угла  $C$ .

Вначале рассмотрим 1-й случай.

Тогда  $\operatorname{tg} \lambda_B = \operatorname{tg} 2\lambda_C$ ,  $\operatorname{tg} \lambda_K = \operatorname{tg} \lambda_C$  и система (10) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_C x}{\sqrt{1+(1+p^2)x^2}} = \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_C y}{\sqrt{1+y^2+q^2(k-y)^2}}, \\ \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_C x}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 \lambda_C}} = \frac{(1-pq)xy - kpqx + 1}{\sqrt{1+y^2+q^2(k-y)^2}}. \end{cases} \quad (12)$$

Функция  $Z$  при этом может быть представлена в виде

$$z = \frac{1 + \operatorname{tg} \lambda_c x}{\sqrt{1 + (1 + p^2)x^2}}.$$

Таким образом, следует найти максимум функции (13) при выполнении условий (12).

Следует отметить, что без учета условий (12) функция (13) принимает максимальное значение при

$$x = \frac{\operatorname{tg} \lambda_c}{1 + p^2} \in (0, \operatorname{tg} \lambda_c).$$

Второй случай.

Если ввести обозначение

$$Q_1 = \sqrt{1 + (1 + p^2)x^2}, Q_2 = \sqrt{1 + y^2 + q^2(k - y)^2},$$

то тогда оптимизируемую функцию  $z$  можно представить в виде

$$z = \frac{(1 - pq)xy + pqkx + 1}{Q_1 Q_2},$$

а условия (12) можно записать как

$$\begin{cases} z = f, \\ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial z}{\partial x}, \end{cases}$$

где

$$f = \frac{y - x}{\sqrt{(x^2 + 1)Q_2^2 - 2(xy + 1)Q_1 Q_2 + (y^2 + 1)Q_1^2}}.$$

Применяя приведенные выше результаты к равнобедренному треугольнику с параметрами

$$p = 2, q = \frac{7}{4}, k = \frac{\sqrt{15}}{7} \text{ (ребра треуголь-$$

ника -30, угол  $C=60$ ),

имеем следующие результаты:

– для первого случая – равносторонний сферический треугольник со стороной 15,2036;

– для второго случая – треугольник со стороной 15,2033.

Таким образом, условию поставленной задачи удовлетворяет второй случай.

В результате проведенных исследований поставленная задача условной оптимизации функции нескольких переменных была сведена к исследованию функции одной переменной. Полученное решение позволит проводить более точные расчеты в задачах оптимизации при конструировании сборных сферических оболочек.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вентцель, М. К.** Сферическая тригонометрия / М. К. Вентцель. – Москва : Изд-во геодез. и картограф. лит. – 1948. – 154 с.
2. **Степанов, Н. Н.** Сферическая тригонометрия / Н. Н. Степанов. – Ленинград ; Москва : ОГИЗ. – 1948. – 154 с.
3. Патент на полезную модель, Российская Федерация, № 129534. Сборная сферическая оболочка / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, В. Т. Ерофеев. – опубл. 27.06.2013 г.
4. Патент на изобретение, Российская Федерация, № 2012116363. Сборная сферическая оболочка / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, В. Т. Ерофеев. – опубл. 20.02.2014 г.

Поступила 01.12.2014 г.

Об авторах:

**Никонов Владимир Иванович**, 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, доцент, nik\_vl@mail.ru

**Антошкин Василий Дмитриевич**, заведующий кафедрой архитектуры архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, antovd@mail.ru

*Для цитирования:* Никонов, В. И. К задаче оптимизации расположения сферических треугольников / В. И. Никонов, В. Д. Антошкин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 24–29. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.024

## REFERENCES

1. Venttsel M. K. Sfericheskaya trigonometriya [Spherical trigonometry]. Moscow, Geodesic and Cartographic Literature Publ., 1948, 154 p.
2. Stepanov N. N. Sfericheskaya trigonometriya [Spherical trigonometry]. Leningrad, Moscow, OGIZ Publ., 1948, 154 p.
3. Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T. Sbornaya sfericheskaya obolochka. Patent na poleznuyu model RU №129534 ot 27.06.13 g. [Prefabricated spherical shells. Utility patent RU no. 129534 of 27.06.13].
4. Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T. Sbornaya sfericheskaya obolochka [Patent] – Patent na izobretenie RU №2012116363 ot 20.02.14 g. [Prefabricated spherical shells. Invention patent RU no. 2012116363 of 20.02.14].

### *About the authors:*

**Nikonov Vladimir Ivanovich**, associate professor (docent) of Algebra and Geometry chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Physico-Mathematical sciences, docent, [nik\\_vl\\_@mail.ru](mailto:nik_vl_@mail.ru)

**Antoshkin Vasily Dmitriyevich**, head of Architecture chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, [antovd@mail.ru](mailto:antovd@mail.ru)

*For citation:* Nikonov V. I., Antoshkin V. D. K zadache optimizatsii raspolozheniya sfericheskikh treugolnikov [On the problem of optimizing of the arrangement of spherical triangles]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 24–29. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.024

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ

**И. В. Харитонова**

В статье рассматриваются условия организации самостоятельной работы студентов при осуществлении дифференцированного подхода в обучении математике. Особое внимание уделяется рассмотрению факторов, способствующих повышению эффективности обучения математике. Отмечаются наиболее общие признаки самостоятельности студентов. Подчеркивается, что задача дифференциации обучения в условиях коллективной деятельности достаточно сложна, и, в свою очередь, требует внедрения в учебный процесс новых методик, позволяющих совершенствовать математическую подготовку. Существует тесная взаимосвязь понятий дифференциации и индивидуализации обучения. Выделяются условия, выполнение которых необходимо для успешного и эффективного осуществления дифференциации обучения. При организации уровневой дифференциации не следует забывать о наличии разнообразных форм и методов ее достижения. Например, одним из путей осуществления уровневой дифференциации обучения может стать формирование мобильных групп студентов. Учитывая сказанное, можно смоделировать процесс организации самостоятельной работы с двух сторон – со стороны деятельности преподавателя и со стороны деятельности студентов.

**Ключевые слова:** самостоятельная работа, самостоятельность, дифференцированный подход, обучение математике.

## DIFFERENTIATED APPROACH TO ORGANIZATION OF UNSUPERVISED WORK OF STUDENTS LEARNING MATH

**I. V. Kharitonova**

The article considers the conditions of organization of independent work of students in the implementation of a differentiated approach to teaching mathematics. Particular attention is paid to the factors that contribute to the effectiveness of teaching to mathematics. The article highlights the most common signs of independence of students. It is emphasized that the problem of differentiation of instruction in terms of collective action is quite complicated and, in turn, requires the implementation of the learning process of new methods that allow to improve the mathematical training. There is a close relationship concepts of differentiation and individualization of instruction a the conditions that must be fulfilled for the successful and effective implementation of a differentiated instruction. At the organization level differentiation a teacher should not forget about the great variety of forms and methods of achieving it. For example, one of the ways of implementing the training level differentiation may be the formation of mobile teams of students. That being said, a teacher can simulate the process of organization of independent work from two sides – from the work of a teacher and by activities of students.

**Keywords:** unsupervised work, self-determination, differentiated approach, the learning of mathematics.

Важнейшая цель современной высшей школы – дать личности на любом уровне вузовского образования не только общую и профессиональную подготовку, но и необходимую базу для дальнейшего ее совершенствования. Педагогический процесс в вузе должен строиться таким образом, чтобы развивать самостоятельность студентов, готовить их к продолжению образования на протяжении трудовой деятельности. В данном случае система обучения должна быть ориентирована не на овладение системой готового знания, а на овладение способами самостоятельного его добывания. Большую роль в этом направлении может сыграть организация самостоятельной работы студентов. Характерной особенностью самостоятельной работы студентов как специфического вида деятельности учения является наличие двуединой цели: формирование самостоятельности как черты личности и усвоение теоретических знаний в совокупности с формированием практических умений и навыков [4, с. 70].

Отметим наиболее общие признаки самостоятельности студентов как при обучении математике, так и при обучении другим предметам: стремление и умение сразу включаться в самостоятельную деятельность; стремление решить задание разными способами; внесение элементов рационализации при выполнении практических и лабораторных работ; умение критически подходить к фактам; умение произвести перенос знаний и навыков в новую ситуацию.

Осуществление дифференцированного подхода к организации самостоятельной работы представляется наиболее эффективным, так как он направлен на наиболее полную и успешную реализацию каждым конкретным студентом своих способностей и возможностей при изучении математики. Вместе с тем следует отметить, что задача дифференциации обучения в условиях коллективной деятельности достаточно сложна, и, в свою очередь, требует внедрения в учебный процесс новых методик, по-

зволяющих совершенствовать математическую подготовку.

Существует тесная взаимосвязь понятий «дифференциация» и «индивидуализация» обучения. Индивидуализацию и дифференциацию обучения можно рассматривать одновременно и как требование к основному содержанию обучения, и как средство обучения, так как при этом учитываются неоднородность студентов в группах, разнообразие их интересов и склонностей, обеспечивается формирование индивидуальных способностей. В методической литературе дается различное толкование терминов «индивидуализация» и «дифференциация». В одних исследованиях под индивидуализацией понимается учет в процессе обучения индивидуальных особенностей студентов во всех его формах и методах. Это так называемая индивидуализация в широком смысле. В узком смысле индивидуализация (или внутренняя дифференциация) – это учет индивидуальных особенностей студентов в условиях работы в группах по типовым программам. Индивидуальный и дифференцированный подходы к студентам способствуют разностороннему развитию личности, росту интереса к процессу обучения, сознательному освоению профессии [3].

Среди условий, необходимых для успешного и эффективного осуществления дифференциации обучения, выделяют следующие:

– открытость уровней усвоения материала и результатов обучения для студентов: если цели обучения известны и посильны учащемуся, а их достижение поощряется, то он стремится к их выполнению, т. е. формируются положительные мотивы к обучению, сознательное отношение к учебной работе, а для организации дифференцированной работы можно привлечь и самооценку студента;

– необходимость выраженной градации между уровнем требований и уровнем обучения: уровень требований должен существенно превышать

обязательный уровень усвоения материала, т. е. осуществление уровневой дифференциации происходит не за счет предъявления студентам различных уровней требований к усвоению материала, а за счет предусмотрения и выделения всех уровней усвоения учебного материала, в том числе минимально обязательного;

– обеспечение последовательности в продвижении студента по уровням обучения: не следует предъявлять более высоких требований к студентам, не достигшим уровня обязательной подготовки, но при этом не стоит необоснованно задерживать остальных учащихся на этом этапе;

– контроль и оценка должны отражать принятый уровневый подход; контроль должен предусматривать проверку достижения студентами обязательных результатов обучения как государственных требований; дополняться проверкой усвоения материала на более высоких уровнях, при этом достижение обязательных результатов целесообразно оценивать «зачтено» – «не зачтено»; для более высоких уровней целесообразно разработать соответствующую шкалу оценивания.

При организации уровневой дифференциации не следует забывать о наличии разнообразных форм и методов ее достижения. Например, одним из путей осуществления уровневой дифференциации обучения может стать формирование мобильных групп студентов:

– первая группа – студенты с высоким темпом продвижения в обучении, для них достаточно общих схем выполнения типовых или усложненных задач, предполагающих применение нескольких известных способов решения;

– вторая группа – студенты со средним темпом продвижения в обучении: для них овладение новыми знаниями и умениями не вызывает особых затруднений; способы выполнения типовых задач усваиваются после рассмотрения 2–3 образцов; нахождение решения измененных и усложненных задач происходит с опорой на указания преподавателя;

– третья группа – студенты с низким темпом продвижения: при усвоении нового материала они испытывают определенные затруднения; во многих случаях нуждаются в дополнительных разъяснениях; обязательными результатами обучения овладевают после продолжительной тренировки; как правило, не проявляют способностей к самостоятельному нахождению решений измененных и усложненных задач;

– четвертая группа – неуспевающие студенты: они значительно отстают и имеют существенные пробелы в знаниях; даже достижение уровня обязательных результатов представляет для них сложную педагогическую задачу [1].

Предлагаемый дифференцированный подход имеет ряд преимуществ перед традиционным. Он дает преподавателю четкие ориентиры для отбора содержания самостоятельной работы, позволяя сделать ее целенаправленной. Организуемая преподавателем работа выглядит объективной в глазах студента. Важно, что студент может самостоятельно оценить свои возможности и выбрать для себя тот уровень, который соответствует его возможностям и потребностям в данный момент времени. Все это является гарантией оперативности, гибкости, мобильности дифференциации, создает в группе атмосферу взаимного доверия между преподавателем и студентами, способствует формированию у разных категорий студентов положительной мотивации к обучению.

Успешность в обучении, т. е. в усвоении знаний и формировании умений и навыков студентов, зависит также от уровней сформированности их профессионально-творческой самообразовательной деятельности. В основе данных уровней лежит взаимосвязь между уровнем самостоятельности студентов и степенью развития их профессионально-познавательной активности. Так, на первом, имитирующем, уровне деятельность студента характеризуется следующими моментами: мотивация может носить как внешний, так и внутренний характер; возможен устой-

чивый интерес к получаемым знаниям, однако предпочтение отдается воспроизводящим, копирующим действиям; знания носят бессистемный характер, у студента часто возникают трудности при выполнении самостоятельной работы, он не умеет известные знания переносить в новые ситуации; поисковая деятельность возникает по инициативе преподавателя и характеризуется низким уровнем самостоятельности. Второй уровень – интерпретирующий, характерен тем, что деятельность студента отличается устойчивым интересом к процессу получения знаний. Предпочтение отдается применению усвоенных на занятиях знаний, способов действия в решении однотипных задач. Процесс накопления знаний характеризуется системностью, научностью, появляется стремление к поисковой деятельности, которая не всегда достигает цели, но характеризуется интерпретирующей активностью. Самостоятельная познавательная деятельность носит частично-поисковый характер, с элементами творчества, что соответствует среднему уровню самостоятельности. На третьем, творческом, уровне предпочтение отдается процессу самостоятельного добывания знаний, применению их в нестандартной ситуации, выстраиванию причинно-следственных зависимостей, т. е. теоретические знания начинают носить развивающий характер, отличаться глубиной и научностью. Самостоятельная познавательная деятельность студента характеризуется инициативностью, способностью к прогнозированию, творческим подходом, что свидетельствует о ее высоком уровне. Таким образом, чем сильнее проявляется самостоятельность обучающегося, тем выше степень развития его познавательной активности [2].

Одним из важных факторов, влияющих на формирование самостоятельности студентов при обучении математике, становится учет специфики математических знаний, основной особенностью которых является их абстрактный характер. Из этого следуют

абсолютность научной истины в математике и необходимость логической последовательности построения любого учебного математического курса. Практика применения математических знаний имеет также умозрительный характер, при котором существенно возрастает роль четкости и корректности поставленной перед обучаемым задачи, логики его рассуждений, культуры логического мышления.

Необходимо научить студента самостоятельно систематизировать получаемые знания, выделять главное и второстепенное, анализировать и выбирать оптимальные пути и средства для решения предъявляемых математических задач. Воспитание у студентов навыков и склонности к непрерывному самообразованию, самостоятельному освоению, анализу и отбору новой, полезной для их профессионального развития и совершенствования, информации является одной из важных и, к сожалению, трудно осуществимых целей обучения.

Учитывая сказанное, можно смоделировать процесс организации самостоятельной работы студентов с двух сторон – со стороны деятельности преподавателя и со стороны деятельности студентов. Так, преподаватель устанавливает содержание; выделяет те знания, на основе которых ведется изучение и освещение данной темы; выделяет основные вопросы; устанавливает необходимый минимум знаний; определяет оптимальный вариант изложения и раскрытия основного содержания; отбирает наглядные средства; устанавливает объем требований, предъявляемых к знаниям студентов; определяет формы и методы их работы; устанавливает формы и методы руководства и контроля. Студенты повторяют необходимый теоретический материал; устанавливают и отбирают ключевые вопросы по теме занятия; определяют содержание тех знаний, которые требуются при проверке и оценке; выполняют полученные задания; составляют тезисы; представляют составленные вопросы

и ответы по содержанию лекций на консультациях или практических занятиях; выполняют различные практические работы. Организация самостоятельной работы студентов в данном случае может строиться по следующей схеме: на лекции преподаватель дает основные теоретические положения изучаемой темы, указывает литературные источники (основные и дополнительные) и дает задания для самостоятельной работы теоретического характера (например, составить тезисы прочитанной лекции, самостоятельно доказать теоремы, найти в литературе сведения по обозначенным вопросам, обобщить и систематизировать изученный материал). Во время практического занятия студенты получают задания для самостоятельной работы как для всей группы в целом, так и индивидуальные. Поскольку никто, кроме самого студента, не может знать степень его подготовленности к изучению того или иного материала, то уровень его усвоения и уровень практического задания студент должен выбирать сам, не пренебрегая при этом помощью преподавателя, если это необходимо. Преподаватель может контролировать самостоятельно выбранный студентом уровень освоения учебного материала и корректировать его с объективным уровнем знаний, чтобы затем системой дидактических мер повышать его, если это возможно и нужно. Большую роль в организации такой работы играют консультативные занятия, на которых студенты могут восполнять пробелы в теоретическом или практическом усвоении знаний и умений. При этом особое значение должно придаваться обучению студентов навыкам самостоятельной работы, а также методам самостоятельного приобретения знаний и проецирования приобретенных умений и навыков на решение новых проблем, которых не было в процессе обучения [5, с. 40].

Осуществление дифференцированного подхода в обучении сводится, таким образом, к способу организации

процесса обучения, позволяющему оптимально управлять познавательной деятельностью групп студентов с учетом их индивидуальных реальных возможностей. При дифференцированном обучении каждому студенту предоставляется возможность достичь сравнительно высокого уровня развития. Эффективная реализация дифференцированного подхода в обучении математике возможна при соблюдении следующих условий:

- знание реальных учебных возможностей, индивидуальных особенностей студентов;

- четкая постановка цели деятельности;

- соответствие средств обучения целями учебной деятельности;

- соизмеримость сложности выдвигаемых учебных задач с реальными возможностями студентов; в отдельных случаях возможно временное понижение степени сложности учебной задачи с последующим ее повышением в соответствии с целью деятельности; в случаях, когда возможности студента выше объективных требований, предъявляемых к группе, возможно повышение степени сложности.

Самостоятельные работы студентов по изучению нового материала и по применению изученной теории к решению задач могут быть дифференцированы по степени помощи со стороны преподавателя. Большинство методов дифференциации помощи студентам со стороны преподавателя могут быть объединены в следующие основные группы: указание типа задачи, правила, на которое опирается упражнение; дополнение к заданию в виде чертежа, схемы (здесь возможны дополнительные варианты помощи, такие как рисунок, чертеж без обозначений, чертеж с обозначениями, чертеж со значениями величин и др.); запись условия в виде таблицы, матрицы, графика и др.; указание алгоритма решения; приведение задачи, аналогичной решенной ранее; объяснение хода выполнения подобного

задания; предложение выполнить вспомогательное задание, наводящее на решение основной задачи; наведение на поиск решения с помощью ассоциации; указание причинно-следственных связей, необходимых для выполнения задания; указание ответа, результата заранее; расчленение сложной задачи на ряд элементарных; постановка наводящих вопросов; указание теорем, формул, на основании которых выполняется задание; предупреждение о наиболее типичных ошибках, неправильных подходах и т. п.; обнаружение ошибок в чертеже, в вычислениях, в постановке алгоритма работы, в установлении зависимости и т. д.; использование вспомогательных дифференцированных карт (блоков информации по темам) различной степени помощи; применение опорных конспектов; использование рабочих тетрадей с печатной основой.

Дифференцированная форма учебной деятельности студентов предусматривает их самостоятельную работу по дифференцированным заданиям. Дифференцированным является задание, построенное с учетом особенностей типологической группы студентов, т. е. группы, объединенной «одинаковым» уровнем знаний и умений по предмету (теме, разделу, курсу) и уровнем их усвоения.

Рассмотрим некоторые методические рекомендации по осуществлению дифференцированного подхода и использованию дифференцированных заданий для различных групп студентов:

1. Необходимо уточнить, конкретизировать, по каким критериям, способ-

ностям, знаниям и умениям будет осуществляться дифференциация обучения.

2. Желательно разработать или использовать уже готовые задачи, задания, тесты, позволяющие осуществлять дифференциацию студентов по избранному критерию, способностям или умениям.

3. Необходимо осуществлять всестороннюю глубокую диагностику индивидуальных особенностей, интересов, способностей, целей, знаний и умений студентов, их обученности, обучаемости, творческого потенциала, работоспособности и т. д. на основе отобранных задач, заданий, тестов.

4. Использовать дифференцированные задачи, задания и упражнения с учетом результатов предварительной диагностики.

5. Необходимо переводить студента в более сильную или, наоборот, более слабую группу, в случае, если отдельные студенты с дифференцированным заданием явно не справляются, или оно для них оказалось слишком простым и легким.

6. При успешном выполнении студентом определенных целей, задач, заданий и упражнений пониженного уровня сложности его необходимо переводить в другую группу, отметив успехи и достижения.

Таким образом, дифференциацию процесса обучения можно соотносить либо с отбором форм, методов и приемов обучения, либо с содержанием образования, либо с выделением мобильных групп студентов, нацеленных на решение не только образовательных задач, но и на личностное развитие.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Капинос, А. Н. Уровневая дифференциация при обучении математике / А. Н. Капинос. – Петрозаводск, 1989. – 175 с.
2. Милованова, Г. В. Исследование готовности к осуществлению самостоятельной учебной деятельности студентов вуза в условиях интеграции образования / Г. В. Милованова, И. В. Харитоновна // Интеграция образования. – 2011. – № 3 (64). – С. 33–38.
3. Унт, И. Э. Индивидуализация и дифференциация обучения / И. Э. Унт. – Москва : Педагогика, 1990. – 192 с.

4. Харитонова, И. В. Организация самостоятельной работы как средство самоорганизации студентов в условиях лично-ориентированного подхода в обучении / И. В. Харитонова, С. Н. Фомина // Социальная политика и социология. – 2010. – № 7 (61). – С. 70–77.

5. Харитонова, И. В. Основные направления и психолого-педагогические основы организации самостоятельной работы студентов : монография / И. В. Харитонова. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 112 с.

*Поступила 20.10.2014 г.*

*Об авторе:*

**Харитонова Ирина Владимировна**, 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 педагогических наук, ira6318@yandex.ru

*Для цитирования:* Харитонова, И. В. Дифференцированный подход к организации самостоятельной работы студентов при обучении математике / И. В. Харитонова // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 30–36. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.030

## REFERENCES

1. Kapinosov A. N. Urovnevaya differentsiatsiya pri obuchenii matematike [Tier differentiation in teaching to mathematics]. Petrozavodsk, 1989, 175 p.

2. Milovanova G. V., Kharitonova I. V. Issledovanie gotovnosti k osushchestvleniyu samostoyatelnoy uchebnoy deyatelnosti studentov vuza v usloviyakh integratsii obrazovaniya [Research of preparedness for implementation of self-learning activities of students of a university in terms of integration of education]. *Integratsiya obrazovaniya – Integration of Education*. 2011, no. 3 (64), pp. 33–38.

3. Unt I. E. Individualizatsiya i differentsiatsiya obucheniya [Individualization and differentiation of instruction]. Moscow, Pedagogy Publ., 1990, 192 p.

4. Kharitonova I. V., Fomina S. N. Organizatsiya samostoyatelnoy raboty kak sredstvo samoorganizatsii studentov v usloviyakh lichnostno-orientirovannogo podkhoda v obuchenii [Organization of independent work as a means of self-organization among students in a student-centered approach to teaching]. *Sotsialnaya politika i sotsiologiya – Social Policy and Sociology*. 2010, no. 7 (61), pp. 70–77.

5. Kharitonova I. V. Osnovnye napravleniya i psikhologo-pedagogicheskie osnovy organizatsii samostoyatelnoy raboty studentov: monografiya [Main directions and psycho-pedagogical bases of organization of independent work of students: monograph]. Saransk, Mordovia State University Press Publ., 2012, 112 p.

*About the author:*

**Kharitonova Irina Vladimirovna**, associate professor (docent) of Algebra and Geometry chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Pedagogical sciences, ira6318@yandex.ru

*For citation:* Kharitonova I. V. Differentsirovanny podkhod k organizatsii samostoyatelnoy raboty studentov pri obuchenii matematike [Differentiated approach to organization of unsupervised work of students learning math]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta – Mordovia University Bulletin*. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 30–36. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.030

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА – ВЫСШЕЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАННОСТИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ

**Г. С. Евдокимова, В. Д. Бочкарева**

В связи с модернизацией обучения происходит обновление содержания, методик и технологий в процессе общего и высшего образования. В этих условиях особое значение приобретает формирование математической культуры у будущих профессионалов, так как культура – это высшее проявление человеческой образованности и профессиональной компетентности.

В статье утверждается, что в структурном отношении понятие о математической культуре включает четыре основных компонента: математическую картину мира, математическое мышление, методы математики и язык математики. Подробно анализируются два из них: методы математики и язык математики. Отмечается, что для математиков большое значение имеет индуктивная логика, общие приемы и методы которой вырабатывают такие научные стохастические понятия, как анализ и синтез, абстракция, детерминация. Подчеркивается, что математическая теория вероятностей представляет собой язык для обсуждения различными способами ряда эмпирических проблем.

**Ключевые слова:** математическая, стохастическая культуры, методы математики, язык математики, анализ, детерминация, индукция, математическая абстракция, аналогия в математике, дедукция в математике.

## MATHEMATICAL CULTURE – THE HIGHEST EXPRESSION OF HUMAN EDUCATION AND PROFESSIONAL COMPETENCE

**G. S. Evdokimova, V. D. Bochkareva**

Due to the fact of modernization of training process content, methods and technologies in general and higher education are being updated. Under these conditions, formation mathematical culture obtains the special importance for future professionals since culture is the highest expression of human education and professional competence.

This article states that structurally the concept of mathematical culture has four main components: a mathematical world view, mathematical thinking, methods of mathematics and language of mathematics.

Two of them are analyzed in details – methods of mathematics and mathematical language. It is noted that for the mathematicians inductive logic, common tools and techniques that produce the following scientific stochastic concepts are essential: analysis, synthesis, abstraction and determination. The authors emphasized that the mathematical theory of probability is the language for discussion of empirical problems in a number of different ways.

**Keywords:** mathematical culture, stochastic culture, methods of mathematics, language of mathematics, analysis, determination, induction, mathematical abstraction, analogy in mathematics, deduction in mathematics.

Высшим проявлением образованности и профессиональной компетенции человека является культура. Понятие «культура» является неоднородным в так называемом отраслевом, или вер-

тикальном, аспекте. Действительно, можно говорить о различных культурах: математической, физической, инженерной, гуманитарной и др. Образую объединенно общую культуру, они существуют

и развиваются каждая в отдельности. Конечно, нас интересует, прежде всего, вопрос математической культуры в целом и стохастической культуры в частности.

В структурном отношении понятие о математической культуре включает 4 основных компонента: математическую картину мира, математическое мышление, методы математики и язык математики. Эти компоненты одинаковы как для специальной, так и для массовой математической культуры, а различаются они, прежде всего, глубиной раскрытия – большей в первом случае и меньшей – во втором [2]. Остановимся подробно на 3-м и частично на 4-м компонентах.

*Методы математики.* Поскольку возникает вопрос о логическом происхождении основных понятий и методов математики, а также об их отношении к общим законам мышления, то они (понятия и методы) становятся объектами логики и философии математики.

Однако логика математики исследует, во-первых, какие формы принимают в применении к объектам математического исследования общие методы научной работы (общее учение о математическом методе), а во-вторых, – логический характер методов отдельных частей математики. Первая и наиболее общая из всех наук, без знакомства с которой невозможно занятие всеми прочими науками, и особенно математикой, была изобретена и научно обоснована знаменитым греческим философом и естествоиспытателем Аристотелем и с тех пор носит название «логика».

Сходство между основными законами алгебры и законами логических операций настолько велико, что еще у Г. Лейбница, первого обратившего внимание на эту аналогию, возникла мысль о замене логических рассуждений рядом преобразований, формул, подобных тем, которыми пользуется алгебра для решения уравнений. При помощи «всеобщей математики» Лейбниц надеялся всякое рассуждение свести к ком-

бинации знаков. Он даже мечтал о том времени, когда два философа, вместо бесконечных споров, будут, подобно двум математикам, брать перья в руки и заменять спор вычислением, т. е. когда всеобщая математика обратится, таким образом, в вычисление рассуждений и сольется с логикой.

Благодаря открытию Г. Лейбница анализа бесконечно малых основное внимание математиков было направлено на развитие и приложение этой теории в различных областях и те основы, на которых строилась современная математика, были «забыты».

Положение изменилось только тогда, когда К. Вейерштрасс и его школа указали, что ряд (довольно длинный) наиболее значимых математических положений является сомнительным. Потрясением для математиков явились и геометрия Н. И. Лобачевского, и парадоксы теории вероятностей. Математики усилили требовательность в отношении логического обоснования своей науки в противовес предшественникам. Ими сразу стали анализироваться способы доказательств, проверяться связи между теоремами, отыскиваться в рассуждениях также гипотезы и постулаты, которые ранее не были акцентированы. Стали выделяться принципы и аксиомы, которые являлись исходными для их дедукции, базовыми всей предлагаемой теории.

Как известно, большое значение для математиков имеет индуктивная логика, общие приемы и методы которой вырабатывают следующие научные стохастические понятия:

- анализ и синтез,
- абстракция,
- детерминация.

*Анализ* представляет собой разложение сложного понятия на более простые. *Синтез* состоит в образовании сложного понятия из более простых понятий.

*Абстракция* («отвлечение») представляет собой метод выделения некоторой части из одиночного явления, или

некоторую одинаковую подчасть из ряда сходных понятий. Она существует только на базе опыта, предлагающего нечто особенное, отдельное, конкретное. Создание логических понятий представляет собой очень медленный, постепенный процесс, никогда не достигающий своего завершения в человеческой жизни. Преподавание, согласованное с природой, должно происходить сообразно естественному ходу образования понятий. Ясные, отчетливые наблюдения мы имеем в результате процесса апперцепции, а ясные, отчетливые понятия – в процессе абстракции. Соответственно, преподавание должно обязательно пройти эти два этапа от наблюдения и опыта к понятию. Окончательная стадия этого пути – упражнение, целью которого является переход знания к умению.

*Детерминация* («ограничение») представляет собой метод противоположный абстракции. Он состоит в обратном присоединении к отвлеченному признакам других признаков путем абстракции, благодаря чему получается более определенное, детерминированное понятие. При этом детерминация увеличивает содержание понятия, но ограничивает его объем.

Детерминация, как и абстракция, бывает двух типов, из которых первый дает понятие более конкретное, а второй – более частное, представляющее собой переход от родового понятия к видовому («специфика»). Нужно признать, что абстракция является приемом собственно аналитическим, а детерминация – синтетическим. При этом абстракцией ограничивается число признаков (содержание) понятия, но расширяется его объем. Детерминацией же увеличивается содержание понятия, но уменьшается его объем.

*Индукция* в математике может быть полной и неполной. Полная индукция представляет собой простое обращение дедуктивного доказательства. Всякое дедуктивное доказательство основывается в итоге на том, что все, являющееся высказанным относительно целого,

может быть высказанным и относительно каждой его части. В связи с тем, что целое тождественно с множеством его частей, то и обратное тоже должно быть справедливо. Другими словами, все, что может быть приложено в качестве высказывания к каждой части целого, может быть приложено и ко всему целому. Если же множество частей не будет составлять всего объема, то индукция будет являться неполной и заключение не будет иметь безусловной достоверности. При этом индукция всегда служила и служит главным методом научного исследования не только в опытных науках, но и стохастике.

Задача индукции заключается в выражении предполагаемых законов так, чтобы они вполне объясняли наблюдаемые факты и эти факты выводились из них дедуктивно. Таким образом, задача индуктивного исследования является обратной к задаче, с которой мы имеем дело в дедукции. В дедукции нам даются некие общие положения, из которых мы должны были вывести частные положения с помощью силлогизмов. В индукции нам даются частные факты, выявленные в наших наблюдениях, и наша задача состоит в том, чтобы найти такие общие положения, из которых наблюдаемые факты вытекают бы как следствия. По этой причине индукцию часто называют редукцией. Она ведет к созданию действительных понятий из воспринятых умственных образов реальных предметов [2]. При этом следует особенно обратить внимание студентов на тот факт, что в начале своего развития стохастика была чисто индуктивной наукой [1].

При изучении каждого нового вопроса стохастики индукция служит почти единственным путеводителем – она есть эвристический метод стохастики [3].

*Математическая абстракция* по своему характеру значительно отличается от обыкновенной абстракции. Одним из существенных моментов при создании математических понятий является исключение всего того, что дает

наш чувственный опыт (всех эмпирических элементов) и переход к элементам, дающимся нам нашим мышлением (к элементам, имеющим характер постулатов). Однако абстракция употребляется в стохастике не только для образования ее понятий. В дальнейшем процесс вероятностного мышления абстракция и индукция находятся в постоянной связи. Здесь абстракция приобретает обобщающий характер. Затем положения, полученные при помощи частных индукций, с помощью обобщающей абстракции, создают основные понятия, которые могут породить все другие понятия стохастики. Таким образом, обобщающая абстракция позволяет устанавливать самые общие понятия стохастики. С их помощью производятся испытания тех положений, которым был приписан аксиоматический характер. Те определения, которые являются исчерпывающими по отношению к основным и содержат в себе все остальные из этих положений, возводятся в ранг аксим.

Слово «аналогия» (analogon) в древности у греков означало «в том же отношении». Они различали аналогию арифметическую, геометрическую и гармоническую. Аналогия приводит к гипотетическим заключениям, проверяемых экспериментальным анализом, при помощи которого может выделяться то, что сходно, от того, что различно, после чего возможна и настоящая индукция. Однако доказательность умозаключения по аналогии может быть как очень велика, так и очень ничтожна. Все зависит от рода сходства, послужившего основанием для заключения по индукции.

Значение аналогии в стохастике зависит от роли, играемой индукцией в математике. Соображения, основанные на аналогии, указывают на направления других, более строгих изысканий. Сравнение не является доказательством, но в большинстве случаев указывает путь к нему. В стохастике опыты заменяются вычислениями на частных примерах, а аналогия нередко дает указания для выбора этих частных приме-

ров. При решении же отдельных частных вопросов и задач аналогия может оказаться весьма полезной. При решении какой-либо задачи можно выделить аналогичные задачи, решенные ранее, и сходство некоторых условий даст нам уверенность предположить, что и решения этих задач будут сходными хотя бы в некоторых чертах, т. е. одно случайное испытание мы можем имитировать другим.

Сам характер математики как научной системы определяет значение дедукции в математике. Итогом любого математического исследования является вывод полученных результатов из небольшого числа общих основных положений, известных ранее. Таким образом, дедукция является в стохастике основной формой систематического изложения математической мысли и одним из сильнейших методов математического исследования. При этом дедукция в различных математических исследованиях сопровождает всякую индукцию, всякий анализ.

Любую систему знаков, применяющуюся для выражения умозаключений, понятий, законов и теорий науки, принято называть языком науки. При этом язык науки представляет собой не какой-либо случайный набор знаков, а их систему. Другими словами, в языке науки каждый знак имеет свое место и находится в определенных отношениях с другими знаками. В язык включаются и правила, в котором его знаки сочетаются. Сочетание знаков в языке изучается в разделе «Семиотика», называемом «Синтактика».

Синтаксис различных языков строится по-разному, часто неоднозначно. Логический и математический языки, где знаки функционируют согласно строгих правил логического и математического исчисления, обладают однозначным синтаксисом. Почти 400 лет назад великий Г. Галилей сказал о математике как о языке науки: «Философия написана в грандиозной книге, которая открыта всегда для всех и каждого, —

я говорю о природе. Но понять ее может лишь тот, кто научится понимать ее язык и знаки, которыми она написана. Написана же она на математическом языке, а знаки ее – математические формулы». Отсюда и возникают универсальность и единство языка математики. При этом «отмечаются» опасности несоизмеримости ее теорий, неперево-димости и смысловой разобщенности, что исключает проблемы инвариантной структуры языка математики. Ясность и точность выражения мыслей, уменьшение трудностей при восприятии сообщаемой информации – основные задачи языка науки как системы знаний. Именно поэтому наука обязана разрабатывать собственный, только ей присущий язык, способный максимально точно передавать свойственные ей особенности. Естественно, сказанное относится и к многочисленным прикладным областям деятельности. В частности, по мнению Ж. Пиаже, изучение математических структур приводит к образованию адекватных им умственных структур, которые являются основами не только математического мышления, но и механизмом мышления человека вообще. Так, по мнению выдающегося физика Р. Ф. Фейнмана, математика представляет не просто другой язык, а язык плюс рассуждения, т. е. язык и логику совместно.

То, что математика является языком науки, признано теперь повсеместно. Именно поэтому природа связей, установленных между математическими утверждениями и данными чувственных восприятий, является существенной в вопросе использования математики в прикладных исследованиях. Однако приемлемость математического отображения нельзя оценивать исходя только из правомерности перехода от эмпирических явлений к идеализированным понятиям, а затем к математическим абстракциям. Иначе большинство математических исследований были бы неправомерными, а тот факт, что все математические системы могут быть разработаны в применении к практике,

не дает уверенности, что все они легко поддаются такой перестройке. Так, решать системы линейных уравнений легче, чем системы нелинейных, работать с евклидовой геометрией легче, чем с неевклидовой, и т. п. В связи с этим методологическая задача осложняется, сводится к выбору такого математического исчисления, которое было бы простым и удобным в работе, но не слишком искажало суть изучаемых явлений.

Языком для обсуждения различными способами ряда эмпирических проблем является математическая теория вероятностей, которая в последнее время находит все большее применение в науке. При выборе какого-либо математического языка в качестве определяющего для современных академических исследований, скорее всего, был бы выбран язык теории вероятностей [1]. Однако понятие «вероятность», несмотря на свою значимость, является очень сложным. Существует большое количество различных интерпретаций вероятности, предлагаемых современными авторами, некоторые из которых утверждают, что полезными могут быть сразу несколько различных интерпретаций. Это приводит к разным смысловым значениям понятия вероятности в различных контекстах, но при этом почти все согласны с существованием его чисто математических свойств. В итоге все споры сводятся к вопросу интерпретации общепринятого аксиоматического понятия вероятности, а именно: к определению его экстраматематических свойств.

Итак, нет почти никаких разногласий в отношении синтаксиса теории вероятностей, а путаница существует в отношении ее семантики. Доминирующей версией теории вероятностей является аксиоматическая формулировка А. Н. Колмогорова. При этом возможны и другие аксиоматические формулировки. Различают три главные группы значений, содержащих внутри себя наиболее широкое разнообразие интерпретаций, но имеющих между собой глубокие философские различия:

1. Определение величины вероятности как относительной частоты, с которой фиксированное свойство встречается у элементов заданного множества (класса) элементарных исходов, характеризует частотную интерпретацию.

2. Логическая точка зрения на вероятность позволяет рассматривать логическое соотношение между гипотезами и эмпирическими свидетельствами в пользу этих гипотез. Именно поэтому вероятность измеряет степень подтверждения с помощью одного множества высказываний в силу логической необходимости. Это происходит вне зависимости от мнения человека по поводу истинности высказывания другого. Этим устанавливается тесная связь указанной точки зрения с проблемой индукции, что позволяет находить приложения в задаче подтверждения гипотез.

3. Степень доверия, с которой конкретный индивидум считает данное высказывание истинным, измеряется вероятностью. Эта точка зрения устанавливает стандартные методы решения, но допускает различные начальные суждения о вероятности появления событий. При этом нужно уточнить, в каком смы-

сле верно утверждение, так как термины «вероятностный» и «детерминистический» являются полярно противоположными. Аксиоматическая разработка математической теории вероятностей полностью основана на логике дедукции, которая позволяет считать дедуктивную разработку математической теории вероятностей детерминистической, так как при принятых аксиомах выводы достоверны, теоремы всецело детерминированы. Дедуктивная разработка теории вероятностей контрастирует с индуктивными выводами, содержащимися в теории статистики, построение которых коренным образом отличается по форме и допускает неопределенность. Это позволяет связывать статистический вывод с применением определенных правил решения в неопределенных ситуациях.

Так как эти правила выводятся из определенных аксиоматических положений, то их можно считать детерминистическими. Их применение может быть (а может и не быть) связано с появлением вероятностных формулировок. В этом случае они являются «неопределенными».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гнеденко, Б. В. Об обучении математике в университетах и педвузах на рубеже двух тысячелетий / Б. В. Гнеденко, Д. Б. Гнеденко. – Москва : КомКнига, 2006. – 160 с.
2. Евдокимова, Г. С. Формирование стохастической культуры будущего учителя в образовательном процессе вуза / Г. С. Евдокимова // Известия Смоленского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 281–292.
3. Евдокимова, Г. С. Стохастическая компетентность выпускников вуза / Г. С. Евдокимова, В. Д. Бочкарева // Интеграция образования. – 2013. – № 2. – С. 4–8.

*Поступила 06.10.2014 г.*

*Об авторах:*

**Евдокимова Галина Семеновна**, заведующий кафедрой прикладной математики ФГБОУ ВПО «Смоленский государственный университет» (Россия, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4), доктор педагогических наук, rectorat@smolgu.ru

**Бочкарева Вера Дмитриевна**, 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), bochkareva.44@mail.ru

*Для цитирования:* Евдокимова, Г. С. Математическая культура – высшее проявление образованности и профессиональной компетентности / Г. С. Евдокимова, В. Д. Боцкарева // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 37–43 DOI: 10.15507/VMU.025.201501.037

## REFERENCES

1. Gnedenko B. V., Gnedenko D. B. Ob obuchenii matematike v universitetakh i pedvuzakh na rubezhe dvukh tysyacheletiy [The question of teaching to mathematics at universities and pedagogical institutes at the turn of millenia]. Moscow, KomKniga Publ., 2006, 160 p.
2. Evdokimova G. S. Formirovanie stokhasticheskoy kultury budushchego uchitelya v obrazovatelnom protsesse vuza [Formation of stochastic culture of a future teacher in the educational process of a higher school]. *Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta* – News of Smolensk State University. 2010, no. 2, pp. 281–292.
3. Evdokimova G. S., Bochkareva V. D. Stokhasticheskaya kompetentnost vypusnikov vuza [Stochastic competence of university graduates]. *Integratsiya obrazovaniya* – Integration of Education. 2013, no. 2, pp. 4–8.

*About the authors:*

**Evdokimova Galina Semenovna**, head of Applied Mathematics chair, Smolensk State University (4, Przhevalskiy Str., Smolensk, Russia), Doctor of Sciences degree holder in Pedagogical sciences, rectorat@smolgu.ru

**Bochkareva Vera Dmitriyevna**, associate professor (docent) of Algebra and Geometry chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), bochkareva.44@mail.ru

*For citation:* Evdokimova G. S., Bochkareva V. D. Matematicheskaya kultura – vysshee proyavlenie obrazovannosti i professionalnoy kompetentnosti [Mathematical culture – the highest expression of human education and professional competence]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 37–43 DOI: 10.15507/VMU.025.201501.037

**ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ  
СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ****В. Н. Кечемайкин, С. Э. Майкова,  
Л. В. Масленникова, Ю. Г. Родиошкина**

В статье рассматривается роль национально-исследовательских университетов в развитии инновационных инженерных технологий, связанных со спецификой региона; на примере Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева приводятся организационные основы разработки новых образовательных программ; формулируются цели и задачи новых образовательных программ по трем направлениям подготовки.

Профессионально-ориентированная среда Рузаевского института машиностроения (филиал) МГУ им. Н. П. Огарева в полной мере позволяет реализовать данный проект. Данная среда основана на взаимосвязи фундаментальных и технических знаний с применением современных систем проектирования. В институте работает лаборатория «Машиностроительное производство», где разрабатываются CAD/CAE/CALS-технологии, внедряемые в промышленное производство. Налажено сотрудничество с промышленными предприятиями региона, что позволяет разрабатывать программы прикладного бакалавриата.

**Ключевые слова:** машиностроение, национальный исследовательский университет, образовательная программа, технология, профессионально-ориентированная среда, прикладной бакалавриат.

**FEATURES OF TRAINING OF ENGINEERING STUDENTS  
IN THE MODERN CONDITIONS  
OF ENGINEERING DEVELOPMENT****V. N. Kechemaykin, S. E. Maykova,  
L. V. Maslennikova, Yu. G. Rodioshkina**

The role of national research universities in the development of innovative engineering technologies related to the specifics of the region is examined. On the example of the National Research Ogarev Mordovia State University organizational basis of the development of new educational programs are presented. The aims and objectives of the new educational programs in three areas of training are formulated in this article. Professionally-oriented environment of Ruzaevsky Institute of Mechanical Engineering (branch) of Ogarev Mordovia State University fully allows to implement the project. This framework is based on the relationship of fundamental and technical knowledge with the implementation of modern CAD systems. The Institute's laboratory "Engineering production" develops CAD/CAE/CALS-technologies, which are introduced into industrial production. Cooperation with the industry in the region allows to develop applied Bachelor programs.

**Keywords:** engineering, National Research University, an educational program, technology, professionally-oriented environment, applied Bachelor.

Отечественное машиностроение переходит на качественно новый уровень производительности, связанный с развитием инновационных технологий и внедрением высокопроизводительного станочного оборудования. При этом резко повышается спрос на специалистов, умеющих работать со сложным программируемым оборудованием и разрабатывать современные технологии, снижающие эксплуатационные расходы. Среди них – новые технологии обработки материалов с повышенными характеристиками (удельная твердость, продольная и поперечная жесткость и др.); технологии, повышающие энерго- и электроэффективность оборудования; технологии, позволяющие снизить затраты на обслуживание. К основным направлениям технологического развития машиностроительного комплекса относится также развитие ИКТ-технологий для машиностроения, способствующих соединению информационных технологий и традиционного машиностроения с получением «интеллектуального машиностроения», станков, приборов, оборудования, оснащенных средствами контроля и управления [7].

Повысить эффективность подготовки таких специалистов наряду с ведущими техническими вузами страны призваны национальные исследовательские университеты (НИУ), представляющие собой «новую институциональную форму организации научной и образовательной деятельности, базирующейся на принципах фундаментальности, профессиональности, гуманитаризации, креативности, непрерывности и преемственности, качества, интеграции науки, образования и воспитания» [3].

В современных условиях относительной самостоятельности НИУ обладают возможностью разработки инновационных образовательных программ по прорывным направлениям совершенствования техники и технологии или специализированных модулей, связанных со спецификой хозяйственного комплекса и особенностями социальной сферы региона.

Четвертый год Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева успешно реализует программу развития в статусе НИУ. Одним из приоритетных направлений развития (ПНР) университета является «Энергосбережение и новые материалы», реализация которого предполагает, в частности, решение задач повышения эффективности функционирования современных энергоемких производств, создания и использования энергоэффективных технологий автоматизированных производств.

В связи с проведением мероприятий по повышению инновационной активности предприятий с целью создания технологических платформ, с развитием федеральных национальных проектов в Республике Мордовия и соседних регионах прослеживается дефицит специалистов в области робототехники, инноватики и создания новых композитов. В настоящее время в республике функционирует значительное число производственных организаций, комплексов и научных центров (автономное учреждение «Технопарк-Мордовия», ОАО «РМ Рейл», ОАО «Российская корпорация транспортного машиностроения», ОАО «Станкостроитель», ОАО «Орбита», ОАО «Саранский приборостроительный завод», ОАО «Электровыпрямитель», ООО «Центр нанотехнологий и наноматериалов Республики Мордовия» и др.), для которых на долгосрочный период требуются высококвалифицированные специалисты, способные решать на современном уровне задачи создания, исследования, моделирования и эксплуатации мехатронных и робототехнических комплексов, применять CALS-технологии и инструменты обеспечения управления инновациями, а также разрабатывать технологии получения изделий из композиционных материалов, инструментальной оснастки и оборудования. Причины медленного внедрения данных технологий заключаются в отсутствии кадров, способных работать и обслуживать технические системы такого вида. Данные

обстоятельства предопределяют необходимость разработки новых направлений подготовки высшего профессионального образования: 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» (профиль «Наладка, программирование и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем»), 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» (профиль «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов»), 27.03.05 «Инноватика» (профиль «CALS-технологии и инструменты обеспечения управления инновациями»).

Предлагаемый выше проект направлен на развитие образовательной деятельности по ПНР НИУ МГУ им. Н. П. Огарева и ориентирован на удовлетворение запросов промышленных предприятий региона.

Цель проекта заключается в подготовке бакалавров, способных решать следующие задачи:

- разрабатывать системы и устройства, элементы конструкций, приводов, многокомпонентных систем, включающих мехатронные устройства, роботы и элементы технологического оборудования; проводить отладку, испытания и модернизацию мехатронных и робототехнических устройств и систем, поддержание их в работоспособном состоянии (в рамках направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»);

- разрабатывать методы и средства управления процессом разработки, производства и эксплуатации изделий с использованием компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла продукции, решать на современном уровне задачи создания, исследования, моделирования и коммерциализации новых технологий (в рамках направления подготовки 27.03.05 «Инноватика»);

- разрабатывать технологии получения изделий из композиционных материалов, инструментальной оснастки и оборудования (в рамках направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»).

Задачи реализации данных образовательных программ следующие:

- формирование у обучающихся компетенций в соответствующих областях, необходимых для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, анализа и адаптации к потребностям производства современных систем автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами, внедрения их результатов в промышленное производство на предприятиях общего, энергетического, транспортного и специального машиностроения, а также других отраслей техники;

- разработка комплекса учебно-методического обеспечения основных образовательных программ по разрабатываемым направлениям подготовки;

- материально-техническое обеспечение учебного процесса;

- развитие кадрового потенциала, в том числе вовлечение в учебный процесс специалистов-практиков, а также ученых из ведущих образовательных и научных центров.

В Рузаевском институте машиностроения (филиал) МГУ им. Н. П. Огарева плодотворно работает лаборатория «Машиностроительное производство», одним из секторов которого является сектор прикладного программирования, исследующий внедрение CAD/CAE/CALS-технологий в промышленное производство. Высокий научный потенциал института реализуется в исследованиях по приоритетным направлениям развития экономики региона: взаимосвязь конструкции деталей с технологией их изготовления; надежность технических систем и технологических процессов; комплексное внедрение и развитие CAE/CAD/CAM-технологий в процесс конструкторско-технологической подготовки производства; оптимизация конструкции базовых деталей несущих систем металлорежущих станков; повышение эффективности лезвийной обработки точных отверстий инструментальными методами; автоматизация проектирования объектов машиностроительной механики.

По предлагаемому проекту на базе Рузаевского института машиностроения создано два малых научно-технических предприятия (НТП) «САПР-ПРОЕКТ» и ООО «САПР-Системы». В институте развернут современный информационно-технологический комплекс – вычислительный центр с современным программным обеспечением для инженерных расчетов (T-flex, КОМПАС, SolidWorks, Siemens PLM). В 2014 г. на базе института создан новый авторизованный учебный центр [8], осуществляющий подготовку специалистов предприятий по системе автоматизированного проектирования SolidWorks и выдачу сертификатов международного образца Certified SolidWorks Professional, признаваемых работодателями во всем мире.

Работы сотрудников института опубликованы в ведущих российских журналах, таких как «Вестник машиностроения», «Станки и Инструмент», «САПР и графика», «Автоматизация и современные технологии» и др.

Данные обстоятельства являются результатом многолетней плодотворной работы сотрудников Рузаевского института машиностроения. Достижение этих результатов стало возможным благодаря созданию в институте особой профессионально-ориентированной среды. Под профессионально-ориентированной средой понимается совокупность условий, усиливающих профессиональную направленность образования, обеспечивающих становление будущего инженера, способного к инновационной деятельности и возможности его профессионального развития. Эта среда построена на основе комплексного подхода, объединяющего фундаментальное и профессиональное образование, с использованием в учебном процессе межпредметных связей, принципа единства фундаментальности и профессиональной направленности, научности и др., а также внедрения в процесс обучения современных технологий программирования.

Приведем примеры. Обучение студентов в Рузаевском институте машиностроения основано на взаимосвязи физической и технической картин мира [2]. Это означает, что у студентов в процессе обучения знания, полученные при изучении фундаментальных дисциплин, проецируются на профессиональные дисциплины. Одним из примеров является профессионально-направленный спецкурс по физике «Физические основы методов контроля в машиностроении», изучаемый студентами по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

При эксплуатации детали в узлах машин и механизмов происходит синергетическое воздействие многих факторов (нагрузок, температурных воздействий, химической коррозии и других). Именно поэтому при изучении материаловедения в технических вузах предлагается детально раскрывать дислокационно-структурный механизм разрушения материалов и возможности релаксационных и рекристаллизационных процессов в условиях производства и эксплуатации [4]. Таким образом изучаются не только вопросы общей теории материаловедения, но и специфика его практического применения в различных областях инженерной деятельности.

При структурном анализе механизмов в курсе «Теория механизмов и машин» для студентов инженерных специальностей используются такие понятия, как «звено», «кинематическая пара», «кинематическая цепь», «подвижность механизмов», «система координат». Этим понятиям тождественны такие фундаментальные понятия физики, как «абсолютно твердое тело», «система тел», «связь», «степень свободы», «система координат». При решении производственных задач они трансформируются соответственно в деталь, шарнир, механическую цепь, количество приводимых в движение деталей, систему отсчета. Таким образом, фундаментальные понятия, законы и явления физики «пронизывают» изучаемые в техниче-

ском вузе дисциплины и ретранслируются в профессиональные дисциплины.

При выполнении кинематического и силового анализа рычажного механизма в рамках курсового проектирования студенты используют возможности системы SolidWorksMotion [5], поскольку она сочетает в себе конструкторский, исследовательский и расчетный функционалы. Результатом расчета в SolidWorksMotion являются графики кинематических характеристик для основных точек и звеньев механизма, а также динамическая визуализация схемы механизма.

Сотрудники института не только обеспечивают сопровождение учебного процесса системами автоматизированного проектирования, но и разрабатывают программное обеспечение, дополняющее штатный функционал SolidWorks эффективными и экономичными инструментами анализа напряженно-деформированного состояния конструкций различного класса. Например, М. В. Чугунов описывает подход к моделированию и анализу элементов механических передач в среде SolidWorks на базе API [6]. И. Ф. Душин проводит расчет прочности шестеренного насоса, реализуемого системой SolidWorks Simulation [1]. Прочностные расчеты в приведенных примерах основаны на численных методах решения задач механики, в частности, на методе конечных элементов. Данные обстоятельства позволили выбрать Рузаевский институт машиностроения в качестве платформы для разработки новых образовательных программ.

В машиностроении преобладает практико-ориентированная подготовка, профессиональная деятельность инженера сложна и требует одновременно высокой теоретической и практической подготовки. В феврале 2014 г. в институте работала экспертная комиссия Ассоциации инженерного образования России (г. Томск). Визит состоялся в рамках процедуры профессионально-общественной аккредитации образовательной программы по направлению

подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Комиссия дала положительную оценку инженерного образования института, что подтверждает качество подготовки выпускников и целесообразность развития практико-ориентированной подготовки студентов инженерных специальностей.

В связи с этим разработка программ прикладного бакалавриата как вида программ массового, регионально ориентированного высшего образования должна стать основой решения проблемы сбалансированности развития сфер труда и профессионального образования.

В задачу программ прикладного бакалавриата входит следующее:

- преодоление риска потери практикоориентированности при введении уровня высшего образования;
- снижение издержек организаций работодателей по доучиванию выпускников;
- адаптация образовательных программ вузов к заказу на практикоориентированные результаты, соответствующие требованиям развития отрасли машиностроения в настоящее время;
- сокращение сроков вхождения молодежи на рынок труда в условиях демографического кризиса и старения кадров;
- снижение риска нетрудоустройства выпускников;
- расширение вариативности образовательных программ и сокращение их дублирования на уровнях среднего и высшего профессионального образования.

Обеспечение сочетания фундаментальности и практикоориентированности модульной образовательной программы достигается интеграцией всех составляющих ее элементов. Условием реализации такой программы является новая образовательная среда, направленная на полное овладение деятельностью, обеспечение готовности к решению проблем и задач на основе знаний, профессионального и жизненного

опыта, ценностей, других внутренних и внешних ресурсов; на обеспечение приобретения обучающимся не столько знаний, сколько способности видеть проблему, формулировать задачу, находить способ ее решения, в том числе при недостатке знаний и практических умений. Таким образом, в Рузаевском институте машиностроения есть все предпосылки для введения прикладного бакалавриата по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по всем имеющимся профилям: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Конструкторско-технологическая информатика. САПР».

Первые шаги в данном направлении уже есть. Так, на базе ОАО «Рузхиммаш» создана базовая кафедра Рузаевского института машиностроения «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Целью функционирования этой кафедры является совершенствование образовательного процесса, усиление его практической направленности на основе привлечения к преподаванию высококвалифицированных специалистов-практиков.

Для реализации указанной цели базовая кафедра решает следующие задачи:

- проведение циклов лабораторных работ;

- чтение специальных курсов, обеспечивающих учебно-научную и конструкторско-технологическую подготовку и специализацию по профилю отрасли и предприятия;

- организация и проведение всех видов практик студентов на предприятии с использованием технологических возможностей предприятия;

- руководство курсовыми и дипломными работами студентов;

- руководство учебно-исследовательской работой студентов,

- руководство подготовкой диссертационных работ на соискание ученых степеней соответствующего профиля аспирантами и соискателями.

Создание инжинирингового центра машиностроительного производства в институте позволит конвертировать теоретические разработки в области машиностроения в практические, а также довести научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки до стадии производства.

Таким образом, вышеприведенные положения позволяют создать необходимые условия для подготовки высококвалифицированных специалистов инженерного профиля и повышения качества российского инженерного образования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Душин, И. Ф. Прочностной расчет корпуса шестеренного насоса с использованием SolidWorks Simulation / И. Ф. Душин [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 154–160.
2. Масленникова, Л. В. Взаимосвязь физической и технической картин мира как методологическая основа обучения физике в техническом вузе / Л. В. Масленникова, Ю. Г. Родиошкина // Физика в школе. – 2012. – № 4. – С. 53–59.
3. Программа развития Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева на 2011–2015 годы / коллектив авт. : С. М. Вдовин (рук.) [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та. – 2011. – 84 с.
4. Родиошкин, М. Ю. Современный подход к методике обучения материаловедению в технических вузах / М. Ю. Родиошкин, Э. В. Майков // Интеграция образования. – 2012. – № 2. – С. 8–11.
5. Родиошкина, Ю. Г. Кинематический анализ рычажного механизма в среде SolidWorks / Ю. Г. Родиошкина // Сборник научных трудов Sworld. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 40–42.
6. Чугунов, М. В. Моделирование и анализ элементов механических передач в среде SolidWorks на базе API / М. В. Чугунов, А. В. Щекин // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 148–153.

7. Перспективы развития российского машиностроения [Электронный ресурс]. – URL: <http://protown.ru/information/hidden/4486.html> (дата обращения 04.08.2014).

8. Solid Works Russia [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=596:solidworks&catid](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=596:solidworks&catid) (дата обращения 04.08.2014).

Поступила 18.09.2014 г.

Об авторах:

**Кечемайкин Владимир Николаевич**, директор Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат экономических наук, доцент, [vkech@yandex.ru](mailto:vkech@yandex.ru)

**Майкова Светлана Эдуардовна**, доцент кафедры маркетинга экономического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат экономических наук, [maikova\\_s@rambler.ru](mailto:maikova_s@rambler.ru)

**Масленикова Людмила Васильевна**, профессор кафедры общенаучных дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), доктор педагогических наук, профессор, [Maslennikova-lv@mail.ru](mailto:Maslennikova-lv@mail.ru)

**Родиошкина Юлия Григорьевна**, заместитель директора по учебной работе, доцент кафедры общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат педагогических наук, [jgrim@mail.ru](mailto:jgrim@mail.ru)

*Для цитирования:* Кечемайкин, В. Н. Особенности организации подготовки студентов инженерных специальностей в современных условиях развития машиностроения / В. Н. Кечемайкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 44–51. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.044

## REFERENCES

1. Dushin I. F., Maskaykina S. E., Poluyeshina N. I., Vavayeva N. G. Prochnostnoy raschet korpusa shesterennogo nasosa s ispolzovaniem SolidWorks Simulation [Strength prediction for gear pump using SolidWorks simulation]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2014, no. 1, pp. 154–160.

2. Maslennikova L. V., Rodioshkina Yu. G. Vzaimosvyaz fizicheskoy i tekhnicheskoy kartin mira kak metodologicheskaya osnova obucheniya fizike v tekhnicheskom vuze [Interrelation of physical and technical pictures of the world as a methodological basis of training in physics in technical college]. *Fizika v shkole* – Physics at school. 2012, no. 4, pp. 53–59.

3. Programma razvitiya Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. P. Ogareva na 2011–2015 gody [The program of the development of Ogarev Mordovia State University for 2011–2015]. Saransk, Mordovian State University Publ., 2011, 84 p.

4. Rodioshkin M. Yu., Maykov E. V. Sovremennyy podkhod k metodike obucheniya materialovedeniyu v tekhnicheskikh vuzakh [Contemporary approach to the teaching methodology of material science in technical HEIs]. *Integraciya obrazovaniya* – Integration of Education. 2012, no. 2 (67), pp. 8–11.

5. Rodioshkina Yu. G. Kinematischeskiy analiz rychazhnogo mekhanizma v srede SolidWorks [Kinematic analysis of the lever mechanism of SolidWorks]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* – Collection of scientific works Sworld. 2014, vol. 7, no. 1, pp. 40–42.

6. Chugunov M. V., Shchyokin A. V. Modelirovanie i analiz elementov mekhanicheskikh peredach v srede SolidWorks na baze API [3D modelling and analysis for mechanical transmission elements in SolidWorks software based On API]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2014, no. 1, pp. 148–153.

7. Perspektivy razvitiya Rossiyskogo mashinostroyeniya [Future development of Russian mechanic engineering]. Available at: <http://protown.ru/information/hidden/4486.html>

8. SolidWorks Russia. Available at: [http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=596:solidworks&catid](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=596:solidworks&catid)

*About the authors:*

**Kechemaykin Vladimir Nikolayevich**, director of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences, docent, vkech@yandex.ru

**Maykova Svetlana Eduardovna**, associate professor (docent) of Marketing chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Economic sciences, maikova\_s@rambler.ru

**Maslennikova Lyudmila Vasilyevna**, professor of General Scientific Disciplines chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Pedagogical sciences, Maslennikova-lv@mail.ru

**Rodioshkina Yuliya Grigoryevna**, deputy director for Academic Affairs, associate professor (docent) of General Scientific Disciplines chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Pedagogical sciences, jgrim@mail.ru

*For citation:* Kechemaykin V. N., Maykova S. E., Maslennikova L. V., Rodioshkina Yu. G. Osobnosti organizatsii podgotovki studentov inzhenernykh spetsialnostey v sovremennykh usloviyakh razvitiya mashinostroeniya [Features of training of engineering students in the modern conditions of engineering development]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 44–51 DOI: 10.15507/VMU.025.201501.044

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТУДЕНТАМИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН

**А. А. Федченко, В. Ю. Федченко,  
С. Е. Маскайкина, И. В. Бурьянов**

В статье рассматривается возможность применения программного комплекса MathCAD, изучаемого в курсе информатики, студентами-старшекурсниками машиностроительных специальностей для решения конкретных проблем, связанных непосредственно с их будущей специальностью; в качестве примера приводится расчет центра масс металлорежущего станка с помощью матриц. Каждый узел станка аппроксимирован простыми геометрическими фигурами, при этом точность расчета зависит от степени детализации станка. Рекомендуемый алгоритм позволяет создать шаблон для расчета центра масс станков с подобной компоновкой. Для развития конструкторских навыков является полезным исследование изменения положения центра масс в зависимости от компоновки станка и коэффициента заполнения узла.

**Ключевые слова:** программный комплекс, металлорежущий станок, центр масс, узел станка, координата, аппроксимация, матрица, вектор.

## USE OF SOFTWARE SYSTEMS IN THE STUDY OF STUDENTS OF SPECIAL SUBJECTS

**A. A. Fedchenko, V. Yu. Fedchenko,  
S. E. Maskaykina, I. V. Buryanov**

The article considers the opportunity of implementation of MathCAD software package in course of computer science for students of engineering disciplines for solution to specific problems in their area of expertise. Calculation of the center of mass of the machine tool by using matrices is shown on an example. Each node of the machine approximated by simple geometrical figures, the accuracy of the calculation is dependent upon the level of detail of the machine. Recommended procedure makes possible to create a template for the calculation of the center of mass of machines with a similar layout. For the development of engineering skills it is useful to study the variation of the position of the center of mass, depending on the layout of the machine and node filling factor.

**Keywords:** software package, machine tool, center of mass, unit of machine tool, coordinate, approximation, matrix, vector.

Программа обучения студентов инженерных специальностей включает в себя обязательное изучение таких дисциплин, как «Информатика», «Программирование» и др. Как правило, эти предметы рассчитаны на 1-й и 2-й годы обучения. Без их регулярного использования в учебной деятельности многие полученные знания теряются безвозвратно. Это вызывает сожаление,

поскольку в работе, например инженера-машиностроителя, значительное количество времени занимают рутинные расчеты, которые с успехом можно автоматизировать с помощью известных программных комплексов.

В этой связи актуальной является задача применения полученных знаний студентами-старшекурсниками для решения конкретных проблем, связанных

непосредственно с их будущей специализацией. Например, одной из важнейших задач, требующей решения при проектировании металлорежущего станка, является определение центра масс. Точное определение положения центра масс позволяет рационально спроектировать фундамент станка и осуществить безопасную и удобную его транспортировку. Программный комплекс MathCAD позволяет с успехом решить эту проблему, а вместе с тем вспомнить навыки работы с комплексом, увидеть возможность его конкретного технического применения.

Методика расчета центра масс состоит в следующем:

- выбирается система координат (обычно рекомендуется за точку отсчета принять один из нижних углов основания станка);

- узлы станка аппроксимируются простыми пространственными телами (блоками) типа «цилиндр», «параллелепипед», «призма» и др.;

- указываются координаты аппроксимирующих тел относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (начальные и конечные точки) и координаты центров масс каждого блока;

- принимаются приблизительные коэффициенты заполнения блока  $\alpha$  для каждого узла ( $0,1 < \alpha \leq 1$ ) (принято считать блоки заполненными равномерно).

- рассчитываются объемы аппроксимирующих тел с учетом коэффициента заполнения;

- рассчитываются массы тел;

- рассчитываются координаты центра масс станка по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times x_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times y_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го блока;

$x_i, y_i, z_i$  – координаты центра масс  $i$ -го блока.

Объемы аппроксимирующих тел с учетом коэффициента заполнения блока и их массы рассчитываются по классическим формулам. Точность расчета, разумеется, зависит от степени детализации станка, т. е. от количества аппроксимирующих элементов.

Расчеты по определению центра масс станка, несмотря на их относительную простоту, являются весьма громоздкими и требуют значительных затрат времени (известны системы автоматизированного проектирования, которые позволяют автоматически определить центр масс детали или узла, но нашей задачей является повторение полученных по информатике знаний и изучение возможности их использования для прикладных технических задач).

При расчете центра масс с применением MathCAD алгоритм расчета состоит в следующем:

- ввести значения координат отдельных узлов станка;

- вычислить координаты центра масс каждого узла;

- рассчитать объем каждого узла;

- рассчитать массу каждого узла;

- рассчитать центр масс станка.

Удобным является использование матриц (векторов), размерность которых соответствует количеству отдельных элементов (блоков), на которые разбивается металлорежущий станок (при этом студентам очень полезным будет вспомнить матричную алгебру).

Рассмотрим особенности каждого этапа расчета центра масс станка.

На первом этапе следует ввести значения координат отдельных узлов станка. Так как система станка рассматривается в трех измерениях, следует ввести 3 координаты:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Каждый узел (или блок) имеет начальную и конечную координаты. Примем обозначение  $HX$  и  $KX$  для начальной и конечной координат узла по оси  $X$  соответственно,  $HУ$  и  $KУ$  – для начальной и конечной координат узла по оси  $У$ ,  $HZ$  и  $KZ$  – для начальной и конечной координат узла по оси  $Z$ . При этом обозначения могут быть произвольными.

Расположение конкретных значений координат в матрице соответствует номеру соответствующего блока.

На следующем этапе нужно определить координаты центра масс каждого узла.

Координата центра масс узла находится как половина суммы начальной и конечной координат:

$$X = \frac{HX + KX}{2},$$

$$Y = \frac{HY + KY}{2},$$

$$Z = \frac{HZ + KZ}{2}.$$

В результате расчета создается матрица (вектор) для каждой переменной  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , включающая столько элементов, сколько имеется узлов (или блоков).

На третьем этапе следует определить объем каждого блока, чтобы затем вычислить его массу.

Как известно, для тел в форме параллелепипеда, что характерно для большинства аппроксимирующих тел узлов металлорежущего станка, объем определяется как произведение длин всех сторон.

Длину каждой стороны можно вычислить как разность начальной и конечной координат:

$$A = KX - HX,$$

$$B = KY - HY,$$

$$C = KZ - HZ.$$

В итоге получаем новые матрицы  $A$ ,  $B$  и  $C$ , которые характеризуют длины сторон каждого блока.

Коэффициенты заполнения для каждого блока также записываем в виде отдельного вектора. Обозначим его, например, как  $F$ .

Для попарного перемножения каждого элемента полученных матриц используем значок векторного произведения на соответствующей панели инструментов. Однако, если блок имеет форму цилиндра, а не параллелепипеда, то значение конкретного элемента матрицы следует ввести отдельно, а уже затем рассчитать объем каждого блока. Нумерация элементов матрицы начинается с нуля.

На четвертом этапе необходимо определить массу каждого узла. Для этого используется известная формула произведения плотности (удельной массы) узла на его объем.

Так как считаем, что узлы станка выполнены из стали, принимаем удельную массу, равную  $7\ 800\ \text{кг/м}^3$ . Используем эту величину в качестве константы, на которую необходимо умножить вектор объема  $V0$ .

Однако, если в конструкции используются другие материалы, то не представляет особой сложности ввести соответствующую величину удельной массы. В этом случае следует предусмотреть для нее отдельную переменную.

Объем с учетом коэффициентов заполнения блоков обозначим, например, как  $VV$ , вектор масс блоков –  $M$ .

На последнем этапе расчета нужно определить центр масс станка по отдельным координатам  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Обозначаем координаты центра масс станка как  $X0$ ,  $Y0$  и  $Z0$ . Для расчета используем известные формулы и соответствующие значки на панели инструментов MathCAD:

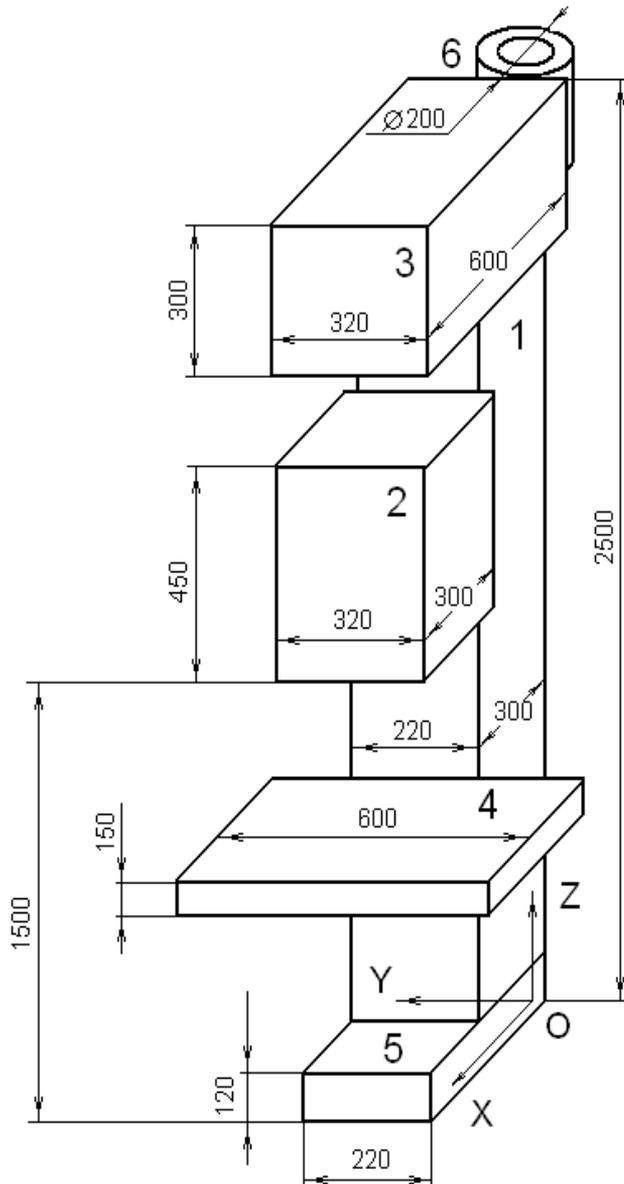
$$X0 = \frac{\Sigma(\overline{M \times X})}{\Sigma M},$$

$$Y0 = \frac{\Sigma(\overline{M \times Y})}{\Sigma M},$$

$$Z0 = \frac{\Sigma(\overline{M \times Z})}{\Sigma M}.$$

Рассмотрим расчет центра масс с применением MathCAD сверлильного станка с конкретными размерами (рис. 1).

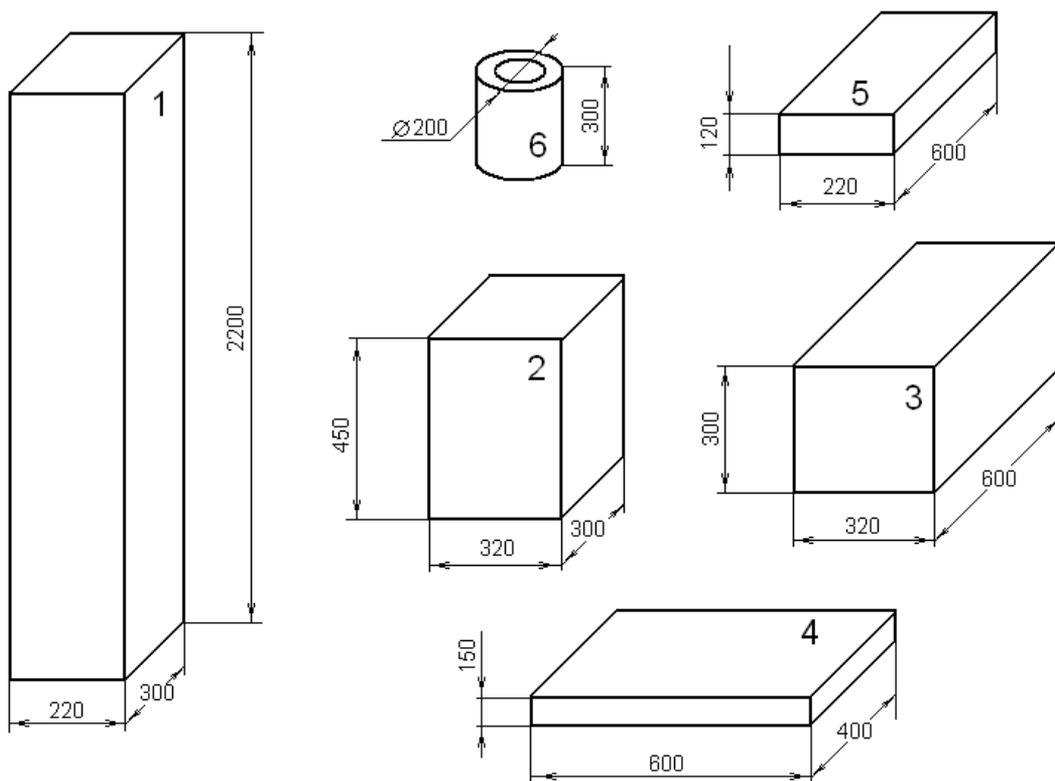
Станок состоит из следующих узлов: 1 – колонна; 2 – шпиндельная бабка; 3 – коробка скоростей; 4 – стол; 5 – основание; 6 – электродвигатель.



Р и с. 1. Сверлильный станок

Аппроксимируемыми телами узлов станка являются параллелепипеды, за исключением электродвигате-

ля. За аппроксимирующее тело электродвигателя принимаем цилиндр (рис. 2).



Р и с. 2. Узлы станка

Матрицы начальной и конечной координат будут состоять из 6 элементов. В MathCAD они имеют следующий вид:

– для координат X:

$$HX := \begin{pmatrix} 0,0 \\ 0,3 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{pmatrix} \quad KX := \begin{pmatrix} 0,0 \\ 0,62 \\ 0,6 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ -0,2 \end{pmatrix};$$

– для координат Y:

$$HY := \begin{pmatrix} 0,0 \\ -0,05 \\ -0,05 \\ -0,19 \\ 0,0 \\ 0,01 \end{pmatrix} \quad KY := \begin{pmatrix} 0,22 \\ 0,27 \\ 0,27 \\ 0,41 \\ 0,22 \\ 0,21 \end{pmatrix};$$

– для координат Z:

$$HZ := \begin{pmatrix} 0,0 \\ 1,5 \\ 2,2 \\ 1,0 \\ 0,0 \\ 2,2 \end{pmatrix} \quad KZ := \begin{pmatrix} 2,08 \\ 1,95 \\ 2,5 \\ 1,15 \\ 0,12 \\ 2,5 \end{pmatrix}.$$

Затем рассчитываются координаты центра масс каждого отдельного узла.

Результаты расчета центра масс отдельных узлов сверлильного станка:

$$X := \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,46 \\ 0,3 \\ 0,35 \\ 0,3 \\ -0,1 \end{pmatrix}, Y := \begin{pmatrix} 0,11 \\ 0,11 \\ 0,11 \\ 0,11 \\ 0,11 \\ 0,11 \end{pmatrix}, Z := \begin{pmatrix} 1,04 \\ 1,725 \\ 2,35 \\ 1,075 \\ 0,06 \\ 2,35 \end{pmatrix}.$$

Результаты расчета размеров сторон аппроксимирующих тел:

$$A := \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,32 \\ 0,6 \\ 0,7 \\ 0,6 \\ -0,2 \end{pmatrix}, B := \begin{pmatrix} 0,22 \\ 0,32 \\ 0,32 \\ 0,6 \\ 0,22 \\ 0,2 \end{pmatrix}, C := \begin{pmatrix} 2,08 \\ 0,45 \\ 0,3 \\ 0,15 \\ 0,12 \\ 0,3 \end{pmatrix}.$$

Значения объемов тел параллелепипедов получены попарным умножением элементов матриц, характеризующих размеры сторон, а для элементов, характеризующих размеры цилиндра, вводим следующие значения:

– для 6-го элемента матрицы А – значение  $\frac{\pi}{4} \times h$  (h – высота аппроксимирующего цилиндра);

– для 6-го элемента матрицы В – значение диаметра цилиндра (электродвигателя);

– для 6-го элемента матрицы С – значение диаметра цилиндра (электродвигателя).

В результате перемножения этих элементов матриц получается формула для расчета объема цилиндра.

Рассчитанные объемы аппроксимирующих тел для сверлильного станка в MathCAD:

$$V0 := \begin{pmatrix} 0,137 \\ 0,046 \\ 0,058 \\ 0,063 \\ 0,016 \\ 9,44 \times 10^{-3} \end{pmatrix}.$$

Коэффициенты заполнения блоков сверлильного станка:

$$F := \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,6 \\ 0,6 \\ 0,7 \\ 0,8 \\ 0,85 \end{pmatrix}.$$

Рассчитанные объемы с учетом коэффициента заполнения:

$$VV := \begin{pmatrix} 0,027 \\ 0,028 \\ 0,035 \\ 0,044 \\ 0,013 \\ 8,024 \times 10^{-3} \end{pmatrix}.$$

Массы аппроксимирующих тел:

$$M := \begin{pmatrix} 214,157 \\ 215,654 \\ 269,568 \\ 343,98 \\ 98,842 \\ 62,587 \end{pmatrix}.$$

Результаты расчета центра масс сверлильного станка с применением MathCAD (координаты в метрах):

$$X0=0,295$$

$$Y0=0,11$$

$$Z0=1,453.$$

Результатом расчета является не только получение конкретных координат центра масс, но и создание шаблона в системе MathCAD, который можно использовать для расчета центра масс станков с подобной компоновкой.

Значительным преимуществом использования данного программного комплекса является его совместимость с простыми графическими редакторами, что позволяет изобразить станок и сделать выполненные расчеты более наглядными. Кроме того, существует возможность теоретического исследования изменения центра масс в зависимости от изменения геометрии и коэффициента заполнения узла.

Поступила 01.09.2014 г.

*Об авторах:*

**Федченко Александр Андреевич**, старший преподаватель кафедры общеобразовательных и профессиональных дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат физико-математических наук, alexfdwork@gmail.com

**Федченко Валентина Юрьевна**, доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, WalentinaFed@yandex.ru

**Маскайкина Светлана Егоровна**, доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), smaska63@mail.ru

**Бурьянов Игорь Валерьевич**, студент 5-го курса специальности «Металлообрабатывающие станки и комплексы» Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), i.v.buryanov@gmail.com

*Для цитирования:* Федченко, А. А. Использование программных комплексов при изучении студентами специальных дисциплин / А. А. Федченко [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 52–58. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.052

*About the authors:*

**Fedchenko Aleksandr Andreyevich**, senior lecturer of General Educational and Professional Disciplines chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Physico-Mathematical sciences, alexfdwork@gmail.com

**Fedchenko Valentina Yuryevna**, associate professor (docent) of Machine Tools and Systems chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, WalentinaFed@yandex.ru

**Maskaykina Svetlana Egorovna**, associate professor (docent) of Machine Tools and Systems chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), smaska63@mail.ru

**Buryanov Igor Valeryevich**, 5<sup>th</sup> year student of specialty “Machine Tools and Systems” of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), i.v.buryanov@gmail.com

*For citation:* Fedchenko A. A., Fedchenko V. Yu., Maskaykina S. E., Buryanov I. V. Ispolzovanie programmnykh kompleksov pri izuchenii studentami spetsialnykh distsiplin [Use of software systems in the study of students of special subjects]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 52–58. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.052

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОРШНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПОКРЫТИЕМ НИКЕЛЬ-РЕНИЙ-ФОСФОР

**В. А. Скрябин, М. А. Рейес Альмейда**

В статье приводятся результаты исследований финишной обработки поверхностей поршней из алюминиевых сплавов. Показано, что бесцентровое шлифование и полирование перед покрытием поверхности сплавом никель-фосфор обеспечивает хорошую прочность сцепления сплава с алюминиевой основой, а дальнейшее химическое никелирование и полирование эластичными кругами сплава повышает износостойкость и коррозионную стойкость покрытия.

Полученные результаты внедрены в виде технологии химического осаждения и финишной абразивной обработки защитно-декоративного покрытия сплава никель-рений-фосфор в ООО Объединение «Компрессор» (г. Пенза), что позволило повысить износостойкость и коррозионную стойкость рабочих поверхностей деталей. Экономический эффект от внедрения разработки достигнут путем увеличения ресурса работы в 1,3–1,5 раза.

**Ключевые слова:** финишная обработка, поршни, алюминиевый сплав, бесцентровое шлифование, полирование, покрытие, сплав никель-рений-фосфор, химическое никелирование и полирование, эластичные круги, износостойкость и коррозионная стойкость покрытия.

## TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF FINISH ABRASIVE TREATMENT OF PISTONS MADE OF ALUMINIUM ALLOYS WITH NICKEL-RHENIUM-PHOSPHORUS COVERAGE

**V. A. Skryabin, M. A. Reyes Almeida**

The authors report the results of finish treatment researches of surfaces of pistons made of aluminium alloys. It is shown that centerless polishing and polishing before coverage of surface with nickel-phosphorus alloy provides good durability of coupling of alloy with aluminium basis, and a chemical nickelage and polishing provide the increase of wearproofness and inoxidizability of coverage with the elastic circles of alloy. Results of the work reflected in the article are inculcated as technology of the chemical besieging and finish abrasive treatment of protective-decorative coverage of alloy nickel-rhenium-phosphorus in. "Compressor" Association LLC (city of Penza), application of which allowed to promote wearproofness and inoxidizability of working surfaces of details. An economic effect from introduction of development is attained by the increase of resource of work in 1,3–1,5 times.

**Keywords:** finish treatment, pistons, aluminium alloys, centerless grinding, polishing, coverage, an alloy is nickel-rhenium-phosphorus, chemical nickelage and polishing, elastic circles, wearproofness and inoxidizability of coverage.

Химическое никелирование находит широкое применение для получения защитно-декоративных и функциональных никель-рений-фосфорных покрытий. Это также перспективный метод формирования различных наноструктур, поскольку в отличие от электроосаждения не требует токоподводов,

металл может осаждаться на электрически изолированные участки нанометровых размеров, что обеспечивает однородность и точность наноструктур. Процессы химического осаждения находят применение во многих областях машино- и приборостроения, в микроэлектронике и нанoeлектронике, а также

© Скрябин В. А., Рейес Альмейда М. А., 2015

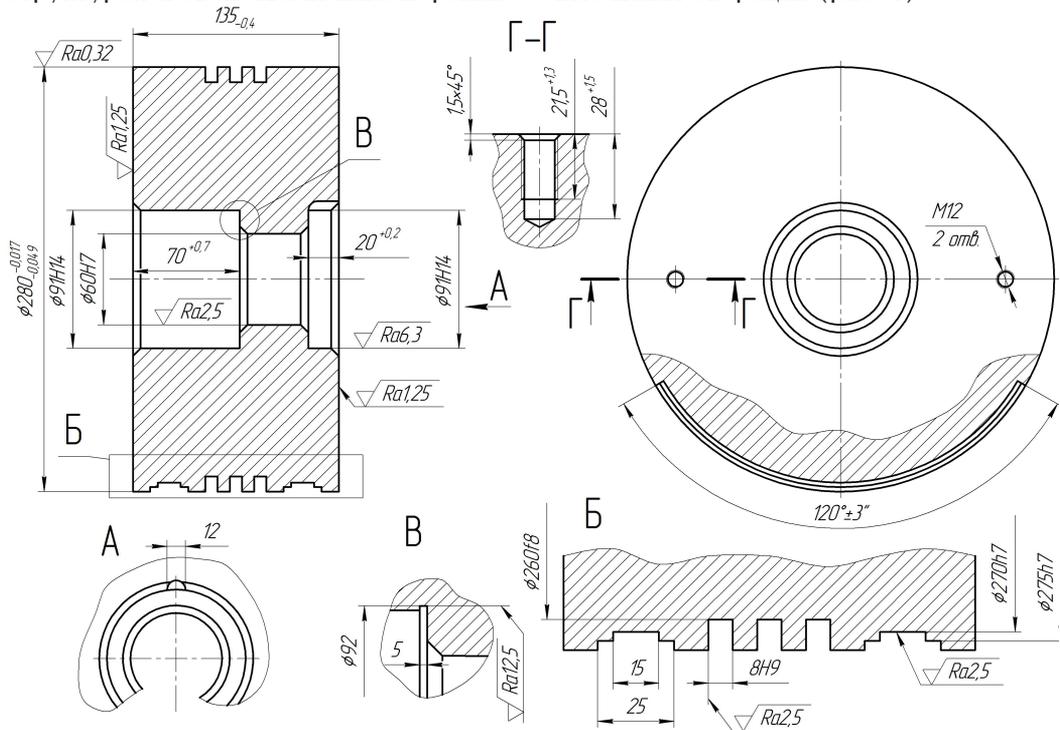
при создании различных микроэлектромеханических систем, где используются для осаждения барьерных слоев, тонких металлических пленок, играющих роль проводников, магнитных пленок.

В настоящее время ряд аспектов, касающийся механизма процесса химического никелирования, остается до конца не выясненным, что затрудняет использование системного подхода для совершенствования процессов осаждения покрытий. В частности, окончательно не выяснен механизм роста никель-рений-фосфорных покрытий. Недостаточно однозначно установлена взаимосвязь между условиями получения, составом, структурой и свойствами никель-рений-

фосфорных покрытий при их абразивной финишной обработке.

В связи с этим изучение влияния технологических параметров абразивной обработки покрытия на состав сплава никель-рений-фосфор с целью получения покрытия с требуемой коррозионной стойкостью и износостойкостью, а также изучение других физико-механических свойств осаждаемых покрытий является актуальной задачей.

Технологический процесс никелирования поршней компрессоров высокого давления из алюминиевых сплавов состоит из подготовительных операций, операций осаждения покрытия и заключительных операций (рис. 1).



Р и с. 1. Поршень компрессора высокого давления

Подготовительные операции преследуют цель обеспечения наиболее высокой прочности сцепления покрытий с металлом деталей. Требуемые свойства покрытий определяются режимами осаждения и окончательной механической обработкой.

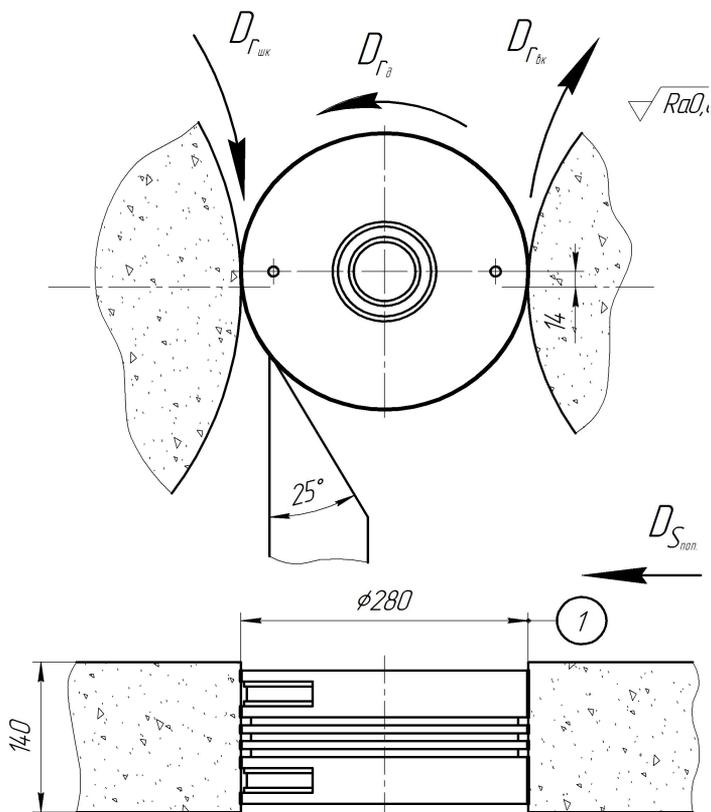
Маршрутный технологический процесс, связанный с обеспечением износостойкости рабочих поверхностей поршней из алюминиевого литейного сплава марки АЛ1 (ГОСТ 2685-75) твердостью 85–90НВ, приведен в таблице.

**Маршрут обработки поверхности поршня под покрытие и самого покрытия**

№ операции	Операция и оборудование	Содержание операции
005	Промывка. Моечная машина НО-3753	Промыть и очистить поршень
010	Дефектовочная	Выявление отклонений формы и расположения поверхностей, геометрических размеров, осмотр на наличие раковин, трещин, изломов, вмятин на поршне
015	Бесцентрово-шлифовальная. Полуавтомат круглошлифовальный бесцентровой модели ЗЕ183А	Шлифовать начисто поверхность поршня до шероховатости Ra = 0,8 мкм для нанесения никель-рений-фосфорного покрытия
020	Полировальная. Полировально-шлифовальный станок модели ЗБ854	Полировать поверхность поршня до шероховатости Ra = 0,32 мкм для нанесения никель-рений-фосфорного покрытия
025	Контроль	Контролировать полученные размеры
030	Цинкатная обработка	Для прочного сцепления химического никеля с алюминием необходимо выполнить предварительную цинкатную обработку поверхности поршня
035	Травление	Снять слой цинка в растворе азотной кислоты
040	Цинкатная обработка	Повторная цинкатная обработка поверхности поршня
045	Травление	Снять слой цинка в растворе азотной кислоты
050	Изоляция	Нанести на места, не подлежащие покрытию, цапон-лак
055	Химическое никелирование. Установка для никелирования	Никелирование изношенной поверхности юбки поршня слоем покрытия толщиной 150 мкм
060	Снятие изоляции	Удаление изоляционных материалов
065	Термическая обработка	Снятие внутренних напряжений после никелирования
070	Полировальная предварительная. Полировально-шлифовальный станок модели ЗБ854	Полировать эластичными кругами поверхности юбки поршня до шероховатости Ra = 0,63 мкм
075	Полировальная окончательная. Полировально-шлифовальный станок модели ЗБ854	Полировать эластичными кругами поверхности юбки поршня до шероховатости Ra = 0,32 мкм
080	Промывка. Моечная машина НО-3753	Мойка и очистка поршня от изоляции
085	Контроль	Контроль толщины покрытия и полученных размеров

Бесцентровое шлифование способом поперечной подачи (способом врезания) осуществляется поперечной подачей ведущего круга по направлению к шлифуемому кругу. Перед этим де-

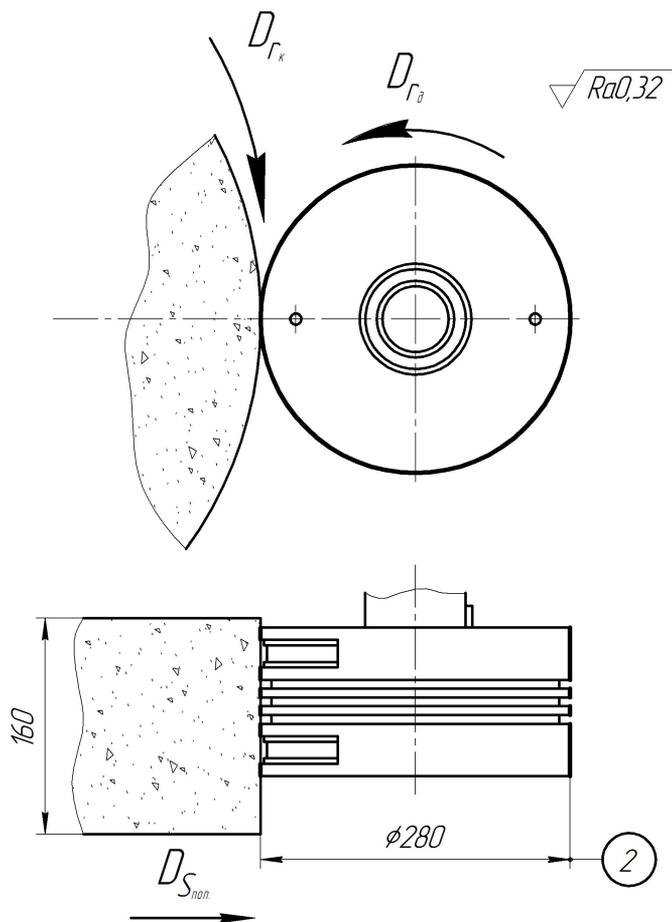
таль укладывается на опору сверху или сбоку. По окончании шлифования, когда детали достигнут необходимого размера, ведущий круг отводится, деталь снимается и закладывается новая (рис. 2).



Р и с. 2. Схема бесцентрового шлифования поршня методом врезания

Для бесцентрового шлифования наружной поверхности поршня были выбраны следующие режимные параметры: глубина резания  $t = 0,015$  мм, подача шлифовального круга  $s_1 = 0,001$  мм на один оборот детали, а подача ведущего круга  $s_2 = 0,003$  мм на один оборот детали. Частоты вращения шлифовального и ведущего кругов приняты соответственно  $n_1 = 2\ 886$  мин<sup>-1</sup>, а  $n_2 = 200$  мин<sup>-1</sup>. Скорость резания  $V = 10$  м/с. Бесцентровое шлифование обеспечивает  $Ra = 0,8$  мкм. Марка шлифовального круга: круг шлифовальный

1 300 × 32 × 127 ГОСТ Р 52781-2007, а ведущего круга – круг шлифовальный 1 300 × 32 × 127 ГОСТ Р 52781-2007. Параметры шлифовального круга: марка 64С (карбид кремния зеленый), зернистость 25–16 (F60–F90), твердость СМ1, связка керамическая (К). Применяемая смазочно-охлаждающая жидкость при бесцентровом шлифровании – Аквол 6 (2–10%-ный водный раствор). После операции бесцентрового шлифования поршень полируют на полировально-шлифовальном полуавтомате (рис. 3).



Р и с. 3. Схема полирования поршня

Полирование – это процесс обработки материалов до получения зеркального блеска поверхности. Задачей процесса полирования является устранение следов предшествующей обработки и различных поверхностных неровностей (штрихов, царапин, неглубоких раковин и других дефектов) с целью получения гладкой поверхности, обладающей высокой способностью к отражению света. Различные объяснения механизма процесса полирования можно свести к следующим трем направлениям:

– *механическое полирование*, когда механизм процесса объясняется съемом неровностей профиля с поверхности слоя, а ход процесса – такими меха-

ническими свойствами материала как твердость и пластичность;

– *физическое полирование*, когда основными причинами, определяющими процесс полирования, считают температуру плавления и теплопроводность полируемого материала;

– *химическое полирование*, когда процесс полирования объясняется в основном съемом оксидных пленок, постоянно образующихся под действием окружающей среды.

Основываясь на практических наблюдениях, можно заключить, что процесс полирования представляет собой комплекс механических, физических, электрических и химических явлений,

которые тесно взаимосвязаны и раздельно изменяются в большую или меньшую сторону в зависимости от рода полируемого материала, полировального инструмента, режимов обработки и внешней среды.

Наиболее широко применяется полирование при подготовке поверхностей под гальванические и химические покрытия, а также для придания деталям блеска после нанесения покрытия. Этого можно достичь и другими методами обработки, такими как хонингование, доводка, суперфиниширование, но эти процессы требуют специального, достаточно сложного оборудования, правильно подобранных инструментов и режимов и оправдывают себя лишь в том случае, когда кроме качества обработанной поверхности требуется обеспечить и заданную точность. Именно поэтому для улучшения внешнего вида обработанных поверхностей широкое распространение получило полирование, так как оно выполняется на очень простых станках, причем полировальный инструмент легко можно сделать в любых условиях из войлока, кожи, ткани и других материалов. Линейный съем металла при полировании, как правило, составляет 0,01–0,03 мм.

Полированием обрабатывают любые металлы и сплавы различной твердости – от сплавов алюминия до закаленной и нержавеющей стали и чугуна. Различают два вида полирования: *черновое* (предварительное) и *чистовое* (окончательное). Черновое полирование используется для механического удаления неровностей поверхности с помощью свободных (незакрепленных) или закрепленных посредством клея абразивных зерен на рабочей поверхности эластичных кругов и лент. Чистовое полирование осуществляется свободными мелкозернистыми абразивными порошками или мягкими эластичными кругами и лентами с нанесенными на них тонкими полировальными пастами.

В зависимости от формы обрабатываемой поверхности полировальные

круги приходится точить и профилировать. В единичном производстве профилирование, как правило, производят вручную. Так как эта операция требует высокой квалификации рабочего и небезопасная, ее применять не рекомендуется. Профилирование целесообразно осуществлять шлифовальным кругом, имеющим профиль, обратный профилю обрабатываемого полировального круга. Во время полирования круги зернистостью 50–25 с открытой структурой вращаются навстречу друг другу и при сближении шлифовальный круг снимает все неровности с полировального, придавая ему требуемую форму.

После точения и профилирования на рабочую поверхность полировального круга наносят абразивные зерна и закрепляют их методом накатки в следующем порядке: новые круги, еще не бывшие в работе, несколько раз грунтуют клеевым раствором, давая просохнуть каждому слою клея; затем проклеенную поверхность смазывают еще одним слоем раствора и сразу же вручную или на специальных станках накатывают абразивные зерна, подогретые до  $t$  40–45°C. Накатывание может быть однослойным и многослойным. При многослойном накатывании каждый последующий слой наносят после просыхания предыдущего. На войлочные и фетровые круги первый слой накатывают с применением мездрового клея, а последующие – жидкого стекла. На хлопчатобумажных кругах первый слой зерна можно закреплять и жидким стеклом, так как ткань хорошо с ним сцепляется. На бумажных кругах абразивное зерно закрепляют с помощью силикатного клея. Накатанные круги сушат в естественных или искусственных условиях.

Полирование деталей из цветных сплавов с исходной шероховатостью поверхностей  $R_a = 2,5$  мкм при требуемой  $R_a = 0,08$  мкм производится за три операции:

*грубое полирование* до  $R_a = 1,25$ – $0,63$  мкм осуществляют хлопчатобумажными кругами, накатанными зеленым

карбидом кремния зернистостью 12–8 и черным зернистостью 25–6 (F60–F90) для меди, и 12–10 (F100–F120) – для латуни;

*предварительное полирование* до  $R_a=0,63–0,32$  мкм производят войлочными или хлопчатобумажными кругами, накатанными электрокорундом зернистостью 6–4 (F180–F220) для сплавов алюминия и никеля, черным карбидом кремния зернистостью 12–8 (F100–F150) для меди и 6–5 (F180–F220) для латуни;

*окончателное полирование* до  $R_a=0,32–0,08$  мкм осуществляется кругами с пастой на основе окиси хрома для сплавов алюминия и никелевых сплавов и на основе окиси железа и глинозема для медных сплавов и латуни.

Практически припуск на полирование составляет от 0,12 до 0,3 мм. Наиболее распространенным инструментом для шлифования служат круги различной твердости из войлока или другого материала, на которые с помощью клеевой связки наносят абразив. Чем меньше твердость материала, тем эластичнее должен быть абразивный круг, применяемый для его обработки. Сильно профилированные детали, независимо от твердости материала, рекомендуется обрабатывать мягкими (эластичными) кругами. При полировании эластичным кругом, покрытым пастой или суспензией, существенное влияние оказывает *контактное давление полировальника* на обрабатываемую поверхность. С увеличением давления интенсивность процесса полирования повышается до некоторых пределов, а в дальнейшем превышение оптимальной величины давления не только снижает качество обработки, но и производительность, так как преждевременно изнашивается полировальник и наблюдается заметный нагрев обрабатываемых деталей.

При выборе величины контактного давления учитываются свойства полируемого материала. Полирование твердых материалов ведут с большими удельными давлениями полировального

круга на обрабатываемую поверхность по сравнению с мягким материалом. Чем мягче материал, тем легче снять слой металла, но тем сложнее достичь однородности штриха. В ряде случаев этот режим обработки субъективно оценивается тем, кто производит полирование. Так, например, когда требуется удалить большой слой, полируемую деталь с большим усилием прижимают к полировальнику. В этом случае процесс полирования протекает интенсивнее, но при этом изделие сильно нагревается и качество поверхности снижается.

При полировании различают суммарную силу резания полировальным кругом  $P_z$  и силу резания-царапания единичным зерном. В результате проведенных однофакторных экспериментов получаем следующую эмпирическую зависимость для определения силы резания  $P_z(H)$  при полировании:

$$P_z = C_{pz} \times V_d^{0,9} \times S_p \times t^{0,5}, \quad (1)$$

где  $C_{pz}$  – коэффициент, характеризующий условия резания для конкретной марки материала полируемой детали;  $V_d$  – скорость обрабатываемой детали;  $S_p$  – поперечная подача полировального круга на деталь,  $t$  – глубина полирования [1; 4–5].

Для примера рассчитаем силу резания при полировании поршня из алюминиевого сплава войлочным кругом при  $C_{pz} = 15$ ,  $V_d = 15$  м/мин,  $S_p = 0,001$  мм/об,  $t = 0,01$  мм:  $P_z = 15 \times 15^{0,9} \times 0,01 \times 0,01^{0,5} \approx 0,225$  Н.

Контактное давление при полировании определяется следующим образом:

$$p = \frac{P_z}{F}, \quad (2)$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания;  $F$  – среднее мгновенное сечение слоя, снятого всеми абразивными зернами.

В соответствии с работами [1; 4–5]  $F$  определяется по следующей зависимости:

$$F = \frac{V_d}{60 \times V_K} \times t \times S_p, \quad (3)$$

где  $V_d$  – скорость вращения детали, м/мин;  $V_K$  – скорость вращения круга, м/с. Принимая в соответствии со справочными данными  $V_K = 20$  м/с,  $V_d = 15$  м/мин,  $t = 0,01$  мм и  $S_p = 0,001$  мм/об, получим  $F = 1,25 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>. Рассчитаем контактное давление полировального круга на деталь:

$$p = \frac{0,225}{1,25 \times 10^{-3}} = 180 \text{ Н/м}^2 = 0,018 \text{ МПа.}$$

Сравнение полученных данных с результатами экспериментальных исследований контактного давления при полировании деталей из алюминиевых сплавов а также с литературными данными показало, что они изменяются в диапазоне 0,01–0,04 МПа, что свидетельствует о достаточной точности предложенной методики расчета. После нанесения покрытия никель-рений-фосфор оно полировалось на полировальном станке с аналогичными режимными параметрами. При этом глубина полирования  $t = 0,03$  мм. В процессе заключительной финишной механической обработки деталей из алюминиевых сплавов перед химическим покрытием в них возникают внутренние остаточные напряжения, влияющие на прочность сцепления покрытия с материалом основы. Предварительно можно оценить эти напряжения и деформации на примере упрощенной модели детали – полом цилиндре.

При заданной обработке поверхностей поршней компрессора высокого давления из алюминиевых сплавов напряжения и деформации в окружном направлении определяются из различных решений уравнения в частных производных:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \times \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right) = 0. \quad (4)$$

Уравнение для определения относительной деформации материала в окружном направлении имеет вид:

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \sigma_\theta, \quad (5)$$

где  $\sigma_\theta$  – компонента напряжения в окружном направлении.

Для алюминиевых сплавов усредненное значение модуля упругости  $E$  составляет величину порядка  $0,7 \times 10^5$  МПа. Согласно исследованиям Ю. В. Суворова, Н. Г. Олсон и С. И. Алексеева, для деталей из алюминиевых сплавов  $\varepsilon_\theta$  изменяется в диапазоне 0,09–0,1 %. В этом случае остаточные напряжения находятся в диапазоне 40–50 МПа.

Для получения качественных покрытий рекомендовано обработку деталей полировать войлочными кругами при рациональных режимах и с подачей СОТС. В качестве СОТС применялись масляные эмульсии, масло или сжатый воздух. В этом случае температура в поверхностном слое металла не превышает 420–470 К, а следовательно, на обрабатываемых поверхностях нет прижогов, микротрещин и других деформаций.

Физико-механические характеристики формируются при полировании эластичными кругами под влиянием двух факторов: силового и температурного. Происходит изменение структур, микротвердости и остаточных напряжений поверхностного слоя деталей.

При рациональных режимах полирования температура в зоне резания не достигает критических температур фазовых превращений и в поверхностном слое возникают остаточные сжимающие напряжения при глубине их распространения до 10–20 мкм. Прочность поверхностного слоя может повыситься на 15–20 % (В. Д. Шкуприй, Т. М. Мендебав, Е. М. Таскенов).

На основании выполненных исследований выбраны режимы финишной обработки поверхностей деталей из алюминиевых сплавов перед никель-ре-

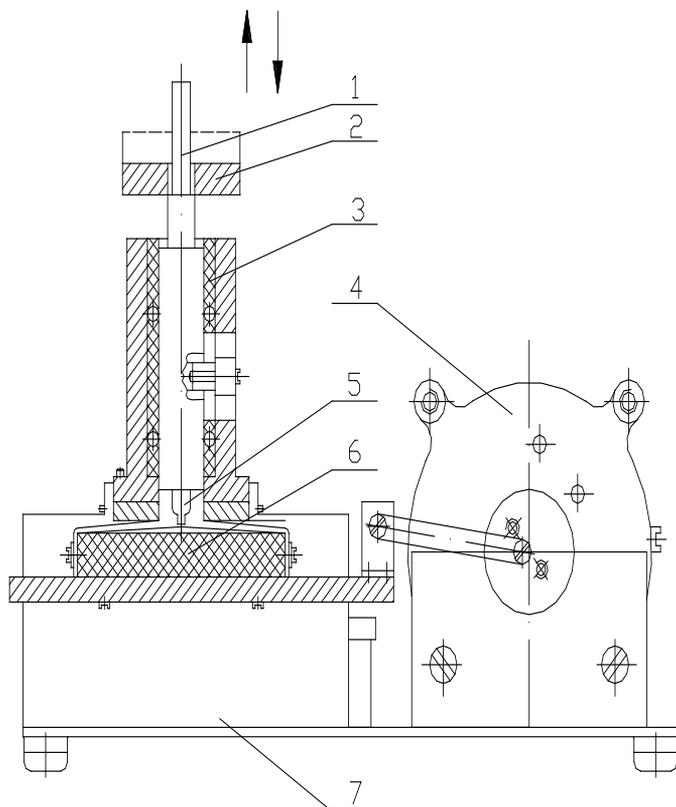
ний-фосфорным химическим покрытием, позволяющие обеспечить заданную шероховатость поверхности по критерию  $R_a$ . Остаточные напряжения сжатия поверхностного слоя, обрабатываемого полированием деталей, и двукратная цинкатная обработка, как показали экспериментальные исследования [2–4], приводят к увеличению прочности сцепления материала основы с химическим покрытием никель-рений-фосфор.

Проверка на износостойкость покрытий показала, что никелированный образец изнашивался почти в 20 раз меньше, чем без покрытия. Общая потеря массы пары трения «АЛ1-Ni-Re-P-покрытие» почти в 24 раза меньше, чем пары «АЛ1-АЛ1». Исследование изно-

стойкости покрытия проводилось весовым методом при различной контактной нагрузке на установке, показанной на рис. 4. Трущаяся пара представляет собой цилиндр из алюминиевого сплава с бронзовым наконечником диаметром 0,8 мм и образец с покрытием. Образец с покрытием совершает возвратно-поступательное движение, и под действием наконечника исследуемое покрытие истирается. Сила трения определялась при помощи граммометра Г10-5, коэффициент трения рассчитывался по следующей формуле:

$$f = F/P,$$

где  $F$  – сила трения, Н;  $P$  – нагрузка, Н.



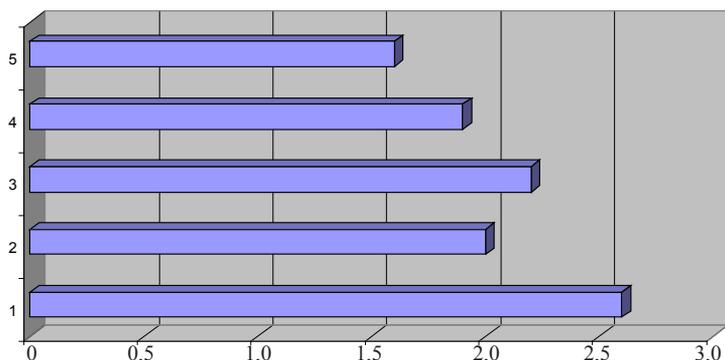
Р и с. 4. Схема установки для испытания покрытия на износостойкость: 1 – стержень; 2 – гири; 3 – сепаратор; 4 – электродвигатель марки РД – 09; 5 – наконечник; 6 – образец с покрытием; 7 – основание прибора

Сначала испытывался образец с необработанным покрытием. При нагрузке на контакт 0,98 Н и силе трения 0,137 Н коэффициент трения составлял 0,14, а износ составлял 2,3 мг. При испытании образца с покрытием после обработки коэффициент трения составлял 0,12 ( $F = 0,115\text{Н}$ ), износ – 1,9 мг.

Образец при испытании закреплялся на лотке, который совершал

возвратно-поступательные движения относительно бронзового наконечника диаметром 1 мм, давящего на образец с силой 2 Н. Износ определялся до проявления основы.

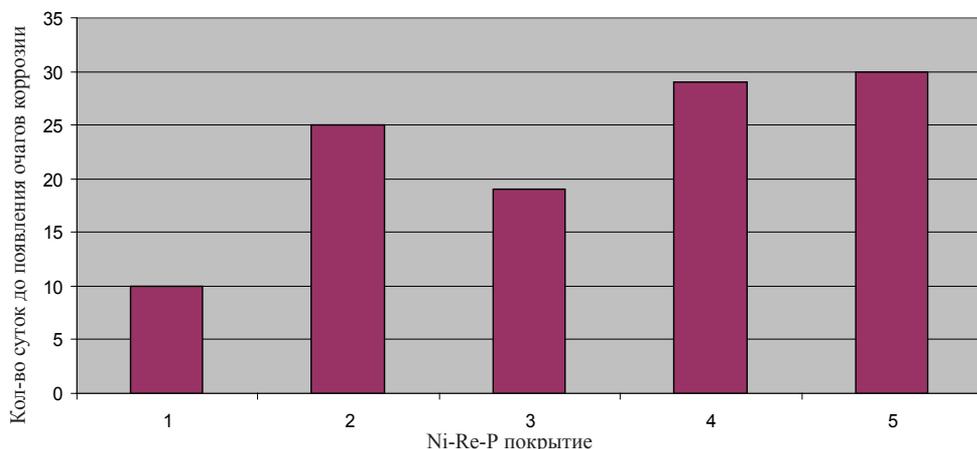
На рис. 5 представлены полученные результаты экспериментальных данных по износостойкости никель-рений-фосфорных покрытий.



Р и с. 5. Весовой износ покрытий никель-фосфор за 25 ч, мг: 1 – покрытие *Ni-Re-P* из кислого раствора с 10 % *P*; 2 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P*; 3 – покрытие *Ni-Re-P* с 5 % *P*; 4 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P* после однократного полирования; 5 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P* после двукратного полирования (5–10% *P*-процентное содержание фосфора в растворе).

Добавка небольших количеств перената калия в раствор *Ni-Re-P* для химического никелирования обеспечивает возможность получения покрытий,

существенно повышающих коррозионную стойкость. Это показали испытания образцов в «тропической» камере (рис. 6).



Р и с. 6. Испытания образцов в «тропической» камере (относительная влажность 98 %,  $t = 40^\circ\text{C}$ ): 1 – покрытие *Ni-Re-P* кислого раствора с 10 % *P*; 2 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P*; 3 – покрытие *Ni-Re-P* с 5 % *P*; 4 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P* после однократного полирования; 5 – покрытие *Ni-Re-P* с 10 % *P* после двукратного полирования.

Таким образом, после механической обработки никель-рений-фосфорных покрытий износостойкость и коррозионная стойкость повышаются в среднем на 12–15 %. Это явление объясняется уменьшением силы трения после механической обработки, что связано с увеличением площади соприкосновения трущихся поверхностей. После никелирования производилась термическая обработка в течение 2,0–2,5 ч при 200–220°C для снижения внутренних напряжений.

Для придания восстановленной поверхности исходной шероховатости в качестве завершающих операций при-

меняли предварительное полирование до  $R_a = 0,63$  мкм и окончательное полирование эластичными кругами до  $R_a = 0,32$  мкм.

Результаты работы внедрены в виде технологии химического осаждения и финишной абразивной обработки защитно-декоративного покрытия сплава никель-рений-фосфор в ООО Объединение «Компрессор» (г. Пенза). Это позволило повысить износостойкость и коррозионную стойкость рабочих поверхностей деталей. Экономический эффект от внедрения разработки достигнут путем увеличения ресурса работы в 1,3–1,5 раза.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов, Е. Н. Теория шлифования металлов : учебник / Е. Н. Маслов. – Москва, 1980. – 350 с.
2. Рейес Альмейда, М. А. Напряженно-деформированное состояние поршней автотракторной техники из алюминиевых сплавов после механической обработки перед никель-фосфорным покрытием / А. Г. Схиртладзе [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 4. – С. 2–5.
3. Рейес Альмейда, М. А. Совершенствование технологии никелирования деталей из алюминиевых сплавов / А. Г. Схиртладзе [и др.] // Технология металлов. – № 8. – 2012. – С. 39–42.
4. Скрыбин, В. А. Совершенствование технологии никелирования деталей из алюминиевых сплавов / В. А. Скрыбин, М. А. Рейес Альмейда // Машиностроитель. – 2013. – № 3. – С. 48–53.
5. Ящерицын, П. И. Теория резания : учебник / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Вышэйш. шк., 1990. – 512 с.

Поступила 18.09.2014 г.

Об авторах:

**Скрыбин Владимир Александрович**, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, профессор (Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), vs\_51@list.ru

**Рейес Альмейда Максим Антонович**, аспирант кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» (Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), max-reyes@yandex.ru

Для цитирования: Скрыбин, В. А. Совершенствование технологии обработки поршней из алюминиевых сплавов с покрытием никель-рений-фосфор / В. А. Скрыбин, М. А. Рейес Альмейда // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 59–70. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.059

## REFERENCES

1. Maslov E. N. Teoriya shlifovaniya metallov: uchebnik [Theory of grinding of metals: Tutorial]. Moscow, 1980, 350 p.
2. Reyes Almeida M. A., Skryabin V. A., Skhirtladze A. G., Pimenova O. V., Svechnikova G. I. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie porshney avtotraktornoy tekhniki iz aluminievyykh splavov posle mekhanicheskoy obrabotki pered nikel-fosfornym pokrytiem [Stressed-strained state of pistons of automotive made of aluminium alloys after mechanical processing to nickel-phosphorus coverage]. *Remont, vosstanovlenie, modernizaciya* – Repair, restoration, modernization. 2011, no. 4, pp. 2–5.

3. Reyes Almeida M. A., Skhirtladze A. G., Skryabin V. A., Karasev N. Ia. Sovershenstvovanie tekhnologii nikelirovaniya detaley iz alyuminievykh splavov [Improvement of technology of nickel plating of details made of aluminium alloys]. *Tehnologija metallov* – Metal Technology. 2012, no. 8, pp. 39–42.

4. Skryabin V. A., Reyes Almeida M. A. Sovershenstvovanie tekhnologii nikelirovaniya detaley iz alyuminievykh splavov [Improvement of technology of nickel plating of details made of aluminium alloys]. *Mashinostroitel'* – Mechanician. 2013, no. 3, pp. 48–53.

5. Yashcheritsyn P. I., Eremenko M. L., Feldsteyn E. E. Teoriya rezaniya: uchebnik [Cutting theory: tutorial]. Minsk, Vyshjeshaja Shkola Publ., 1990, 512 p.

*About the authors:*

**Skryabin Vladimir Aleksandrovich**, professor of Machine Engineering Technology chair of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences, vs\_51@list.ru

**Reyes Almeyda Maksim Antoniovich**, post-graduate student of Machine Engineering Technology chair of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), max-reyes@yandex.ru

*For citation:* Skryabin V. A., Reyes Almeida M. A. Sovershenstvovanie tekhnologii obrabotki porshney iz alyuminievykh splavov s pokrytiem nikel-reniy-fosfor [Technological improvement of finish abrasive treatment of pistons made of aluminum alloys with nickel-rhenium-phosphorus coverage]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 59–70. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.059

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ЁЛОЧНЫХ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

**В. А. Скрыбин**

В статье рассматриваются вопросы повышения шлифования ёлочных замковых соединений лопаток турбокомпрессоров.

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности мощности шлифования профиля лопаток турбокомпрессора дизеля. Отмечается, что при шлифовании ЕЗС с непрерывной правкой кругов алмазными роликами при встречном направлении вращения кругов и роликов шероховатость обработанной поверхности и волнистость снижаются, а производительность труда и стойкость инструмента возрастают по сравнению с попутным направлением вращения кругов и роликов.

Результаты работы, отраженные в статье, внедрены в виде технологии финишной абразивной обработки и программного обеспечения в ОАО «Пензадизельмаш» и ОАО «СКБТ» (г. Пенза), применение которых позволило повысить показатели качества рабочих поверхностей деталей.

**Ключевые слова:** технология обработки, теоретические и экспериментальные исследования, непрерывная правка, алмазные ролики, параметры шероховатости и волнистости, эффективность мощности процесса шлифования, ёлочное замковое соединение лопаток турбокомпрессора.

## INCREASE OF EFFICIENCY OF POLISHING OF FIR-TREE INTERLOCKS OF SHOULDER-BLADES OF TURBO-COMPRESSORS

**V. A. Skryabin**

The questions of improvement of polishing of fir-tree interlocks of shoulder-blades of turbo-compressors are examined. The article contains the results of theoretical and experimental researches of efficiency of power of profile polishing of shoulder-blades of turbo-compressor of a diesel engine. It is shown that as a result of polishing of fir-tree interlock with the correction of circles by diamond rollers at opposite direction of circles and rollers, roughness of a treat surface and its corrugation will reduce, and the labour productivity and firmness of instrument increase as compared to passing direction of rotation of circles and rollers. Working results reflected in the article are adopted as technology of finish abrasive treatment and software on "Penzadizeimash" OJSC and "SKBT" OJSC (city of Penza), application of which make possible promotion of the indexes of quality of working surfaces of details.

**Keywords:** technology of treatments, theoretical and experimental researches, continuous dressing, diamond rollers, roughness and corrugation characteristics, fir-tree interlock of shoulder-blades of turbo-compressor.

Современный этап развития машиностроения характеризуется повышением экономических и научно-технических требований к производству. Главным критерием в условиях современной рыночной экономики является

конкурентоспособность выпускаемой продукции, которая характеризуется снижением материалоемкости и трудоемкости производства, улучшением использования финансовых ресурсов, снижением срока окупаемости инвестиций,

повышением качества при одновременном снижении ее себестоимости.

Специфика современных задач производства определяется еще и тем, что требуется сокращение сроков обновления производственной номенклатуры деталей, увеличение ее сложности, повышение стабильности основных параметров машин и их надежности. Все это является актуальным при производстве дизельных двигателей, увеличении мощности которых связано с изготовлением качественных высоконапорных турбокомпрессоров (ТК).

Одним из главных конструктивных элементов, определяющих ресурс и надежность работы ТК, является ёлочное хвостовое соединение с торцовым соединением лопатки ТК с диском. Турбинные лопатки изготавливаются из труднообрабатываемых литейных сплавов на никелевой основе с высокими прочностными характеристиками (жаропрочностью и износостойкостью), что значительно увеличивает трудоемкость их изготовления при использовании традиционных методов механической обработки и не обеспечивает в должной мере показатели качества.

Эти методы характеризуются низкой степенью автоматизации производства, малой стойкостью лезвийного инструмента и его высокой стоимостью и не позволяют повысить производительность обработки путем интенсификации режимов резания, что может привести к снижению качественных характеристик деталей.

В современном машиностроительном производстве благодаря созданию шлифовальных станков повышенной жесткости и производительности для повышения точности и надежности изделий разрабатываются и успешно осваиваются новые способы шлифования. Наиболее перспективным является метод глубинного шлифования труднообрабатываемых материалов, позволяющий повысить эффективность механической обработки деталей типа лопаток ТК, в том числе за счет использования специальных плоскошлифовальных станков с ЧПУ.

Для глубинного шлифования сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых материалов необходимо соответствующее оборудование, которое должно быть виброустойчивым, иметь повышенную мощность главного привода, высокую статическую и динамическую жесткость. Данным критериям отвечает оборудование, выпускаемое фирмой *ABA-Werk*, – плоскошлифовальные двухшпиндельные станки на базе модели *FUV-1060N* с ЧПУ, а также станки Липецкого станкостроительного завода – плоскошлифовальные двухшпиндельные модели ЛШ-233М с системой ЧПУ *Sinumeric 840D*.

Применение такого оборудования при обработке ёлочного профиля хвостовика лопаток ТК обеспечивает заданную производительность процесса обработки, величину параметра шероховатости  $R_a = 0,8-1,25$  мкм, при этом отсутствуют фазово-структурные изменения в поверхностном слое металла [1], а геометрическая точность размеров соответствует шестому качеству.

Конечным результатом процесса глубинного шлифования ёлочного профиля хвостовика лопаток является его эффективность, которая достигается за счет правильного выбора характеристик круга, режимов шлифования, метода и режимов правки круга, построения циклов шлифования и соблюдения условий шлифования сложнопрофильных поверхностей деталей.

Одним из проблемных вопросов финишной обработки деталей является обработка турбинных лопаток. Лопатка ТК дизеля является наиболее нагруженной деталью, работающей в тяжелых условиях, что определяет длительность службы ТК, т. е. его ресурс. Хвостовик лопатки кроме растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и кручения от газового потока испытывает также термические напряжения, быстрый нагрев в момент запуска и быстрое охлаждение при остановке двигателя.

Статические напряжения во время работы лопатки в ТК достигают величи-

ны порядка 150–200 МПа. Хвостовик лопатки работает при температурах, изменяющихся в диапазонах 450–600 °С. Перепад температуры от хвостовика к концу пера лопатки составляет 150–200 °С. Вибрационные напряжения обычно составляют 40–60 МПа.

Конструкции хвостовых соединений весьма разнообразны и применяются исходя из условий обеспечения необходимой прочности, с учетом технологии их изготовления. В транспортном машиностроении при производстве ТК широкое применение получили ёлочные замковые соединения (ЕЗС) с торцовым соединением. Применение ЕЗС с малым числом зубьев и с достаточно большими радиусами скруглений позволяет более равномерно распределять нагрузку по зубьям и сводить к минимуму концентрацию напряжений.

ЕЗС в зависимости от формы профиля корневого сечения лопатки могут выполняться прямыми, когда ось хвостовика перпендикулярна плоскости диска, и косыми, когда ось хвостовика составляет определенный угол, не равный 90° с плоскостью диска и по дуге окружности.

Вид хвостовика лопатки определяет величину выступания кромок корневого сечения, так как их свисание затрудняет соединение лопаток с диском и снижает усталостную прочность корневой части лопатки. Конструкция ЕЗС должна допускать качание лопатки в диапазоне 0,5–0,8 мм после ее соединения с пазом диска. Лопатки крепятся в пазах диска с помощью клина-замка, который фиксирует их от смещения в осевом направлении.

Основным недостатком ЕЗС является большая зависимость его работоспособности от правильности соблюдения геометрических параметров и качественных показателей при его изготовлении. Таким образом, надежность лопатки ТК при эксплуатации зависит не только от конструктивной прочности (сопротивление циклическому и длительному статическому разрушающим нагрузкам), но и от технологии ее изготов-

товления, которая оказывает непосредственное влияние на качество поверхностного слоя. Наличие в поверхностном слое ЕЗС остаточных напряжений, наклепа, искажений и фрагментации зерен вызывает активизацию процессов окисления, выгорание легирующих элементов и рекристаллизацию. Все это приводит к снижению жаропрочных свойств, сопротивлению усталости и как следствие – к преждевременному разрушению лопаток.

В настоящее время на предприятиях тяжелого и транспортного машиностроения, занимающихся выпуском ТК для дизелей различного назначения (ОАО «Пензадизельмаш», ОАО «СКБТ», ОАО «Коломенский машиностроительный завод», ОАО «Брянский машиностроительный завод» и др.), используются различные методы изготовления ЕЗС лопаток ТК: фрезерование, протягивание, глубинное шлифование.

Одним из наиболее перспективных является метод глубинного шлифования с непрерывной правкой за два рабочих хода на специальных шлифовальных станках с ЧПУ – одношпиндельном ЛШ183М и двухшпиндельном ЛШ233М. В качестве режущего инструмента используются высокопористые круги ЗП 500 × 25 × 203 25А 10П ВМ212К5 ПГ класса точности А, 1 кл. 35 м/с. Обработка деталей производится с технологическими режимами:  $v = 30$  м/с;  $v_d = 200$  мм/мин; с СОТС АКВОЛ – 10 М.

В качестве правящего инструмента применяются алмазные правящие ролики (АР) АС65Т, АС82Т, АС-132 зернистостью 10. Материал лопаток ТК – труднообрабатываемый жаропрочный литейный сплав АНВ300 и жаропрочная сталь 31Х19Н9, а также сплав на никелевой основе ХН70ВМТЮ (ЭИ-617).

При обработке ЕЗС лопаток ТК методом глубинного шлифования основными недостатками являются износ и засаливание абразивных кругов, что приводит к теплонапряженности процесса обработки и как следствие – к низкой производительности. Одним из методов



## 2. Чистовой переход:

припуск на обработку, мм –  $Z = 0,05-0,1$ ;

скорость круга, м/с –  $v_{кр} = 27-30$ ;

скорость подачи стола станка

с деталью, мм/мин –  $v_{д} = 300-500$ ;

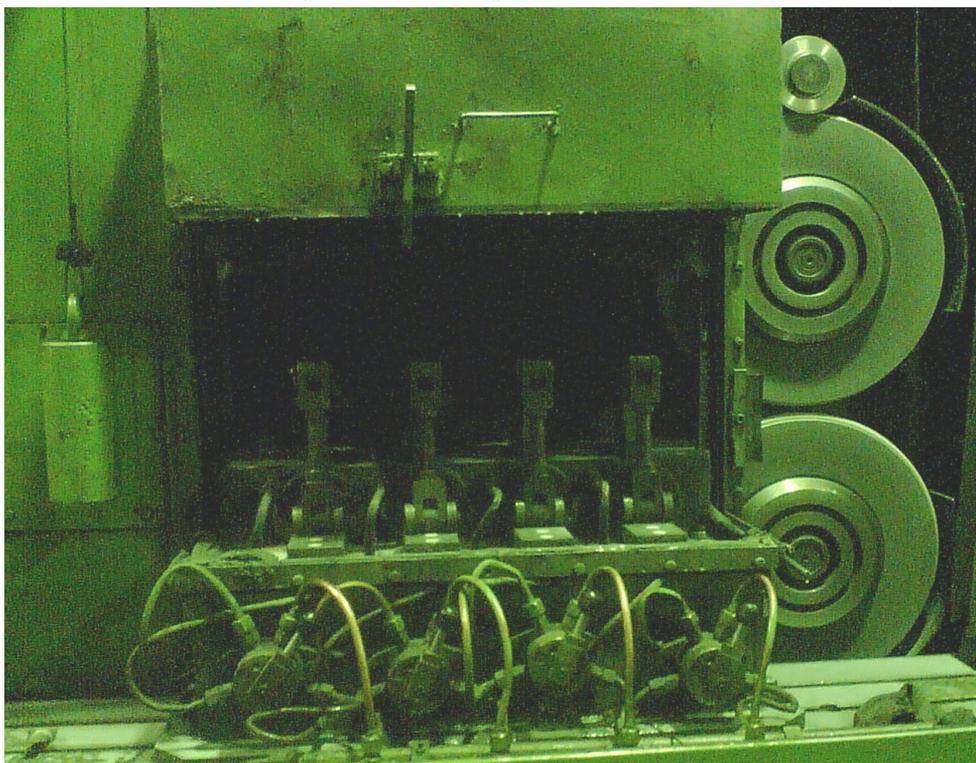
подача ролика на круг, мм на 10 оборотов шлифованного круга –  $0,002$ .

Измерение амплитуды и частоты колебаний, влияющих на виброустойчивость технологической системы, осуществлялось с помощью фотоэлектрической линейки станка на верхней и нижней шпиндельных бабках, шпинделях механизма непрерывной правки станка, усилителя колебаний М60Т, регулятора ПИ19 и осциллографа Н-117/1,5.

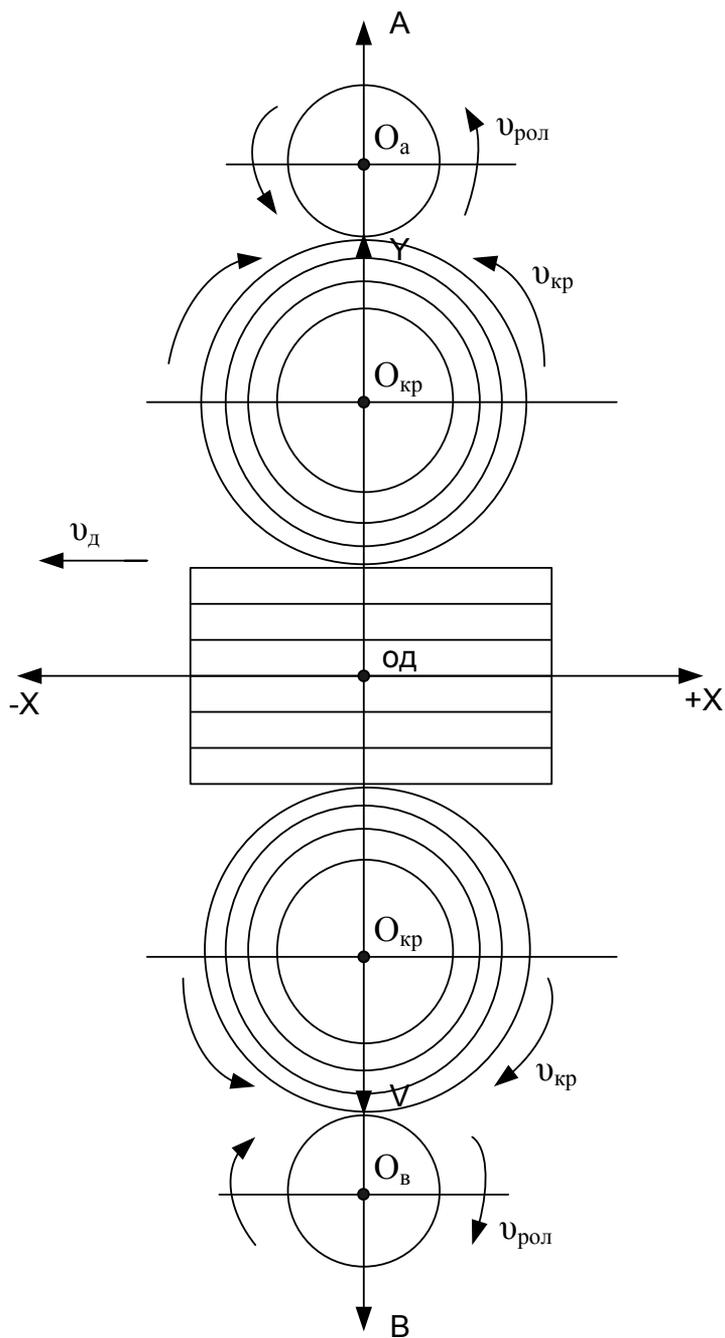
Силы резания  $P_z$  и  $P_y$  измерялись с помощью динамометра УДМ100, усилителя 8АН4 и осциллографа Н-117/1,5. Параметры шероховатости и волнистости измерялись на профилометре АБРИС-ПМ7. Для повышения производительности и качества процесса глу-

бинного шлифования ЕЗС лопаток ТК большое значение имеет определение тангенциальной составляющей силы резания.

Анализ результатов исследований [1] показал, что в зависимости от числа ступеней ЕЗС (4, 5, 6), припуска на обработку при непрерывной правке АР обеспечивается высокая режущая способность абразивного круга, при этом амплитуда колебаний возрастает при попутной правке из-за колебания соотношения скоростей круга и роликов в пределах  $0,8-0,9$ . Экспериментальные исследования показали, что шероховатость ( $R_a$ ) и волнистость ( $W_z$ ), шаг волнистости ( $S_{м.волн.}$ ) поверхности при попутном направлении вращения кругов и роликов будут выше, чем при встречном направлении вращения шлифовальных кругов и роликов. При этом составляющие сил резания  $P_z$  и  $P_y$  и их рассеивание увеличиваются.



Р и с. 2. Вид рабочей зоны станка ЛШ233М



Р и с. 3. Схема обработки лопаток при встречном и попутном вращении кругов и АР

Для определения тангенциальной составляющей  $P_z$  силы резания воспользуемся эмпирической зависимостью [Там же]:

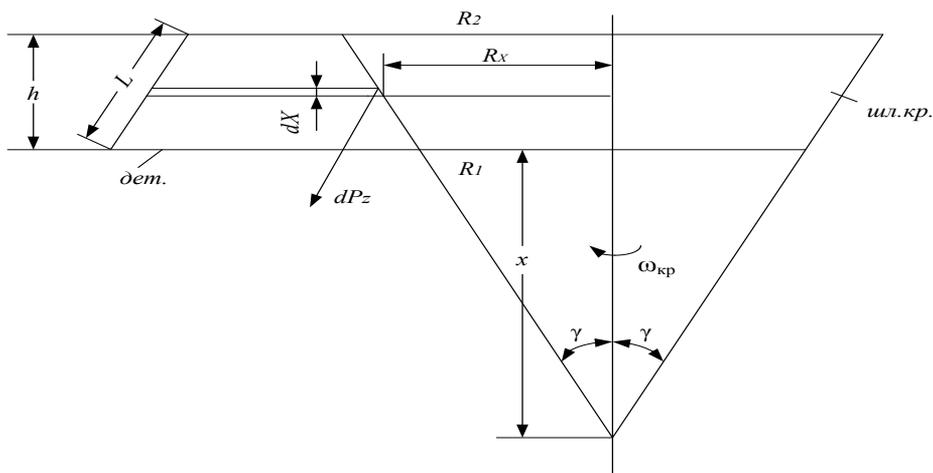
$$P_z = C_{P_z} \times t^{X_{P_z}} \times S_{pr}^{Y_{P_z}} \times \nu^{Z_{P_z}} (\cos \gamma)^{X_{P_z}} \times L \quad (1)$$

где  $C_{P_z}$  – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал и условия его обработки;  $t$  – глубина резания, мм;  $S_{pr}$  – продольная подача, мм/об;  $\nu$  –

скорость резания, м/с;  $L$  – длина обрабатываемой детали, м;  $\gamma$  – угол, определяющий форму профиля.

Для определения этой силы (рис. 4) выделим бесконечно малый элемент обрабатываемой детали высотой  $dx$ , координата которого  $X_{крум}$ . При его шлифовании будет возникать элементарная сила:

$$dP_z = C_{P_z} \times t^{X_{P_z}} \times S_{pr}^{Y_{P_z}} \times \nu^{Z_{P_z}} (\cos \gamma)^{X_{P_z}} \times dL \quad (2)$$



Р и с. 4. Схема обработки детали

Скорость резания обрабатываемого элемента будет равна

$$\nu = \omega_{shl.kr.} \times R_x = \omega_{shl.kr.} \times X \times tg \gamma,$$

где  $\omega_{shl.kr.}$  – угловая скорость шлифовального круга, рад/с. Поскольку  $dL = dx / \cos \gamma$ , то выражению (1) можно придать следующий вид:

$$dP_z = C_{P_z} \times t^{X_{P_z}} \times S_{pr}^{Y_{P_z}} \times (\omega_{shl.kr.} \times tg \gamma)^{Z_{P_z}} (\cos \gamma)^{X_{P_z}} \times \frac{dx}{\cos \gamma} = A \times X^{Z_{P_z}} dx, \quad (2)$$

где

$$A = C_{P_z} \times t^{X_{P_z}} \times S_{pr}^{Y_{P_z}} \times (\omega_{shl.kr.} \times tg \gamma)^{Z_{P_z}} \times \frac{1}{\cos \gamma}.$$

Интегрируя полученное выражение, определяем результирующую касательную силу  $P_z$ :

$$P_z = A \int_{R_1}^{R_2} X^{Z_{P_z}} dx = A \times \left[ \frac{X^{Z_{P_z}+1}}{Z_{P_z}+1} \right]_{R_1}^{R_2}. \quad (3)$$

Учитывая, что для труднообрабатываемых материалов турбинных лопаток [1–2] коэффициенты

$$C_{P_z} = 98 \times 10^3; X_{P_z} = 0,6; Y_{P_z} = 0,65; Z_{P_z} = -0,5, \text{ получаем следующее:}$$

$$P_z = 2 \times A \times \left[ \sqrt{X} \right]_{R_1}^{R_2} = 2 \times A \times (\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}).$$

С учетом габаритов обрабатываемой детали и шлифовального круга получаем:

$$P_z = 2 \times A \times (\sqrt{0,25 \times tg 25^\circ} - \sqrt{0,245 \times tg 25^\circ}) = 6,9 \times 10^{-3} A.$$

На черновом переходе шлифование осуществляется при следующих режимах:

угловая скорость вращения шлифовального круга  $\omega_{shl.kr.} = 101 rad/c$ ;

глубина шлифования  $t = 2$  мм;

продольная подача  $S_{pr.} = 0,104$  мм/об.

В этом случае

$$A = 98 \times 10^3 \times 2^{0,6} \times 0,104^{0,65} \times (101 \cdot tg 25^\circ)^{Z_{p_2}} \times \left(-\frac{0,51}{\cos 25^\circ}\right) = 5477.$$

Следовательно,

$$P_z = 6,9 \times 10^{-3} \times 5475 = 38 H.$$

На чистовом переходе:

$$\omega_{shl.kr.} = 121,2 rad/c;$$

$t = 0,1$  мм;

$$S = 0,207 \text{ мм/об.}$$

$$A = 98 \times 10^3 \times 0,1^{0,6} \times 0,207^{0,65} \times (121,2 \times tg 25^\circ)^{-0,5} \times \frac{1}{\cos 25^\circ} = 1290;$$

$$P_z = 6,9 \times 10^{-3} \times 1290 = 8,9 H.$$

Определение тангенциальной составляющей силы резания необходимо для определения эффективной мощности процесса глубинного шлифования, оценки производительности и качества обработки вышеуказанных деталей и сум-

марных затрат. Одним из важнейших выходных параметров процесса правки при глубинном шлифовании лопатки является его мощность, которая определяется в зависимости от силы резания при непрерывной правке абразивных кругов AP.

Для определения силы резания, возникающей при правке абразивного круга AP, выделим бесконечно малый элемент высотой  $dX$  с координатой  $X$  (рис. 5). Элементарную силу резания можно определить с помощью эмпирической зависимости [2]:

$$dP_z = \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times V_p^{-0,65} \times h_f \times \frac{D_{kr.}}{dp}}{\left(\frac{V_{kr.}}{V_p} + 1\right) \times n} dB, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости абразивного круга, МПа;  $V_p$  – скорость ролика, м/с;  $V_{kr.}$  – скорость круга, м/с;  $h_f$  – фактическая глубина резания, мм;  $D_{kr.}$  – диаметр круга, мм;  $dp$  – диаметр ролика, мм;  $dB$  – ширина ролика, мм;  $n$  – множитель, показывающий, во сколько раз глубина резания больше поперечной подачи.

Из рис. 5 видно, что

$$R_x = R_2 - X \times tg \gamma,$$

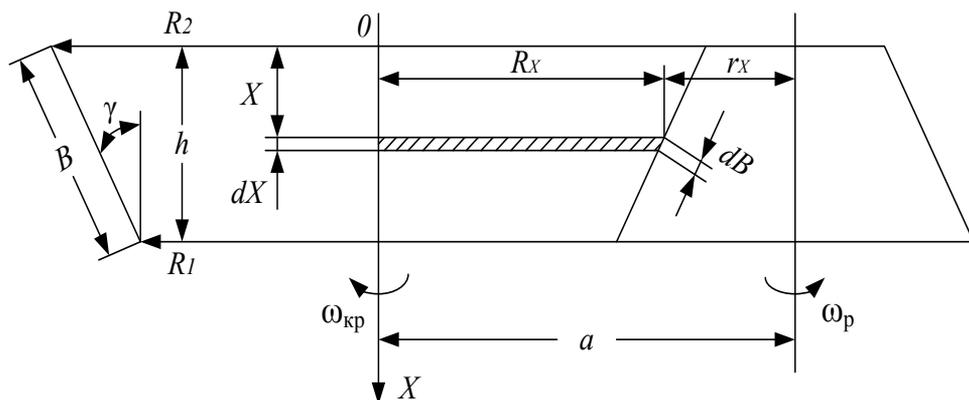
$$r_x = \alpha - R_2 + X \times tg \gamma,$$

где  $\alpha$  – межосевое расстояние ролика и шлифовального круга. В этом случае скорости ролика и круга будут равны:

$$\nu_{kr.} = \omega_{kr.} \times R_x = \omega_{kr.} (R_2 - X \times tg \gamma), \quad (5)$$

$$\nu_p = \omega_p \times r_x = \omega_p (\alpha - R_2 + X \times tg \gamma), \quad (6)$$

$$dB = \frac{dX}{\cos \gamma}.$$



Р и с. 5. Схема правки абразивного круга AP

С учетом этих зависимостей сила резания будет определяться из следующих соотношений:

$$\begin{aligned}
 P_z &= \int_0^h \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times h_f \times \frac{R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma}{\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma} \times [\omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma)]^{-0,65}}{\left[ \frac{\omega_{kr} (R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma)}{\omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma)} + 1 \right] \times n} \times \\
 &\quad \times \frac{dX}{\cos \gamma} = \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times h_f}{n \times \cos \gamma} \times \\
 &\quad \times \int_0^h \frac{R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma}{\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma} \times \omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma) \times [\omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma)]^{-0,65} \\
 &\quad \times \frac{dX}{\omega_{kr} (R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma) + \omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma)} = \\
 &= \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times \omega_p}{n \times \cos \gamma} \int_0^h \frac{(R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma) \times [\omega_p (\alpha - R_2 + X \times \operatorname{tg} \gamma)]^{-0,65}}{\omega_{\delta 0} \times R_2 + \omega_{\delta} (\alpha - R_2) + (\omega_{\delta} - \omega_{\delta 0}) \times X \times \operatorname{tg} \gamma} \times dX.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Однако этот интеграл не имеет точного аналитического решения. В связи с этим упростим подынтегральное выражение, приняв скорость ролика постоянной, что при малой высоте шлифованного круга приведет к незначительным погрешностям. Учитывая это, вышеуказанное выражение можно представить в следующем виде:

$$P_z = A \int_0^h \frac{R_2 - X \times \operatorname{tg} \gamma}{b + CX} \times dX, \tag{8}$$

$$\text{где } A = \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times \omega_{\delta} \times \nu_p^{-0,65}}{n \times \cos \gamma};$$

$$b = \omega_{kr} \times R_2 + \omega_p (\alpha - R_2);$$

$$C = (\omega_p - \omega_{kr}) \times \operatorname{tg} \gamma.$$

Интегрируя последнее соотношение, получаем:

$$P_z = \frac{A \times R_2}{C} \int_0^h \frac{d(b + CX)}{b + CX} - A \times \operatorname{tg} \gamma \int_0^h \frac{XdX}{b + CX} = \frac{A \times R_2}{C} [\ln(b + CX)]_0^h - \frac{A \times \operatorname{tg} \gamma}{C^2} \times$$

$$\times [b + CX - b \times \ln(b + CX)]_0^h = \frac{A \times R_2}{C} \times \ln \frac{b + C \times h}{b} - \frac{A \times \operatorname{tg} \gamma}{C^2} (C \times h + b \times \ln \frac{b}{b + C \times h}). \quad (9)$$

Для осуществления режимов обработки будем иметь:

$$A = \frac{4,5 \times 10^{-7} \times E^{2,05} \times \omega_p \times h_\phi \times \nu_p^{-0,65}}{n \cdot \cos \gamma} =$$

$$= \frac{4,5 \times 10^{-7} \times (52 \times 10^3)^{2,05} \times 524 \times 0,08 \times 28,9 \times 10^{-0,65}}{10 \times \cos 25} = 1085.$$

$$b = \omega_{kr.} \times R_2 + \omega_p (\alpha - R_2) =$$

$$= 101 \times 250 + 524 \times (305 - 250) = 54\,079;$$

$$C = (\omega_p - \omega_{kr.}) \times \operatorname{tg} \gamma =$$

$$= (524 - 101) \times \operatorname{tg} 25^\circ = 197.$$

Следовательно,

$$P_z = \frac{1085 \times 250}{197} \times \ln \frac{54\,079 + 197 \times 10}{54\,079} -$$

$$- \frac{1085 \times \operatorname{tg} 25^\circ}{197^2} (197 \times 10 + 54\,079 \times$$

$$\times \ln \frac{54\,079}{54\,079 + 10 \times 197}) = 48,11 \text{ Н}.$$

В первом приближении мощность шлифования лопатки и правки абразивного круга определяется следующим образом:

$$N_{shl.} = \frac{P_{Zkr.} \times \nu_{kr.}}{102 \times 60};$$

$$N_{pr.} = \frac{P_{Zp.} \times \nu_p}{102 \times 60},$$

где  $P_{Zp.} = 48,11 \text{ Н}$ ;  $\nu_p = 25 \text{ м/с}$ ;

$P_{Zkr.} = 8,9 \text{ Н}$ ;  $\nu_{kr.} = 28,9 \text{ м/с}$ ;

$$N_{shl.} = \frac{8,9 \times 28,9}{102 \times 60} = 0,04 \text{ кВт};$$

$$N_{pr.} = \frac{48,11 \times 25}{102 \times 60} = 0,2 \text{ кВт}.$$

Суммарная эффективная мощность процесса шлифования и правки круга определяется как:

$$N_\Sigma = N_{shl.} + N_{pr.} =$$

$$= 0,04 + 0,20 = 0,24 \text{ кВт}.$$

Учитывая ранее проведенные исследования эффективности мощности шлифования профиля лопаток ТК дизеля можно сделать вывод, что суммарная мощность при шлифовании профиля и непрерывной правке круга в 2–3 раза меньше мощности привода станка, что при шлифовании замка профиля лопаток и правке шлифовального круга, с точки зрения энергетических затрат, свидетельствует о достаточно высокой эффективности процесса глубинного шлифования.

Результаты работы внедрены в виде технологии и программного обеспечения глубинного шлифования ЕЗС лопаток ТК на ОАО «Пензадизельмаш» и ОАО «СКБТ» (г. Пенза), что позволило повысить показатели качества рабочих поверхностей деталей.

Экономический эффект от внедрения разработки достигнут путем увеличения ресурса работы в 1,4–1,5 раза.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Жук, А. П.** Особенности технологии обработки хвостовика лопаток турбокомпрессоров / А. П. Жук, В. А. Скрыбин, А. С. Репин // *Машиностроитель*. – 2006. – № 7. – С. 26–28.
2. **Коломеец, В. В.** Алмазные правящие ролики при врезном шлифовании деталей машин / В. В. Коломеец, Б. И. Полутан – Киев : Наук. думка, 1983. – 144 с.
3. Оптимизация технологии глубинного шлифования / С. С. Силин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1989. – 120 с.

Поступила 25.04.2014 г.

*Об авторе:*

**Скрыбин Владимир Александрович**, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, профессор, (Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), vs\_51@list.ru

*Для цитирования:* Скрыбин, В. А. Повышение эффективности шлифования ёлочных замковых соединений лопаток турбокомпрессоров / В. А. Скрыбин // *Вестник Мордовского университета*. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 71–81. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.071

## REFERENCES

1. Zhuk A. P., Scryabin V. A., Repin A. S. Osobennosti tekhnologii obrabotki khvostovika lopatok turbokompressorov [Features of the technology of treatment of shoulder-blades tailpress of turbo-compressors]. *Mashinostroitel'* – Machine Engineer. 2006, no. 7, pp. 26–28.
2. Kolomeetz V. V., Polutan B. I. Almaznye pravayashchie roliki pri vreznom shlifovanii detaley mashin [Diamond ruling rollers at the mortise polishing of details of machines]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1983, 144 p.
3. Silin S. S., Leonov B. N., Chruikov V. A. Optimizatsiya tekhnologii glubinnogo shlifovaniya [Optimization of the technology of deep polishing]. Moscow, Machine Engineering Publ., 1989, 120 p.

*About the author:*

**Skryabin Vladimir Aleksandrovich**, professor of Machine Engineering Technology chair of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences, vs\_51@list.ru

*For citation:* Skryabin V. A. Povyshenie effektivnosti shlifovaniya elochnykh zamkovykh soedineniy lopatok turbokompressorov [Increase of efficiency of polishing of fir-tree interlocks of shoulder-blades of turbo-compressors]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, no. 1, vol. 25, pp. 71–81. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.071

## КОНТАКТНОЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЕ НЕЗАКРЕПЛЕННОГО ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА С ПОВЕРХНОСТЯМИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В. А. Скрыбин**

В статье рассматриваются закономерности процесса взаимодействия деталей из порошковых материалов с упругодеформируемым дискретным абразивным слоем. Отмечается, что многие известные способы финишной обработки не позволяют в полной мере обеспечить высокое качество поверхностей деталей из порошковых материалов. На поверхностях таких деталей имеются многочисленные поры, в которые могут быть шаржированы продукты износа обрабатывающей среды, а также непосредственно и сами абразивные зерна.

Определяются основные параметры финишной обработки гладких и сложнопрофильных поверхностей: величина дуги контакта; положение дуги контакта относительно поверхности детали; распределение давления по дуге контакта; величина силы, действующей на единичное абразивное зерно; условия обработки (марка и зернистость абразивного наполнителя); состав рабочих жидкостей.

На основе аналитических зависимостей и графиков, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований процесса взаимодействия детали с упругодеформируемым абразивным слоем, даются необходимые рекомендации по практическому использованию абразивной обработки деталей из порошковых материалов как на этапе проектирования нового оборудования в плане достижения заданных производительности и качества обработки, так и на этапе промышленного использования имеющихся установок.

**Ключевые слова:** процесс, взаимодействие, детали, порошковые материалы, упругодеформируемый дискретный абразивный слой, параметры, величина дуги контакта, положение дуги контакта относительно поверхности детали, распределение давления по дуге контакта, величина силы, действующей на единичное абразивное зерно, условия и способы финишной обработки, производительность и качество обработки, этапы проектирования, промышленные установки.

## PIN CO-OPERATING OF UNSUPPORTED DISCRETE POLISHING MATERIAL WITH SURFACES OF WORKPARTS FROM POWDER-LIKE MATERIALS

**V. A. Skryabin**

The subject of the article are regularities of the process of co-operation of details made of powder-like materials with a discrete abrasive layer. It is shown that many known methods of finish do not allow to a full degree to provide high quality of surfaces, of details of powder-like materials. There are numerous pores on the surfaces of such details, foods of wear debris of processing environment and also directly abrasive grains can be charged in.

The basic parameters of finish treatment of smooth and geometrically-complex surfaces are estimated: size of arc of contact, position of arc of contact in relation to the surface of detail, distribution of pressure on the arc of contact, size of force operating

on single abrasive grain treatments, such as brands and gritness of abrasive filler, and also composition of working liquids.

On the basis of the analytical dependences and charts, acquired as a result of theoretical and experimental researches of process of detail with an abrasive layer, recommendations are given on the practical use of abrasive details made of powder-like materials, both on the stage of planning of equipment in the plan of achievement set the productivity and treatment and on the stage of the industrial use of present options.

**Keywords:** process, co-operation, details, powder-like materials, poroelastic discrete abrasive layer, parameters, size of arc of contact, position of arc of contact in relation to the surface of detail, distribution of pressure on the arc of contact, size of force operating on a single grain, terms and methods of finish treatment, productivity and quality of treatment, planning stages, industrial unit.

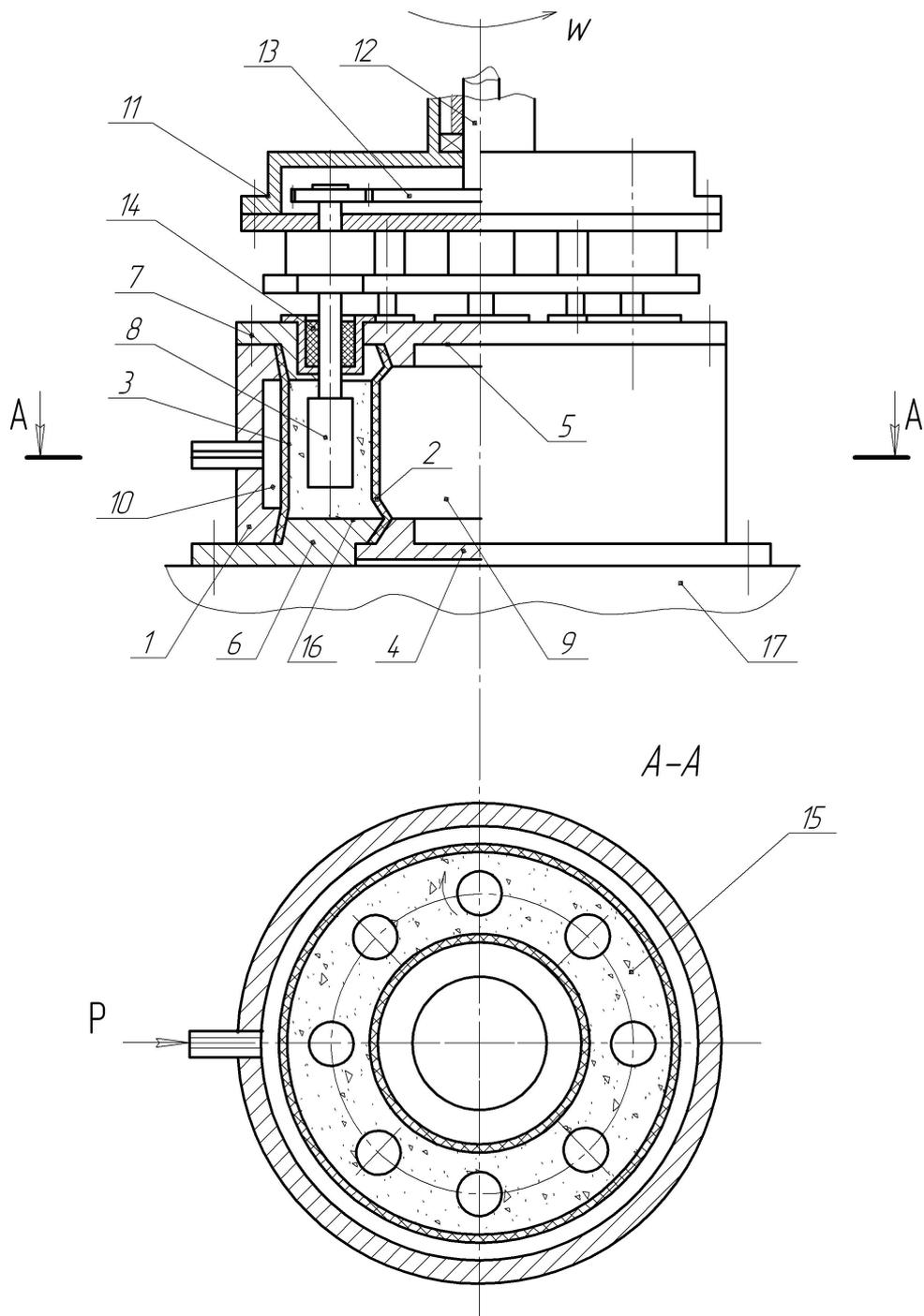
При эксплуатации деталей из порошковых материалов одним из основных факторов, определяющих их долговечность, является пористость поверхности. Многие известные способы финишной обработки не позволяют в полной мере обеспечить высокое качество поверхностей деталей из порошковых материалов. На поверхностях таких деталей имеются многочисленные поры, в которые могут быть шаржированы продукты износа обрабатываемой среды, а также непосредственно сами абразивные зерна. В данном случае основной задачей обработки является повышение качества и износостойкости поверхностей деталей.

Качество профиля деталей во многом определяют характеристики их рабочих поверхностей. Шлифование таких деталей традиционными методами приводит к тому, что часто заглаживается большинство пор на поверхности обрабатываемых материалов, которые в данном случае являются карманами для смазки и удерживают смазочно-охлаждающую жидкость СОЖ (СОТС) в условиях ее недостаточности. Данная задача реализуется путем обработки вышеуказанных деталей в среде статически уплотненной абразивной смеси [4–5; 7; 9].

Установка (рис. 1) содержит корпус 1, в котором размещены две эластичные стенки цилиндрической формы из специальной влаготермохимостойкой резины: центральная 2 и периферийная 3. Крепление центральной стен-

ки к корпусу производится крышками 4 и 5, а периферийной – крышками 6 и 7. Камера содержит две герметичные полости 9 и 10, внутрь которых подводится сжатый воздух. Обрабатываемые детали 8 устанавливаются на оправках многошпиндельной головки 11. Вращение деталям задается от шпинделя 12 через зубчатую передачу 13. Многошпиндельная головка имеет возможность перемещения возвратно-поступательно. С целью предотвращения утечек абразивной обрабатываемой среды из рабочей емкости установка снабжена узлом уплотнения 14.

Вся установка смонтирована на пневмостоле 17, который во время обработки сообщает установке осциллирующие движения, благодаря которым продукты износа обрабатываемой среды, как фракция большей насыпной массы, передвигается ко дну барабана 16, выполненного в виде набора сит с ячейками, размеры которых меньше размеров обрабатываемых частиц основного зернового состава, где происходит удаление продуктов износа из рабочей камеры. При этом обработку осуществляют абразивными зёрнами, размеры которых в 5–10 раз больше средних размеров пор обрабатываемого порошкового материала. Это обеспечивает взаимодействие поверхности обрабатываемой детали только с абразивными зёрнами основной фракции, что позволяет исключить шаржирование поверхности продуктами износа, а также самими абразивными зёрнами.



Р и с. 1. Схема устройства для обработки сложнопрофильных деталей из порошковых материалов

Повышение износостойкости поверхностей деталей из порошковых материалов обеспечивается за счет частичного заглаживания пор, которые являются концентраторами напряжений, снижающими предел выносливости. Заглаживание пор на поверхности порошковых деталей может быть обеспечено только при взаимодействии последних с абразивными частицами, глубина внедрения микропофила которых в обрабатываемую поверхность ограничена десятками долями микрометра ( $\leq 1$  мкм). В этом случае исключается возможность вырывания частиц металла, из которого изготовлена деталь, полученная из порошковых материалов.

Рабочий цикл установки осуществляется следующим образом. Перед началом работы производятся загрузка обрабатываемой среды 15 в рабочую емкость камеры и установка деталей на оправках. В это время многошпиндельная головка находится в верхнем положении, а внутрь камеры и к деталям имеется свободный доступ. После операции загрузки многошпиндельная головка опускается, происходит перемещение деталей внутрь рабочей полости и входные окна емкости закрываются узлом уплотнения. Установка готова к работе. Процесс обработки происходит следующим образом: деталям 8 сообщается вращательное движение. Пневмостол 17 совершает осциллирующие движения и осуществляется подача внутрь полостей 9 и 10 сжатого воздуха из сети пневмопитания.

В результате того что абразивная среда не вращается, практически отсутствует ударное воздействие абразивных зерен на обрабатываемые детали. Кроме того, дно барабана 16 выполнено в виде набора сит с ячейками, размеры которых меньше размеров частиц основной фракции абразива. Это необходимо для удаления продуктов износа абразивных зерен и устранения тем самым шаржирования осколками абразивных частиц в обрабатываемую поверхность детали, изготовленной методом порошковой металлургии.

По окончании цикла обработка прекращается и многошпиндельная головка поднимается. После этого производится смена деталей.

В рассматриваемом способе обработки уплотненный под действием сжатого воздуха через эластичную оболочку абразивный слой выполняет роль режущего инструмента. В качестве обрабатываемой среды применяют сухие или влажные (абразивная суспензия) абразивные зерна и порошки в уплотненном и напряженном состоянии. Режущий инструмент формируется автоматически из свободных 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. Следовательно, сам инструмент в этом случае создается в начале финишной операции технологического процесса в результате контактирования уплотняющихся абразивных частиц и обрабатываемой поверхности. Основу режущего инструмента составляют абразивные зерна или порошки, которые могут быть получены из различных абразивных материалов. Наибольшее применение получил электрокорунд нормальный марок 14 А, 15 А, а также электрокорунд белый марок 24 А, 25 А зернистостью от 125 до 7 М. Электрокорунд является одним из наиболее широко распространенных абразивных материалов с высокой режущей способностью и удовлетворяет всем необходимым требованиям к данной обработке деталей свободным абразивом.

Состав рабочей жидкости существенно влияет на производительность и качество обрабатываемых поверхностей. Это влияние обусловлено особенностями ее воздействия на абразивный наполнитель и обрабатываемую поверхность, которые выражаются в следующем:

– химическое воздействие на обрабатываемую поверхность улучшает обрабатываемость, физико-механические характеристики и шероховатость поверхности;

– предотвращается коррозия обрабатываемых поверхностей, улучшаются их отражательная способность и декоративные свойства;

– хорошие условия охлаждения и стабильный характер протекания процесса обработки обеспечивают довольно высокую износостойкость и работоспособность абразива.

Кроме того, наличие СОЖ в камере с уплотненной обрабатываемой средой обеспечивает удаление абразива, металла и других материалов. В качестве рабочих жидкостей при камерном способе абразивной обработки, как и при других

видах финишной обработки, используются водные растворы щелочей, кислот и солей с добавками, обладающими моющими, травящими, пассивирующими, блескообразующими и другими свойствами.

Использование рекомендованных составов рабочих жидкостей обеспечивает повышение производительности процесса и уменьшение шероховатости при обработке соответствующих групп материалов. Набор составов СОЖ с наиболее доступными и эффективными добавками, применяемый в процессе проведения исследований, приведен в таблице.

Т а б л и ц а

**Рекомендуемые составы СОЖ для камерной обработки деталей из различных материалов**

Номер состава	Обрабатываемый материал	Рабочая жидкость	
		Состав	Содержание, %
1	Стали, полученные методом порошковой металлургии	Сода кальцинированная ( $Na_2CO_3$ )	0,5–1,0
2		Калиевое мыло	0,5–1,0
		Олеиновая кислота ( $C_{17}H_{33}COOH$ )	1,0–1,5
3		Вода ( $H_2O$ )	98,0–97,5
4	Сплавы на основе меди, полученные методом порошковой металлургии	Сода кальцинированная ( $Na_2CO_3$ )	0,5–1,0
5		Тринатрийфосфат ( $Na_3PO_4$ )	1,0–2,0
		Калиевое мыло	0,5–1,0
6		Вода ( $H_2O$ )	98,0–96,0
7		Карбонат кальция ( $CaCO_3$ )	0,5–1,0
		Нитрит натрия ( $NaNO_2$ )	0,5–1,0
8		Вода ( $H_2O$ )	99,0–98,0
9		Нитрит натрия ( $NaNO_2$ )	0,5–1,0
		Вода ( $H_2O$ )	99,0–99,5

Теоретическими и экспериментальными исследованиями [3] было установлено, что при камерном полировании доминирующее абразивное воздействие на поверхность детали оказывается на дуге контакта с уплотненным абразивным слоем, величина которого определяется предельно возможной деформацией абразивных частиц при конкретных технологических параметрах процесса полирования. При этом основное упругое воздействие оказывается упругодеформируемым уплотненным абразивным слоем, форма которого обратна профилю детали.

В связи с этим представляется целесообразным выявить основные закономерности процесса взаимодействия детали с упругодеформируемым дискретным абразивным слоем. К основным характеристикам этого процесса взаимодействия можно отнести следующие параметры: величину дуги контакта, положение дуги контакта относительно поверхности детали; распределение давления по дуге контакта; величину силы, действующей на единичное абразивное зерно.

Из литературных источников [8] известно, что высокие значения производительности и качества поверхности детали могут быть достигнуты только в случае определенных значений параметров процесса обработки. В связи с этим соответствующим образом должны быть подобраны технологические режимы и условия обработки, для чего необходимо установить характер их влияния на величину динамических параметров.

Одной из основных характеристик обработки в уплотненной абразивной среде является ее давление на поверхность детали. Оно определяет характер протекания абразивного воздействия и служит основой при вычислении других динамических параметров. Именно поэтому исследование особенностей динамики рассматриваемого способа обработки необходимо начинать с определения давления абразивной среды

на поверхность детали. При этом абразивную массу будем считать связанной сплошной сыпучей средой, находящейся в предельном напряженном состоянии. В соответствии с работой [2] порошковая абразивная масса состоит из частиц самых разнообразных размеров и форм. Известно, что соотношение частиц различной крупности является одним из важнейших факторов, определяющих механические свойства порошкового тела, и следовательно, сопротивляемость его сжатию.

Если порошковое тело рассматривать как совокупность различных по форме и размерам абразивных частиц, различным образом ориентированных друг относительно друга, то, с точки зрения математической статистики, влияние данной совокупности размеров и форм можно оценить через некоторый средний эквивалентный размер частиц приведенной эквивалентной формы и среднеквадратическое отклонение остальных размеров частиц от эквивалентного. Можно полагать, даже в соответствии с работой [Там же], что распределение размеров и форм генеральной совокупности описывается законом нормального распределения Гаусса. В связи с этим эквивалентный размер частиц порошка может быть определен как среднеарифметическое всех размеров, составляющих генеральную совокупность.

Форма частиц, их макро- и микрогеометрия в значительной степени определяют характер взаимного трения и, следовательно, механические свойства порошковой обрабатывающей среды, сопротивляемость ее всестороннему сжатию. Число частиц с одинаковыми порами и формами по взаимно перпендикулярным направлениям на единицу длины порошкового тела постоянной плотности будет приблизительно одинаковым во всех направлениях. Если расположение частиц порошкового тела в пространстве равновероятно, то даже при условии, что частицы имеют различные размеры по взаимно перпенди-

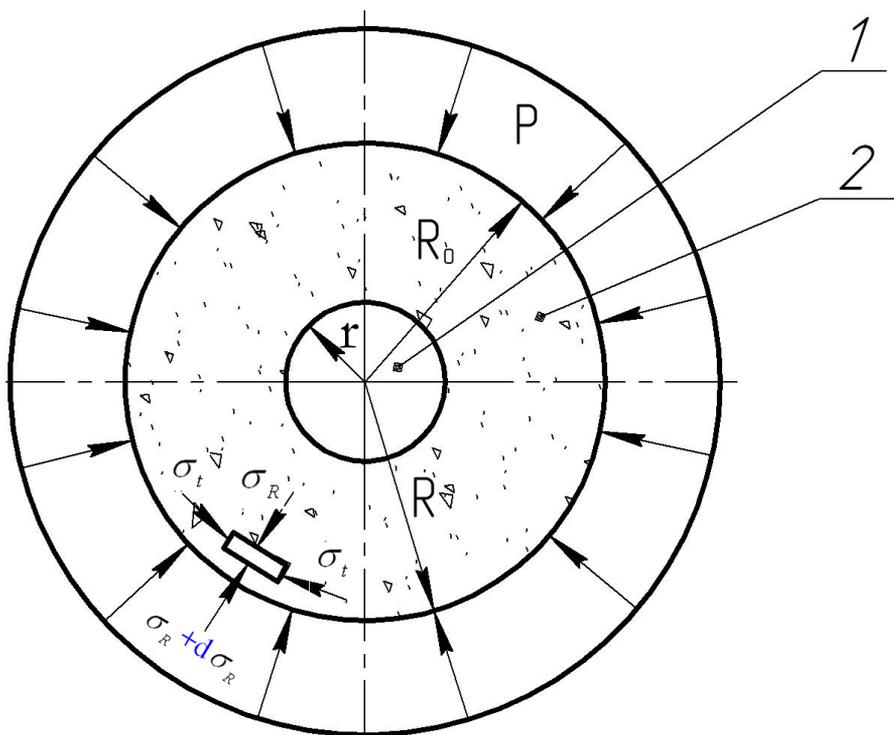
кулярным направлениям, т. е. форму, отличную от сфероидальной, можно ожидать, что на единицу длины по любому направлению в порошковом теле окажется приблизительно одинаковое количество частиц, в соответствии с работой [Там же].

Такое порошковое тело можно назвать дискретно-изотропным. Если же вероятность взаимного относительного расположения частиц в пространстве неодинакова, то частицы при образовании структуры порошкового тела будут стремиться занять наиболее вероятное положение, при котором площадь максимального сечения приблизительно перпендикулярна направлению приложения усилия. В связи с этим число абразивных частиц порошка на единицу длины в данном случае будет зависеть от вза-

имной ориентации частиц, и, следовательно, будет неодинаковым по различным направлениям.

Такое порошковое тело можно назвать дискретно-анизотропным. Обычно анизотропия свойств порошкового тела выражена весьма незначительно, и в соответствии с работой [6] необходимо отметить, что тело изотропное, или однородное, относительно одних свойств может быть неизотропным, или неоднородным, относительно других. В дальнейшем мы будем рассматривать только изотропные и однородные тела, понимая под этим однородность и изотропность в смысле упругих свойств.

При обработке деталей предлагаемым способом применяется нагружение цилиндрического тела сжимающими силами, равномерно распределенными по внешней поверхности (рис. 2).



Р и с. 2. Схема для расчета давления обрабатывающей среды при обработке поверхностей деталей типа тел вращения: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – обрабатывающая среда

В этом случае могут быть применены уравнения равновесия сил и уравнения совместности деформаций элементарного объема тела [1; 10], представленные в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_R}{dR} \times R = \sigma_t - \sigma_R; \\ \frac{d\sigma_t}{dR} - \nu \frac{d\sigma_R}{dR} = \frac{1+\nu}{R} (\sigma_R - \sigma_t). \end{cases} \quad (1)$$

Решая данную систему при граничном условии

$$\sigma_R = P \text{ при } R = R_0, \quad (2)$$

где  $R_0$  – радиус оболочки камеры, найдем

$$\sigma_R = \sigma_t = P. \quad (3)$$

Напряжение  $\sigma_z$  определим, исходя из условия невозможности деформации обрабатываемой среды в направлении оси  $OZ$  (корпус камеры считаем абсолютно жестким). С учетом этого получаем уравнение:

$$\sigma_z - \nu(\sigma_R + \sigma_t) = 0, \quad (4)$$

из которого находим

$$\sigma_z = 2\nu\sigma_R = 2\nu P. \quad (5)$$

Давление абразивной среды на обрабатываемую поверхность равно радиальным напряжениям при  $R = R_0$  и, следовательно, имеем:

$$\sigma_R = P_2 = P. \quad (6)$$

Давление абразивной среды с учетом конструктивных параметров установки и коэффициента Пуассона  $\nu$ , действующее непосредственно на поверхность детали, можно определить в соответствии с работой [9]:

$$P_2 = (\sigma_R)_{R=R_0} = P \left[ 1 - \frac{R^2 - R_0^2}{R^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} \cdot R_0^2} \right], \quad (7)$$

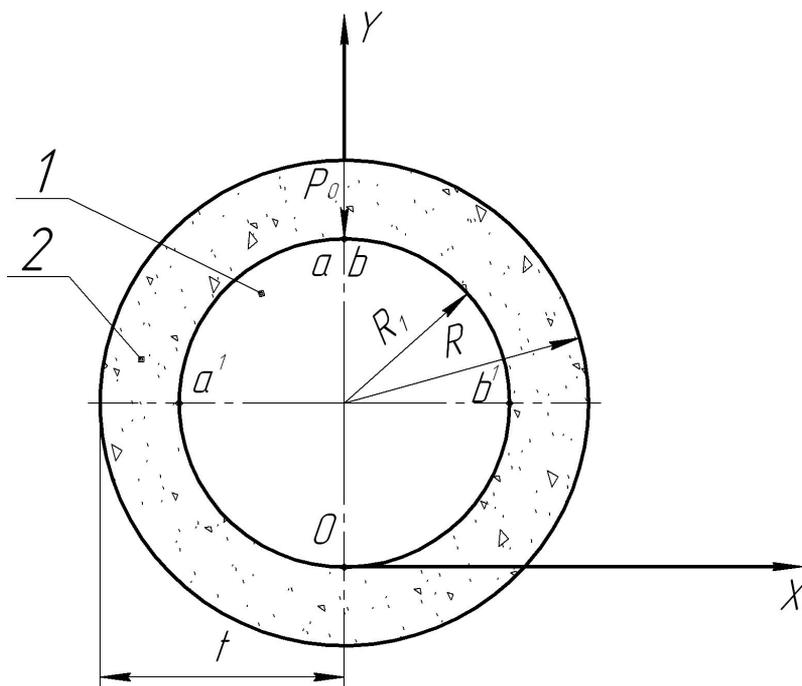
где  $R$  – радиус детали,  $R_0$  – радиус оболочки камеры,  $\sigma_R$  – нормальная компонента напряжения в радиальном направлении,  $\sigma_t$  – нормальная компонента напряжения в окружном направлении.

На рис. 2 показана схема для расчета давления обрабатываемой среды при обработке деталей типа тел вращения. Указанное выражение является решением поставленной задачи. Они устанавливают в первом приближении искомого взаимосвязь между давлением обрабатываемой абразивной среды на поверхность детали, технологическими режимами, конструктивными параметрами и условиями обработки.

Для определения давления абразивной среды при ее контакте с различными сложнопрофильными поверхностями можно использовать зависимость (8) и рассмотреть ее применительно к нашему случаю (рис. 3).

$$P(t) = \frac{\cos(\pi\alpha)}{\pi R(k+1)} \times \frac{\{P_0 R(k+1) - 4 \times \pi \mu \times \cos(\pi\alpha) \{t^2 - [a^1 o (\frac{1}{2} + \alpha) + ob^1 (\frac{1}{2} - a)] \times t - (\frac{1}{4} - \alpha^2) \times (a^1 o - o^1 b)^2 / 2\}\}}{(t - a^1 o)^{\frac{1}{2} + \alpha} + (a^1 b^1 - t)^{\frac{1}{2} + \alpha}}, \quad (8)$$

$$\alpha = (1/0,2284 / \pi) \arctg[k(k-1) / (k+1)].$$



Р и с. 3. Схема к расчету давления обрабатывающей среды на поверхность сложнопрофильных деталей:

1 – обрабатываемая деталь, 2 – обрабатывающая среда

Здесь  $k = (\lambda + 3 \times \mu) / (\lambda + \mu) = 3 - \mu$ , где  $\lambda$  и  $\mu$  – постоянные Ламе, которые связаны с модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона следующими соотношениями:  $E = \mu \times (3\lambda + 2\mu) / (\lambda + \mu)$  и  $\nu = \lambda / 2 / (\lambda + \mu)$ ;  $ab$  – дуга контакта поверхности детали с упругодеформируемой обрабатывающей средой;  $P_0$  – нормальная сила, приложенная к детали на единицу ее длины;  $R$  – радиус детали;  $k$  – коэффициент трения между поверхностью детали и обрабатывающей средой (считаем, что по всей поверхности контакта в течение цикла полирования он постоянен);  $P$  – нормальное давление, действующее на поверхности контакта;  $R_1$  – радиус оболочки камеры, передающей давление через абразивный упругодеформированный слой на поверхность детали.

Величину дуги контакта  $ab = ao + ob$  (см. рис. 3) можно определить следующим образом:

$$ao = \sqrt{\frac{P_0 \times (k + 1) \times (1 + 2\alpha) \times R \times R_1}{2 \times \pi \times \mu \times \cos(\pi\alpha) \times (1 - 2\alpha) \times (R + R_1)}}, \quad (9)$$

$$ob = -ao \frac{1 - 2\alpha}{1 + 2\alpha}. \quad (10)$$

В настоящее время влияние зернистости абразива на модуль упругости, коэффициент Пуассона, связность абразивной среды, угол внутреннего трения и другие параметры, характеризующие обрабатывающую среду как сплошное тело, исследованы еще недостаточно. В связи с этим можно считать, что при одинаковых режимах обработки значение нормальной силы, независимо от зернистости обрабатывающей среды, будет одинаковым.

По аналогии с ранее проведенными исследованиями определим число абразивных частиц зернистости  $Z$ , которые могут быть расположены на площади  $S$ :

$$N = \frac{4K \times S}{\pi Z^2}, \quad (11)$$

где  $N$  – число абразивных частиц, контактирующих с поверхностью детали на площади  $S$ ;  $K$  – коэффициент, характеризующий марку абразивного материала;  $Z$  – зернистость абразива в единицах длины.

Зависимость (11) позволяет определить число абразивных зерен, которые контактируют с поверхностью площади  $S$  без учета фракционного состава абразива, формы абразивных частиц и насыпной массы различных абразивных материалов, что делает ее весьма удобной для использования в расчетах. Среднее число абразивных частиц, расположенных по дуге контакта  $ab$  с учетом (11), определяется следующим образом:

$$N_{ab} = \frac{4ab}{Z} \times \sqrt{\frac{K}{\pi}}. \quad (12)$$

Для наглядности можно ввести следующие обозначения:

$$d_y = \frac{2ab}{N_{ab}} = \frac{Z}{2} \times \sqrt{\frac{\pi}{K}}, \quad (13)$$

где  $d_y$  – некоторый условный диаметр абразивных частиц данной зернистости, которые могут быть расположены по дуге контакта  $ab$ .

В этом случае величина давления, действующего на единичное абразивное зерно, расположенное на расстоянии  $t$  от точки  $o$ , получается из выражения:

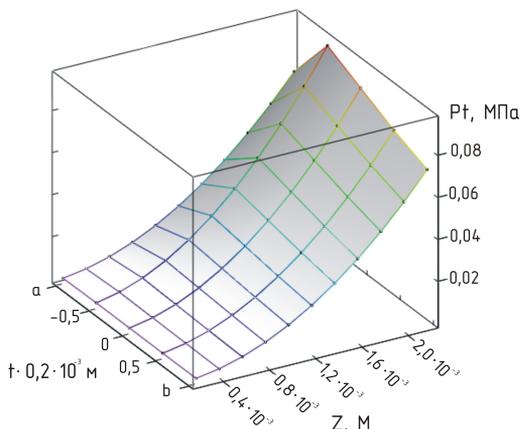
$$P_t = \frac{N}{N \times n} \int_{t-d_o/2}^{t+d_o/2} P(t) \times dt \quad \text{или}$$

$$P_t = \frac{Z}{2 \times n} \times \sqrt{\frac{\delta}{K}} \int_{t-d_y/2}^{t+d_y/2} P(t) \times dt, \quad (14)$$

где  $n$  – число точек соприкосновения одной абразивной частицы с поверхностью детали.

Расчет давления обрабатывающей среды на поверхность детали по вышеприведенным зависимостям позволил определить его величину (0,05–0,15 МПа).

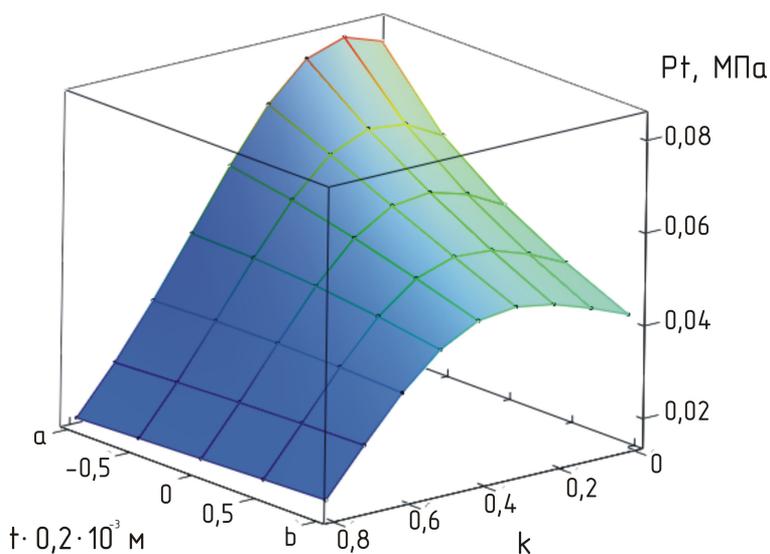
Используя вышеперечисленные математические зависимости, с помощью прикладной программы математического анализа Mathcad Enterprise Edition V.14 были получены результаты зависимости давления абразивной среды на единичное абразивное зерно от радиуса детали из порошковых материалов на основе железа марки ПК-40, от зернистости абразива и от коэффициента трения обрабатывающей среды о поверхности детали. Для анализа результатов расчетов удобнее представить их в графической форме (рис. 4).



Р и с. 4. График зависимости давления на поверхность детали от зернистости обрабатывающей среды

Из графической зависимости видно, что величина дуги контакта от зернистости не зависит, а точка приложения максимального давления к поверхности детали с увеличением зернистости смещается на незначительную величину от точки  $o$  к точке  $a$ .

График зависимости давления на поверхность детали в зависимости от коэффициента трения обрабатывающей среды показан на рис. 5.



Р и с. 5. График зависимости давления на поверхность детали от коэффициента трения обрабатывающей среды

Из графика (см. рис. 5) следует, что с повышением коэффициента трения дуга контакта увеличивается, а максимальное давление уменьшается. При этом характер распределения давления по дуге контакта становится в определенной мере более равномерным. Точка приложения максимального давления к поверхности детали так же, как и на предыдущем графике (см. рис. 4), смещается от  $o$  к  $a$ .

Характер зависимости давления, действующего на поверхность от радиуса детали (рис. 6), аналогичен предыдущей зависимости (см. рис. 5), т. е. с увеличением радиуса детали при неизменной величине радиуса эластичной оболочки дуга контакта увеличивается, а давление абразивной среды на поверхность детали уменьшается; при этом распределение давления по дуге становится более равномерным. Точка приложения максимального давления к поверхности детали незначительно смещается от  $o$  к  $a$ , что подтверждает равномерный характер распределения давления обрабатывающей среды на поверхность детали.

Анализ представленных графических зависимостей позволяет дать

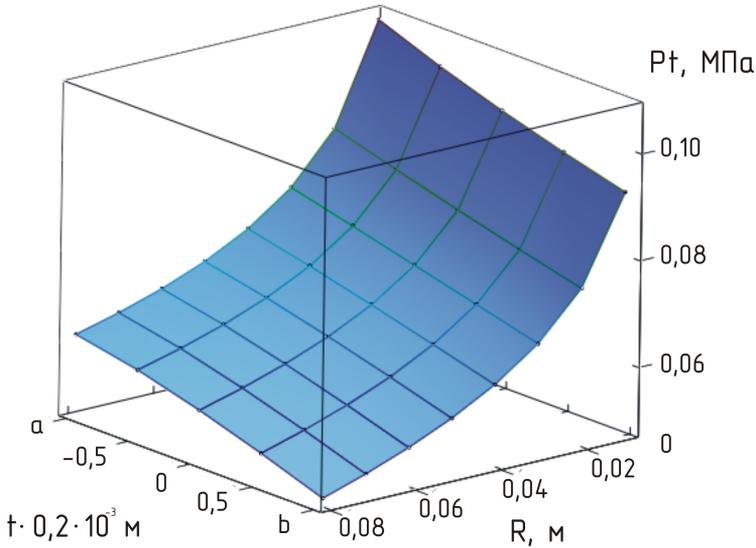
следующие рекомендации по использованию камерного полирования для финишной обработки, как правило, неточных деталей и для обработки точных деталей, размеры которых получены на предыдущих этапах формообразования при их изготовлении из порошковых материалов.

Учитывая специфику финишной абразивной обработки поверхностей деталей, необходимо использовать обрабатывающую среду большей зернистости. При этом марку абразива и состав наполнителей необходимо выбирать из условия обеспечения по возможности большего коэффициента трения обрабатывающей среды о поверхность детали и исключения возможности проворота абразивного зерна относительно поверхности детали [4].

Необходимо отметить, что на величину дуги контакта, а следовательно, и на другие характеристики процесса взаимодействия детали с абразивным слоем влияют также модуль упругости и коэффициент Пуассона обрабатывающей среды. Полученные результаты определяют возможности регулирования давления обрабатывающей среды на по-

верхность детали и позволяют определить условия обработки, при которых его величина достигает рекомендованных значений. Например, при обработке

деталей из порошковых материалов на основе железа давление с учетом предварительных экспериментов рекомендуется задавать в диапазоне 0,05–0,15 МПа.



Р и с. 6. График зависимости давления на поверхность детали от ее радиуса

Таким образом, приведенные зависимости и графики дают достаточно полное представление о взаимодействии детали с упругодеформируемым абразивным слоем, что позволяет получить необходимые рекомендации по

практическому использованию абразивной обработки деталей из порошковых материалов как на этапе проектирования нового оборудования, так и на этапе промышленного использования имеющихся установок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Беляев, Н. М.** Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. – Москва : Наука, 1959. – 648 с.
2. **Жданович, Г. М.** Теория прессования металлических порошков / Г. М. Жданович. – Москва : Металлургия, 1969. – 264 с.
3. **Машенцев, А. А.** Особенности взаимодействия детали с дискретной уплотненной обрабатывающей средой / А. А. Машенцев, В. А. Скрябин, А. С. Репин. – Москва : Техника машиностроения. – 2003. – № 6(46). – С. 52–53.
4. **Машенцев, А. А.** Особенности финишной абразивной обработки сложнопрофильных деталей из порошковых материалов / А. А. Машенцев // Машиностроитель. – Москва : Виразж-центр, 2004. – № 9. – С. 30–31.
5. **Машенцев, А. А.** Положительное решение о выдаче патента на изобретение (заявка № 2006101247/02 (001347)) РФ, МКИ 6 В24В 31/027. Способ финишной обработки изделий / А. А. Машенцев, В. А. Скрябин, В. А. Ломакин. – Москва : ВНИИГПЭ.
6. **Мусхелишвили, Н. И.** Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мусхелишвили. – Москва : Изд-во АН СССР, 1954. – 648 с.
7. **Скрябин, В. А.** Финишная обработка спеченных деталей в уплотненной абразивной среде / В. А. Скрябин, О. Ф. Пшеничный // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента : межвузовский сборник научных трудов. – Пенза : Пенз. политехн. ин-т, 1987. – Вып. 15. – С. 59–63.

8. **Скрябин, В. А.** Производительность процесса обработки деталей уплотненным слоем абразивного микропорошка / В. А. Скрябин, А. Н. Мартынов, В. А. Лемин // Повышение качества изготовления деталей машин методами отделочно-упрочняющей обработки : тезисы докладов научно-технической конференции – Пенза : ПДНТП, 1991. – С. 49 – 51.

9. **Скрябин, В. А.** Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом / В. А. Скрябин. – Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. – 120 с.

10. **Скрябин, В. А.** Методика определения основных параметров процесса камерной обработки деталей / В. А. Скрябин, Ю. В. Рыбаков // Информационный листок. – Пенза : ПЦНТИ, 2000. – № 48-00.

Поступила 18.09.2014 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, профессор, vs\_51@list.ru

Для цитирования: Скрябин, В. А. Контактное взаимодействие незакрепленного дискретного шлифовального материала с поверхностями обрабатываемых деталей из порошковых материалов / В. А. Скрябин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 82–95. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.082

## REFERENCES

1. Belyaev N. M. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow, Nauka Publ., 1959, 648 p.
2. Zhdanovich G. M. Teoriya pressovaniya metallicheskikh poroshkov [Theory of pressing of metallic powders]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, 264 p.
3. Mashentsev A. A., Skryabin V. A., Repin A. S. Osobnosti vzaimodeystviya detali s diskretnoy uplotnennoy obrabatyvayushchey sredoy [Features of co-operation of detail with the discrete close-settled processing environment]. Moscow, Tekhnika Mashinostroeniya Publ., 2003, no. 6, pp. 52–53.
4. Mashentsev A. A. Osobnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki slozhnoprofilnykh detaley iz poroshkovykh materialov [Finish abrasive treatment of details from powder-like materials]. *Mashinostroitel'* – Machine Engineer. Moscow, Virazh-centr Publ., 2004, no. 9, pp. 30–31.
5. Mashentsev A. A., Skryabin V. A., Lomakin V. A. Polozhitelnoe reshenie o vydache patenta na izobrenenie (zayavka № 2006101247/02 (001347)) RF, MKI 6 V24V 31/027. Sposob finishnoy obrabotki izdeliy [Positive decision about delivery of patent on the invention (request № 2006101247/02 (001347)) of Russian Federation, MKI 6 B24B 31/027. Method of finish treatment of wares]. Moscow, VNIIGPJe.
6. Mushelishvili N. I. Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti [Some basic tasks of mathematical theory of resiliency]. Moscow, AN SSSR Publ., 1954, 648 p.
7. Skryabin V. A., Pshenichnyy O. F. Finishnaya obrabotka spechennykh detaley v uplotnennoy abrazivnoy srede [Finish treatment of the sintered details in the close-settled abrasive environment]. *Almaznaya i abrazivnaya obrabotka detalej mashin i instrumenta: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* – Diamond and abrasive treatment of details of machines and instrument: collected works. Penza, Penzenskiy Politehnicheskii Institut Publ., 1987, vol. 15, pp. 59–63.
8. Skryabin V. A., Martynov A. N., Lemин V. A. Proizvoditelnost protsessa obrabotki detaley uplotnennym sloem abrazivnogo mikroporoshka [The Productivity of process of treatment of details the close-settled layer of abrasive]. *Povyshenie kachestva izgotovleniya detaley mashin metodami otdelochno-uprochnyayushchey obrabotki : tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* – Upgrading of quality of machine details by the methods of treatment: abstracts of scientific and technical conference. Penza, PDNTP Publ., 1991, pp. 49–51.
9. Skryabin V. A. Osnovy protsessa submikrerezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom [Bases of process of submicron cutting at treatment of details with an unsupported abrasive]. Penza, PVAIU Publ., 1992, 120 p.
10. Skryabin V. A., Rybakov Yu. V. Metodika opredeleniya osnovnykh parametrov protsessa kamernoy obrabotki detaley [Methodology of determination of basic parameters of process of chamber treatment of details]. *Informacionnyj listok* – The Informative sheet. Penza, PCNTI Publ., 2000, no. 48-00.

*About the author:*

**Skryabin Vladimir Aleksandrovich**, professor of Machine Engineering Technology chair of Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, Russia), Doctor of Sciences degree holder in Engineering sciences, vs\_51@list.ru

*For citation:* Skryabin V. A. Kontaktnoe vzaimodeystvie nezakreplennogo diskretnogo shlifovalnogo materiala s poverkhnostyami obrabatyvaemykh detaley iz poroshkovykh materialov [Pin co-operating of unsupported discrete polishing material with surfaces of workparts from powder-like materials]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 82–95. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.082

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ БОКОВОЙ СТЕНКИ ВАГОНА ЗЕРНОВОЗА В СРЕДЕ SOLIDWORKS SIMULATION

**С. П. Кудяев, М. В. Чугунов, А. Г. Фоминов,  
С. И. Борискин, В. В. Курганов, А. М. Кармишин**

В статье рассматривается вариантная оптимизация проектирования технологического процесса сварки-сборки боковой стенки вагона зерновоза. В процессе сборки-сварки сборочные единицы подвижного состава подвергаются существенным температурным деформациям, что может оказать влияние на выполнение технических требований, предъявляемых к форме и взаимному расположению поверхностей свариваемых элементов. В этой связи представляется актуальной задача оптимизации проектного решения (в технологическом аспекте) на основе предварительного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции.

Поставленная задача решалась как нестационарная, несвязанная задача термоупругости в линейной постановке с использованием CAD/CAE системы SolidWorks (SolidWorks Simulation). Проводилось сравнение полученных результатов напряженно-деформированного состояния модели с деформациями, полученными на ОАО «Руххиммаш» при опытном изготовлении боковой стенки вагона зерновоза.

**Ключевые слова:** технологический процесс, вариантная оптимизация, SolidWorks Simulation, термоупругость, напряженно-деформированное состояние.

## SIMULATION OF WELDING PROCESS OF SIDE WALL OF A GRAIN CAR IN SOLIDWORKS SIMULATION ENVIRONMENT

**S. P. Kudayev, M. V. Chugunov, A. G. Fominov,  
S. I. Boriskin, V. V. Kurganov, A. M. Karmishin**

The article is devoted to variance optimization of projecting of technological process of assembling and welding of side wall of a grain car. The process of assembling and welding of the vehicle is subject to significant thermal movement that can affect the performance of the technical requirements for the form and arrangement of surfaces of welded elements. In this regard, it is a pressing task to optimize the design of the solution (in terms of technology) based on a preliminary analysis of the stress-strain state of the structure.

In this paper the authors consider the problem of variant design optimization process of welding-assembly sidewall grain carriers. The problem is solved as a time-dependent, unrelated problem of thermoelasticity in the linear formulation using CAD / CAE system SolidWorks (SolidWorks Simulation). The authors have conducted a comparison of the results of the stress-strain state of the model with the deformations obtained on "Ruzkhimmash" in the experimental production of the side wall.

**Keywords:** technological process, variance optimization, SolidWorks Simulation, thermoelasticity, the stress-strain state.

В процессе сборки-сварки металлоконструкции подвергаются существенным температурным деформациям, что может оказать влияние на выполнение технических требований, предъявляе-

мых к форме и взаимному расположению поверхностей свариваемых элементов. В этой связи представляется актуальной задача оптимизации проектного решения (в технологическом аспекте)

© Кудяев С. П., Чугунов М. В., Фоминов А. Г., Борискин С. И., Курганов В. В., Кармишин А. М., 2015

на основе предварительного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции.

Задача решается как задача вариантной оптимизации проектирования технологического процесса сварки-сборки для боковой стенки вагона зерновоза. Боковая стенка состоит из листа толщиной 3 мм и приваренных к нему 9 швеллеров сечением  $120 \times 80 \times 4$  мм. Материал элементов стенки – низколегированная сталь 10ХНДП. Сварка полуавтоматическая в среде  $\text{CO}_2$ , марка сварочной проволоки 08Г2С диаметром 1,2 мм.

*Теоретические основы и инструментальные средства решения поставленной задачи*

Целью работы в части анализа конструкторских и технологических проектных решений является качественная оценка напряженно-деформированного состояния конструкции боковой стенки вагона зерновоза, возникающего в процессе сборки-сварки. Поставленная задача решалась как нестационарная, несвязанная задача термоупругости в линейной постановке, что позволило уравнения теплопроводности и упругости решить раздельно. Таким образом, результирующее напряженно-деформированное состояние определялось по известным температурным полям [3].

Для решения поставленной задачи использовалась CAD/CAE система SolidWorks (SolidWorks Simulation), поскольку она оптимальным образом сочетает в себе «инженерный» и исследовательский функционал [1]. Метод конечных элементов, реализованный в SolidWorks Simulation, обеспечивает возможность получения адекватных результатов для задач рассматриваемого класса. В ходе исследования проводилось параметрическое твердотельное моделирование деталей боковой стенки вагона; рассматривалось ее напряженно-деформированное состояние в процессе сборки-сварки под термической нагрузкой и под действием усадки швеллера; анализировались соответствующие результаты напряженно-дефор-

мированного состояния конструкции при рассмотрении различных вариантов граничных условий модели.

*Моделирование процесса сборки-сварки под действием термической нагрузки*

Данный подход предполагает одновременный нагрев катетов продольного шва с обеих сторон до температуры  $300^\circ\text{C}$ , соответствующей номинальной температуре в процессе остывания шва. При этом рассматривались два варианта граничных условий модели, соответствующих закреплению швеллера на торцах по боковым поверхностям и по верхней грани.

Анализ полученных напряженно-деформируемых состояний конструкции показал, что предпочтительнее первый вариант закрепления швеллера, как дающий меньшие относительные перемещения деталей боковой стенки в процессе сборки-сварки. При первом варианте крепления результирующее перемещение составило 6,911 мм, при втором – 7,379 мм.

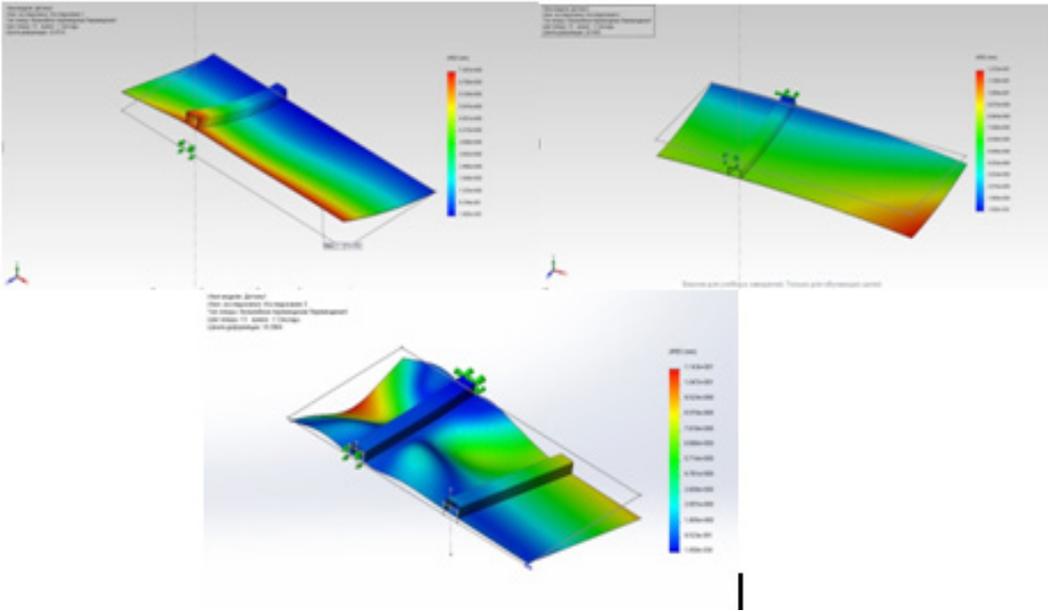
*Моделирование процесса сборки-сварки под действием усадки швеллера*

Данный подход рассматривает в качестве нагрузки величину усадки швеллера, которая происходит в результате его остывания при сборке-сварке стенки.

Задаваясь длиной швеллера  $L = 1$  м, привариваемого к листу, а также режимами сварки: напряжением дуги  $U_d = 21$  В, силы тока  $I_{св} = 170$  А и КПД сварки  $\eta = 0,8$  в соответствии с методикой, изложенной в [2], определяем усадку швеллера:  $\Delta L = 0,054$ .

Так как сварка швеллера производится с двух сторон, то общая усадка составит  $2\Delta L$  и будет равна 0,108 см. Полученное значение задавалось в окне «расширенные крепления» SolidWorks Simulation, что позволило смоделировать усадку швеллера по всей длине.

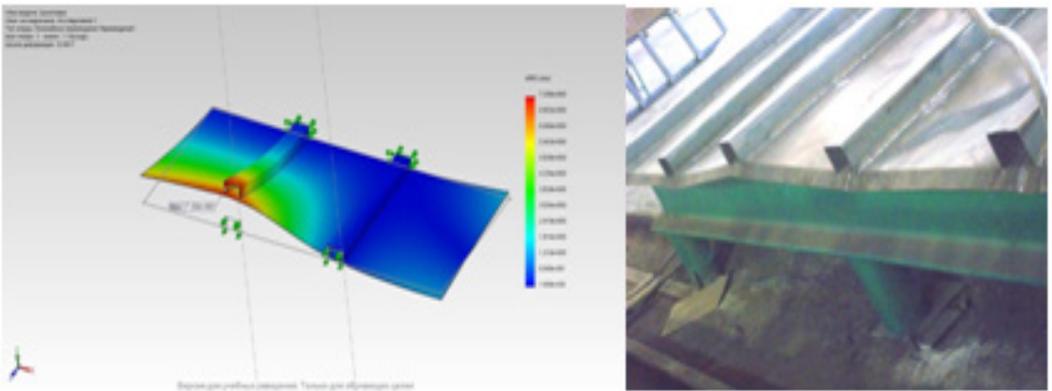
Рассматривались три варианта граничных условий модели: по боковым сторонам, верхней грани торца и всему торцу. Полученные при этом результаты представлены на рис. 1.



Р и с. 1. Перемещения модели при различных граничных условиях

В ходе проектирования проводилось сравнение полученных результатов напряженно-деформированного состояния

модели с деформациями, полученными на ОАО «Рузхиммаш» при опытном изготовлении боковой стенки (рис. 2).



Р и с. 2. Деформации боковой стенки при моделировании и опытном изготовлении

При сравнении отмечалась схожесть в волнообразовании. При усадке швеллер стягивал лист. Кроме того, прослеживался подъем одного швеллера вместе с листом относительно других.

Отличие полученных результатов может быть связано с тем, что при сварке на участке заготовки не закрепляют. При этом в SolidWorks Simulation для расчета необходимо обеспечить кинематическую неизменяемость модели.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алямовский, А. А.** Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.
2. **Душницкий, В. М.** Указания по методам правки элементов сварных мостовых конструкций / В. М. Душницкий, В. В. Пассек. – Москва, 1973. – 33 с.
3. **Коваленко, А. Д.** Введение в термоупругость / А. Д. Коваленко. – Киев : Наукова думка, 1965. – 204 с.

Поступила 18.09.2014 г.

*Об авторах:*

**Кудаев Сергей Петрович**, заведующий кафедрой технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат физико-математических наук, доцент, rimkudaev@rambler.ru

**Чугунов Михаил Владимирович**, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, доцент, m.v.chugunov@mail.ru

**Фоминов Александр Геннадьевич**, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), rimvc@rambler.ru

**Борискин Сергей Иванович**, ассистент кафедры общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), Boriskinsi@rambler.ru

**Курганов Владимир Владимирович**, студент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), inst\_mach@adm.mrsu.ru

**Кармишин Александр Михайлович**, главный сварщик ОАО «Рузхиммаш» (Россия, г. Рузаевка-6), aleksandr.karmishin@rzhm.rmrail.ru

*Для цитирования:* Кудаев, С. П. Моделирование процесса сварки боковой стенки вагона зерновоза в среде SolidWorks Simulation / В. В. Курганов [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 96–100. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.096

## REFERENCES

1. Alyamovskiy A. A. Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow, DMK Press Publ., 2010, 464 p.
2. Dushnitskiy V. M, Passek V. V Ukazaniya po metodam pravki elementov svarnykh mostovykh konstruktсий [Guidance on correction of elements of welded bridge structures]. Moscow, 1973, 33 p.
3. Kovalenko A. D. Vvedenie v termouprugost [Introduction to thermoelasticity]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1965, 204 p.

*About the authors:*

**Kudayev Sergey Petrovich**, head of Machine Engineering Technology chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Physico-Mathematical sciences, docent, rimkudaev@rambler.ru

**Chugunov Mikhail Vladimirovich**, head of General Scientific Disciplines chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, docent, m.v.chugunov@mail.ru

**Fominov Aleksandr Gennadyevich**, associate professor (docent) of Machine Engineering Technology of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), rimvc@rambler.ru

**Boriskin Sergey Ivanovich**, teaching assistant of General Scientific Disciplines chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Boriskinsi@rambler.ru

**Kurganov Vladimir Vladimirovich**, student of Machine Engineering Technology chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), inst\_mach@adm.mrsu.ru

**Karmishin Aleksandr Mikhaylovich**, chief welder of JSC “Ruzhim mash” (Ruzaevka-6, Russia), aleksandr.karmishin@rzhm.rmrail.ru

*For citation:* Kudayev S. P., Chugunov M. V., Fominov A. G., Boriskin S. I., Kurganov V. V., Karmishin A. M. Modelirovanie protsessa svarki bokovoy stenki vagona zernovoza v srede SolidWorks Simulation [Simulation of welding process of side wall of a grain car in SolidWorks Simulation environment]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 96–100. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.096

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА С ПЛАВАЮЩИМИ РЕЗЦОВЫМИ БЛОКАМИ

Ю. Г. Юфкин, Н. Н. Веснушкина

В статье рассматриваются вопросы операции чистового растачивания самоустанавливающимися инструментами как инструментами с конструктивно реализованной системой адаптации. Устанавливаются основные источники погрешностей технологической системы; исходные погрешности формы отверстий в заготовке; погрешности установки заготовки в станке. За основу создания математической модели, описывающей процесс растачивания самоустанавливающимися инструментами, взята математическая модель процесса обработки в виде замкнутой технологической системы. Плавающие резцовые блоки рассматриваются как абсолютно жесткие тела, имеющие относительно корпуса инструмента одну степень свободы. Общими параметрами, характеризующими конструкцию расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, являются: их число; сила прижима каждого резцового блока в корпусе инструмента; коэффициенты трения резцовых блоков в корпусе инструмента; число режущих элементов, расположенных с каждой стороны резцового блока. Составляющие силы резания представлены в виде постоянной и переменной частей. Переменная часть составляющих силы резания представлена в виде рядов Фурье. Формализация профиля обрабатываемого отверстия учитывает его погрешности в радиальном сечении (овальность, отгранка). Текущей координатой, описывающей в заданной точке профиль обрабатываемого отверстия, является центральный угол. Полученная динамическая модель работы расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, учитывающая переменный характер составляющих силы резания, действующих на каждом режущем элементе, позволяет с достаточной точностью описывать его работу в реальном времени.

**Ключевые слова:** математическая модель, расточной инструмент, режущий элемент, составляющие силы резания, глубина резания, погрешности формы.

## DYNAMIC MODEL OF A BORING TOOL WITH FLOATING CUTTER BLOCKS

Yu. G. Yufkin, N. N. Vesnushkina

The article discusses the operation of fine boring with self-positioning tools as tools with a constructively implemented adaptation system. The authors establish the main sources of error of the technological system; sources of error shape of the holes in the workpiece; error of the workpiece in the machine. The mathematical model describing the process of boring self-aligning tools is created basing on a mathematical model of processing in the form of a closed technological system. Floating cutter blocks are regarded as completely rigid body relative to the tool body having one degree of freedom. General parameters characterizing the structure of a boring tool with floating cutter blocks are their number; the pressing force of each of the insical unit in the tool body; friction coefficients of cutting blocks in the tool body; the number of cutting elements disposed on each side of the incisal block. Components of the cutting forces are presented in the form of fixed and variable parts. The variable part of the components of the cutting force is presented in the form of a Fourier series. The formalization of the profile of the hole takes into account its error in the radial section (ovality, cut). Current coordinate describing the profile at a given point of the hole is a central angle. The resulting dynamic model of the boring tool with floating cutting blocks, which takes into account the variability of the components of the cutting force acting on each cutting element, can adequately describe his work in real time.

**Keywords:** mathematical model, boring tools, cutting element, cutting force components, cutting depth, form error.

© Юфкин Ю. Г., Веснушкина Н. Н., 2015

Одной из наиболее трудных проблем в металлообработке является получение в деталях машин точных отверстий. Известными резервами повышения качества и снижения себестоимости операций чистового растачивания является применение самоустанавливающихся инструментов как инструментов с конструктивно реализованной системой адаптации. Применение самоустанавливающихся инструментов позволяет компенсировать основные источники погрешностей технологической системы (относительные смещения осей инструмента и обрабатываемой детали; отклонение от прямолинейности движения подачи; деформации, упругие смещения и неравномерность жесткости технологической системы; колебания и вибрации системы; исходные погрешности формы отверстий в заготовке; погрешности установки заготовки в станке и др.).

Недостатком существующих теоретических исследований процессов растачивания самоустанавливающимися инструментами на основе создания математических моделей, описывающих динамику их работы, является то, что они проводились без учета переменного характера сил резания, действующих на инструмент. Для учета переменного характера сил резания необходимо при составлении математической модели представить процесс обработки в виде замкнутой технологической системы [1]. При этом плавающие резцовые блоки рассматриваются как абсолютно жесткие тела, имеющие относительно корпуса инструмента одну степень свободы. Корпус инструмента в осевом сечении и в направлении, перпендикулярном движению плавающих резцовых блоков, рассматривается абсолютно жестким [2]. Общими параметрами, характеризующими конструкцию расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, являются:  $n$  – число плавающих резцовых блоков ( $i = 1 \div n$ );  $m_i$  – масса  $i$ -го резцового блока;  $N_i$  – сила прижима  $i$ -го резцового блока в корпусе инструмента;  $f_{ТП}$  – коэффициент

трения  $i$ -го резцового блока в корпусе инструмента;  $P_{ij}$  – число режущих элементов, расположенных с  $j$ -й стороны  $i$ -го резцового блока ( $j = 1 \div 2$ );  $k = 1 \div P_{ij}$ ;  $P_{xi,j,k}$ ;  $P_{yi,j,k}$ ;  $P_{zi,j,k}$  – составляющие силы резания, действующие на  $k$ -ю режущую вставку, расположенную с  $j$ -й стороны  $i$ -го резцового блока;  $t_B$  – текущее время работы инструмента.

В процессе работы инструмента в зависимости от значений технологических параметров для каждого режущего элемента ( $S$ ;  $V$ ;  $t_{i,j,k}$ ) на них действуют определенные значения составляющих силы резания. Силы, действующие на режущие элементы, действуют на резцовые блоки. В зависимости от величины суммарных составляющих результирующих сил и направления их действия, резцовые блоки перемещаются на определенную величину. Это перемещение изменяет значение глубины резания на каждом из режущих элементов, что, в свою очередь, ведет к изменению составляющих силы резания на режущих элементах. Таким образом, общее уравнение движения  $i$ -го резцового блока относительно корпуса инструмента описывается в следующем виде:

$$m_i \ddot{y}_i = P \sum_{k=1}^{P_{i,1}} P_{yi,1,k}(t_B) - \sum_{k=1}^{P_{i,2}} P_{yi,2,k}(t_B) - \left[ N_i + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{P_{i,j}} P_{xi,j,k}(t_B) + P_{zi,j,k}(t_B) \right] \times f_{ТП}$$

Изменяющиеся по времени составляющие силы резания представлены в математической модели в виде рядов Фурье:

$$P_{xi,j,k}(t_B) = A_{0xi,j,k} + \sum_{c=1}^r A_{xi,j,k,c}$$

$$\sin \omega_x t_B + \sum_{c=1}^r B_{xi,j,k,c} \cos c \omega_x t_B,$$

$$P_{yi,j,k}(t_B) = A_{0yi,j,k} + \sum_{c=1}^r A_{yi,j,k,c}$$

$$\sin c \omega_y t_B + \sum_{c=1}^r B_{yi,j,k,c} \cos c \omega_y t_B,$$

где  $P_{xi,j,k}; P_{yi,j,k}$  – составляющие силы резания, действующие на  $k$ -й режущий элемент, расположенный с  $j$ -й стороны  $i$ -го резового блока;

$A_{xi,j,k,c}; B_{xi,j,k,c}$  – амплитудные составляющие рядов;

$\omega_x; \omega_y$  – частотные составляющие гармоник рядов;

$c$  – номер гармоники;

$r$  – число гармоник.

Амплитудные и частотные составляющие гармоник рядов связаны эмпирическими зависимостями с технологическими параметрами обработки и геометрическими параметрами инструмента.

Далее рассмотрим задачу формализации профиля обрабатываемого отверстия в радиальном сечении. Для данного случая наиболее частыми погрешностями формы являются овальность (эллипсность) и огранка. Текущей координатой, описывающей в заданной точке профиль обрабатываемого отверстия в его радиальном сечении, может являться центральный угол ( $\varphi_i$ ), образованный плоскостью, проходящей через ось инструмента, и осью, расположенной в радиальной плоскости (перпендикулярной оси инструмента), проходящей через вершину рассматриваемого режущего элемента. По числу оборотов инструмента в единицу времени и текущему времени работы инструмента можно определить значение центрального угла.

Для определения реальной глубины резания для  $i$ -го режущего элемента ( $R_{pi}$ ) необходимо знать угол поворота режущего элемента относительно плоскости, проходящей через ось инструмента, и разницу значений номинального и реального профилей в рассматриваемой точке. Описывая погрешности профиля обрабатываемого отверстия в его радиальном сечении, рассмотрим координатную систему, оси которой совпадают с осями эллипса, характеризующего погрешность формы отверстия. Пусть большая полуось эллипса равна  $R_{max,i}$  а малая –  $R_{min,i}$ , номинальный радиус обрабатываемого отверстия равен  $R_{nomi}$ .

Положение  $R_{nomi}$  на реальном профиле определяется как

$$R_{nomi} = R_{min} + \frac{(R_{maxi} - R_{mini})}{2}$$

Рассматриваемая развертка профиля в функциональной зависимости  $R_{pi} = f(\varphi_i)$  является периодической с периодом

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i},$$

где  $\omega_i$  – циклическая частота, описывающая движение режущего инструмента.

Амплитуда ( $A_i$ ) функции равна

$$A_i = \frac{(R_{maxi} - R_{mini})}{2}$$

Таким образом, разница значений ( $\Delta R_i$ ) номинального и реального профилей в рассматриваемой точке определится следующим образом:

$$\Delta R_i = A_i \cos(\omega_i t_B),$$

где  $t_B$  – текущее время работы инструмента.

Для определения циклической частоты ( $\omega_i$ ) обозначим через  $N_{ob}$  число оборотов инструмента в единицу времени. Тогда частоту основной гармоники функции можно определить как

$$\vartheta_i = 2N_{ob}.$$

Циклическая частота определяется:

$$\omega_i = 4\pi N_{ob}.$$

Отсюда следует, что один оборот инструмента равен двум периодам функции  $R_{pi} = f(\varphi_i)$ .

С увеличением числа граней (случай огранки с  $n$  числом граней) циклическая частота функции  $R_{pi} = f(\varphi_i)$  во столько же раз возрастает. Величина текущего радиуса  $R_{pi}$  при данном угле  $\varphi_i$  будет определяться как векторная сумма но-

минального радиуса и приращения периодической погрешности, вызванной погрешностью формы в поперечном сечении обрабатываемого отверстия:

$$R_{pi} = R_{nom i} + \frac{1}{2}(R_{max i} - R_{min i}) \cos(2\pi n N_{ob} t_B).$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козочкин, М. П.** Динамика процесса резания / М. П. Козочкин. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 296 с.
2. **Кудинов, В. А.** Динамика станков / В. А. Кудинов. – Москва : Машиностроение, 1976. – 369 с.

*Поступила 18.09.2014 г.*

*Об авторах:*

**Юфкин Юрий Гаврилович**, доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, yuriyfkin@mail.ru

**Веснушкина Нина Николаевна**, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), nina.vesnushkina@mail.ru

*Для цитирования:* Юфкин, Ю. Г. Динамическая модель расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками / Ю. Г. Юфкин, Н. Н. Веснушкина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 101–104. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.101

## REFERENCES

1. Kozochkin M. P. Dinamika processa rezaniya [Dynamics of the process of cutting]. LAP LAMBERT Academic Publ., 2013, 296 p.
2. Kudinov V. A. Dinamika stankov [Dynamics of machines]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1976, 369 p.

*About the authors:*

**Yufkin Yuriy Gavrilovich**, associate professor (docent) of Machine Tools and Systems chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, yuriyfkin@mail.ru

**Vesnushkina Nina Nikolayevna**, associate professor (docent) of Machine Engineering Technology chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), nina.vesnushkina@mail.ru

*For citation:* Yufkin Yu. G., Vesnushkina N. N. Dinamicheskaya model rastochного instrumenta s plavayushchimi reztsovymi blokami [Dynamic model of a boring tool with floating cutter blocks]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 101–104. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.101

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ BIM В АРХИТЕКТУРНОМ УЧЕБНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

П. С. Ерофеев, В. Ф. Манухов, С. Н. Карпушин

В статье рассматривается возможность применения методов BIM в учебном архитектурном проектировании в качестве технологии информационного проектирования зданий. Предлагается при учебном проектировании проводить расчеты зданий и сооружений современными программными комплексами, основанными на методе конечных элементов, с использованием моделей, созданных в BIM-системах. Рассматриваются основные преимущества информационного моделирования зданий и сооружений в сравнении с традиционными методами проектирования. Раскрываются основные проблемы внедрения данной технологии как в учебный процесс, так и непосредственно в архитектурно-строительное проектирование.

**Ключевые слова:** информационное проектирование, моделирование, программный комплекс, учебный проект, технология BIM.

## THE USE OF BIM TECHNOLOGY IN ARCHITECTURAL DESIGN SCHOOL BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

P. S. Erofeyev, V. F. Manukhov, S. N. Karpushin

The article discusses the possibility of application of BIM methods in architectural design teaching as a technology of information design of buildings. The authors propose to conduct calculations for buildings and structures at modern software systems based on the finite element method, which uses the model created in BIM systems. The basic advantages of information modeling of buildings and constructions are esteemed in comparison with traditional design methods. The article shows the main problems of development and introduction of this technology in Russia in the learning process as well as directly in the architectural design of buildings.

**Keywords:** information design, simulation, software system, educational project, BIM technology.

В последнее десятилетие характерной тенденцией в строительстве и проектировании является увеличение доли уникальных зданий и сооружений, существенно отличающихся своим дизайном, архитектурными формами, конструктивной схемой и материалами от зданий, построенных ранее. Данное явление сказывается на повышении уровня ответственности и сложности проектирования. В свою очередь, это приводит к увеличению числа ошибок при стандартном подходе к проектированию [2].

Несколько лет назад на Западе широкое распространение в архитектурно-строительном проектировании получила технология BIM (с англ. – *building information modeling*), или технология информационного моделирования зданий. В ее основе лежит концепция объектно-ориентированного параметрического проектирования зданий. Данное параметрическое моделирование является принципиальной особенностью, которая отличает BIM-программу от любой CAD-системы [1; 4].

© Ерофеев П. С., Манухов В. Ф., Карпушин С. Н., 2015

Проанализируем основные преимущества BIM перед традиционными методами моделирования. Классические САД-системы на современном этапе могут нести в себе информацию о размерах, материалах и цветах. Однако при возникновении необходимости в модификации объекта приходится осуществлять практически новое построение, т. е. все изменения проводятся вручную, занимая при этом существенную часть времени и сил. Не трудно убедиться, что в данном случае в разы возрастает вероятность возникновения ошибок.

Попыткой решения этой проблемы стало создание новой технологии, где на первое место выходит концепция информационно-насыщенного моделирования с использованием параметризации. Информация в ней несется не отдельными графическими элементами (отрезками, окружностями и т. д.), а интеллектуальными моделями (стенами, перекрытиями и др.), способными в любой момент корректироваться и видоизменяться. Построение ведется не только в двумерной плоскости, но и в виде пространственной модели с дальнейшим получением необходимых видов. При таком подходе появляется возможность автоматически представлять объекты с учетом полноты их геометрических характеристик, а также выявлять их точное расположение

в пространстве и более детально учитывать взаимосвязи между ними. В данной системе при замене отдельных элементов вся информация о них также автоматически изменяется, что, в свою очередь, решает проблему контроля внесения изменений. Более того, появляется перспектива детальной проработки возможных вариантов, их сравнения и впоследствии выбора наиболее рационального и экономичного решения.

Еще одним преимуществом BIM-технологии является ее способность задействовать в работе над проектом нескольких человек, занятых разными разделами проектирования. Например, при расчете зданий и сооружений современными программными комплексами, основанными на методе конечных элементов, нередко используются модели, созданные в таких BIM-системах как ArchiCAD, Revit Architecture и др. Все это также существенно упрощает весь цикл моделирования и расчетов. Аналогичный подход незаменим для организации взаимосвязи конструктивной части с дальнейшей работой по проектированию внутреннего оборудования, в том числе при создании сложнейших по форме объектов. Дальнейшее усложнение конструктивных и архитектурных особенностей будет только способствовать развитию и внедрению BIM [3].



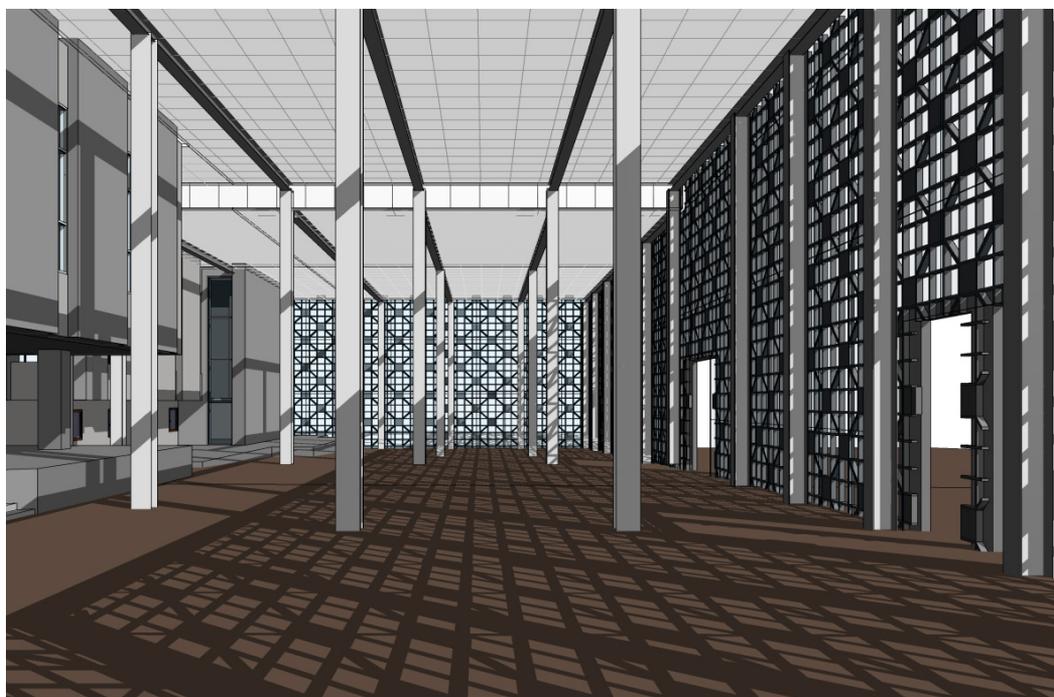
Р и с. 1. Перспектива здания – учебный проект реконструкции Музейного комплекса С. Эрзи, выполненный при помощи программного комплекса Revit Architecture



Р и с. 2. Перспектива здания – учебный проект реконструкции Музейного комплекса С. Эрзи, выполненный при помощи программного комплекса Revit Architecture

Характерной особенностью информационного проектирования можно назвать способ его ведения, при котором объект рассматривают не только

в пространстве, но и во времени. Появляется возможность отслеживания объекта в течение всего жизненного цикла.



Р и с. 3. Внутренний вид с проработкой конструктивного решения и визуализацией – учебный проект реконструкции Музейного комплекса С. Эрзи, выполненный при помощи программного комплекса Revit Architecture

В настоящее время прослеживается мировая тенденция повсеместного перехода к информационному моделированию, при этом в России внедрение BIM практически не осуществляется. Это объясняется несколькими причинами:

– нежеланием организаций и учебных заведений переходить на новые технологии;

– недостатком квалифицированных молодых кадров, способных дать развитие BIM;

– недостаточным совершенством BIM для отдельных отраслей.

На основании вышесказанного можно выделить следующие основные преимущества информационного моделирования:

– возможность рассмотрения многовариантных проектных решений с последующим выбором наиболее оптимального;

– возможность выполнения проектирования с учетом времени (4D);

– использование параметрических объектов, обладающих всей необходимой технической информацией. Их использование уменьшает риск возникновения ошибок.

При этом следует отметить, что BIM не является «искусственным интеллектом», а конечный результат зависит от грамотного и профессионального подхода человека. Проектирование здания ведется по понятной для инженера логике, где определяющими факторами являются его квалификация и интеллект.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Голдберг, Э.** Для архитекторов : 2009–2010 / Э. Голберг. – Москва : Изд-во ДМК-пресс, 2010. – 472 с.
2. **Ошкина, Л. М.** Использование информационных технологий проектирования в процессе обучения студентов архитектурных профилей // Сборник научных трудов Sworld / Л. М. Ошкина, А. М. Асташов. – Москва, 2013. – Т. 6, № 3. – С. 20–25.
3. **Талапов, В. И.** Технология BIM : расходы на внедрение и доходы от использования : Электронный журнал “ISICAD” [Электронный ресурс] / В. И. Талапов. – URL : <http://www.isicad.ru> (дата обращения 20.01.2014).
4. **Ямпольский, А. А.** Революции в проектировании : Электронный журнал «СВГ Информационные технологии в строительстве» [Электронный ресурс] / А. А. Ямпольский. – URL : <http://www.cbgnnews.ru> (дата обращения 20.01.2014).

*Поступила 07.02.2014 г.*

*Об авторах:*

**Ерофеев Павел Сергеевич**, доцент кафедры геодезии, картографии и геоинформатики географического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, [erofeevpavel@list.ru](mailto:erofeevpavel@list.ru)

**Манухов Владимир Федорович**, профессор кафедры геодезии, картографии и геоинформатики географического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, [erofeevpavel@list.ru](mailto:erofeevpavel@list.ru)

**Карпушин Сергей Николаевич**, аспирант кафедры строительных материалов и технологий ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), [erofeevpavel@list.ru](mailto:erofeevpavel@list.ru)

*Для цитирования:* Ерофеев, П. С. Применение технологии BIM в архитектурном учебном проектировании зданий и сооружений / П. С. Ерофеев, А. И. Меркулов, В. Ф. Манухов // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 105–109. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.105

## REFERENCES

1. Goldberg E. Dlya arkhitektorov. 2009–2010 [For architects. 2009–2010]. DMK Press Publ., 2010, 472 p.
2. Oshkina L. M., Astashov A. M. Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologiy proektirovaniya v protsesse obucheniya studentov arkhitekturnykh profiley [Use of information technology in the design process of teaching students of architectural profiles]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* – Collection of scientific works of Sworld. 2013, vol. 6, no. 3, pp. 20–25.
3. Talapov V. I. Tekhnologiya BIM: raskhody na vnedrenie i dokhody ot ispolzovaniya [The BIM Technology: implementation costs and income from the use]. *Elektronnyy zhurnal “ISICAD”* – Electronic Journal “ISICAD”. Available at: <http://www.isicad.ru/>.

4. Yampolskiy A. A. Revolyutsii v proektirovanii [Revolution in design]. *Elektronnyy zhurnal "CBG Informatsionnye tekhnologii v stroitelstve"* – Electronic Journal “CBG Information technologies in construction”. Available at: <http://www.cbgnnews.ru/>.

*About the authors:*

**Erofeyev Pavel Sergeyeovich**, associate professor (docent) of Geodesy, Cartography and Geoinformatics chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, [erofeevpavel@list.ru](mailto:erofeevpavel@list.ru)

**Manukhov Vladimir Fedorovich**, professor of Geodesy, Cartography and Geoinformatics chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences

**Karpushin Sergey Nikolayevich**, post-graduate student of Construction Materials and Technologies chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), [erofeevpavel@list.ru](mailto:erofeevpavel@list.ru)

*For citation:* Erofeyev P. S., Manukhov V. F., Karpushin S. N. Primenenie tekhnologii BIM v arkhitekturnom uchebnom proektirovanii zdaniy i sooruzheniy [The use of BIM technology in architectural design school buildings and constructions]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 105–109. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.105

## АРХИТЕКТУРА ДРЕВНЕЙШЕГО ЦЕНТРИЧЕСКОГО ЖИЛИЩА КАВКАЗО-ПАМИРСКОГО МЕГАРЕГИОНА КАК ЛОНО КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТВОРЧЕСКОЙ ИДЕИ «КУПОЛ НА КВАДРАТЕ»

**В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов**

На протяжении тысячелетий архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища непрерывно преобразовывался и развивался, ибо индоевропейские мастера особое внимание уделяли совершенствованию идеи купольности, т. е. плановой композиции и пространственно-тектонической структуры и формы.

Изначальное местозарождение и месторазвитие творческой идеи «купол на квадрате» происходило в архитектуре древнейшего центрического жилища с последующим воплощением в центрально-купольных сооружениях мемориальной и культовой архитектуры раннесредневековых стран христианского Востока, исторической Византии. В течение многих веков и тысячелетий происходила кристаллизация зародившейся в глубокой древности художественно-творческой мысли и идеи купола на квадрате. Свидетельством тому являются архитектурные творения центрической композиции, структуры и формы, возведенные из местного строительного материала и составляющие с ландшафтом Кавказско-Памирского горного мегарегиона неразрывное единство, органическое целое.

Без сомнения, архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом явился исходной генерирующей основой и творческим импульсом процесса формирования композиции плана, структуры внутреннего пространства и архитектоники наружных масс центрально-купольных мемориальных и культовых сооружений эпохи раннего Средневековья, т. е. в странах и регионах христианского и мусульманского Востока, в том числе в архитектуре таких государств эпохи раннего и зрелого Средневековья, как Агвания, Армения, Грузия, Абхазия и Алания (Кавказ), а также Азербайджан, Средняя и Центральная Азия.

**Ключевые слова:** архитектурный морфотип, этноязыковая общность, индоевропейцы, центрическое жилище, купол на квадрате, Кавказский регион, Памирский регион, центрально-купольный храм, усыпальница.

## THE ARCHITECTURE OF AN ANCIENT CENTRIC DWELLING IN CAUCASUS-PAMIR MEGAREGION ASCRADLE OF CRYSTALLIZATION OF CREATIVE IDEAS FOR DOME ON SQUARE

**V. B. Besolov, A. V. Besolov**

Over the course of history the architectural morphotype of the ancient centric dwelling has been continuously transformed and developed, for the Indo-European masters paid special attention to the improvement of the Domeconcept, i.e. planned composition, spatial and tectonic structure and shape. Initial place of emergence and development of the creative ideas for the dome on a square occurred in architecture of the ancient centric dwelling and subsequently held its brilliant transformation into central dome structures of memorial and religious architecture in Early Medieval Christian Eastern countries and historical Byzantium. Undoubtedly, for many centuries there was a crystallization of the artistic and creative concept of the dome on a square, arisen in ancient times. Evidences of this are the architectural creations of the centric composition, the structures and forms, built of local building materials, constituents inseparable unity, organic whole with the Caucasus-Pamir mountain mega region landscape.

© Бесолов В. Б., Бесолов А. В., 2015

There is no doubt that the architectural morphotype of the ancient centric dwelling with pyramidal-ledged ceiling and light-fluehole over an open hearth was the original basis and creative impulse in the process of forming the composition and structure of the internal space and external forms architectonic in memorial and religious structures in the early Middle Ages with Central dome, i.e. in Christian regions and the Muslim East, including the architecture of the Early and High Middle Ages in countries as Aghvan, Armenia, Georgia, Abkhazia and Alanya – all in the Caucasus, as well as Azerbaijan, Middle and Central Asia

**Keywords:** architectural morphotype, ethnic and linguistic community, Indo-Europeans, centric dwelling, dome on a square, Caucasus region, Pamir region, central dome temple, shrine.

Древнейшее центрическое жилище как целостное историко-архитектурное явление этнической истории, идеологии и культуры отдельных народов и конкретных стран Юго-Восточной Европы, Кавказа, Передней и Средней Азии, а еще точнее, Балкано-Малоазийского, Кавказо-Переднеазиатского и Памиро-Среднеазиатского макрорегионов до настоящего времени не стало предметом специального архитектуроведческого исследования. В гуманитарной науке все еще отсутствует многоаспектное исследование о традиционном центрическом жилище как этнокультурном феномене горной полосы Евразии древнейшего времени, эпохи древности и средних веков.

Такие важные вопросы, как время зарождения, процесс формирования и пути распространения архитектурного морфотипа реликтового центрического жилища до настоящего времени продолжают оставаться невыясненными, в равной степени не выявлена и его изначальная, исконная этническая принадлежность. К тому же проблематика генезиса и изначальной эволюции архитектурных морфотипов центрально-купольных сооружений (усыпальницы и храмы, мавзолеи и мечети) по сей день не исследована в должной степени из-за отсутствия к ней научного внимания архитектуроведов – теоретиков и историков христианской и исламской архитектуры и строительной техники.

Вопреки существующей в науке ситуации важно и нужно понять, что корни и истоки типологической и морфогенеза архитектуры центрического жилища и ареал его распространения имеют первостепенное значение при рассмотрении сложнейших проблем этногенеза и этнической истории

и культуры праиндоевропейской этноязыковой общности, последующей ее филиации и начала ритмической иррадиации миграционных волн ранних индоевропейских племен в исторические места их обитания на территории Евразии.

Вместе с тем для прогресса архитектуроведческой науки и написания полноценной истории архитектуры и строительной техники не менее важно проследить и всесторонне обосновать место и время генезиса, а также выявить пути типологической и морфологической эволюции архитектуры центрического жилища. Это крайне необходимо при осмыслении начальных этапов образования новых типов и форм раннехристианских храмов и раннеисламских мавзолеев, а также для постижения закономерностей формообразовательного процесса в монументальной мемориальной и культовой архитектуре стран христианского и мусульманского Востока, а также исторической Византии.

Палеоархитектурный морфотип реликтового центрического жилища срединной зоны Альпийско-Гималайского горного пояса Евразии является уникальным творческим достижением мастеров традиционного зодчества эпохи древности, ярким показателем высокого уровня развития архитектурно-художественной мысли и строительнотехнических идей. Древнейшему жилищу центрической композиции с развитой вертикальной осью и четкой пространственно-тектонической структурой с пирамидально-уступчатой формой перекрытия и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом присуще органическое единство функции, конструкции и формы, предельная лаконичность и эстетическая выразительность

интерьера, универсального по характеру организации и строго дифференцированного внутреннего пространства, имеющего огромное семантическое содержание и символическое значение [4–6].

Архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища возник не сразу, а на протяжении длительного исторического развития, постоянно совершенствуясь, обретая кристально четкую тектоническую систему и ясную художественную форму. Идентичный архитектурный морфотип центрического жилища лучше всего сохранился на территории исторической прародины индоевропейцев – в Передней Азии, точнее, на территории Армянского нагорья и примыкающих к нему частей Иранского и Малоазийского нагорий, где еще в глубокой древности начался процесс филиации индоевропейского праязыка и иррадиации миграционных волн ранних индоевропейских племен, т. е. произошел распад греческо-армянско-арийской диалектной общности. Тогда же, в эпоху энеолита (6-е – середина 4-го тыс. до н. э.), а возможно и немного раньше, вследствие подъема уровня пассионарного напряжения наиболее ранние миграционные волны начали свое движение именно с того места, где стыкуются и сходятся Армянское, Иранское и Малоазийское нагорья [Там же].

Движение первой миграционной волны началось с обособления от индоевропейского праязыка, или языка-основы, и смещения на Запад древнейших индоевропейских языков – хеттского и родственных ему палайского, лувийского, ликийского и лидийского и отдельного их развития на территории Малой Азии в последующее время.

При анализе новаторской концепции о прародине и путей миграции ранних индоевропейцев следует учесть удивительную закономерность в истории развития и теории распространения индоевропейского языка и культуры и расселения индоевропейского этноса с первоначальной территории формирования праязыка, или языка-основы, на стыке Южного Кавказа и прилегающей части Передней Азии

в исторические места их обитания в Евразии. Суть проблемы заключается в том, что с процессом филиации древнейших индоевропейцев на территории их прародины и началом иррадиации миграционных волн периодически импульсируемые миграционные волны из прародины расходились только в трех направлениях: западном, северном и восточном. Новый этап преемственного развития и расчленения индоевропейского праязыка характеризуется явным распадом греческо-армянско-арийской диалектной общности [12].

Протогреки, как одна крайняя часть миграционной волны, двинулись на Запад, оставляя свой след на территории Малой Азии, и по мере продвижения вскоре заселили Балканский полуостров в Юго-Восточной Европе. Протоармяне, как средняя часть миграционной волны, остались там же, т. е. на своем прежнем месте, и постепенно расселились на более обширной территории Южного Кавказа и прилегающей части Передней Азии, а конкретнее, Армянского нагорья.

Протоарийцы, как другая крайняя часть миграционной волны, еще в начале своего этногенетического пути почему-то распались на две родственные группы. Первая группа протоарийцев, продвигаясь в северном направлении и частично оседая на отдельных местах территории Южного Кавказа, вскоре добралась до мощной горной системы Большого Кавказа и, освоив многочисленные горные тропы и труднодоступные перевалы, двинулась дальше на Север, но при этом существенная их доля обосновалась на обоих склонах Казбеко-Эльбрусского двугорья, т. е. на территории Центрального Кавказа и прилегающей части Среднего Предкавказья. Явным и зримым показателем обитания на указанной территории древнейшего ираноязычного населения являются уникальные керамические и бронзовые изделия центрально-кавказской, или кобано-тлийской, художественной культуры эпохи поздней бронзы и раннего железа (XIV–IV вв. до н. э.), а также такие оригинальные сооружения центрической архитектуры, как жилища, святилища, склепы и башни раннесред-

невековой Алании (IV–XIV вв. н. э.), строительные традиции которых восходят к древним истокам. Сохранившиеся до сегодняшнего времени в горах Центрального Кавказа, на обширной территории расселения древнейших ираноязычных индоевропейцев, центрические жилища являются показателем того, что перемещаемые по территории Южного Кавказа в направлении на Север традиции домостроительной техники постепенно распространились до горного хребта Большого Кавказа. На обоих склонах и предгорных равнинах его центрального звена, Казбеко-Эльбрусского двугорья, архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом, сохраняя архаические черты и канонические принципы, все же в XX в. был существенно модифицирован во внешнем облике, что не повлияло на его древнее название «тохына хадзар» [4–6].

Вторая группа протоарийцев, более многочисленная, огибающая южное побережье Каспийского моря, перемещалась по направлению на Восток, постепенно расселялась на значительной территории современных стран и историко-культурных регионов: Ирана, Афганистана, Средней и Центральной Азии, где обосновалась на Памире и Гиндукуше и даже в Кашмире. При этом создатели и носители оригинальной домостроительной традиции привнесли на территорию Среднего Востока архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом. Важно отметить, что и сегодня в горах Западного Памира и Гиндукуша успешно функционируют древнейшие образцы центрического жилища, по-прежнему называемые горными таджиками «чорхоначид», и это несмотря на то, что их внешний облик подвергнут существенной модификации. Кроме Таджикистана, Афганистана и Ирана, рудиментарные типы и формы этого жилища сохранились также на территории Туркменистана и Южного Узбекистана [23; 25]. Небольшая группа протоарий-

ских племен даже миновала пределы Восточного Туркестана и проникла на территорию Горного Алтая и других мест Южной Сибири, где создала уникальную по образу и стилю, по силе эстетической выразительности художественную культуру [27–28].

Исторически вполне закономерно, а ныне и постижимо, что на территории расселения славянских племен Восточной, Юго-Восточной и Южной Европы, в ранних полужемлянках, в том числе в архитектуре русской избы и украинской хаты, просматриваются основные черты столь универсального архитектурного морфотипа древнейшего центрического жилища горного пояса Евразии.

Вполне естественно, что создатели и носители оригинальной домостроительной традиции сохраняли технику центрического домостроения и во все культурно-исторические эпохи, обживая новые территории на западе, севере и востоке, возводили центрические жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над очагом.

Однако при исследовании процесса развития и распространения центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием в Кавказо-Переднеазиатском и Памиро-Среднеазиатском макрорегионах прослеживается определенная естественно-историческая закономерность: только в сходных ландшафтно-климатических условиях и на горном рельефе определенной высотной поясности функционирует и сохраняется древнейший архитектурный морфотип центрического жилища, а в остальных природных условиях он сильно видоизменяется или же полностью вырождается подобно тому, как меняется язык и внешний облик ассимилированных народов. При этом важно отметить одно обстоятельство относительно того, что традиция центрического домостроительства надолго сохраняется в сознании коренного ассимилированного этноса, в его представлении о строении мироздания и вечности создательской силы, в его воображении об историческом величии родного народа. Возможно поэтому

в дворцовых апартаментах мидийских, персидских, бактрийских, парфяньских, хорезмийских и согдийских правителей, а в последующем и феодалов Средней и Центральной Азии, на потолках роскошных залых помещений встречаются имитации пирамидально-уступчатых перекрытий с глухим отверстием, имеющие всего лишь конструктивно-изобразительный облик, носящие декоративный характер [24–26].

Архитектурогенез морфотипа древнейшего центрального жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом, в сущности, является историческим творческим процессом генезиса и эволюции материально-художественного типа, формы и образа жилища и его разновидностей изначально на первичной территории их зарождения на Южном Кавказе и прилегающей части Передней Азии, а затем, с появлением векторов перемещения строительной традиции только в трех направлениях его распространения, и в локальных зонах их формирования и развития: на Балканском полуострове и прилегающих островах; на территории Центрального Кавказа и Среднего Предкавказья; на территории Ирана, Афганистана, Средней Центральной Азии (прежде всего на Памире и Гиндукуше). Весьма удивительно, что в горных изолятах Центральной Азии и в почти идентичных природных условиях срединной части Большого Кавказа, где испокон веков почти обособленно развивались древнейшие центрические жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом, мастера зодчества находились в условиях естественной изоляции и исторической оторванности от окружающего их этнического и культурного мира.

Природная изолированность и этносоциальная замкнутость не только существенно влияли на интенсивность развития творческого процесса, на ускоренность или замедленность пути этногенеза и архитектурогенеза, что, в сущности, являлось неразрывным двуединым процессом, но также отгораживали исконно ираноязычные горские народ-

ности от магистрального пути исторических событий, замедляли, а в определенные моменты даже тормозили и прерывали их связи и контакты, этнополитические взаимоотношения с внешним миром. В то же время этносоциальная замкнутость во многом способствовала созданию особого семейно-бытового уклада и специфичной хозяйственной деятельности, развитию древних, традиционных социальных и экономических отношений. Естественная изолированность способствовала сохранению уникальных этнологических культур, оригинального в своей изначальности художественного, градостроительного, архитектурного и строительно-технического наследия эпохи энеолита, ранней, средней, поздней бронзы и раннего железа, а также периода раннего, зрелого и позднего Средневековья. Именно поэтому архитектурные морфотипы древнейшего центрального жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом до начала XX в. сохранились в своем первозданном облике и не достигли той рафинированной художественной формы, которая столь характерна для центрального жилища Армении, Грузии и Агвании.

Общепризнанные произведения изящных искусств Центрального Кавказа, Западного Памира и Гиндикуша эпохи древности и средних веков отличаются особым, неповторимым художественным образом и стилем, исключительной эстетической выразительностью; в них отображены гармония человеческого общества и природной среды, повседневный жизненный уклад и социальные приоритеты в строгих параметрах биогеоэкологического равновесия и, наконец, в них запечатлены суровый психический склад этноса-созидателя, специфика его мифологического, конфессионального и пространственно-тектонического мышления, художественно-творческого воображения и эстетического выражения.

Древние племена и средневековые этносы Южного и Центрального Кав-

каза и прилегающей части Передней Азии этнически развивались, генерировали язык и культуру, не отрываясь от родных мест обитания на предгорных равнинах и в межгорных долинах. Вот почему этой территории воистину принадлежит ключевая роль в культурно-историческом процессе древнейшей, древней и средневековой Евразии. На протяжении многих тысячелетий на этой территории интенсивно бурлила жизнь, рождались и умирали личности с мощным интеллектуальным потенциалом, появлялись и исчезали народы, оставившие непотускневшие, яркие следы их пребывания на Земле, постоянно образовывались и распадались сильные и самостоятельные княжества, крупные царства и влиятельные государства, которые в ожесточенных и непрерывных притязаниях новоявленных соседей и могущественных древневосточных государств сумели сохранить в неприкосновенности и целостности свою многострадальную землю, свою историческую страну многовековой, самобытной и прогрессивной культуры и цивилизации, упорным противостоянием они смогли сберечь государственность и национальное достояние, национальную идентичность. Именно на данной территории зародились, преемственно развивались и совершенствовались самые уникальные архитектурные морфотипы древнейших центральных жилищ и раннесредневековых центрально-купольных храмов – величественные по своему облику и эстетической выразительности творения кавказских зодчих, отличающихся высоким профессиональным мастерством.

Подобный аспект постановки и рассмотрения сложной научной проблемы зарождения, формирования и распространения архитектурного морфотипа древнейшего центрального жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом поддерживается авторитетными учеными в области гуманитарных наук [16; 35].

Возникший в глубокой древности, но не позднее 4-го тыс. до н. э., в определенной естественно-экологической среде обитания праиндоевропейцев и особой культурно-исторической обстановке, на конкретной территории индоевропейской прародины, отличающейся неповторимой, своеобразной геопластикой горного рельефа, блеском серебристых истоков стремительно текущих с гор Аракса, Евфрата, Тигра и их притоков, изумительными акваториями межгорных озер Ван и Урмия, живописным ландшафтом с характерной для горных стран флорой и фауной, высоким развитием земледелия и скотоводства и наличием колесного транспорта, зачаточный, рудиментарный архитектурный морфотип центрального жилища непрерывно развивался и совершенствовался. Важно отметить и то, что древнейшее центрическое жилище максимально соответствовало природной среде, оно издревле формировалось на лоне первозданной природы и явилось оптимальным воплощением материальной и духовной культуры, окончательно распавшейся к 3-му тыс. до н. э. греческо-армянско-арийской этноязыковой общности, полным отображением окружающей естественно-исторической реальности и этнопсихологической ментальности, материализованным выражением специфики и уровня социальных отношений, т. е. всего того, чем была наполнена их жизнь и повседневная созидательная деятельность.

Зародившийся в недрах праиндоевропейской этноязыковой общности архитектурный морфотип центрального жилища стал, в сущности, древнейшей генеративной традицией и универсальной константой индоевропейской созидательной мысли, а по имманентной сути, феноменом архитектонического творчества и эстетического выражения обитателей Балкано-Кавказо-Памирского горного пояса Евразии [4–6].

При сопоставлении ареала зарождения и первичного формирования архитектуры центрального жилища

с территорией изначального становления антропотипа, языка, идеологии и культуры древнейших индоевропейцев, т. е. с индоевропейской прародиной, предопределяемой на Армянском нагорье и в прилегающей части Передней Азии, сразу же возникает исчерпывающий вывод: прослеживается не только почти полное совпадение их территорий, но, что не менее важно и значимо, появление архитектурного морфотипа центрического жилища на Переднем и Среднем Востоке и непосредственно к нему примыкающей части Юго-Восточной Европы в последующее время, мотивируется ритмическим распространением миграционных волн ранних индоевропейских племен в исторические места их обитания и нового расселения на протяжении последних пяти-шести, возможно, и восьми тысяч лет. Проследить процесс зарождения, формирования и распространения архитектурного морфотипа центрического жилища необходимо для того, чтобы получить ясное представление о том, куда именно и какими путями продвигались носители ранних индоевропейских диалектов с территории, охватывающей область между и вокруг озер Севан, Ван и Урмия на Армянском нагорье и в прилегающей части Передней Азии. Весьма вероятно, что архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища как универсальная константа индоевропейской созидательной мысли и творческого мастерства является отражением реальных переселений носителей диалектов греческо-армянско-арийской этноязыковой общности в глубокой древности [12].

Удивляет невероятное, поразительное совпадение этноисторического ареала генезиса, распространения и эволюции древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом, находящимся посередине квадратной жилой ячейки, с последней по времени всеобъемлющей теорией локализации прародины индоевропейцев в Передней Азии, в естественно-историческом

ареале двух озер – Ван и Урмия, и направления движения миграционных волн ранних индоевропейских племен в исторические места их обитания на территории Евразии [4–6].

Обрашались ли мастера архитектуры раннехристианской эпохи к древнейшим индоевропейским традициям центрического домостроительства, и получили ли эти традиции преемственное творческое истолкование в зарождающейся монументальной центрально-купольной архитектуре стран христианского Востока и Византии? Вероятно, зодчие эпохи древности и первых веков христианства осознали, что архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища может стать композиционным ядром, формообразующей основой и главенствующей объемной ячейкой впервые творимых ими произведений центрально-купольной мемориальной и культовой архитектуры, потому что оно является универсальной плановой композицией и пространственно-тектонической структурой, многофункциональной по назначению и обладающей на редкость особыми генеративными свойствами, символическим смыслом, возвышенным образом. Ведь для новой идеологии раннесредневекового общества требовались абсолютно новые, иные общественные здания и сооружения, возводившиеся с учетом вновь возникавших социальных, погребальных и сакральных потребностей, поистине новаторских социальных заказов и существовавшего уровня социальных отношений, специфики образа жизни, состояния духовности и потенциала интеллектуальной деятельности, т. е. строившихся по нормам и правилам новой строительной программы в соответствии с космогонической системой пространственных представлений о сущности мироздания.

Предельная архитектурность и цельность композиционного замысла обусловили гармонический строй и строгую соподчиненность иерархической структуры внутреннего пространства древнейшего

центрического жилища и, что удивительно, при этом каждый из 10 элементов внутреннего пространства не теряет самостоятельности, художественной согласованности, композиционного и структурного единства. Это условно обособленные геометрически четкие конфигурации каждого из 10 структурно составляющих объемных элемента, обрамляющих и образующих иерархически дифференцированное внутреннее пространство центрического жилища, а именно: куполоподобный уступчатый свод (1); квадрат основания центрального кубовидного ядра с тропями над углами (2), составляющий сердцевину четырех равноконечных кубовидных рукавов креста (4; 6; 12; 23) и таких же четырех межрукавных кубовидных угловых помещений (12; 16; 24; 26–28; 34), объединенных единством идейного замысла праиндоевропейского творца.

По структуре внутреннего пространства и характеру расстановки столбов в интерьере и, следовательно, по устройству перекрытия можно определить несколько разновидностей архитектурного морфотипа центрического жилища, составляющих две группы: первая, *с пристенными опорами* – 12-столбный  $/2 \times 4 + 4/$ , а вторая, *со свободно стоящими опорами* – 2-столбный  $/1 + 1/$ , далее 3-столбный  $/2 + 1/$ , затем 4-столбный  $/2 + 2/$  и, реже, 8-столбный  $/2 \times 4/$ . Конкретные цифровые обозначения в наклонных скобках указывают не столько на количество столбов, сколько на их позицию в плановой и пространственной структуре интерьера, являющуюся наиболее важной особенностью композиции и архитектоники центрического жилища.

В первой разновидности композиции интерьера пирамидально-уступчатое перекрытие опирается на 12 пристенных столбов, ритмично установленных по внутреннему периметру стен квадратного или прямоугольного помещения, из которых в интерьере выделяются 8 промежуточных столбов, исключая угловые, поддерживающие основу восьмигранного перекрытия над всей площадью зального помещения. Если точ-

нее, то все пристенные столбы поддерживают углы квадрата основания (1-й ряд – поверх всех опор) и места опоры балок первого восьмигранника (2-й ряд) пирамидально-уступчатого перекрытия. Восемь пристенных столбов являются определяющими размеров устремленных к светодымовому отверстию граней и, расчленивая стены на ритмично равные отрезки, как бы смягчают переход от квадратного основания к восьмигранному. Разумным творческим приемом древнейшие индоевропейские мастера зодчества создали на основе жилой ячейки единое, цельное и просторное помещение, монументальное и величественное зальное пространство интерьера, равномерно освещаемое верхним светом, льющимся из светодымового отверстия и подчеркивающим центричность и вертикализм его композиции. Это ускорило формирование в восточно-христианской архитектуре уникального образца «купольного зала», в котором мощные пилоны, поддерживающие купол, примыкают к продольным и поперечным стенам, благодаря чему достигается нерасчлененность внутреннего пространства. Архитектурный морфотип храма, названный в европейской архитектуроведческой науке “Kuppelhalle”, характерен для монументальной центрально-купольной архитектуры раннесредневековой Армении, Грузии и Агвании.

В разновидности композиции интерьера со свободно стоящими опорами при *2-столбном варианте* столбы расставлены по продольной оси центрического жилища и каждый из них под серединой главных поперечных балок, поддерживающих пирамидально-уступчатое перекрытие со светодымовым отверстием в вершине.

При *3-столбном варианте* – под ближней от дверного проема поперечной балкой в местах образования углов первого квадрата основания пирамидально-уступчатого перекрытия устанавливаются два столба, в результате получается логичная художественно осмысленная конструктивная система

с более изящным средним пролетом, где подбалкой объединяются оба передних столба. Третий столб устанавливается под серединой дальней от дверного проема поперечной балки и вместе с дополняющей ее сверху подбалкой оказывается между углами нижнего, первого квадрата основания пирамидально-уступчатого перекрытия.

В каждом из обоих вариантов планово-пространственной композиции дальние от дверного проема отдельно стоящие столбы в интерьере, обращенные более освещенной лицевой стороной к входящему, являются главными и, как правило, внутренняя плоскость таких столбов вместе с подбалкой покрывается богатой и глубокой трехгранно-выемчатой резьбой, что придает им торжественный вид.

В 2-столбном интерьере дверной проем устроен точно по продольной оси симметрии, поскольку входящий в центрическое жилище видит, прежде всего, передний столб, воспринимаемый силуэтом, поэтому обычно его смещают немного в сторону от оси с той целью, чтобы открыть входящему вид на лицевую поверхность заднего, главного столба, всегда богато оформленного, хорошо освещенного как днем, так и ночью. В этом творческом приеме, заслуживающем особого внимания, зодчий проявил художественный такт, учел законы психологии зрительного восприятия. Радикально иной творческий прием воплощен в 3-столбном интерьере центрического жилища, где взору входящего открывается сверкающий в пространственной глубине, между передней парой столбов в великолепном художественном убранстве, главный столб с подбалкой. Слово по центру деревянного 2-столбного ордера в глубине интерьера, напротив дверного проема и находящийся с ним на одной продольной оси симметрии, из земли вырастает расширяющийся кверху и покрытый оригинальным орнаментально-декоративным мотивом ведущий элемент интерьера центрического жилища – главный столб,

органично переходящий в изящную по форме и декору подбалку, хорошо освещаемую естественным светом. Такой композиционный прием отчетливо выявляет главенствующую роль парадного столба и способствует становлению художественного образа внутреннего пространства центрического жилища, что, в свою очередь, непосредственно связано с созданием наилучших условий для восприятия главного столба.

Значительным этапом эволюции плановой композиции и пространственной структуры древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и отверстием в зените над открытым очагом стала *4-столбная разновидность*, когда четыре свободно стоящих столба расставлены симметрично вдоль продольной и поперечной осей, так же симметрично и от вертикальной оси. Неустанный творческий поиск оптимального варианта создания значительной и устойчивой пространственно-тектонической структуры привел к идее, генетически продолжающей предыдущие творческие достижения народных мастеров зодчества: четыре свободно стоящих столба, расставленные строго под углами квадрата основания пирамидально-уступчатого перекрытия, четко обозначали центральное ядро с очагом посередине, являющееся ритуальным, священным местом в древнейшем центрическом жилище. В композиции плана с прямоугольными наружным и внутренним контурами образовалось идентичное сакральное ядро – композиционный, семантический и символический центр иерархически организованного жилого пространства, интерьера древнейшего центрического жилища патриархальной семейно-родовой общины. К тому же, благодаря установке четырех столбов под квадратом основания пирамидально-уступчатого перекрытия образовалось не только сакрально-ритуальное ядро центрического жилого пространства: деревянные столбы и каменные стены древнейшего центрического жилища, как в плановой компози-

ции, так и в пространственной структуре, обозначили также контурное очертание *свободного креста*, т. е. раннего образца «*sgoix libre*» – архитектурного морфотипа обычного крестовидного, или крестообразного, купольного храма в истории мировой архитектуры.

Более того, в композиции квадратного или слегка удлиненного плана центрического жилища образовался вписанный крест с равноконечными рукавами, реже одним, немного удлиненным западным рукавом, и вертикально возвышенным объемом куполовидного уступчатого свода над квадратом средокрестия. По существу – это один из первых образцов «*sgoix inscrite*» в истории мировой архитектуры, составляющий стержневую основу морфотипа крестово-купольных храмов. Фактически мастера армянского, а также грузинского, агванского народно-зодчества предвосхитили формирование архитектурных морфотипов храмов «тетраконх с четырьмя подкупольными устоями» и обычного «тетраконха» в монументальной центрально-купольной архитектуре раннесредневековой Армении, Грузии и Агвании.

Вершиной совершенства пространственно-тектонической структуры древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом стала *8-столбная разновидность* плано-пространственной композиции интерьера. Это когда 8 свободно стоящих столбов, попарно расставленных под углами квадрата основания пирамидально-уступчатого перекрытия, как бы отсекают углы квадрата, отделяя их по вертикали от основного объема, тем самым укорачивают диагонали квадрата почти до размера его осей, что придает центральной ячейке округлое очертание, форму неправильного восьмигранника с четырьмя короткими сторонами по диагоналям. Созданием 8-столбного варианта центрического жилища мастера армянского народного зодчества предвосхитили формирование архитектурных

морфотипов «тетраконх с угловыми трехчетвертными нишами» и «октагон» в монументальной центрально-купольной архитектуре раннесредневековой Армении, Грузии и Агвании.

Вполне закономерно, что столь оригинальный архитектурный морфотип центрического жилища стал стержневой основой и исторически обоснованной однородной творческой платформой созидания абсолютно новых по архитектурному типу, форме и образу монументальных центрально-купольных зданий, соответствующих каноническим нормам, художественным принципам, мемориальному обряду и культовому ритуалу восточнохристианского богослужения.

Как ни парадоксально, но еще в должной мере не определена степень важности и значимости раннеармянской и древнеиранской эстетически-творческой мысли, их совершенно уникальных строительно-технических открытий в процессе развития монументальной архитектуры стран христианского Востока и Византии, а по истечении нескольких столетий – и мусульманского Востока. Такое состояние научной проблематики не позволяет предельно объективно этнически атрибутировать отдельные архитектурные явления в свете дилеммы «Orient oder Rom». В подтверждение сказанного уместна профессиональная мысль А. В. Кузнецова: «Еще не выяснено, где раньше был применен т р о м п (разрядка наша. – В. Б.) – в Армении или в Персии. Более вероятно, что в Персии. Однако разнообразие форм тропов и совершенное выполнение их в тесанной каменной кладке говорит о самостоятельном творчестве армянских и грузинских зодчих» [18].

Успехи азербайджанской школы архитектуроведения позволяют продолжить мысль известного теоретика и историка архитектуры и строительной техники дополнением новой информации, добытой при тщательных археологических раскопках и натуральных обследованиях развалин храмов, свидетель-

ствующей о поистине оригинальных творениях агванских зодчих. Азербайджанские ученые ввели в мировой научный обиход сведения и материалы обо всех выявленных во второй половине XX в., архитектурных морфотипах раннехристианских памятников центрально-купольной композиции в исторической Агвании.

Тема центрального жилища явилась психологической основой для развития в странах Кавказа и прилегающей части Передней Азии, а также сопредельных и окружающих их единовременных странах, а также в странах Средней и Центральной Азии монументальной центрально-купольной архитектуры и подтверждает автохтонность процесса ее зарождения и пути формирования. Являясь автохтонной, корневой основой, центрическое жилище, имеющее нередко анты «... с открытым очагом в центре, со столбами близ очага и некоторыми другими подробностями относится к древнейшему типу мегарона», и, судя по археологическим данным, на кавказской почве «своими корнями уходит к началу и первой половине III тысячелетия до н. э.», т. е. к знаменитой Куро-Араксской культурно-исторической эпохе [2].

В столь отдаленные времена, еще до нашей эры, обживая центральную и западную части Южного Кавказа, протогрузинские зодчие, удивляясь и восхищаясь архитектурой и строительной техникой древнейшего центрального жилища, со всей искренностью стали осмысливать его, потому что идентичного архитектурного морфотипа центрального жилища, подлинного и первосущного, они не знали вообще. Освоив то, что в условиях Южного Кавказа стало близким национальному духу и образу жизни прагрузинской этнодиалектной общности, художественно обогатив своим молодым и полнокровным вдохновением, протогрузинские зодчие начали творить, дополнять и обогащать архитектуру древнейшего центрального жилища, превращая его в национальное достояние, особую культурно-экологическую реальность последующего времени.

Национальный менталитет грузинского этноса и природные условия Южного Кавказа не только детерминировали развитие архитектуры древнейшего центрального жилища, но и явились фактором вживания грузин в индоевропейское центрическое микропространство. Именно тогда и случилось то странное и разумное явление, которое необходимо многоаспектно и, по возможности, полно истолковать с приглашением специалистов по древней истории и исторической географии, исторической антропологии и лингвистике, исторической этнологии и археологии, и, разумеется, истории искусства, архитектуры и строительной техники Грузии. Представители грузинской гуманитарной науки, исследуя процесс зарождения и пути формирования архитектуры центрального жилища Восточной Грузии эпохи древности и средних веков, серьезно полагая, что они наследуют исконно национальные архитектурные традиции центрального домостроительства, фактически изначально наследовали и постигали творческие достижения того издревле обитающего на Южном Кавказе аборигенного этноса, которое породило это жилище, прежде им вовсе не ведомое, – жилище древнейших индоевропейцев, т. е. ранних армян и древних иранцев.

Рассуждая образно, они, пользуясь алфавитом древнеармянского и древнеиранского языков, писали тексты на индоевропейские темы. Применительно к архитектуре центрального домостроительства получается утонченная реальность: будучи грузинами по происхождению, получив творческое образование у древнеармянских или древнеиранских зодчих, они оказались индоевропейцами по стилю мышления и художественного выражения. Они с целью создания для жизнеобеспечения приемлемой микропространственной ячейки обратились к первоистокам архитектуры центрального домостроительства и именно к той, ставшей уже и для них родной, первозданной земле, которая

предельно насыщена энергетикой совокупной памяти предков и импульсирует столь важные и необходимые человеческому организму биоэнергетические потоки, укрепляющие силу и сознание человека, находящегося еще во чреве матери, и до самого зрелого возраста. Этими первоисточниками являются разновидности архитектурного морфотипа древнейшего центрального жилища, сооружаемые с глубочайшей древности на территории Армянского нагорья, Южного и Центрального Кавказа, а впоследствии также на территории Малой Азии и Балканского полуострова на Западе, и на территории Ирана, Афганистана, Средней Азии и Северо-Западной Индии на Востоке.

Действительно, центрические архитектурные творения скорее приближают их к индоевропейским умонастроениям, чем к грузинским. Хотя и те, и другие с давних времен определяются как кавказское этническое и культурное явление, которое наряду с мегарегиональной индоевропейской языковой и культурной подосновой составляют общекавказский этнокультурный мир [3]. Идентична мотивация распространения архитектурного морфотипа древнейшего центрального жилища и на территории исторической Агвании – нынешнего Азербайджана, т. е. восточной части Южного Кавказа, входящей в зону развития и распространения куро-аракской археологической, в частности домостроительной, культуры [1; 13; 15; 17; 22]. Ныне, оглядываясь с высоты прожитых лет, мы вправе отметить: для народов современного Южного Кавказа – индоевропейцев-армян, иберийцев-грузин и тюрков-азербайджанцев, радикально отличающихся психологическим складом и этническим менталитетом, свойственно разное направление мыслей и различное умонастроение, миропонимание и мироощущение, им присуще различное самовыражение идеалов общества и государства.

Важно принять во внимание, что пирамидально-уступчатое куполообразное очертание перекрытие с верхним

светом – это основной элемент центрального жилища, который получил дальнейшее преемственное развитие в самых первых монументальных мемориальных и культовых сооружениях раннесредневековых стран Кавказа и Византии, а позднее и других стран Восточной и Юго-Восточной Европы, Передней, Средней и Центральной Азии. Сравнительный анализ организации структуры внутреннего пространства, создания конструктивной системы и художественной формы центрального жилища и монументальных памятников центрально-купольной архитектуры показывает, что главное в многовековом опыте строительства жилища, усыпальницы и церкви, мавзолея и мечети – это идея купольности. Естественно возникает вопрос: каковы способы и приемы перевоплощения пирамидально-уступчатого куполообразного очертания деревянного перекрытия центрального жилища в идеальный полусферический свод – каменный, а позже и кирпичный, купол? Каков процесс преобразования, идентичного по функции и символике, но различного по конструктивному решению и технологическому исполнению, сфероидальной формы перекрытия в венчающий церковь или мавзолей купол [30–32]?

Несомненно, на протяжении тысячелетий архитектурный морфотип древнейшего центрального жилища непрерывно преобразовывался и развивался, ибо индоевропейские мастера особое внимание уделяли совершенствованию идеи купольности, т. е. плановой композиции и пространственно-тектонической структуры и формы. Праиндоевропейские протогреческие, протоармянские и протоиранские зодчие как ведущие авторы созданной ими в глубокой древности новаторской идеи купола на квадрате, в ее творческой разработке достигли реальных успехов. Непрерывно осмысливая конструктивную систему и художественную форму архитектурного морфотипа древнейшего центрального жилища, мастера древнеармянско-

го зодчества развили идею купольности до мыслимого абсолюта. Именно поэтому вполне закономерен факт происхождения предельно оригинальных архитектурных морфотипов храмов раннехристианской Армении и всего Южного Кавказа. Однако здесь не менее важно отметить, что в разработку идеи купола на квадрате, являющегося основной сущностью и главенствующим смыслом центрического жилища, в выработку архитектурной структуры и художественного образа купольных сооружений, строившихся на протяжении около двух тысячелетий почти во всех странах христианского Востока и исторической Византии, а впоследствии и мусульманского Востока, наряду с армянскими мастерами внесли свой весомый творческий вклад и иранские зодчие. Вероятно, зарождавшаяся культура христианского мира, конкретнее, формировавшаяся восточнохристианская архитектура воспользовалась раннеармянскими и древнеиранскими инвенциями, уходящими своими корнями вглубь тысячелетий, т. е. к древнейшей индоевропейской традиции центрического домостроительства [9; 14; 21; 29].

Архитектуроведческой наукой почти установлено, что идея купола на квадрате получила творческое воплощение в Сасанидском Иране уже в III в. и вскоре была востребована формообразовательным процессом в странах христианского, а затем и мусульманского Востока, где купол в монументальном мемориальном и культовом зодчестве, за очень редкими исключениями, покоится на квадратном основании так же, как в древнейшем центрическом жилище. В то же время, и это следует принять во внимание, когда первые византийские купольные церкви возводились по эллинистическим и древнеримским строительным традициям, т. е. преимущественно на округлом основании ротонды или октагона, и когда в византийских церквах применялся исключительно парусный переход от квадрата к кругу, уже тогда в странах христианского Вос-

тока пользовались преимущественно системой тропов. Одними из первых объектов возведения купола на квадратном основании посредством тропов и парусов считаются зороастрийские храмы Огня, возведенные в III–V вв. в Сасанидском Иране. Восхищает идентичность приема тропового перехода от квадрата к многоугольнику или кругу в монументальной купольной архитектуре и в древнейшем центрическом жилище, где в точности повторяется система угловой укладки [11; 19; 33].

Таким образом, генезис и эволюция архитектурных морфотипов центрического жилища и купольного храма (мавзолея) в одном и том же этнолингвистическом и этнокультурном ареале, но в различные исторические эпохи является историко-художественным фактом первостепенной важности и всеобщей значимости. Более того, рассматривая время зарождения, период формирования и пути распространения архитектурного морфотипа древнейшего центрического жилища как яркое, весомое, зримое этнокультурное явление и как реальный историко-архитектурный процесс, генерируемый в определенном естественно-географическом пространстве – в биосфере Альпийско-Гималайского горного пояса Евразии, и в конкретные историко-хронологические интервалы – в эпоху энеолита, ранней, средней, поздней бронзы и раннего железа, средних веков (6-е тыс. до н. э. – 2-е тыс. н. э.), убедительно свидетельствующий о незыблемости новаторской теории Т. В. Гамкрелидзе – В. В. Иванова о локализации прародины ранних индоевропейцев в Передней Азии [3; 7–8]. Древнейшее центрическое жилище как архитектуроведческий источник является важным *определителем* процесса филиации праиндоевропейской этнодиалектной общности и четким *показателем* иррадиации миграционных волн ранних индоевропейских племен в исторические места их обитания на территории Евразии.

Историки материальной культуры утверждают, что по памятникам архитектуры и строительной техники как архитектуроведческим источникам, даже по отдельным сохранившимся развалинам и руинам их, вполне возможно реанимировать былую жизнь создавшего их этноса и унаследовавших это наследие и творческие традиции народов, их повседневный быт и идеологию, нравы, морали, вкусы, обычаи, обряды и ритуалы – все аспекты *мироощущения* общества в эпохи строительства и функционирования того или иного памятника архитектуры. Надо полагать, что архитектурное наследие является материализованным свидетельством определенной культурно-исторической эпохи и позволяет воссоздать весь комплекс национальной ментальности, психического склада и социального уклада, мировоззрения и мироощущения конкретного этноса, т. е. его главных духовных и интеллектуальных качеств, обычно являющихся оплотом и основанием самосохранения и укрепления единства, стойкости наций и развития их государственности. Памятник архитектуры – это ясно и точно выраженная талантом зодчего глубинной и содержательно-изложенной мысли конкретного общества, воплощенной в материале (дереве, камне, кирпиче и пр.). Это окаменевшая мысль общества, эстетически выраженная мастерством зодчего, творца из того же народа. В памятнике архитектуры, как в зеркале, отражаются мироощущение создавшего его этноса и уровень его интеллектуального потенциала, специфический характер культурно-исторической эпохи.

Преемственное развитие монументальной мемориальной и культовой архитектуры стран христианского и мусульманского Востока и исторической Византии от исходных форм народного зодчества, насчитывающего тысячелетние традиции – это неоспоримый факт, имеющий, как мы видим, весьма убедительную доказательную основу. Вместе с тем необходимо всегда четко осознавать исключительную важность и эпохальную значимость великой, уже ставшей исторической, миссии Древней Армении и Сасанидского Ирана в становлении художественной культуры безмолвного мира средневековья, реально осязать и ощущать весомость их творческого вклада в процесс изначального формирования архитектурного морфотипа мемориальных и культовых сооружений монументальной центрально-купольной архитектуры передовых стран христианского Востока и исторической Византии, а затем и мусульманского Востока.

В заключение нашей концепции стоит обратить внимание на следующий немаловажный по смыслу и значимости методологический акцент: автор этой статьи всегда стремится к истине, но никогда на нее не претендует. Он лишь вносит свой, хоть незначительный, но личный исследовательский вклад в научное утверждение новаторской теории Т. В. Гамкрелидзе и В. В. Иванова о локализации прародины индоевропейцев на территории Южного Кавказа и прилегающей части Передней Азии, а конкретнее, на просторах Армянского нагорья, и реконструкции индоевропейского праязыка и протокультуры, истинно научной теории, ставшей подлинно эпохальной в развитии гуманитарных наук.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахундов, Д. А. Архитектура древнего и средневекового Азербайджана / Д. А. Ахундов. – Баку, 1986.
2. Бардавелидзе, В. В. Традиционные общественно-культурные памятники горной Восточной Грузии : в 2 т. / В. В. Бардавелидзе. – Тбилиси, 1974. – Т. 1. – С. 217.
3. Бесолов, В. Б. Центральнокавказский этнокультурный мир : индоевропейские константы и этногенетические ритмы в свете всеобъемлющей теории этногенеза Л. Н. Гумилева / В. Б. Бесолов // Лев Николаевич Гумилев. Теория этногенеза и исторические судьбы Евразии : материалы научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося евразийца XX века Л. Н. Гумилева : в 2 т. – Санкт-Петербург, 2002. – Т. 1. – С. 179–185.

4. **Бесолов, В. Б.** Палеоархитектурный морфотип реликтового центрического жилища горной Евразии как традиционная константа глобальных этнических процессов / В. Б. Бесолов // Сборник научных трудов № 1(1) Североосетинского отделения Международной Академии наук высшей школы Российской Федерации. – Владикавказ, 2003. – С. 220–226.
5. **Бесолов, В. Б.** Архитектура древнейших центрических сооружений горной Евразии в свете индоевропейской дилеммы “Orient oder Europa” / В. Б. Бесолов // XXXVII Всемирный конгресс востоковедов (ICANAS-37) : тезисы докладов. – Москва, 2004. – Т. 2. – С. 751–753.
6. **Бесолов, В. Б.** Структура пространства и архитектоника формы реликтового центрического жилища горных экосистем (Кавказо-Памирский ареал) / В. Б. Бесолов // XXXVII Всемирный конгресс востоковедов (ICANAS-37) : тезисы докладов. – Москва, 2004. – Т. 2. – С. 753–756.
7. **Бесолов, В. Б.** Древнейшее центрическое жилище Передней Азии как рудиментарная основа формирования раннесредневековой центральнокупольной архитектуры стран христианского и мусульманского Востока / В. Б. Бесолов // XXXVIII Всемирный конгресс востоковедов (ICANAS-38) : тезисы докладов. – Анкара, 2007. – С. 329–331.
8. **Бесолов, В. Б.** Морфогенез и типология пространственно-тектонической структуры древнейшего центрического жилища Евразии как фундаментальная проблема архитектуроведения / В. Б. Бесолов // Фундаментальные проблемы пространственного развития Юга России: междисциплинарный синтез : тезисы докладов Всероссийской научной конференции. – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 44–47.
9. **Бесолов, В. Б.** Строительный материал и конструктивный принцип как основа пространственно-тектонической структуры и архитектурной формы древнейшего центрического жилища Переднего Востока / В. Б. Бесолов // Актуальные проблемы бетона и железобетона: материалы и конструкции, расчет и проектирование : сборник статей и тезисов докладов. – Кисловодск, 2010. – С. 6–20.
10. **Бесолов, В. Б.** Архитектоническая сущность идеи купол на квадрате как кристаллизация созидательной мысли древних индоевропейских зодчих и строителей центрических жилищ / В. Б. Бесолов // Актуальные проблемы бетона и железобетона: материалы и конструкции, расчет и проектирование) : сборник статей и тезисов докладов. – Кисловодск, 2010. – С. 88–99.
11. **Воронина, В. Л.** Архитектура Ирана сасанидского периода / В. Л. Воронина // Всеобщая история архитектуры : в 12 т. Т. 1 : Архитектура древнего мира. – Москва, 1970. – Москва, 1944.
12. **Гамкрелидзе, Т. В.** Индоевропейский язык и индоевропейцы : Реконструкция и историко-типологический анализ праязыка и протокультуры : в 2 кн. / Т. В. Гамкрелидзе, В. В. Иванов. – Тбилиси : Изд-во ТбГУ, 1984. – С. 956–957.
13. **Геюшев, Р. Б.** Христианство в Кавказской Албании / Р. Б. Геюшев. – Баку, 1984.
14. **Гиршман, Р. М.** Происхождение «чахартака» / Р. М. Гиршман // История и археология Средней Азии. – Ашхабад, 1978. – С. 37–40.
15. **Иеромонах Алексей (Никонов).** История христианства в Кавказской Албании / Алексей иеромонах. – Махачкала, 2012.
16. **Ильина, М. И.** Древнейшие типы жилищ Закавказья / М. И. Ильина // Сообщения Института истории и теории архитектуры АН СССР. – Москва, 1946.
17. **Карахмедова, А. А.** Христианские памятники Кавказской Албании / А. А. Карахмедова. – Баку, 1985.
18. **Кузнецов, А. В.** Тектоника и конструкция центрических зданий. Т. 1 : Античность. Средние века. Эпоха Возрождения / А. В. Кузнецов. – Москва, 1951. – С. 104.
19. **Луконин, В. Г.** Persia II / В. Г. Луконин. – New-York, 1967.
20. **Луконин, В. Г.** Искусство Древнего Ирана / В. Г. Луконин. – Москва, 1977.
21. **Маилов, С. А.** К вопросу о значении идеи «купола на квадрате» в архитектуре / С. А. Маилов // Искусство и археология Ирана и его связь с искусством народов СССР с древнейших времен : тезисы докладов III Всесоюзной научной конференции. – Москва, 1979. – С. 50–52.
22. **Мамедова, Г. Г.** Зодчество Кавказской Албании / Г. Г. Мамедова. – Баку, 2004. – 224 с.
23. **Пугаченкова, Г. А.** Пути развития архитектуры Южного Туркменистана – пути рабовладения и феодализма / Г. А. Пугаченкова // Труды ЮТАКЭ. – Москва, 1958. – Т. 6.
24. **Пугаченкова, Г. А.** История искусств Узбекистана с древнейших времен до середины XIX века / Г. А. Пугаченкова, Л. И. Ремпель. – Москва, 1965.
25. **Пугаченкова, Г. А.** Искусство Туркменистана : Очерк с древнейших времен до 1917 года / Г. А. Пугаченкова. – Москва, 1967.

26. **Пугаченкова, Г. А.** Очерки искусства Средней Азии: древность и средневековье / Г. А. Пугаченкова, Л. И. Ремпель. – Москва, 1982.
27. **Руденко, С. И.** Культура населения Центрального Алтая в скифское время / С. И. Руденко. – Москва ; Ленинград, 1960.
28. **Руденко, С. И.** Искусство Алтая и Передней Азии (середина I тысячелетия до н. э.) / С. И. Руденко. – Москва, 1961.
29. **Фаэнзен, Х.** К вопросу о зарождении архитектуры церквей с крестообразным основанием и центральным куполом : 2-й Международный симпозиум по армянскому искусству / Х. Фаэнзен. – Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1978. – 18 с.
30. **Чубинашвили, Г. Н.** К вопросу о начальных формах христианского храма / Г. Н. Чубинашвили // Тезисы докладов 7-й Всесоюзной конференции византинистов. – Тбилиси, 1965. – С. 82–83.
31. **Чубинашвили, Г. Н.** К вопросу о начальных формах христианского храма / Г. Н. Чубинашвили // ВВ. – Москва, 1972. – Т. 33. – С. 158–165.
32. **Чубинашвили, Г. Н.** К вопросу о начальных формах христианского храма : 2-й Международный симпозиум по грузинскому искусству / Г. Н. Чубинашвили. – Тбилиси ; Мецниереба, 1977. – 20 с.
33. **Godard, A.** L'art del Iran / A. Gorard. – Paris, 1962.
34. **Petrescu, P.** Zur typologie der Volksarchitektur im Kaukasus / P. Petrescu // Revue roumaine d'histoire de l'art. Serie Beaux Arte. – Bucuresti, 1971. – Vol. 8. – P. 187–206.
35. **Strzygowski, J.** Die Baukunst der Armenier und Europa / J. Strzygowski. – Wien, 1918. – Bd. 1–2. – С. 365.

Поступила 18.09.2014 г.

Об авторах:

**Бесолов Владимир Бутусович**, руководитель Северо-Кавказского академического центра Международной Академии архитектуры (Россия, г. Алагир, ул. Алагирская, д. 94), archgrad101@yandex.ru

**Бесолов Аристарх Владимирович**, аспирант кафедры кавказоведения, истории древнего мира и средних веков Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова (Россия, г. Владикавказ, ул. Ватутина, д. 46), archgrad101@yandex.ru

*Для цитирования:* Бесолов, В. Б. Архитектура древнейшего центрического жилища кавказо-памирского мегарегиона как лоно кристаллизации творческой идеи «купол на квадрате» / В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 110–127. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.110

## REFERENCES

1. Akhundov D. A. Arkhitektura drevnego i srednevekovogo Azerbaydzhana [Architecture of ancient and medieval Azerbaijan]. Baku, 1986.
2. Bardavelidze V. V. Traditsionnye obshchestvenno-kultovye pamyatniki gomoy Vostochnoy Gruzii: v 2 t. [Traditional public and ceremonial monuments of mountainous areas of Georgia: in 2 volumes]. Tbilisi, 1974, vol. 1, 217 p.
3. Besolov V. B. Tsentralnokavkazskiy etnokulturnyy mir: indoevropayskie konstanty i etnogenicheskie ritmy v svete vseobemlyushchey teorii etnogeneza L. N. Gumileva [Ethnocultural world of Central Caucasus: Indo-European constants and ethnogenetic rhythms in terms of the universal theory of ethnogenesis of L. N. Gumilev]. *Lev Nikolaevich Gumilev. Teoriya etnogeneza i istoricheskie sudby Evrazii: materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya vydayushchegosya evraziytsa XX veka L. N. Gumileva: v 2 t.* – Lev Nikolaevich Gumilev. Theory of ethnogenesis and historical fates of Eurasia: materials of scientific conference devoted to ninetieth anniversary of birth of an outstanding eurasianist Lev Nikolaevich Gumilev: in 2 volumes. Saint-Petersburg, 2002, vol. 1, pp. 179–185.
4. Besolov V. B. Paleoarkhitekturnyy morfotip reliktoivogo tsentricheskogo zhilishcha gornoy Evrazii kak traditsionnaya konstanta globalnykh etnicheskikh protsessov [Paleoarchitectural morphotype of relict centrally-planned dwelling of mountainous regions of Eurasia as a traditional constant of global ethnic processes]. *Sbornik nauchnykh trudov № 1(I) Severo-osetinskogo otdeleniya Mezhdunarodnoy Akademii nauk vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii* – Collected works no. 1 by Northern Ossetian branch of International Higher Education Academy of Sciences]. Vladikavkaz, 2003, pp. 220–226.

5. Besolov V. B. Arkhitektura drevneyshikh tsentricheskikh sooruzheniy gornoy Evrazii v svete indoevropeyskoy dilemmy "Orient oder Europa" [Architecture of the earliest centrally-planned buildings of mountainous regions of Eurasia in the context of Indo-European dilemma "Orient oder Europa"]. *XXXVII Vsemirnyy kongress vostokovedov (ICANAS-37): tezisy dokladov* – XXXVII<sup>th</sup> International congress of orientologists (ICANAS-37): scientific conference abstracts. Moscow, 2004, vol. 2, pp. 751–753.
6. Besolov V. B. Struktura prostranstva i arkhitektonika formy reliktoivogo tsentricheskogo zhilishcha gornykh ekosistem (Kavkazo-Pamirskiy areal) [Spatial structure and architectonics of shape of relict centrally-planned dwelling of mountainous eco-systems]. *XXXVII Vsemirnyy kongress vostokovedov (ICANAS-37): tezisy dokladov* – XXXVII<sup>th</sup> International congress of orientologists (ICANAS-37): scientific conference abstracts. Moscow, 2004, vol. 2, pp. 753–756.
7. Besolov V. B. Drevneyshee tsentricheskoe zhilishche Peredney Azii kak rudimentarnaya osnova formirovaniya rannesrednevekovoy tsentralnokupolnoy arkhitektury stran khristianskogo i musulmanskogo Vostoka [The earliest centrally-planned dwelling of Western Asia as a rudimentary basis for formation of early-medieval central dome architecture of Christian and Islamic countries of the East]. *XXXVII Vsemirnyy kongress vostokovedov (ICANAS-37): tezisy dokladov* – XXXVII<sup>th</sup> International congress of orientologists (ICANAS-37): scientific conference abstracts. Ankara, 2007, pp. 329–331.
8. Besolov V. B. Morfogenез i tipologiya prostranstvenno-tektonicheskoy struktury drevneyshego tsentricheskogo zhilishcha Evrazii kak fundamentalnaya problema arkhitekturevedeniya [Morphogenesis and typology of spatial and tectonic structure of the earliest centrally-planned dwelling of Eurasia as a fundamental problem of architecture studies]. *Fundamentalnye problemy prostranstvennogo razvitiya Yuga Rossii: mezhdisciplinarnyy sintez : tezisy dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii*. Rostov-na-Donu, 2010, pp. 44–47.
9. Besolov V. B. Stroitelnyy material i konstruktivnyy printsip kak osnova prostranstvenno-tektonicheskoy struktury i arkhitekturnoy formy drevneyshego tsentricheskogo zhilishcha Perednego Vostoka [Construction material and constructive principle as a basis of spatial tectonic structure and architectural form of earliest centrally-planned building of Western Asia]. *Aktualnye problemy betona i zhelezobetona (Materialy i konstruksii, raschet i proektirovanie): sbornik statey i tezisov dokladov* – Contemporary issues of concrete and armored concrete (Materials and constructions, estimation and designing): collected works. pp. 6–20.
10. Besolov V. B. Arkhitektonicheskaya sushchnost idey kupol na kvadrate kak kristallizatsiya sozidatelnoy mysli drevnikh indoevropeyskikh zodchikh i stroiteley tsentricheskikh zhilishch [Architectonic essence of dome on a square idea as crystallization of creative thought of ancient Indo-European architects and constructors of centrally-planned buildings]. *Aktualnye problemy betona i zhelezobetona (materialy i konstruksii, raschet i proektirovanie): sbornik statey i tezisov dokladov* – Contemporary issues of concrete and armored concrete (Materials and constructions, estimation and designing): collected works. Kislovodsk, 2010, pp. 88–99.
11. Voronina V. L. Arkhitektura Irana sasanidskogo perioda [Architecture of Iran during the Sasanian phase] *Vseobshchaya istoriya arkhitektury: v 12 t. T. 1: Arkhitektura drevnego mira* – Universal history of architecture: in 12 volumes, vol. 1. Moscow, 1970, Moscow, 1944.
12. Gankrelidze T. V., Ivanov V. V. Indoevropeyskiy yazyk i indoevropeysy. Rekonstruktsiya i istoriko-tipologicheskiy analiz prayazyka i protokultury: v 2 kn. [Indo-European language and Indo-Europeans: reconstruction and historical and typological analysis of ancestor language and protoculture: in 2 volumes]. Tbilisi, TbilSU Publ., 1984, pp. 956–957.
13. Geyushev R. B. Khristianstvo v Kavkazskoy Albanii [Christianity in Caucasian Albania]. Baku, 1984.
14. Girshman R. M. Proiskhozhdenie "chakhartaka" [Origin of "chakhartak"]. *Istoriya i arkheologiya Sredney Azii* – History and archeology of Central Asia. Ashkhabad, 1978, pp. 37–40.
15. Ieromonakh Aleksiy (Nikonorov). Istoriya khristianstva v Kavkazskoy Albanii [History of Christianity in Caucasian Albania]. Makhachkala, 2012.
16. Iliina M. I. Drevneyshie tipy zhilishch Zakavkazya [The earliest dwellings of South Caucasus]. *Soobshcheniya Instituta istorii i teorii arkhitektury AN SSSR* – Reports of the Institute of History and Theory of Architecture of AS USSR. 1946.
17. Karakhmedova A. A. Khristianskie pamyatniki Kavkazskoy Albanii [Christian monuments of Caucasian Albania]. Baku, 1985.
18. Kuznetsov A. V. Tektonika i konstruksiya tsentricheskikh zdaniy. T. 1: Antichnost. Srednie veka. Epokha Vozrozhdeniya [Tectonics and construction of centrally-planned buildings. Vol. 1: Ancient world. Middle Ages. Renaissance]. Moscow, 1951, pp. 104.

19. Lukonin V. G. Persia II. New York, 1967.
20. Lukonin V. G. *Iskusstvo Drevnego Irana* [Arts of the ancient Iran]. Moscow, 1977.
21. Mailov S. A. K voprosu o znachenii idei "kupola na kvadrate" v arkhitekture [On the problem of the meaning of "dome on a square" concept in architecture]. *Iskusstvo i arkhologiya Irana i ego svyaz s iskusstvom narodov SSSR s drevneyshikh vremen: tezisy dokladov III Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii* – Arts and archeology of Iran and its connection to art of peoples of USSR from the earliest times: abstracts of the 3<sup>rd</sup> All-Union scientific conference. Moscow, 1979, pp. 50–52.
22. Mamedova G. G. *Zodchestvo Kavkazskoy Albanii* [Architecture of Caucasian Albania]. Baku, 2004, 224 p.
23. Pugachenkova G. A. Puti razvitiya arkhitekтуры Yuzhnogo Turkmenistana pory rabovladieniya i feodalizma [Ways of development of architecture of Southern Turkmenistan of the age of slavery and feudalism]. *Trudy YuTAKE* – Works of YuTAKE. 1958, vol. 6.
24. Pugachenkova G. A., Rempel L. I. *Istoriya iskusstv Uzbekistana s drevneyshikh vremen do serediny XIX veka* [History of arts of Uzbekistan from the ancient times till the middle of the XIX<sup>th</sup> century]. Moscow, 1965.
25. Pugachenkova G. A. *Iskusstvo Turkmenistana: Ocherk s drevneyshikh vremen do 1917 goda* [Arts of Turkmenistan: epitome from the ancient times till the year 1917]. Moscow, 1967.
26. Pugachenkova G. A., L. I. Rempel *Ocherki iskusstva Sredney Azii: drevnost i srednevekovye* [Sketches on arts of Central Asia: ancient times and the Middle Ages]. Moscow, 1982.
27. Rudenko S. I. *Kultura naseleniya Tsentralnogo Altaya v skifskoe vremya* [Culture of population of Central Altai in the age of Scythes]. Moscow, Leningrad, 1960.
28. Rudenko S. I. *Iskusstvo Altaya i Peredney Azii (seredina I tysyacheletiya do n. e.)* [Arts of Altai and Western Asia (the middle of the 1<sup>st</sup> millennium b. c.)]. Moscow, 1961.
29. Faenzen Kh. K voprosu o zarozhdenii arkhitekтуры tserkvey s krestoobraznym osnovaniem i tsentralnym kupolom [On the problem of genesis of architecture of churches with the central dome]. *Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma po armjanskomu iskusstvu* – Materials for the II international symposium devoted to Armenian arts. Erevan, Armenian Soviet Socialist Republic Academy of Sciences Publ., 1978, 18 p.
30. Chubinashvili G. N. K voprosu o nachalnykh formakh khristianskogo khrama [On the problem of the initial shapes of a Christian temple]. *Tezisy dokladov 7-y Vsesoyuznoy konferentsii vizantinistov* – Scientific reports abstracts of the 7<sup>th</sup> All-Union conference devoted to Byzantine studies. Tbilisi, 1965, pp. 82–83.
31. Chubinashvili G. N. K voprosu o nachalnykh formakh khristianskogo khrama [On the problem of the initial shapes of a Christian temple]. Moscow, 1972, vol. 33, pp. 158–165.
32. Chubinashvili G. N. K voprosu o nachalnykh formakh khristianskogo khrama: 2-y Mezhdunarodnyy simpozium po gruzinskomu iskusstvu [On the problem of the initial shapes of a Christian temple: the 2<sup>nd</sup> International symposium devoted to Georgian arts]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1977, 20 p.
33. Godard A. *L'art del Iran*. Paris, 1962.
34. Retrescu P. Zur typologie der Volksarchitektur im Kaukasus. *Revue roumaine d'histoire de l'art. Serie Beaux Arte*. Bucuresti, 1971, vol. 8, pp. 187–206.
35. Strzygowski J. *Die Baukunst der Armenier und Europa*. Wien, 1918, pts. 1–2, 365 p.

*About the authors:*

**Besolov Vladimir Butusovich**, director of North Caucasian Academic Centre of the International Academy of Architecture (94, Alagirskaya Str., Alagir, Russia), archgrad101@yandex.ru

**Besolov Aristarkh Vladimirovich**, post-graduate student of Caucasus Studies, the history of the ancient world and the Middle Ages of North Ossetia State University named after K. L. Hetagurov (46, Vatutin Str., Vladikavkaz, Russia), archgrad101@yandex.ru

*For citation:* Besolov V. B., Besolov A. V. *Arkhitektura drevneyshego tsentricheskogo zhilishcha Kavkazo-Pamirskogo megaregiona kak lono kristallizatsii tvorcheskoy idei "kupol na kvadrate"* [The architecture of an ancient centric dwelling in Caucasus-Pamir megaregion as a cradle of crystallization of creative ideas for dome on square]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 110–127. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.110

## АРХИТЕКТУРА ДРЕВНЕЙШИХ ЦЕНТРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАВКАЗО-ПАМИРСКОГО МЕГАРЕГИОНА КАК ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ПУТИ ЭТНОГЕНЕЗА И ЭТНИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ АЛАНО-ОСЕТИН

**В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов**

О появлении на Кавказе архитектурного морфотипа древнейшего центрического жилища свидетельствуют археологические находки эпохи энеолита, ранней бронзы, в том числе знаменитой куро-аракской культурно-исторической эпохи, и последующих периодов древности и средних веков, а также описания античных авторов подземных жилищ с верхним входом и специфики уступчатого шатра. На протяжении многих веков зарождалась художественно-творческая мысль купола на квадрате. Свидетельством тому являются архитектурные творения центрической композиции, структуры и формы, возведенные из местного строительного материала и составляющие с ландшафтом Кавказско-Памирского горного мегарегиона нерасторжимое единство, органическое целое.

Изначальное местозарождение и месторазвитие творческой идеи «купол на квадрате» происходило в архитектуре древнейшего центрического жилища Кавказско-Памирского горного мегарегиона, что является четким показателем степени развития созидательного таланта народов и стран, веским определителем их места в иерархии творчески одаренных наций и ведущих художественно развитых стран древнего и средневекового мира.

Архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом, как весомый и зримый исторический источник, является надежным определителем пути этногенеза и этнической истории и культуры древних ираноязычных племен и народностей Центрального Кавказа, Западного Памира и Гиндукуша.

**Ключевые слова:** этногенез, архитектурогенез, этническая история, этническая культура, индоевропейцы, иранистика, кавказоведение, аланы, осетины, центрическое жилище, центрические сооружения.

## ARCHITECTURE OF ANCIENT CENTRIC STRUCTURES IN CAUCASUS-PAMIR MEGA REGION AS A DETERMINANT OF THE ETHNOGENESIS PROCESS OF DEVELOPMENT, ETHNIC HISTORY AND CULTURE OF ALAN-OSSETIANS

**V. B. Besolov, A. V. Besolov**

The first appearance of the architectural morphotype of the ancient centric dwelling at the territory of Caucasus is confirmed by archaeological findings of Eneolith, Early Bronze Age, including the famous Kura-Araxes cultural-historical era, and subsequent periods of ancient times and the Middle Ages, as well as descriptions of ancient authors about the underground dwellings with upper entrance and the specificity of ledged tent. For many centuries and millennia there was a crystallization of the creative idea and concept for a dome on a square originated in ancient times. The evidences are the architectural creations of centric composition, structures and forms, built of local building materials. They constitute a indissoluble unity, organic whole with the landscape of the Caucasus-Pamir mountain megaregion.

© Бесолов В. Б., Бесолов А. В., 2015

Initially, the place of origin and development of the dome on a square concept was in the architecture of the ancient centric dwelling in the Caucasus-Pamir mountain megaregion. This is the clear indication of the level of development of the peoples' and nations' creative talent, the determinant of their place in the hierarchy of artistically gifted nations and leading artistically developed countries of the ancient and medieval world.

The architectural morphotype of the ancient centric dwelling with pyramidal-ledged ceiling and light-flue hole over an open hearth is the determinant of the ethnogenesis ways, the ethnic history and culture of the ancient Iranian-speaking tribes in the Central Caucasus, Western Pamir and HinduKush, as a significant and visible historical source.

**Keywords:** ethnogenesis, genesis of architecture, ethnic history, ethnic culture, Indo-Europeans, Iranian studies, Caucasus studies, Alans, Ossetians, centrally-planned building, centrally-planned dwelling.

Архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатой структурой перекрытия и отверстием в зените над открытым очагом, размещенным в середине просторной жилой ячейки, а также склепа с пирамидально-ступенчатой формой покрытия и фаллосом в вершине, святилища с пирамидально-ступенчатой рудиментарной объемной массой и силуэтом, сужающейся сверху башни с ровными плоскостями фасадных стен, своим завершением образующей четырехугольный проем – это не только уникальные сооружения центрической композиции, структуры и формы с развитой вертикальной осью и не только показатели высокого уровня развития архитектурно-художественной мысли и строительно-технического мастерства на Центральном Кавказе, но и активная зона высокой степени пассионарного напряжения, высокогорное место интенсивного поглощения космической энергии и излучения земной информации.

Эти действительно уникальные не только в горной Евразии, но и во всем мире творения народного зодчества и традиционные константы локальных, региональных и глобальных этнических процессов, изумительные по своей плановой композиции и пространственно-тектонической структуре сооружения максимально способствуют непрерывному движению жизненно важных энерго-информационных потоков между Землей и Космосом. Они являются незаменимым источником и исключительным основополагающим материалом при изучении и конкретизации глобальных этногене-

тических процессов в горной Евразии, в частности, процесса образования центрально-кавказского и памиро-гиндукушского ираноязычных арийских этносов с характерным обликом, уникальным языком и традиционной культурой, процесса поэтапного формирования их этнической индивидуальности [33–36].

Весьма важно учесть, что архитектурный морфотип центрического жилища с пирамидально-уступчатой структурой перекрытия и отверстием в зените над открытым очагом является исключительным артефактом, зримым свидетельством исторически закономерного появления, длительного развития и распространения древнейших индоевропейцев на Армянском нагорье, Центральном и Южном Кавказе, в Средней и Центральной Азии и Юго-Восточной Европе. По сути, этот уникальный памятник народного зодчества является убедительным историческим фактом и важным архитектуроведческим источником при исследовании конкретной этногенетической проблемы и, более того, оригинальным жилищем древнейшего этноса, максимально адаптированным к определенному характеру местности, экологически необходимым, мировоззренчески обоснованным, т. е. как бы созревшим в среде самого индоевропейского общества, выросшим из недр Армянского нагорья. Несомненно одно: на протяжении многих веков и тысячелетий происходила кристаллизация творческой идеи купола на квадрате, т. е. зародившейся в глубокой древности художественно-творческой мысли

зодчих и мастеров-строителей из индоевропейского этноса, свидетельством тому являются архитектурные творения центрической композиции, структуры и формы, возведенные из местного строительного материала и составляющие с евразийским горным ландшафтом органическое целое [5–6; 11; 30; 41].

Исследуя закономерности формирования и распространения древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатой структурой перекрытия и отверстием в зените над открытым очагом, размещенным в середине просторной жилой ячейки, на методологической основе новых (историко-лингвистической и этнолого-географической) теорий этногенеза индоевропейцев и в контексте этногенетических процессов древних арийцев, алан и осетин, горных таджиков и афганцев и их далеких предков, прослеживается совершенно иной путь их генетической эволюции, этноисторического и этнокультурного развития [9; 29; 43–45].

В рассматриваемом аспекте исследуемой темы немаловажное значение имеют естественно-географические и экологические условия, которые влияют на образ жизни и хозяйственную деятельность конкретных племен и народов, их бытовой уклад, психический склад и социальные отношения с окружающим миром, причем в каждую культурно-историческую эпоху эти природные факторы оказывают детерминирующее воздействие на общество. Разумеется, несмотря на богатейшие природные ресурсы, столь сложная и суровая биосфера Центрального Кавказа и Среднего Предкавказья, Западного Памира и Гиндукуша в определенной степени оказывала неизбежное и решающее влияние на индивидуум и социум, накладывала на их жизнь закономерный отпечаток [14–17].

Именно тогда становились более значимыми не только исторические обстоятельства, экологические условия и естественные факторы, но также этнические реалии, эстетические пред-

ставления и культурные показатели этногенетического процесса древнейших индоевропейцев, в том числе ранних армян и древних арийцев, более зримыми направления движения миграционных волн и время появления первых ираноязычных арийцев на Центральном Кавказе и Среднем Предкавказье [18; 26; 32; 37–38; 40; 42], Западном Памире и Гиндукуше [10; 39].

При рассмотрении комплекса вопросов относительно проблем этногенеза древнейшего ираноязычного арийского этноса, раннесредневековых ираноязычных аланов и позднесредневековых ираноязычных осетин, в индоевропеистике и иранистике, прежде всего в аланистике и осетиноведении, все еще продолжается яростная полемика вокруг одной из стержневых проблем о двуприродности ираноязычных обитателей Центрального Кавказа: происхождения этого народа в смысле его генетических корней, родственных связей и его формирования в смысле особенностей той естественно-исторической среды, в которой протекает этногенетический процесс. Такой методологический подход, инерционно существующий более столетия, был введен в мировую иранистику и кавказоведение с легкой руки широко известных ученых, представителей исторических и филологических наук, незыблемый авторитет которых гарантирует неизменность их этногенетических концепций и суждений, явным свидетельством тому является удивительная долговечность устоявшихся взглядов и учений.

Здесь, прежде всего, следует назвать, с одной стороны, представителей исторических наук: историков-кавказоведов, специалистов по древней и средневековой истории, археологии, этнологии, антропологии и других отраслей исторического знания во главе с Е. И. Крупновым (1904–1970), а с другой стороны – представителей филологических наук: лингвистов-индоевропеистов и иранистов, специалистов по центрально-кавказской ономастике, этимологии, компаративистике, диалек-

тологии и других отраслей филологического знания во главе с В. И. Абаевым (1900–2001), а промежуточное положение между ними обычно отводится ученым – специалистам по истории древних религий, индоевропейской, арийской и иранской мифологии и нартскому эпосу во главе с выдающимся французом Ж. Дюмезилем (1898–1986) [19–21; 40].

Вместе с тем несколько симптоматично, что попытки монголоязычного истолкования некоторых данных из ономастики древнего и средневекового Центрального Кавказа вовсе не убедительны и обречены на фиаско, ибо отличаются фантастическими домыслами и несостоятельными доводами.

В гуманитарных науках все еще продолжают отсутствовать аргументированные исследования, не умозрительно, а более объективно освещающие этническую историю центрально-кавказского региона: время появления и территория расселения первых арийцев, их внешний облик и язык, психический склад и бытовой уклад, хозяйственная деятельность, социальное устройство, духовная и материальная культура и, что особенно важно, характер взаимодействия центрально-кавказского этно- и социокультурного пространства с окружающим этнически переменным культурным миром.

Ведь крайне важно обратить должное внимание на срединную часть предгорного, горного и высокогорного Большого Кавказа, на издревле обитаемые горы и прилегающие возвышенности и равнины Казбеко-Эльбрусского двугорья, на обоих склонах которого еще в эпоху поздней бронзы и раннего железа появилась и развивалась, в сущности, единая уникальная центрально-кавказская, или кобано-тлийская, художественная культура (XIV–IV вв. до н. э.),

что, с точки зрения физической и этнической географии, является более точным определением. В процессе ее трехвекового угасания постепенно, на той же территории и за такой же период, в ее недрах созревала и так же внезапно появилась новая культура, не менее знаменитая и оригинальная в эпоху раннего и зрелого Средневековья, но уже аланская художественная культура Центрального Кавказа и Среднего Предкавказья (IV–XIV вв. н. э.)<sup>\*</sup> [22–23].

Для всестороннего и полноценного осмысления сущности и значимости становления, расцвета и угасания местных этнокультурных явлений и процессов эпохи древности и периода раннего и зрелого Средневековья нужно аналитически оценить то, что происходило в сопредельных, смежных, близлежащих и отдаленных регионах Евразии. С этой целью крайне важно принять во внимание синхронные историко-культурные факты.

В период формирования и расцвета на Центральном Кавказе и Среднем Предкавказье яркой, неимоверно богатой, достаточно оригинальной по исключительному разнообразию изделий и стилистически однородной кобано-тлийской художественной культуры, на территории Азиатской части России развивалась не менее блестящая карасукско-тагарская культура, на территории Центральной Европы процветала уникальная гальштатская культура, а на территории Переднего Востока, в Западном Иране, не менее прославленная культура луристанской бронзы. В этот же период в Северо-Восточном Кавказе, преимущественно в восточной части Чечни и Дагестане, развивалась каякентско-хорочоевская культура, в Северо-Западном Кавказе, в бассейне Кубани совершенствовалась прикубанская культура, а в Южном Кавказе, на близлежащей территории Абхазии

<sup>\*</sup> Проблема иранства на Центральном Кавказе рассматривается А. П. Зураевой с древних времен по VII в. Эта тема выпала из научного обихода современной аланистики и почему-то до сегодняшнего времени остается вне внимания алановедов Северной и Южной Осетии и России.

и Западной Грузии, достигла художественной зрелости знаменитая колхидская культура. Нетрудно заметить, что в естественно-географическом ареале и историко-хронологическом контексте знаменитых этнических культур, имеющих некоторые черты сходства и признаки общности, высочайшего уровня художественного развития достигла кобано-глийская материальная и духовная культура, созданная древними, автохтонными ираноязычными племенами Центрального Кавказа.

Важно отметить, что в 301 г. христианство стало официальной государственной идеологией Армении, древнее индоевропейское армяноязычное население имманентно восприняло новую веру, и Армения стала первой христианской страной в мире Евразии. Вскоре к христианству также обратились и кавказоязычные народы: в 313 г. – Агвания, 337 г. – Грузия, 532/535 г. – Абхазия. К тому же, в 312 г. христианство стало государственной идеологией Византии и вскоре проникло в его провинции на Крымском полуострове и во всем Северном Причерноморье.

Аланское государство, достигшее высокого уровня развития культуры и хозяйства, наряду с древнехристианскими странами Южного Кавказа вышедшее на передовые позиции социальных преобразований, вскоре имманентно дошло до состояния восприятия новой, более прогрессивной идеологии – христианства православного толка. Вхождение в ряды христианских стран в эпоху раннего Средневековья являлось показателем уровня просвещенности этноса и признаком степени культурного развития [7; 25].

Кроме того, в VIII–IX вв. ислам проник к тюркоязычному населению территории Средней Азии, немного позднее – к Волжской Булгарии и Крыма, а в XI–XII вв. – к тюркоязычному населению Азербайджана, вероятно, в IX–XI вв. сменившего прежнюю страну Агванию.

Именно на территории Центрально-Кавказа и прилегающей части Сред-

него Предкавказья внезапно возникла, достигла расцвета и медленно угасла знаменитая кобано-глийская материально-художественная культура (XIV–IV вв. до н. э.), древних ираноязычных обитателей обеих склонов срединной части гор Большого Кавказа. Весьма парадоксально, что именно на той же территории и в той же антропологической и лингвистической среде происходило становление (I–III вв. н. э.), а в эпоху раннего Средневековья сформировалось необычайно воинственное аланское общество ираноязычных племен (IV – середина IX в. н. э.), отличавшееся непрерываемой иерархической организацией и моральными устоями семейно-бытового уклада, развитой ремесленной и хозяйственной деятельностью, социальными морально-нравственными приоритетами и традиционным горским этикетом. В период зрелого Средневековья образовалось Аланское государство (середина IX–XI вв. н. э.) с развитым централизованным социальным устройством, интенсивными социально-экономическими и политико-дипломатическими отношениями, с многотысячной превосходно вооруженной кавалерией, отличавшейся бесстрашием и воинственностью. Однако и Аланское государство не избежало феодальных междоусобиц и царских распрей, политической раздробленности, столь характерных для государств эпохи развитого Средневековья, и поэтому распалось на удельные княжества и царства, которые впоследствии вели между собой постоянные войны, а такое неминуемо вело к самоистреблению отдельных личностей и целых отрядов воинственного аланского населения (XI–XIV вв. н. э.). В ставшей уже исторической Алании преемственно развивались и совершенствовались самые уникальные и вместе с тем обладавшие определенной, генетически обусловленной устойчивостью, архитектурные морфотипы древнейших центральных сооружений: жилищ, святилищ, склепов и башен, а также

средневековых центрально-купольных храмов\* [3].

Таковой была историческая действительность, этническая, антропологическая, лингвистическая и культурная реальность Центрального Кавказа в системе близлежащих и отдаленных стран и историко-культурных регионов Востока и Запада как в эпоху древности, так и в период новой социально-экономической формации, т. е. в эпоху раннего и развитого феодализма. Очевидно, что в эпоху древности ираноязычные создатели и продолжатели кобано-тлийской художественной культуры являлись передовыми, мировоззренчески и творчески высокоразвитыми племенами, знатоками горного дела, металлургии и металлообработки, керамического производства. Вполне отраднo, что кобано-тлийские мастера создали неповторимые по форме, композиции сюжета и декора, эстетике стиля образцы древнего искусства, являющиеся ныне достоянием художественного наследия народов Кавказа и стран Востока.

Столь же очевидно, что в эпоху раннего и зрелого Средневековья ираноязычные аланские племена создали недостижимую по уровню развития аланскую художественную культуру – яркую и самобытную ветвь архитектуры и строительной техники, монументального, декоративно-прикладного и орнаментального искусства. Аланские творцы внесли весомый вклад в мировую сокровищницу восточно-христианского художественного наследия. Наряду

с Абхазией, Грузией, Арменией и исторической Агванией этнос и культура Алании вошли в состав высокоразвитых цивилизованных обществ и державных государств Кавказа, к которым в случае вражеского нашествия или его вероломного вторжения всегда приходили на помощь воинственные и хорошо вооруженные аланские всадники.

Непростительно и досадно то, что до сегодняшнего времени исследователями не выявлен этноним создателя и продолжателя кобано-тлийской материально-художественной культуры. Однако, несмотря на сложившуюся ситуацию, все же искусствоведческо-компаративный анализ многообразия и эстетической выразительности формы, иконографии и семантики изобразительного сюжета, мотива орнаментального декора, стилистики графических изображений и пластики металлических и керамических изделий позволяет с полной основательностью заявить о том, что произведения местного кобано-тлийского искусства созданы ираноязычными племенами\*\* [4].

Уже тогда, в глубокой древности, по обе стороны Главного Кавказского хребта обитала единая племенная общность кавказионского типа и иранского языка, которая наряду с арийской мифологией и нартским эпосом, кобано-тлийскими художественными произведениями также создавала или же преемственно развивала новые архитектурные морфотипы центрической композиции, структуры и формы: жилища, святилища, склеповые и башенные сооружения.

\*Исследованию архитектуры и строительной техники древних и средневековых центрических сооружений (жилищ, святилищ, склепов и башен), а также зально-сводчатых и центрально-купольных храмов эпохи раннего и зрелого Средневековья Центрального Кавказа посвящены научные труды таких известных историков, археологов, этнологов, искусствоведов и архитекторов, как Г. А. Кокиев, И. П. Щелькин, Л. П. Семенов, С. В. Безсонов, Г. И. Лежава, М. И. Джандиери, Г. Н. и Н. Г. Чубинашвили, В. О. Долидзе, А. И. Вольская, П. П. Закарая, А. И. Робакидзе, Г. Г. Гегечкори, Р. С. Меписашвили, В. Г. Цинцадзе, А. Н. Калдани, Э. Б. Бернштейн, С. С. Кригер, П. Г. Акритас, А. Я. Кузнецова, А. Ф. Гольдштейн, В. И. Марковин, Н. Ф. Такоева, В. П. Кобычев, Б. А. Калоев, А. Х. Магомедов, В. А. Кузнецов, Л. А. Чибиров, И. М. Мизиев, М. Б. Мужухоев, В. Х. Тменов, С. Д. Сулименко, А. Г. Лазарев, В. В. Пишулина и др.

\*\*Для научной объективности следует принять во внимание следующее: историко-культурное понятие «кобано-тлийская археологическая культура» впервые предложено нами вместо введенного в научный обиход понятия «кобанская археологическая культура», так как оно наряду с общим понятием «центрально-кавказская культура» наиболее адекватно историко-географическому ареалу прославленной культуры эпохи древности.

Традиционное представление об этногенезе и этнической истории алан-осетин, их языке, духовной и художественной культуре обычно сводится к двум основным и, казалось бы, взаимно дополняемым, но абсолютно противоположным в своей основе и взаимоисключающим точкам зрения, введенным в научный обиход гипотезам так называемых научных авторитетов лингвистической иранистики и исторического кавказоведения.

По одной версии, появление на Центральном Кавказе иранского языка, т. е. языка современных осетин, исторических алан и их далеких предков, произошло, вероятно, путем насильственного вытеснения одного языка другим – более могущественным племенным языком, или иначе, под натиском более сильных кочевых ираноязычных киммерийских, скифо-сарматских и сармато-аланских племен Великой степи слабые предки современных осетин отступили в горы, потеснив, в свою очередь, уже обитавшие там другие автохтонные племена. При этом неясно, кем же были по типу и языку эти аборигенные предки, обитавшие на предгорных равнинах и в речных долинах Предкавказья, а также и те автохтонные племена, которые обитали в суровых горах Большого Кавказа.

По другой версии, существовавшие на Центральном Кавказе местные горские племена, т. е. физические предки современных осетин, говорившие на одном из кавказских языков и создавшие кобано-тлийскую материально-художественную и духовную культуру, или иначе, коренные оседлые племена, которые на протяжении веков и тысячелетий преемственно наследуя и сохраняя сущность кавказского этноса и культуры, под давлением вероломно вторгшихся вглубь гор кочевых ираноязычных степняков сменили свой исконно кавказский язык на иранский.

Не секрет, что подобная постановка проблемы о признании преобладания одного из двух компонентов – пришлого, степного иранского или местного, гор-

ного кавказского – методологически несостоятельна и по своей сути заведомо ложна. Это бесконечный и мнимый путь поиска истины, ведущий к созданию у двуприродных осетин идентичной двуприродной истории – раздельной истории языка и истории этноса [37; 40; 42].

Однако, анализируя взаимодействие прилегающих друг к другу этно- и социокультурных пространств гор и степи, крайне необходимо проследить как складывалась относительно устойчивая общность этнической территории и контактных зон, общность формирования внешнего облика и психического склада этноса, его материальной и духовной культуры, общность хозяйственной деятельности и социальной жизни на исторических этапах непрерывного и преемственного его развития в качестве равноправного этнического признака наряду с общностью языка в иранском мире, но его особенностью в кавказском окружении и, более того, эпицентральной уникальностью и генеративной особенностью исконно арийской культуры, возникшей и эволюционирующей на лоне благодатной природы, весьма сложной и суровой экологической среды, но впоследствии оказавшейся в иноэтническом окружении [Там же].

Постижение архитектурной и строительной-технической сущности древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатой структурой перекрытия и отверстием в зените над открытым очагом, размещенным в середине просторной жилой ячейки, стало исходной материально очевидной основой и культурно-историческим фактом поиска этногенетической истины, предельно адекватной исторически реальной жизни осетин, алан и их далеких древних и древнейших предков.

Следует особо отметить, что архитектурный морфотип центрического жилища был исходной архитектонической основой создания и совершенствования архаических форм дохристианских общественно-родовых мемориальных и культовых сооружений: в мемориаль-

ной архитектуре – традиционных склепов-усыпальниц, в сакральной – рудиментарных святилищ. Эти сооружения, донесшие до нас древние, дохристианские архитектурные традиции, имеют, подобно центрическому жилищу, двойственный характер конструкции перекрытия: внутреннее пространство обычно завершается ложно-сомкнутым сводом, а их внешняя форма получает вид пирамидально-ступенчатой кровли на четыре ската, нередко на два.

В то же время особенно важно заметить и понять весьма удивительную, но имеющую огромный семантический смысл, глубокое функциональное обоснование и символическое значение, неопровержимую конструктивно-художественную реальность, а именно: доведенный до совершенства конструктивной логики и художественной правдивости пирамидально-уступчатый деревянный куполоподобный объем древнейшего центрического жилища, т. е. дома для живущих, как ни удивительно, получил несколько иную творческую интерпретацию в склеповых сооружениях, т. е. доме для усопших. Внутренняя деревянно-балочная пирамидальная уступчатость интерьера центрического жилища переоплотилась в наружную каменно-плиточную пирамидальную ступенчатость экстерьера склепа, при этом внешняя прямоугольно-курганобразная концентрическая земляная форма экстерьера жилища – во внутреннюю сомкнуто-сводчатую поверхность пирамидальной формы завершения интерьера центрического склепа. Иными словами, перекрытие почти квадратного в плане кубического объема интерьера центрического жилища словно вывернуто наизнанку и установлено на несколько вытянутом ввысь кубическом объеме экстерьера центрического склепового сооружения.

Именно этот неопровержимый этнокультурный и исторический факт подтолкнул нас к дальнейшим размышлениям и пониманию того, что ясный день в жилище превратился в темную ночь

в склепе, а это означает, что солярный символ дома для живущих поменялся на лунарный символ дома для усопших. В контексте изложенного также следует учесть беспрецедентные в мировой архитектуре и строительной технике функционально-конструктивные и эстетические особенности жилища и склепа, имеющие определенный, функционально значимый, но еще не познанный семантический смысл и символическое значение.

Доведенный до совершенства конструктивной логики и идеальной художественной правдивости пирамидально-уступчатый деревянный куполоподобный объем древнейшего центрического жилища, т. е. дома для живущих, над центральным ядром плановой композиции и по вертикальной оси пространственной структуры интерьера завершается светодымовым отверстием. На слегка возвышенном кубическом объеме древнейшего центрического склепа, т. е. дома для усопших, ритмично убывающая по вертикальной оси к вершине, четкая пирамидально-ступенчатая форма экстерьера завершается каменным фаллосом. В поистине уникальных архитектурных творениях коренных горских народностей Центрального Кавказа столь неожиданное сочетание женского и мужского элементов отнюдь не является случайностью, ибо в традиционном зодчестве ничего не создавалось только для красоты, даже орнаментальный декор имел семантическое назначение и символический смысл.

В долгих раздумьях мы, кажется, стали осмысливать важность и функциональную необходимость горизонтально устроенного в зените перекрытия жилища отверстия и вертикально установленного в вершине перекрытия склепа фаллоса. Разумеется, каждый из двух элементов свидетельствует о женском и мужском начале, а поэтому они должны выполнять, и это неоспоримо, в архитектуре уникальных сооружений центрической композиции, структуры и формы, определенные функции, т. е. каждый из них создан с конкретным

функционально-смысловым назначением. Пока мы находимся в процессе проникновения в очевидные реалии творческих тайн древних зодчих, выходцев из местных ираноязычных племен, создателей таких архитектурных творений, которые поныне еще не осмыслены в науке и которые по значению являются крайне актуальными для современности. На пути постижения семантической и символической сути функций этих и других, аналогичных по функциональной значимости, сооружений Центрального Кавказа, пока нам удалось одолеть всего лишь первый этап. Смысл выявленного заключается в изысканной архитектонике этих сооружений, закономерном и гармоничном соотношении внутреннего пространства и наружных масс, в особенной, поистине универсальной их функциональности и невероятной жизненной необходимости. Это вполне очевидно, если додуматься и представить уму непостижимое даже для высокообразованного мастера архитектуры нынешнего времени. Итак, наша концепция о впервые нами же выявленном факте: солнечный свет, необходимый для зачатия, рождения и биологического развития человека в древнейшем центрическом жилище с пирамидально-уступчатой структурой перекрытия и отверстием в зените, сменился на лунный мрак, также необходимый для сохранения духа личности и мумификации его плоти в древнейшем центрическом склепе с пирамидально-ступенчатой формой перекрытия и фаллосом в вершине. Со столь отдаленных культурно-исторических эпох обе эти равные по длительности функции ежедневно непрерывно продолжают.

Более удивительны последующие этапы постижения семантической и символической сути характера местонахождения и функционального назначения древнейших сооружений центрической архитектуры – весомых и зримых свидетелей этнических особенностей образа жизни и самосохранения духа, культового ритуала и погребально-

поминального обряда коренных ираноязычных племен и горских народностей Центрального Кавказа.

Также отметим, что ни одно башенное сооружение, возведенное из естественного камня, Северной и Южной Осетии, Балкарии и Карачая не имеет пирамидально-ступенчатого перекрытия, аналогичного перекрытиям склеповых сооружений, которыми завершаются вейнахские и хевсурские башни. Это следует принять во внимание как весьма любопытный, но реальный культурно-исторический факт, являющийся важным материально-художественным источником при архитектуроведческой интерпретации и этнической атрибуции памятников народного зодчества древнейших обитателей Большого Кавказа, необходимым весомым аргументом их сравнительной хронологизации и относительной датировки и наиболее веским, абсолютным материально-эстетическим свидетельством определения изначальности появления столь оригинального конструктивно-художественного элемента в уникальных архитектурных творениях кавказских горцев – склеповых и башенных сооружениях [27–28].

Однако это является темой для специального, самостоятельного архитектуроведческого исследования, которое, при высоком профессиональном уровне его выполнения, позволит понять и убедиться в том, где конкретно и когда, в какой именно этнической среде зародилась и сформировалась такая, не имеющая аналогов в мировой архитектуре и строительной технике, архитектурно-художественная форма ступенчато-венцеобразного перекрытия и определить место зарождения, функциональное назначение, уровень социально-экономического развития конкретной эпохи и этническую принадлежность идеи творческого воплощения пирамидально-уступчатого и пирамидально-ступенчатого перекрытий [12–13].

Общепризнанные произведения изысканных искусств Центрального Кавказа, Западного Памира и Гиндикуша эпохи

древности и средних веков отличаются особым, неповторимым художественным образом и стилем, исключительной эстетической выразительностью; в них отображены гармония человеческого общества и природной среды, повседневный жизненный уклад и социальные приоритеты в строгих параметрах биогеоэкологического равновесия и, наконец, в них запечатлены суровый психический склад этноса-созидателя, специфика его мифологического, конфессионального и пространственно-тектонического мышления, художественно-творческого воображения и эстетического выражения.

Еще в 1920-х гг. было опубликовано обоснованное предположение о том, что такое поразительное сходство в центрическом жилище с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом несомненно указывает «...на одну общую древнюю культуру, работавшую когда-то этот потолок» и одновременно обращено внимание на необходимость сравнительного изучения традиционного жилища Кавказа, Памира и Гиндукуша. Эта публикация свидетельствует о древнейшем этногенетическом единстве и исторической общности современных обитателей Кавказа, имеющих индоевропейские корни, и ираноязычных племен и народов Средней Азии, потому что автору удалось выявить «...наличие характерных признаков переднеазиатской расы среди таджиков верхнего течения Аму-Дарьи, сближающих их с населением Кавказа» и отметить «...наличие общих черт в духовной и материальной культуре» [2].

Задолго до введения в научный обиход ныне знаменитой «теории Гамкрелидзе-Иванова» о прародине индоевропейских племен на территории Армянского нагорья и прилегающей части в Передней Азии и возможных направлениях движения миграционных волн была предсказана причина появления в Памиро-Гиндукушском двугорье центрического жилища с пирамидально-

уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием в зените над открытым очагом. Это предположение через полвека получило исчерпывающее научное истолкование, смысл которого заключается в том, что после распада праиндоевропейского единства вместе с миграционными волнами архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища был занесен индоевропейцами из их прародины как на запад, так и на север и восток Альпийско-Гималайского горного пояса Евразии, а намного позже, через территорию Средней Азии и Казахстана, в значительно упрощенном виде, в Восточную Европу и далее [9; 29].

Анализ плановой композиции, пространственной структуры и архитектоники древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием над открытым очагом, размещенным в середине просторной жилой ячейки, с целью выявления специфики и обстоятельств происхождения, процесса формирования и диапазона их распространения как в пространстве, так и во времени и, что весьма важно, осуществлять все это в контексте лингвистической реконструкции прародины индоевропейцев и направлений миграционных волн носителей индоевропейских диалектов с первоначальной территории расселения на Армянском нагорье и прилегающей части в Передней Азии в исторические места их обитания в Евразии, предоставляет возможность установить следующее: наличие всех разновидностей архитектурного морфотипа древнейшего центрического жилища, включая совершенно уникальные пространственно-тектонические структуры и формы, дают основание полагать, что территория Южного Кавказа, к югу от Малого Кавказа, включая восточную часть Малой Азии и крайний северо-запад современного Ирана, является не только изначальным ядром формирования индоевропейского этноса и языка, или, иначе, их прародиной, но и основным и единственным центром зарожде-

ния и закономерного развития удивительно жизнестойкого архитектурного морфотипа древнейшего центрического жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и светодымовым отверстием над открытым очагом, размещенным в середине просторной жилой ячейки. Архитектурный морфотип древнейшего центрического жилища непрерывно совершенствовался на более обширной территории Центрального и Южного Кавказа (преимущественно в исторической Армении, древней Иберии, или Восточной Грузии, исторической Агвании и Алании), Западного Памира и Гиндукуша на протяжении 6–8 тыс. лет и предстал в высшей степени художественного воплощения как эстетически выразительный и предельно архитектурно-организм, как каноническое творение мировой архитектуры и строительной техники.

Уцелевшие разновидности архитектурного морфотипа центрического жилища сегодня являются символом былого могущества и интеллектуального величия древнейших индоевропейцев, ярким показателем вершинных достижений индоевропейской созидательной силы и мощным жизнеутверждающим началом их прямых потомков и опосредованных последователей на Южном и Центральном Кавказе, на востоке – в Иране и Афганистане, Средней и Центральной Азии, на западе – в Малой Азии, Балканском полуострове и прилегающих островах, т. е. объединяемых единством архитектурогенеза восточных и западных провинций центрического домостроительства.

Таким образом, аксиоматично положение о том, что каждый этнос оставляет свой, только ему присущий след на Земле, который в той или иной степени отражен в археологических наслоениях и памятниках древней письменности, в его языке и физическом облике, хозяйственно-бытовой деятельности, воплощен в духовных и материально-художественных творениях, в том числе в памятниках народного и оборонного

зодчества, монументальной мемориальной и культовой архитектуры, т. е. в материализованных и зримых свидетелях минувших эпох и ушедших поколений, являющихся весомым и реальным показателем развития интеллектуального уровня, пространственного мышления и эстетического воображения, созидательного потенциала конкретного этноса.

Полноценная и обстоятельная архитектуроведческая интерпретация, атрибуция, датировка этнического культурного достояния, прежде всего архитектурного наследия, и его регионализация способствуют воссозданию древнейшей, древней и средневековой истории, идеологии и культуры народа – создателя и продолжателя устойчивых архитектурных традиций, определению его этногенеза и этнической истории, этнической индивидуальности и самостоятельности, а также локализации исторической прародины и выявлению направленности миграционных волн того или иного этноса, а также этнической общности.

В этом аспекте Кавказ представляет собой удивительно сложный и предельно органичный естественно-географический и этнокультурный регион биосферы Земли, является чрезвычайно важной узловой субстанцией магистрального пути мирового исторического процесса. Во все времена природное лоно Кавказа благоприятствовало этно-, расо- и лингвогенезу, этногенетическому развитию и социальному прогрессу, духовному преображению и процветанию многих племен и народов, в частности тем, которые сегодня являются местным населением. В научном мире известно, что на Кавказе находятся центры и очаги образования антропологических типов и человеческих рас, глоттогенеза, лингвогенеза, этногенеза, возникновения земледелия и domestikации растений, происхождения скотоводства и domestikации животных, становления горного дела и металлургии, зарождения декоративно-прикладного искусства (оригинальной металлопластики, кера-

мики) и орнаментики, утверждения христианской религии как государственной идеологии. Более того, Кавказ также является обособленным центром архитектурогенеза ряда уникальных архитектурных морфотипов древнейших центральных сооружений и раннесредневековых центрально-купольных и зально-сводчатых усыпальниц и храмов, мавзолеев и мечетей.

Высокий интеллект коренных жителей Кавказа, наличие природных строительных ресурсов и благоприятный экологический фон явились основой зарождения, процесса формирования и географического распространения архитектурных морфотипов центральных зданий и сооружений жилого, оборонного, погребального и сакрального назначения, начиная от реликтового центрального жилища с пирамидально-уступчатым перекрытием и отверстием в зените над открытым очагом и заканчивая архитектурными морфотипами центрально-купольных храмов, не имеющих аналогов в истории мировой архитектуры эпохи раннего и зрелого Средневековья.

В связи с этим проблематике генезиса и эволюции идеи купола на квадрате в традиционном, народном зодчестве и в монументальной центрально-купольной архитектуре отдельных народов, конкретных стран и целых историко-культурных регионов Евразии: персидской державы – сасанидского Ирана, исторической Византии и стран христианского Востока (Малой Азии, Верхней Месопотамии, Сирии и Палестины, Армении, Агвании, Грузии, Абхазии, Алании, Крыма, Древней Руси, Украины и Белоруссии, Греции, Македонии, Сербии и Черногории, Болгарии, Валахии и Молдовы, и др.), арабского мира и мусульманского Востока (Ирана, Афганистана, Таджикистана, Сельджукии, Турции, Азербайджана, Средней Азии и Южного Казахстана, Среднего Поволжья и Крыма, Предкавказья и Дагестана и др.), создавших поистине уникальные, подлинно классические памятники гражданской, фортификационной, мемори-

альной и культовой архитектуры, предстоит уделить должное, по достоинству адекватное древнейшему, древнему и средневековому архитектурному наследию, профессиональное внимание. Только комплексное исследование памятников архитектуры на выше очерченной территории Евразии, их тщательное натурное обследование и глубокий архитектуроведческий анализ на основе интернационального сотрудничества ученых и на уровне европейской научной методологии предоставит возможность коллективно подготовить обстоятельное многотомное академическое издание и тем самым внести подобающий международный научный вклад в сокровищницу всеобщей истории архитектуры и строительной техники.

Поставив перед собой научную цель и избрав особый методологический принцип осмысления функциональной сущности плановой композиции, семантики пространственно-тектонической структуры и символики художественного образа всех разновидностей архитектурного морфотипа древнейшего центрального жилища и рассматривая его как надежный архитектуроведческий источник универсальной значимости, способствующий постижению многоаспектной проблемы о локализации прародины индоевропейцев, характере расхождения миграционных волн и исторических этапах их расселения изначально в горных регионах, а затем и на необъятных просторах Евразии, мы вносим свой вклад в научное утверждение новаторской «теории Гамкрелидзе-Иванова» о реконструкции индоевропейского праязыка и протокультуры, теории, ставшей подлинно эпохальной в развитии гуманитарных наук и открывшей новое направление в современном архитектуроведении для постижения этнических особенностей и имманентных закономерностей формирования и исторического развития народного зодчества, монументальной центрально-купольной архитектуры стран христианского и мусульманского Востока.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абаев, В. И.** Заключительное слово / В. И. Абаев // Происхождение осетинского народа : материалы научной сессии, посвященной проблеме этногенеза осетин (6–8 октября 1966 г., г. Владикавказ. Республика Северная Осетия-Алания). – Владикавказ, 1967.
2. **Андреев, М. С.** Таджики долины Хуф / М. С. Андреев. – Сталинабад : Изд-во АН ТаджССР, 1958. Вып. 2.
3. **Бесолов, В. Б.** Монументальная архитектура Алании в лоне восточнохристианского художественного койне / В. Б. Бесолов // Материалы Первой Международной научной конференции по осетиноведению (12–14 октября 1991 г., г. Владикавказ). – Владикавказ, 1991. – С. 16–18.
4. **Бесолов, В. Б.** Древнее искусство Центрального Кавказа : ведущие тенденции и характерные черты / В. Б. Бесолов // Материалы Первой Международной научной конференции по осетиноведению (12–14 октября 1991 г., г. Владикавказ). – Владикавказ, 1991. – С. 14–16.
5. **Бесолов, В. Б.** Строительный материал и конструктивный принцип как основа пространственно-тектонической структуры и архитектурной формы древнейшего центрического жилища Переднего Востока / В. Б. Бесолов // Актуальные проблемы бетона и железобетона : (Материалы и конструкции, расчет и проектирование) : сборник статей и тезисов докладов. – Кисловодск, 2010. – С. 6–20.
6. **Бесолов, В. Б.** Архитектоническая сущность идеи купол на квадрате как кристаллизация созидательной мысли древних индоевропейских зодчих и строителей центрических жилищ / В. Б. Бесолов // Актуальные проблемы бетона и железобетона : (Материалы и конструкции, расчет и проектирование) : сборник статей и тезисов докладов. – Кисловодск, 2010. – С. 88–99.
7. **Бесолов, В. Б.** Восприятие христианства аланским обществом и возведение храмов аланским государством Центрального Кавказа в эпоху раннего и зрелого средневековья / В. Б. Бесолов // Конфессии на Кавказе : материалы 1-й Международной научной конференции (2–5 марта 2014 г., г. Лондон. Великобритания). – Баку, 2014.
8. **Ванеев, З. Н.** Средневековая Алания / З. Н. Ванеев. – Цхинвал, 1959.
9. **Гамкрелидзе, Т. В.** Индоевропейский язык и индоевропейцы : Реконструкция и историко-типологический анализ праязыка и протокультуры : в 2 кн. / Т. В. Гамкрелидзе. – Тбилиси : Изд-во ТбГУ, 1984. – С. 956–957.
10. **Герасимова, М. М.** К вопросу о среднеазиатско-северокавказских этнических связях в сарматское время / М. М. Герасимова, Л. Т. Яблонский // Лингвистическая реконструкция и древнейшая история Востока : материалы Международной научной конференции. – Москва, 1984.
11. **Гиришман, Р. М.** Происхождение «чахартака» / Р. М. Гиришман // История и археология Средней Азии. – Ашхабад, 1978. – С. 37–40.
12. **Гольдштейн, А. Ф.** Средневековое зодчество Чечено-Ингушетии и Северной Осетии / А. Ф. Гольдштейн. – Москва, 1975. – 157 с.
13. **Гольдштейн, А. Ф.** Башни в горах / А. Ф. Гольдштейн. – Москва, 1977. – 334 с.
14. **Гумилев, Л. Н.** Этногенез и биосфера Земли : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук / Л. Н. Гумилев. – Ленинград, 1973.
15. **Гумилев, Л. Н.** Этногенез и биосфера земли : в 3 т. / Л. Н. Гумилев. – Москва : ВИНТИ, 1979.
16. **Гумилев, Л. Н.** География этноса в исторический период / Л. Н. Гумилев. – Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1989.
17. **Гумилев, Л. Н.** Этносфера : История людей и история природы / Л. Н. Гумилев. – Москва : Экспрос, 1993.
18. **Джуртубаев, М. Ч.** Происхождение карачаево-балкарского и осетинского народов / М. Ч. Джуртубаев. – Нальчик, 2010.
19. **Дюмезиль, Ж.** Осетинский эпос и мифология / Ж. Дюмезиль. – Москва, 1976.
20. **Дюмезиль, Ж.** Верховные боги индоевропейцев / Ж. Дюмезиль. – Москва, 1986.
21. **Дюмезиль, Ж.** Скифы и нарты / Ж. Дюмезиль. – Москва, 1990.
22. **Зураева, А. П.** Северные иранцы Восточной Европы и Северного Кавказа / А. П. Зураева. – Нью-Йорк, 1966. – Т. 1.
23. **Крупнов, Е. И.** Древняя история Северного Кавказа / Е. И. Крупнов. – Москва, 1960.

24. **Крупнов, Е. И.** Заключительное слово / Е. И. Крупнов // Происхождение осетинского народа: материалы научной сессии, посвященной проблеме этногенеза осетин (6–8 октября 1966 г., г. Владикавказ. Республика Северная Осетия-Алания). – Владикавказ, 1967.
25. **Кузнецов, В. А.** Христианство на Северном Кавказе до XV века / В. А. Кузнецов. – Владикавказ, 2002.
26. **Лайпанов, К. Т.** Этногенетические взаимосвязи карачаево-балкарцев с другими народами / К. Т. Лайпанов. – Черкесск, 2000.
27. **Лежава, Г. И.** Народная башенная архитектура / Г. И. Лежава, М. И. Джандиери. – Москва, 1976. – 137 с.
28. **Лежава, Г. И.** Архитектура горных районов Грузии : Хевсуретия. Южная Осетия. Горная Рача и Нижняя Сванетия / Г. И. Лежава. – Москва, 1940. – 110 с.
29. Лингвистическая реконструкция и древнейшая история Востока : тезисы докладов. – Москва, 1984. – Ч. 1–6.
30. **Маилов, С. А.** К вопросу о значении идеи «купола на квадрате» в архитектуре / С. А. Маилов // Искусство и археология Ирана и его связь с искусством народов СССР с древнейших времен : тезисы докладов III Всесоюзной научной конференции. – Москва, 1979. – С. 50–52.
31. **Марр, Н. Я.** Ossetica – Japhetica / Н. Я. Марр // Известия РАН. – 1918. – Т. 12. – С. 2070.
32. **Мизиев, И. М.** Шаги к истокам этнической истории Центрального Кавказа / И. М. Мизиев. – Нальчик, 1986.
33. Народы Кавказа : в 2 т. Т. 1 : Народы Северного Кавказа. – Москва, 1960.
34. Народы Кавказа : в 2 т. Т. 2 : Народы Южного Кавказа. – Москва, 1962.
35. Народы Средней Азии и Казахстана : в 2 т. – Москва, 1961–1963.
36. Народы Кавказа. – Москва, 1996. – Вып. 1. – (Сер. «Библиотека российского этнографа»).
37. О происхождении балкарцев и карачаевцев : материалы научной сессии по проблеме происхождения балкарского и карачаевского народов (22–26 июня 1959 г., г. Нальчик. Кабардино-Балкарская АССР). – Нальчик, 1960.
38. Проблемы происхождения нахских народов : материалы Всесоюзной научной конференции. – Шатой, 1991.
39. Проблемы этногенеза и этнической истории народов Средней Азии и Казахстана : тезисы докладов Всесоюзной научной конференции (20–23 мая 1988 г., г. Москва. Россия). – Москва, 1988.
40. Происхождение осетинского народа : материалы научной сессии, посвященной проблеме этногенеза осетин (6–8 октября 1966 г., г. Владикавказ. Республика Северная Осетия-Алания). – Владикавказ, 1967. – 335 с.
41. **Фаэнзен, Х. К.** вопросу о зарождении архитектуры церквей с крестообразным основанием и центральным куполом / Х. Фаэнзен // Материалы II Международного симпозиума по армянскому искусству. – Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1978. – 18 с.
42. Этногенез и этническая история осетин : материалы Международного научного конгресса (21–22 мая 2013 г., г. Владикавказ. Республика Северная Осетия-Алания). – Владикавказ, 2013. – 343 с.
43. **Hopper, P. J.** Glottalized and murmured occlusives in Indo-European / P. J. Hopper // Glossa. An International Journal of Linguistics. – 1973. – Vol. 7. – № 2.
44. **Mallory, J. P.** In Search of the Indo-Europeans : Language, Archaeology and Myth / J. P. Mallory. – London : Thames and Hudson, 1989.
45. **Renfrew, C.** Archaeology and Language : The Puzzle of Indo-European Origin / Renfrew, C. – London : Pimlico, 1987.

Поступила 07.04.2014 г.

Об авторах:

**Бесолов Владимир Бутусович**, руководитель Северо-Кавказского академического центра Международной Академии архитектуры (Россия, г. Алагир, ул. Алагирская, д. 94), archgrad101@yandex.ru  
**Бесолов Аристарх Владимирович**, аспирант кафедры кавказоведения, истории древнего мира и средних веков Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова (Россия, г. Владикавказ, ул. Ватутина, д. 46), archgrad101@yandex.ru

Для цитирования: Бесолов, В. Б. Архитектура древнейших центрических сооружений кавказо-пампирского мегарегиона как определитель пути этногенеза и этнической истории и культуры алано-осетин / В. Б. Бесолов, А. В. Бесолов // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 128–144. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.128

## REFERENCES

1. Abaev V. I. Zaklyuchitelnoe slovo [Concluding words]. *Proiskhozhdenie osetinskogo naroda: materialy nauchnoy sessii, posvyashchennoy probleme etnogeneza osetin (6–8 oktyabrya 1966g., g. Vladikavkaz. Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya)* – Ethnogenesis of Ossetians: materials of symposium (October 6–8, 1966, Vladikavkaz, the Republic of North Ossetia-Alania). Vladikavkaz, 1967.
2. Andreev M. S. Tadjiki doliny Khuf [Tajiks of Khuf valley]. Stalinabad, Tajik Soviet Socialist Republic Academy of Sciences Publ., 1958, vol. 2.
3. Besolov V. B. Monumentalnaya arkhitektura Alanii v lone vostochnokhristianskogo khudozhestvennogo koynе [Monumental architecture of Alania in the field of Eastern Christian artistic coine]. *Materialy Pervoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po osetinovedeniyu (12–14 oktyabrya 1991 g., g. Vladikavkaza)* – Materials of the first international symposium on Ossetian researches (October 12–14, 1991, Vladikavkaz). Vladikavkaz, 1991, pp. 16–18.
4. Besolov V. B. Drevnee iskusstvo Tsentralnogo Kavkaza: vedushchie tendentsii i kharakternye cherty [Ancient art of Central Caucasus: main trends and features]. *Materialy Pervoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po osetinovedeniyu (12–14 oktyabrya 1991 g., g. Vladikavkaza)* – Materials of the first international symposium on Ossetian studies (October 12–14, 1991, Vladikavkaz). Vladikavkaz, 1991, pp. 14–16.
5. Besolov V. B. Stroitelnyy material i konstruktivnyy printsip kak osnova prostranstvenno-tektonicheskoy struktury i arkhitekturnoy formy drevneyshego tsentricheskogo zhilishcha Perednego Vostoka [Construction material and constructive principle as a basis of spatial tectonic structure and architectural form of earliest centrally-planned building of Western Asia]. *Aktualnye problemy betona i zhelezobetona (Materialy i konstruktсии, raschet i proektirovanie): sbornik statey i tezisov dokladov* – Contemporary issues of concrete and armored concrete (Materials and constructions, estimation and designing): collected works. Kislovodsk, 2010, pp. 6–20.
6. Besolov V. B. Arkhitektonicheskaya sushchnost idey kupol na kvadrate kak kristallizatsiya sozidatelnoy mysli drevnikh indoevropeyskikh zodchikh i stroiteley tsentricheskikh zhilishch [Architectonic essence of dome on a square idea as crystallization of creative thought of ancient Indo-European architects and constructors of centrally-planned buildings]. *Aktualnye problemy betona i zhelezobetona (Materialy i konstruktсии, raschet i proektirovanie): sbornik statey i tezisov dokladov* – Contemporary issues of concrete and armored concrete (Materials and constructions, estimation and designing): collected works. Kislovodsk, 2010, pp. 88–99.
7. Besolov V. B. Vospriyatие khristianstva alanskim obshchestvom i vozvedenie khramov alanskim gosudarstvom Tsentralnogo Kavkaza v epokhu rannego i zrelogo srednevekovya [Perception of Christianity by Alanian society and installation of temples by the Alanian state of Central Caucasus in Early and High Middle Ages]. *Konfessii na Kavkaze: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (2–5 marta 2014 g., g. London. Velikobritaniya)* – Confessions on the Caucasus: materials of the 1<sup>st</sup> international academic conference (March 2–5, 2014, London, Great Britain). Baku, 2014.
8. Vaneev Z. N. Srednevekovaya Alaniya [Alania in the Middle Ages]. Tskhinval, 1959.
9. Gamkrelidze T. V. Indoevropeyskiy yazyk i indoevropeysy: Rekonstruktsiya i istoriko-tipologicheskii analiz prayazyka i protokultury: v 2 kn. [Indo-European language and Indo-Europeans: reconstruction and historical and typological analysis of ancestor language and protoculture: in 2 volumes]. Tbilisi, TbilSU Publ., 1984, pp. 956–957.
10. Gerasimova M. M., Yablonskiy L. T. K voprosu o sredneaziatsko-severokavkazskikh etnicheskikh svyazyakh v sarmatskoe vremya [Central Asian and Northern Caucasian ethnic connections in Sarmatian age]. *Lingvisticheskaya rekonstruktsiya i drevneyshaya istoriya Vostoka: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* – Linguistic reconstruction and prehistory of the East: materials of international academic conference. Moscow, 1984.
11. Girshman R. M. Proiskhozhdenie “chakhartaka” [Origin of “chakhartak”]. *Istoriya i arkheologiya Sredney Azii* – History and archeology of Central Asia. Ashkhabad, 1978, pp. 37–40.

12. Goldshteyn A. F. Srednevekovoje zodchestvo Checheno-Ingushetii i Severnoy Osetii [Middle-age architecture of Checheno-Ingoshetia and Northern Ossetia]. Moscow, 1975, 157 p.
13. Goldshteyn A. F. Bashni v gorakh [Towers in the mountains]. Moscow, 1977, 334 p.
14. Gumilev L. N. Etnogenez i biosfera Zemli: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. d-ra geogr. nauk [Ethnogenesis and biosphere of the Earth: auto-abstract of Doct. Geogr. Sci. Diss.]. Leningrad, 1973.
15. Gumilev L. N. Etnogenez i biosfera Zemli: v 3 t. [Ethnogenesis and biosphere of the Earth: in 3 volumes]. Moscow, VINITI Publ., 1979.
16. Gumilev L. N. Geografiya etnosa v istoricheskiy period [Geography of an ethnos and historical period]. Leningrad, LGU Publ., 1989.
17. Gumilev L. N. Etnosfera: Istoriya lyudey i istoriya prirody [Ethnosphere: history of people and history of nature]. Moscow, Ekopros Publ., 1993.
18. Dzhurtubaev M. Ch. Proiskhozhdenie karachaevo-balkarskogo i osetinskogo narodov [Origin of Karachay-Balkar and Ossetian peoples]. Nalchik, 2010.
19. Dyumezil Zh. Osetinskiy epos i mifologiya [Ossetian epos and mythology]. Moscow, 1976.
20. Dyumezil Zh. Verkhovnyye bogi indoevroyeytsev [Supreme gods of Indo-Europeans]. Moscow, 1986.
21. Dyumezil Zh. Skify i narty [Scythians and narts]. Moscow, 1990.
22. Zuraeva A. P. Severnyye irantsy Vostochnoy Evropy i Severnogo Kavkaza [Northern Iranians of Eastern Europe and North Caucasus]. New York, 1966, vol. 1.
23. Krupnov E. I. Drevnyaya istoriya Severnogo Kavkaza [Ancient history of the North Caucasus]. Moscow, 1960.
24. Krupnov E. I. Zaklyuchitelnoe slovo [Concluding words]. *Proiskhozhdenie osetinskogo naroda: materialy nauchnoy sessii, posvyashchennoy probleme etnogeneza osetin (6–8 oktyabrya 1966 g., g. Vladikavkaz. Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya)* – Ethnogenesis of Ossetians: materials of symposium (October 6–8, 1966, Vladikavkaz, the Republic of North Ossetia-Alania). Vladikavkaz, 1967.
25. Kuznetsov V. A. Khristianstvo na Severnom Kavkaze do XV veka [Christianity at North Caucasus before XV<sup>th</sup> century]. Vladikavkaz, 2002.
26. Laypanov K. T. Etnogeneticheskie vzaimosvyazi karachaevo-balkartsev s drugimi narodami [Ethnogenetic interconnections of Karachay-Balkars with other peoples]. Cherkessk, 2000.
27. Lezhava G. I., Dzhandieri M. I. Narodnaya bashennaya arkhitektura [National tower architecture]. Moscow, 1976, 137 p.
28. Lezhava G. I. Arkhitektura gornyykh rayonov Gruzii: Khevsuretiya, Yuzhnaya Osetiya, Gornaya Racha i Nizhnaya Svanetiya [Architecture of mountaineous areas of Georgia: Khevsureti, Southern Ossetia, Highland Racha and Svaneti]. Moscow, 1940, 110 p.
29. Lingvisticheskaya rekonstruktsiya i drevneyshaya istoriya Vostoka: tezisy dokladov [Linguistic reconstruction and prehistory of the East: scientific conference abstracts]. Moscow, 1984, pts. 1–6.
30. Mailov S. A. K voprosu o znachenii idei “kupola na kvadrate” v arkhitekture [On the problem of the meaning of the idea of “dome on a square” in architecture]. *Iskusstvo i arkhologiya Irana i ego svyaz s iskusstvom narodov SSSR s drevneyshikh vremen: tezisy dokladov III Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii – Arts and archeology of Iran and its connection to art of peoples of USSR from the earliest times: abstracts of the 3<sup>rd</sup> All-Union scientific conference.* Moscow, 1979, pp. 50–52.
31. Marr N. Ya. Ossetica – Japhetica. *Izvestiya RAN* – Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 1918, vol. 12, p. 2070.
32. Miziev I. M. Shagi k istokam etnicheskoy istorii Tsentralnogo Kavkaza [Moves towards the beginnings of ethnic history of Central Caucasus]. Nalchik, 1986.
33. Narody Kavkaza: v 2 t. T. 1: Narody Severnogo Kavkaza [Peoples of Caucasus: in 2 volumes. Vol. 1: Peoples of North Caucasus]. Moscow, 1960.
34. Narody Kavkaza: v 2 t. T. 2: Narody Yuzhnogo Kavkaza [Peoples of Caucasus: in 2 volumes. Vol. 1: Peoples of North Caucasus]. Moscow, 1962.
35. Narody Sredney Azii i Kazakhstana: v 2 t. [Peoples of Central Asia and Kazakhstan]. Moscow, 1961–1963.
36. Narody Kavkaza [Peoples of Caucasus]. Moscow, 1996, no. 1. “Library of Russian ethnographer” series.

37. *O proiskhozhdenii balkartsev i karachaevtsev: materialy nauchnoy sessii po probleme proiskhozhdeniya balkarskogo i karachaevskogo narodov (22–26 iyunya 1959 g., g. Nalchik. Kabardino-Balkarskaya ASSR)* – On the origin of Balkars and Karachays: materials of the symposium devoted to the problem of origin of Balkar and Karachay peoples (June 22–26, 1959, Nalchik, Kabardino-Balkarian Autonomous Soviet Socialist Republic). Nalchik, 1960.

38. Problemy proiskhozhdeniya nakhskich narodov: materialy Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii [Problems of origin of Nakh peoples: materials of All-Union scientific conference]. Shatoy, 1991.

39. Problemy etnogeneza i etnicheskoy istorii narodov Sredney Azii i Kazakhstana: tezisy dokladov Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii (20–23 maya 1988 g., g. Moskva. Rossiya) [Problems of ethnogenesis and ethnic history of peoples of Central Asia and Kazakhstan: abstracts of All-Union scientific conference (May 20–23, 1988, Moscow, Russia)]. Moscow, 1988.

40. Proiskhozhdenie osetinskogo naroda: materialy nauchnoy sessii, posvyashchennoy probleme etnogeneza osetin (6–8 oktyabrya 1966 g., g. Vladikavkaz. Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) [Ethnogenesis of Ossetians: materials of symposium (October 6–8, 1966, Vladikavkaz, the Republic of North Ossetia-Alania)]. Vladikavkaz, 1967, 335 p.

41. Faenzen Kh. K voprosu o zarozhdenii arkhitektury tserkvey s krestoobraznym osnovaniem i tsentralnym kupolom [On the problem of genesis of architecture of churches with the central dome]. *Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma po armyanskomu iskusstvu* – Materials for the II international symposium devoted to Armenian arts. Yerevan, Armenian Soviet Socialist Republic Academy of Sciences Publ., 1978, 18 p.

42. Etnogenez i etnicheskaya istoriya osetin: materialy Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa (21–22 maya 2013 g., g. Vladikavkaz. Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) [Ethnogenesis and ethnic history of Ossetians: materials of International scientific congress (May 21–22, 2013, Vladikavkaz, the Republic of North Ossetia-Alania)]. Vladikavkaz, 2013, 343 p.

43. Hopper P. J. Glottalized and murmured occlusives in Indo-European. *Glossa. An International Journal of Linguistics*. 1973, vol. 7, no. 2.

44. Mallory J. P. *In Search of the Indo-Europeans: Language, Archaeology and Myth*. London, Thames and Hudson Publ., 1989.

45. Renfrew C. *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European*. London, Pimlico Publ., 1987.

*About the authors:*

**Besolov Vladimir Butusovich**, director of North Caucasian Academic Centre of the International Academy of Architecture (94, Alagirskaya Str., Alagir, Russia), archgrad101@yandex.ru

**Besolov Aristarkh Vladimirovich**, post-graduate student of Caucasus Studies, the history of the ancient world and the Middle Ages of North Ossetia State University named after K. L. Hetagurov (46, Vatutin Str., Vladikavkaz, Russia), archgrad101@yandex.ru

*For citation:* Besolov V. B., Besolov A. V. Arkhitektura drevneyshikh tsentricheskikh sooruzheniy Kavkazo-Pamirskogo megaregiona kak opredelitel puti etnogeneza i etnicheskoy istorii i kultury alano-osetin [Architecture of ancient centric structures in Caucasus-Pamir megaregion as a determinant of the ethnogenesis process of development, ethnic history and culture of Alan-Ossetians]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 128–144. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.128

# Приглашаем посетить сайт нашего журнала <http://vestnik.mrsu.ru/>



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. П. ОГАРЕВА

Сегодня:

Wednesday, 17th September 2014  
14:00

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

Основан в 1990 году

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-54869  
от 26 июля 2013 г.



Поиск...



Вы здесь: Home

- Главная
- Редакционная коллегия
- Экспертный совет
- Редакционная политика

## ЧИТАТЕЛЯМ

- Статьи
- Архив

## АВТОРАМ

- Правила подачи статей
- Требования к статьям
- Рекомендации по оформлению
- Рецензирование
- Лицензионный договор

## ПОДПИСКА

- Редакция
- Распечатать

## Вестник Мордовского университета.

Научный журнал.

Основан в 1990 году.

Журнал создан в соответствии с решением Госкомиздата РСФСР от 28.09.89 № 05-1832-1516/83 об издании «Вестника Мордовского университета». Научный журнал «Вестник Мордовского университета» имеет мультидисциплинарную направленность и публикует материалы, способствующие развитию российской науки и внедрению ее достижений в учебный процесс по подготовке высококвалифицированных кадров на территории Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья.

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68)

**Издатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68)

**Адрес редакции:**  
430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва».  
Редакция журнала "Вестник Мордовского университета".

**Телефоны:**

+7 (8342) 24-48-88 - **Вдовин Сергей Михайлович** - главный редактор, ректор ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», к. э. н.

СВЕЖИЙ НОМЕР



скачать



## ДОКУМЕНТЫ

- "Перечень российских рецензируемых научных"

**Редакция журнала «Вестник Мордовского университета»  
объявляет о наборе научных статей**

К публикации принимаются статьи, хроника, рецензии, обзоры кандидатов и докторов наук, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов (в соавторстве).

Материалы, выполненные в текстовом редакторе MS Word, представляются в редакцию в распечатанном и электронном вариантах.

Поля: левое – 3 см, верхнее и нижнее – 2 см, правое – 1,5 см.

Гарнитура – Times New Roman, кегль всей работы, кроме аннотации и ключевых слов, 14, межстрочный интервал – 1,5. Автоматические переносы не допускаются.

Объем статей – 8–10 страниц.

Для хроник, рецензий, обзоров – до 6 страниц.

Порядок изложения материала, кроме хроники, рецензий 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).
4. Аннотация на русском языке (выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
5. Ключевые слова на русском языке (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).
8. Аннотация на английском языке (выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
9. Ключевые слова на английском языке (выравнивание по ширине страницы, кегль 12).
10. Основной текст.
11. Список использованных источников (на русском и английском языках).

Ссылки на литературу приводятся в квадратных скобках (например, [1, с. 222]). Список использованных источников 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 библиографическом списке, а также названия источников должны быть верными, описания источников – как можно более полными.

Рисунки должны быть черно-белыми, в отдельных файлах, пронумерованы, с верными подписями, хорошего качества (не менее 600 на 600 пикселей). В формате JPEG рисунки не принимаются. Таблицы также нумеруются и подписываются.

Обязательна авторская справка (на русском и английском языках). В ней необходимо указать: фамилию, имя, отчество (полностью); должность; контактный телефон; адрес электронной почты.

Статьи, не отвечающие вышеуказанным требованиям, к публикации не принимаются. Редакция сохраняет за собой право отказать в публикации статьи с объяснением причин отказа. Плагиат недопустим.

Электронные версии статей будут размещены 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.

**Адрес редакции:** 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68. **E-mail:** vestnik\_mrsu@mail.ru

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.

## “Mordovia University Bulletin” announces receipt of scholarly articles

The journal accepts scholarly articles and debatable academic materials not published before from holders of the following degrees: Kandidat Nauk (PhD), Doktor Nauk, lecturer, post-graduate student and senior student (co-authored).

Materials, comprised in MS Word text processor, are submitted to the journal as printed and electronic copies. Recommended volume of an article is 8-10 pages; of 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).
4. Abstract in Russian (100 – 250 words, center alignment, 12 font size).
5. Key words in Russian (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 (100 – 250 words, center alignment, 12 font size).
9. Key words in English (center alignment, 12 font size).
10. Body of text (in Russian).
11. References lists in Russian and English.

References are submitted in square brackets (for example, [1, p. 222]). References list is sorted alphabetically and issued according to GOST 7.0.9 – 2009 requirements. Russian references are listed before non-Russian references. Surnames and names of authors, sources information should be as detailed and correct as possible.

Pictures should be monochromatic, in separate files, numbered, of a good quality (upwards to 600x600 pixels). Pictures should be not in JPEG format. Tables are also numbered and signed.

Information about author is obligatory (in Russian and English). It must contain: name, surname, patronymic, appointment, telephone number, email address.

Articles which do not meet these requirements are not accepted for publication. The journal reserves the right to refuse in publication of an article with giving a reason of refusal. Plagiarism is inadmissible.

Electronic copies of the journal with full text of the articles in PDF are in free access at the website of the “Bulletin” and in Academic Electronic Library.

**Address of editorial office:** 68 Bolshevistskaya Str., 430005 Saransk, Republic of Mordovia, Russia.

**Email:** vestnik\_mrsu@mail.ru

Vdovin Sergey Mikhailovich – 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.

Редактор: *Т. А. Чужайкина*  
Перевод *О. Ю. Мальшева*  
Компьютерная верстка *А. С. Полутина*  
Информационная поддержка *Р. В. Карасева*

Подписано в печать 02.04.15. Формат  $70 \times 100 \frac{1}{16}$ . Усл. печ. л. 11,7.  
Тираж 200 экз. Заказ № 349. Свободная цена.

Издательство Мордовского университета  
430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, 24

Editor *T. A. Chuzhajkina*  
Translation *O. Yu. Malyshev*  
Desktop publishing *A. S. Polutin*  
Informational support *R. V. Karasjov*

Signed to print 02.04.15. Sheet size  $70 \times 100 \frac{1}{16}$ .  
Conventional printed sheets 11,7.

Number of copies 200. Order no. 349.  
Publishing House of Mordovia State University  
24, Sovetskaya Str., 430005 Saransk, Republic of Mordovia