

Научно-теоретический журнал  
**ВЕСТНИК**

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

6

2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. В.Г. ШУХОВА

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ВЕСТНИК  
БГТУ им. В.Г. ШУХОВА**

**№ 6, 2024 год**

**SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL  
BULLETIN  
of BSTU named after V.G. Shukhov**

**Vol. 6. 2024**

# Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

## научно-теоретический журнал

К рассмотрению и публикации в НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» принимаются научные статьи и обзоры по фундаментальным и прикладным вопросам в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и композитов специального назначения, химических технологий, машиностроения и машиноведения, освещающие актуальные проблемы отраслей знания, имеющие теоретическую или практическую значимость, а также направленные на внедрение результатов научных исследований в образовательную деятельность.

Журнал включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.11. – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура)
- 2.1.12. – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. – Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 2.6.14. – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
- 2.5.4. – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
- 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.5.6. – Технология машиностроения (технические науки)
- 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки)

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (двойное слепое). Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, ведущими учеными БГТУ им. В.Г. Шухова, а также приглашенными рецензентами – признанными специалистами в соответствующей отрасли знания. Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

<b>Наименование органа, зарегистрировавшего издание:</b>	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.
<b>Учредитель/Издатель:</b>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
<b>Адрес редакции:</b>	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 522 Гк
<b>Адрес типографии:</b>	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
<b>Тел:</b>	+7 (4722) 30-99-77
<b>E-mail:</b>	VESTNIK@intbel.ru
<b>Официальный сайт журнала:</b>	<a href="https://bulletinbstu.editorum.ru">https://bulletinbstu.editorum.ru</a>
<b>Подписка и распространение</b>	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: <a href="http://www.akc.ru/itm/2558104627/">http://www.akc.ru/itm/2558104627/</a> Цена свободная.
<b>Подписан в печать</b>	14.06.2024
<b>Выход в свет</b>	26.06.2024

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 13,14. Уч.-изд. л. 14,13. Тираж 40 экз. Заказ № 88

© ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2024

# Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov scientific and theoretical journal

Scientific articles and reviews on fundamental and applied questions in the field of construction, architecture, productions of construction materials and composites of a special purpose, chemical technologies, machine building and engineering science covering the current problems of branches of knowledge having the theoretical or practical importance and also directed to introduction of research results in educational activity are accepted to be considered and published in the journal.

The journal is included in the list for peer-reviewed scientific publications approved by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, which should publish the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences, for scientific specialties and relevant branches of science:

- 2.1.1. – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 2.1.3. – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 2.1.5. – Building materials and products (technical sciences)
- 2.1.11. – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 2.1.12. – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 2.1.14. – Life-cycle management of construction projects (technical sciences)
- 2.6.14. – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 2.5.4. – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 2.5.5. – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 2.5.6. – Engineering technology (technical sciences)
- 2.5.21. – Machines, aggregates and technological processes (technical sciences)

All arriving materials undergo scientific reviewing (double blind). Reviewing of articles is carried out by the members of editorial board, the leading scientists of BSTU named after V.G. Shukhov and by invited reviewers – recognized experts in the relevant branch of knowledge. Copies of reviews or motivated refusal in the publication are provided to the authors and to the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (on request). Reviews are stored in the editorial office for 5 years.

The editorial policy of the journal is based on the general provisions of the existing Russian legislation concerning copyright, plagiarism and slander, and the ethical principles maintained by the international community of the leading publishers of the scientific periodical press and stated in the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE).

<b>Founder / Publisher:</b>	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
<b>Editorial office address:</b>	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 522
<b>Printing house address:</b>	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
<b>Tel:</b>	+7 (4722) 30-99-77
<b>E-mail:</b>	VESTNIK@intbel.ru
<b>Official website of the journal</b>	<a href="https://bulletinbstu.editorum.ru">https://bulletinbstu.editorum.ru</a>
<b>Подписка и распространение</b>	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: <a href="http://www.akc.ru/itm/2558104627/">http://www.akc.ru/itm/2558104627/</a>
<b>Signed for printing:</b>	14.06.2024

**Главный редактор**

**Евтушенко Евгений Иванович**, д-р техн. наук, проф., первый проректор, Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Заместитель главного редактора**

**Уваров Валерий Анатольевич**, д-р техн. наук, проф., директор инженерно-строительного института, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Члены редакционной коллегии**

**Айзенштадт Аркадий Михайлович**, д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (РФ, г. Архангельск).  
**Ахмедова Елена Александровна**, академик РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства Самарского государственного технического университета, Архитектурно-строительной академии (РФ, г. Самара).

**Благоевич Деян**, PhD, проф. Высшей технической школы по профессиональному образованию в Нише (Республика Сербия, г. Ниш).  
**Богданов Василий Степанович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Борисов Иван Николаевич**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Братан Сергей Михайлович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Севастопольского государственного университета (РФ, г. Севастополь).

**Бурьянов Александр Федорович**, д-р техн. наук, проф. НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва), исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации (РФ, г. Москва).

**Везенцев Александр Иванович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой общей химии Белгородского государственного национального исследовательского университета (РФ, г. Белгород).

**Воробьев Валерий Степанович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии, организации и экономики строительства, Сибирский государственный университет путей сообщения (РФ, г. Новосибирск).

**Глаголев Сергей Николаевич**, д-р экон. наук, ректор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Грабовый Петр Григорьевич**, д-р экон. наук, проф., заведующий кафедрой организации строительства и управления недвижимостью, НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва).

**Давидок Алексей Николаевич**, д-р техн. наук, научный руководитель АО «КТБ Железобетон» (РФ, г. Москва).

**Дююн Татьяна Александровна**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Ерофеев Владимир Трофимович**, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва).

**Зайцев Олег Николаевич**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Академии строительства и архитектуры – структурное подразделение Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского (РФ, г. Симферополь).

**Ильвицкая Светлана Валерьевна**, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектуры Государственного университета по землеустройству (РФ, г. Москва).

**Кожухова Марина Ивановна**, PhD, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инженеринга и прикладных наук, Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин

**Козлов Александр Михайлович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Липецкого государственного технического университета (РФ, г. Липецк).

**Леонович Сергей Николаевич**, иностранный член академии РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии строительного производства Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск).

**Лесовик Валерий Станиславович**, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Лесовик Руслан Валерьевич**, д-р техн. наук, проректор по международной деятельности, проф. кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Логачев Константин Иванович**, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Мешерин Виктор Сергеевич**, PhD, проф., директор института строительных материалов и заведующий кафедрой строительных материалов Дрезденского Технического Университета (Германия, г. Дрезден).

**Меркулов Сергей Иванович**, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Курского государственного университета (РФ, г. Курск).

**Павленко Вячеслав Иванович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Перькова Маргарита Викторовна**, д-р арх., проф., директор Высшей школы архитектуры и дизайна, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (РФ, г. Санкт-Петербург).

**Пивинский Юрий Ефимович**, д-р техн. наук, проф., научный руководитель ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-ОГНЕУПОР» (РФ, г. Санкт-Петербург).

**Полужкова Валентина Анатальевна** – д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Рыбак Лариса Александровна**, д-р техн. наук, проф. кафедры технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Савин Леонид Алексеевич**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой мехатроники, механики и робототехники Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева (РФ, г. Орел).

**Севрюгина Надежда Савельевна**, д-р техн. наук, проф. кафедры технического сервиса машин и оборудования, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева (РФ, г. Москва).

**Семенов Сергей Владимирович**, д-р арх., проф. кафедры градостроительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (РФ, г. Санкт-Петербург).

**Сиваченко Леонид Александрович**, д-р техн. наук, проф., кафедры транспортных и технологических машин Белорусского-Российского университета (Республика Беларусь, г. Могилев).

**Сивенков Андрей Борисович**, д-р техн. наук, проф., кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (РФ, г. Москва).

**Соболев Константин Геннадьевич**, PhD, проф. Университета Висконсин-Милуоки (штат Висконсин, Милуоки, США).

**Смоляго Геннадий Алексеевич**, д-р техн. наук, проф. кафедры строительства и городского хозяйства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Строкова Валерия Валерьевна**, проф. РАН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Тиратуриян Артем Николаевич**, д-р техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог, Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону).

**Фишер Ханс-Бертрам**, Dr.-Ing., Ваймар (Германия, г. Веймар).

**Ханин Сергей Иванович**, д-р техн. наук, проф. кафедры механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Шаповалов Николай Афанасьевич**, д-р техн. наук, проф. Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Шубенков Михаил Валерьевич**, академик РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства, проректор по образованию в области градостроительства и урбанистики Московского архитектурного института (государственная академия) (РФ, г. Москва).

**Юрьев Александр Гаврилович**, д-р техн. наук, проф., кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Яцун Сергей Федорович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета (РФ, г. Курск).

## CHIEF EDITOR

**Evgeniy I. Evtushenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor; First Vice-Rector, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

## DEPUTY OF CHIEF EDITOR

**Valery A. Uvarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

## MEMBER OF EDITORIAL BOARD

**Arkadiy M. Ayzenshtadt**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Russian Federation, Arkhangelsk).

**Elena A. Akhmedova**, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Architecture, Professor, Samara State Technical University, Academy of Construction and Architecture (Russian Federation, Samara).

**Deyan Blagoevich**, PhD, Professor, Higher Technical School of Professional Education in Nish (Republic of Serbia, Nish).

**Vasilij S. Bogdanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Ivan N. Borisov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Sergey M. Bratan**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sevastopol State University (Russian Federation, Sevastopol).

**Aleksandr F. Buryanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of civil engineering (National research university) (Russian Federation, Moscow).

**Aleksandr I. Vezentsev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod National Research University (Russian Federation, Belgorod).

**Valery S. Vorob'ev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian Transport University (Russian Federation, Novosibirsk).

**Sergey N. Glagolev**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Petr G. Grabovy**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National research University) (Russian Federation, Moscow).

**Aleksey N. Davidyuk**, Doctor of Technical Science, KTB Beton Group (Russian Federation, Moscow).

**Tatyana A. Duyun**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Vladimir T. Erofeev**, Academician of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of civil engineering (National research university) (Russian Federation, Moscow).

**Oleg N. Zaytsev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russian Federation, Simferopol).

**Svetlana V. Il'vitskaya**, Doctor of Architecture, Professor, State University of Land Use Planning (Russian Federation, Moscow).

**Marina I. Kozhukhova**, PhD, Research Scientist. Department of Civil Engineering and Environmental Protection, College of Engineering and Applied Science, University of Wisconsin-Milwaukee (USA).

**Aleksandr M. Kozlov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University (Russian Federation, Lipetsk).

**Valery S. Lesovik**, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Ruslan V. Lesovik**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Sergey N. Leonovich**, Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk).

**Konstantin I. Logachev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Victor S. Meshcherin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical University of Dresden (TU Dresden), Director of the Institute of

Building Materials and head of the department of building materials (Germany, Dresden).

**Sergei I. Merkulov**, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kursk State University (Russian Federation, Kursk).

**Vyacheslav I. Pavlenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Margarita V. Per'kova**, Doctor of Architecture, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Russian Federation, Belgorod).

**Nenad Pavlovich**, PhD, Vice-rector for Scientific Work and Publishing Activities, Professor, Mechanical Engineering Faculty State University of Nish (Republic of Serbia, Nish).

**Yuriy E. Pivinski**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the "Research and development company" KERAMBET-OGNEUPOR" (Russian Federation, Saint Petersburg).

**Valentina A. Poluektova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Larisa A. Rybak**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Leonid A. Savin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev (Russian Federation, Orel).

**Nadezhda S. Sevryugina**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow).

**Sergey V. Sementsov**, Doctor of Architecture, Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, Saint Petersburg).

**Leonid A. Sivachenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian-Russian University (Republic of Belarus, Mogilev).

**Andrey B. Sivenkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia (Russian Federation, Moscow).

**Konstantin G. Sobolev**, PhD, Professor, University of Wisconsin-Milwaukee (USA).

**Gennadiy A. Smolyago**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Valeriya V. Strokov**, Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Artem N. Tiraturyan**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, (Russian Federation, Rostov-on-Don).

**Hans Bertram Fischer**, Dr.-Ing., Deputy Head of the Construction Materials Department, Bauhaus-University of Weimar (Bauhaus-Universität Weimar) (Germany, Weimar).

**Sergey I. Khanin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Nikolai A. Shapovalov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Mikhail V. Spubenkov**, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction, Doctor of Architecture, Professor, Moscow Institute of Architecture (State Academy) (Russian Federation, Moscow).

**Aleksandr G. Yur'yev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Sergey F. Yatsun**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southwest State University (Russian Federation, Kursk).

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<b>Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А.</b> КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	8
<b>Шеремет Е.О., Старченко С.Ф.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ПО АРХИВУ ТЕМПЕРАТУР	19
<b>Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В., Махова П.А.</b> АНАЛИЗ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	32
<b>Чжан Фужуй</b> ПРИНЦИПЫ АРХИТЕКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ФЕРМЕРСКИХ РЫНКОВ	41
<b>Закиева Л.Ф.</b> ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ Г. КАЗАНЬ	52
<b>Свечкарь Е.С.</b> АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДЕЖНЫХ ДОСУГОВЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ	62
<b>Стельмакова Т.О.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОГО ВЕДОМСТВА 1930-Х ГОДОВ В Г. ХАБАРОВСК	72

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Хургасенко А.В., Чередников И.И., Мамченкова А.А., Чуев К.В., Бондаренко А.А.</b> ОЦЕНКА ИЗНАШИВАНИЯ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЙ ЦЕЛЬНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ 4Х5МФ1С ТВЕРДОСТЬЮ 52 HRC	81
<b>Макин М.К., Волков А.Н., Кочнева О.В.</b> ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЦИКЛОВОГО И ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ОТ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ И ЕГО ПАРАМЕТРОВ	93
<b>Шлаев К.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ УГЛОВОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ В ЦЕЛЯХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	106

## CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Nasonova V.V., Sumskey D.A.**  
COMPOSITE BINDER USING ALUMINUM SILICATE FILLERS AND ORGANIC  
ADDITIVES OF BIOLOGICAL ORIGIN 8
- Sheremet E.O., Starchenko S.F.**  
INVESTIGATION OF CHANGES IN THE MAIN DESIGN PARAMETERS  
OF THE HEATING PERIOD ACCORDING TO THE TEMPERATURE ARCHIVE 19
- Troshin A.S., Stolyarova Z.V., Lesovik R.V., Makhova P.A.**  
ANALYSIS OF RISKS OF INVESTMENT ACTIVITIES AT VARIOUS STAGES  
OF THE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTION PROJECTS 32
- Zhang Furui**  
PRINCIPLES OF ARCHITECTURAL DESIGN OF MODERN FARMERS' MARKETS 41
- Zakieva L.F.**  
THE FEATURES OF MEDICAL INSTITUTIONS PLACEMENT IN THE SPATIAL  
STRUCTURE OF KAZAN 52
- Svechkar E.S.**  
ARCHITECTURAL PRINCIPLES OF THE FORMATION OF YOUTH  
LEISURE INSTITUTIONS 62
- Stelmakova T.O.**  
COMPARATIVE ANALYSIS OF MILITARY DEPARTMENT FACILITIES  
OF THE 1930S IN KHABAROVSK 72

## MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- Khurtasenko A.V., Cherednikov I.I., Mamchenkova A.A., Chauev K.V.,  
Bondarenko A.A.**  
ASSESSMENT OF WEAR AND DESTRUCTION OF SOLID CARBIDE  
CUTTERS DURING MILLING OF HARDENED STEEL 4X5MF1C  
WITH A HARDNESS OF 52 HRC 81
- Makin M.K., Volkov A.N., Kochneva O.V.**  
DEPENDENCE OF THE MAXIMUM POWER AND ENERGY CONSUMPTION  
OF THE CYCLE ELECTRIC DRIVE OF ROBOTS AND MECHATRONIC MODULES  
ON THE MOTION LAW AND ITS PARAMETERS 93
- Shlaev K.I.**  
VIBRATION ANALYSIS OF THE ANGULAR MILLING HEAD FOR TECHNICAL  
CONDITION ASSESSMENT 106

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18

<sup>1</sup>Махортов Д.С., <sup>1</sup>Загороднюк Л.Х., <sup>2</sup>Насонова В.В., <sup>1,\*</sup>Сумской Д.А.  
<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ<sup>1</sup>

**Аннотация.** Проведенные исследования показали эффективность использования алюмосиликатных наполнителей в качестве компонентов в композиционных вяжущих, обеспечивающие значительное повышение прочности до 55,4–95,7 %. Изучение микроструктуры цементных камней вяжущих композиций свидетельствуют об однородном распределении алюмосиликатного наполнителя в сформированном камне, отмечается плотное обрастание поверхностей наполнителей кристаллическими новообразованиями, что свидетельствует об активном протекании процессов гидратации и нарастании прочностных образцов. Исследования пластифицирующих свойств органических добавок установили эффективную дозировку и вид добавки. Изучены особенности процессов гидратации по кинетике тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: боя керамического кирпича, вулканического пепла и керамзитовой пыли и наиболее эффективной органической добавки. Выявлено, что при модификации вяжущих композиций, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли, органическими добавками биологического происхождения, наиболее эффективной является добавка, синтезированная из крови КРС, обеспечивающая наилучший пластифицирующий эффект и увеличение прочности при сжатии в 2.....2,5 раза относительно бездобавочного портландцемента. Установлено, что кинетика тепловыделения композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями: боем керамического кирпича; вулканическим пеплом и керамзитовой пылью имеет свои специфические особенности, обусловленные химическим и минералогическим составом используемых минеральных добавок. Следует отметить, что наибольшую химическую активность проявляет композиционное вяжущее с использованием керамического кирпича, что позволяет рекомендовать это вяжущее для широкого использования.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, бой керамического кирпича, вулканический пепел, керамзитовая пыль, органическая добавка биологического происхождения.

**Введение.** Современные строительные технологии активно развиваются и постоянно совершенствуются. Особую роль в общем объеме новых строительных материалов занимают композиционные вяжущие, которые позволяют использовать природные и техногенные сырьевые материалы, расширяя спектр применения вяжущих различного назначения [1–5]. Успешный опыт применения композиционных вяжущих достаточно убедительно доказан научными исследованиями и практическим использованием [6–10] и свидетельствует об эффективности и перспективности этого научного направления [11–15]. Особенность получения композиционных вяжущих заключается в совместной механоактивации портландцемента, минеральных добавок природного и техногенного генезиса и модификация их

комплексом функциональных химических добавок различного происхождения [16–18]. К настоящему времени накоплен значительный опыт использования различных минеральных добавок в качестве компонента композиционных вяжущих для создания строительных материалов широкого спектра использования [19–20].

Комплексные химические добавки придают требуемые свойства композиционным вяжущим, обеспечивая необходимую подвижность, сроки схватывания, прочность и прочие показатели готовой продукции. Огромное значение в формировании требуемых свойств играют принятые дозировки добавок. Отмечается, что для синтеза высококачественных композиционных вяжущих механоактивация в различных помольных агрегатах оказывает приоритетное воздействие, со-

<sup>1</sup> Результаты, изложенные в статье, были частично приведены при защите диссертационной работы Махортова Д.С. «Композиционные вяжущие для конструктивно-теплоизоляционных керамзитобетонов» (дата защиты 6.10.23), ранее в открытой печати представлены не были.

здавая наилучшие условия для совместного измельчения и формирования структуры создаваемого композита.

Комплексные химические добавки имеют неорганическую и органическую природу. Неорганические добавки прочно утвердились и широко используются в строительной практике. В последние десятилетия ученые стали проявлять интерес к органическим добавкам из гидролизованных животных белков, проводя аналогию с белковыми добавками древних времен, когда использовали куриные яйца, творог, отвары шкур, рогов и копыт. Изучая молекулярную структуру белка было обнаружено, что в молекуле находится огромное количество нитей, которые переплетаются между собой, что похоже на молекулы материалов и веществ, искусственно полученных учеными, в частности полимеров. Большое число полимеров используется с целью повышения строительных свойств бетонов и растворов.

В последние десятилетия в некоторых регионах РФ, в том числе в Белгородской области построено значительное количество скотоводческих ферм, наличие которых оказывает отрицательное влияние на окружающую среду, создающие благоприятные условия для возникновения инфекций и зловонного запаха. Предварительные исследования отходов мясоперерабатывающей отрасли, содержащих биологические протеины, показали, что их можно эффективно использовать в качестве модифицирующих добавок в цементных системах [21–23].

В связи с вышеизложенным, целью работы было изучить возможность получения композиционных вяжущих с использованием органических добавок биологического происхождения, впервые синтезированных в лабораториях Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН и алюмосиликатных добавок различного генезиса.

**Методы и материалы.** Для получения композиционных вяжущих в работе использовали портландцемент ЦЕМ 0 42,5Н ЗАО «Белгородский цемент» (ГОСТ 31108–2020 «Цементы общестроительные. Технические условия»). Качество цемента определяли по ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка».

В исследованиях были исследованы органические добавки: Д-1; Д-2; Д-3, впервые синтезированные в лаборатории отдела научно-прикладных и технологических разработок ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Все эксперименты проводились совместно с названной лабораторией.

Органическая добавка – Д-1 является гидролизатом непищевой кости, копыт, шерсти, кожи крупного рогатого скота (КРС).

Органическая добавка – Д-2 – это гидролизат того же сырья, как и добавка Д-1. Однако, условия ферментативной обработки несколько изменены: измельченную кость подвергали ферментативной обработке с использованием животной протеазы, продолжительность обработки 10 ч, температура обработки 40 °С, гидромодуль сырья: вода = 1:2.

Органическая добавка – Д-3 является гидролизатом крови крупного рогатого скота.

Композиционные вяжущие различных составов были получены путем механоактивации в вибрационной или в вихревой струйной мельницах. Испытания технологических и физико-механических свойств композиционных вяжущих проводили в соответствии с нормативными требованиями. Изучение кинетики тепловыделения исследуемых композиционных вяжущих проводили на дифференциальном калориметре ToniCAL.

**Основная часть.** С целью создания композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями на первом этапе были исследованы вяжущие композиции, включающие следующие алюмосиликатные добавки природного и техногенного происхождения: вулканический пепел (ВП), бой керамического кирпича (БК), пыль керамзитового производства (КП) с различными дозировками от 10 % до 30 % при разных продолжительностях механоактивации в вибрационной (10 и 20 мин) и вихревой струйной мельницах (1 и 2 прохода, табл. 1) [7–9].

Сроки схватывания вяжущих композиций в зависимости от составов и способов получения изменяются в широких пределах, что обусловлено различным химическим и минералогическим составами алюмосиликатных наполнителей, величинами удельных поверхностей, а также особенностями формы и размерами зёрен, полученных в результате механоактивации в различных помольных агрегатах, что отражается на процессах гидратации композита.

Отмечаются повышенные значения показателей нормальной густоты (НГ) составов вяжущих композиций, полученных в вихревой струйной мельнице, в сравнении с аналогичными составами в вибрационной мельнице, что отражается на снижении прочности при сжатии, что объясняется высокой степенью измельчения в вихревой струйной мельнице и, как следствие, увеличенной удельной поверхностью вяжущих композиций, полученных в ней [7–9].

Таблица 1

## Составы вяжущих композиций и их характеристики

Шифр сост.	Составы	НГ, %	Сроки схватывания, мин		S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг	ρ <sub>ср</sub> , кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа	
			начало	конец			2 сут	28 сут
0	ПЦ=100 %	25,6	95	308	330	2350	19,20	50,10
<b>Вибрационная мельница</b>								
Портландцемент, время механоактивации – 10 минут								
1	ПЦ=100 %	28,8	130	170	450	2290	22,45	59,07
Портландцемент, время механоактивации – 20 минут								
2	ПЦ=100 %	31,7	165	203	492	2280	25,42	66,90
Вид наполнителя – вулканический пепел, время механоактивации – 10 минут								
3	ПЦ/ВП=90/10 %	32,6	147	185	510	2085	24,60	63,20
4	ПЦ/ВП=80/20 %	34,6	158	197	595	2072	22,82	61,50
5	ПЦ/ВП=70/30 %	37,5	164	207	665	2067	21,35	55,35
Вид наполнителя – вулканический пепел, время механоактивации – 20 минут								
6	ПЦ/ВП=90/10 %	33,7	175	220	587	2122	28,83	75,89
7	ПЦ/ВП=80/20 %	35,4	183	229	675	2090	25,88	68,10
8	ПЦ/ВП=70/30 %	40,5	194	235	776	2070	24,50	61,01
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, время механоактивации – 10 минут								
9	ПЦ/БК=90/10 %	31,9	143	181	620	2149	31,12	81,90
10	ПЦ/БК=80/20 %	35,3	154	192	729	2123	27,32	71,90
11	ПЦ/БК=70/30 %	41,8	160	201	796	2053	24,96	65,68
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, время механоактивации – 20 минут								
12	ПЦ/БК=90/10 %	33,1	171	215	798	2277	37,26	98,05
13	ПЦ/БК=80/20 %	36,6	180	222	850	2151	31,47	82,84
14	ПЦ/БК=70/30 %	42,9	189	231	865	2127	28,98	76,26
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, время механоактивации – 10 минут								
15	ПЦ/КП=90/10 %	34,7	139	178	505	2119	28,18	74,16
16	ПЦ/КП=80/20 %	35,9	149	187	581	2099	26,33	69,28
17	ПЦ/КП=70/30 %	41,1	156	199	689	2088	24,03	63,24
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, время механоактивации – 20 минут								
18	ПЦ/КП=90/10 %	35,3	168	211	741	2145	30,84	81,15
19	ПЦ/КП=80/20 %	36,9	177	219	782	2130	29,74	78,28
20	ПЦ/КП=70/30 %	41,8	185	227	798	2122	26,85	70,65
<b>Вихревая струйная мельница</b>								
Портландцемент, условия механоактивации – 1 проход								
21	ПЦ=100 %	31,3	137	179	628	2170	23,65	62,25
Портландцемент, условия механоактивации – 2 прохода								
22	ПЦ=100 %	33,9	171	210	736	2150	22,46	59,12
Вид наполнителя – вулканический пепел, условия механоактивации – 1 проход								
23	ПЦ/ВП=90/10 %	33,3	154	192	854	2131	29,59	77,87
24	ПЦ/ВП=80/20 %	37,5	164	204	999	2102	25,04	65,89
25	ПЦ/ВП=70/30 %	42,9	171	215	1127	2069	22,95	60,42
Вид наполнителя – вулканический пепел, условия механоактивации – 2 прохода								
26	ПЦ/ВП=90/10 %	36,7	185	231	1005	2099	24,76	65,15
27	ПЦ/ВП=80/20 %	38,8	198	243	1158	1931	19,03	50,07
28	ПЦ/ВП=70/30 %	43,9	209	254	1320	1857	14,50	38,05
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, условия механоактивации – 1 проход								
29	ПЦ/БК=90/10 %	35,3	151	187	969	2049	24,84	65,38
30	ПЦ/БК=80/20 %	39,1	160	196	1140	2118	27,31	71,88
31	ПЦ/БК=70/30 %	49,3	168	208	1311	1960	20,96	55,17
Вид наполнителя – бой керамического кирпича, условия механоактивации – 2 прохода								
32	ПЦ/БК=90/10 %	37,1	180	227	1080	2038	24,03	63,24
33	ПЦ/БК=80/20 %	41,7	191	239	1271	2068	26,36	69,37
34	ПЦ/БК=70/30 %	53,6	200	248	1340	1912	17,56	46,25
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, условия механоактивации – 1 проход								
35	ПЦ/КП=90/10 %	38,9	148	182	1060	2117	26,64	70,11
36	ПЦ/КП=80/20 %	42,5	157	191	1246	2140	30,16	79,37
37	ПЦ/КП=70/30 %	48,9	164	202	1355	1971	21,48	56,54
Вид наполнителя – керамзитовая пыль, условия механоактивации – 2 прохода								
38	ПЦ/КП=90/10 %	39,4	177	221	1150	2065	23,23	61,14
39	ПЦ/КП=80/20 %	43,1	186	230	1280	2080	23,81	62,67
40	ПЦ/КП=70/30 %	49,3	195	239	1390	1920	18,84	49,58

Установлены рациональные составы вяжущих композиций (см. табл. 1) с каждым из алюмосиликатных наполнителей, полученных в различных помольных агрегатах: состав № 12 с содержанием ПЦ (90 %) и БК (10 %), механоактивированных в вибрационной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 98,05 МПа в возрасте 28 сут, что превышает прочность бездобавочного ПЦ без механоактивации на 95,7 %; состав № 18 с содержанием ПЦ (90 %) и КП (10 %), механоактивированный в вибрационной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 81,15 МПа в возрасте 28 сут, превышающий прочность бездобавочного ПЦ без механоактивации на 62 %; состав № 23 с содержанием ПЦ (90 %) и ВП (10 %), механоактивированный за 1 проход в вихревой струйной мельнице, обеспечивающий предел прочности при сжатии 77,87 МПа, что выше прочности бездобавочного ПЦ без механоактивации на 55,4 %.

Высокая удельная поверхность механоактивированных вяжущих композиций с различными

алюмосиликатными наполнителями положительно отразилась на формировании повышенного количества гидросиликатов кальция CSH-II в этих системах, что обеспечило им высокие физико-механические показатели.

Следует отметить, что вследствие полученных удельных поверхностей смесей, активированных в вибрационной мельнице в диапазоне от 450 до 798 м<sup>2</sup>/кг создаются наилучшие условия для образования внутренней структуры, которые формируются на минеральных зернах наполнителя оптимального размера. В вихревой струйной мельнице отмечается значительное повышение удельной поверхности смеси до 1390 м<sup>2</sup>/кг, что свидетельствует о высоком измельчении составов и отсутствие подложек – минеральных зерен оптимального размера, на которых формируются гидросиликаты кальция, что отрицательно влияет на снижение прочности вяжущих композиций, приготовленных в вихревой струйной мельнице.

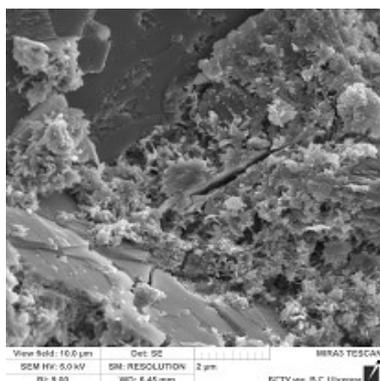


Рис. 1. Микроструктура образцов вяжущей композиции №12: цемент/бой керамического кирпича=90/10 % при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

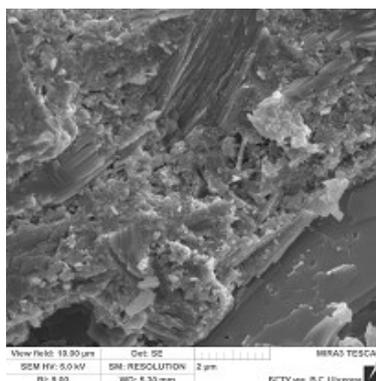


Рис. 2. Микроструктура образцов вяжущей композиции № 18: цемент /керамзитовая пыль=90/10 % при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

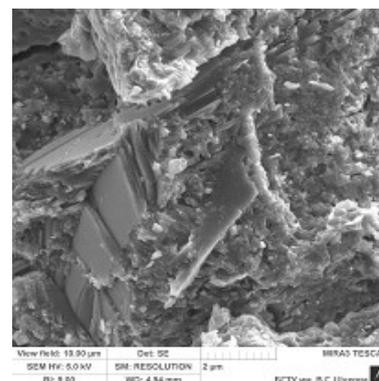


Рис. 3. Микроструктура образцов вяжущей композиции №23: цемент/вулканический пепел = 90/10 % при активации в вихревой струйной мельнице

Микроскопические исследования цементного камня всех вяжущих композиций свидетельствуют о присутствии алюмосиликатного наполнителя (рисунки 1–3), который однородно распределяется в общей массе сформированного камня, отмечается плотное обрастание поверхностей наполнителей кристаллическими новообразованиями, в общей массе гидратированного композита отмечаются поры, изнутри заросшие кристаллическими фазами, что свидетельствует об активном протекании процессов гидратации и нарастании прочности образцов (№ 12; № 18; № 23).

Для проведения дальнейших исследований по влиянию органических добавок Д-1, Д-2 и Д-3 в работе были использованы наилучшие составы (№ 12; № 18; № 23).

Изучали пластифицирующие свойства органических добавок путем последующего увеличения дозировки от 0,2 до 2 % с шагом 0,3 %. При этом добавки вводили сверх 100 %-ого состава. Пластичность определяли по расплыву мини-конуса, изменения расплыва мини-конуса в зависимости от дозировок добавок Д-1, Д-2, Д-3 приведены на рис.4.

Исследования пластифицирующих свойств органических добавок (рис. 4) показали наилучший показатель расплыва мини-конуса, полученный за счет применения добавки Д-1 – 81 мм, при дозировке 1,4 %. Наибольший расплыв мини-конуса для добавки Д-2 – 81 мм (1,7 % от массы цемента), а максимальный расплыв мини-конуса 94 мм достигается при использовании органической добавки Д-3 (1,7 % от

массы цемента), что превышает показатели других исследуемых добавок на 16 %.

Установлено, что дальнейшее увеличение дозировок добавок нецелесообразно вследствие отсутствия роста пластифицирующего эффекта.

В последующих исследованиях дозировки добавок Д-1, Д-2, Д-3, обеспечивающие наилучшую пластификацию, были приняты как рациональные.

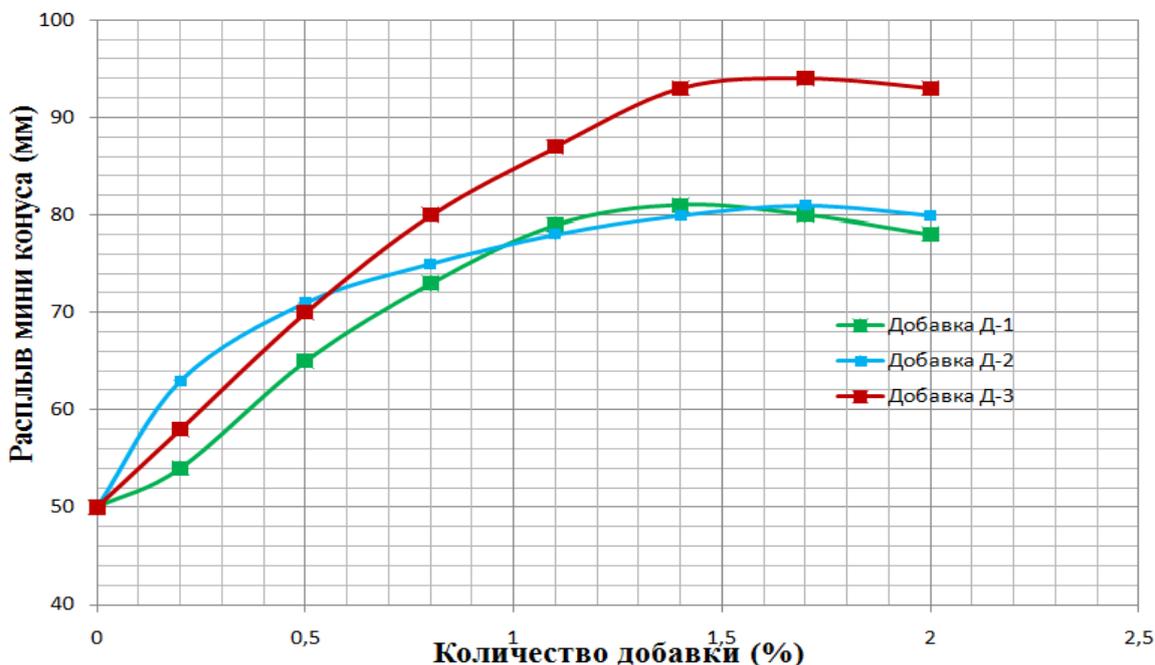


Рис. 4. Изменение расплыва мини-конуса в зависимости от дозировок добавок Д-1; Д-2; Д-3

Исследования влияния органических добавок Д-1; Д-2; Д-3 на технологические и физико-механические свойства композиционных вяжущих (табл. 2) показали, что нормальная плотность всех композиционных вяжущих изменяется в пределах от 26,0 до 32,2 %, что превышает нормальную плотность бездобавочного ПЦ от 1,6 до 25,8 %.

Прирост прочности при сжатии в возрасте 2 сут в сравнении с бездобавочным ПЦ во всех составах композиционных вяжущих (табл. 2) составляет от 69,7 до 138 % и находится в пределах от 32,59 до 45,69 МПа, соответственно. Показатели прироста прочности композиционных вяжущих относительно исходного ПЦ в возрасте 28 сут варьируются от 86,66 до 121,58 МПа, а превышение составляет от 73 до 142,7 %, соответственно

Таблица 2

#### Технологические и физико-механические показатели композиционных вяжущих с органическими добавками

Шифр сост.	Вяжущее	Дозировка добавки, %	НГ, %	Сроки схватывания, мин		R <sub>сж</sub> , МПа	
				начало	конец	2 сут	28 сут
18а	*ВПЦ/КП + Д-1	1,4	32,2	220	352	34,98	92,40
18б	ВПЦ/КП + Д-2	1,7	30,8	120	332	34,03	89,88
18в	ВПЦ/КП + Д-3	1,7	27,8	78	330	37,38	99,38
18	ВПЦ/КП	–	35,3	60	280	30,84	81,15
12а	*ВПЦ/БК + Д-1	1,4	31,1	233	361	43,05	111,80
12б	ВПЦ/БК + Д-2	1,7	30,6	157	358	41,84	109,56
12в	ВПЦ/БК + Д-3	1,7	27,2	90	280	45,69	121,58
12	ВПЦ/БК	–	33,1	86	270	37,26	98,05
23а	**СПЦ/ВП + Д-1	1,4	30,3	246	374	33,95	88,99
23б	СПЦ/ВП + Д-2	1,7	27,5	133	334	32,59	86,66
23в	СПЦ/ВП + Д-3	1,7	26,0	82	333	36,63	95,44
23	СПЦ/ВП	–	33,3	78	305	29,59	77,87

\*-составы, полученные в вибрационной мельнице;

\*\* составы, полученные в вихревой струйной мельнице

Выявлено, что наилучшей прочностью 121,58 МПа обладает композиционное вяжущее: ПЦ/БК (90/10%) + Д-3, что на 24 % выше прочности вяжущей композиции без органической добавки, что предопределяет его дальнейшее, более подробное исследование.

Существенное расхождение в показателях: НГ; сроках схватывания; плотности и прочности композиционных вяжущих объясняется особенностями химического состава органических добавок Д-1, Д-2 и Д-3.

Изучены особенности процессов гидратации по кинетике тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: боя керамического кирпича, вулканического пепла и керамзитовой пыли и органической добавки Д-3, принятой как наиболее эффективной.

Для изучения гидратационных процессов композиционных вяжущих проведены исследования по тепловыделению с начального периода

затворения системы водой и записью результатов в течение 72 часов. Исследования проводили с использованием дифференциального квазиизотермического калориметра ToniCAL с компьютерной обработкой и записью результатов (рис. 5).

Известно, что при гидратации клинкерных минералов портландцемента выделяется определенное количество тепла с момента затворения его водой, в этот период происходит схватывание и твердение вяжущего в весь последующий период твердения. Различные портландцементы характеризуются разным тепловыделением, которое изменяется в особых интервалах, что определяет их минеральный состав, а также тонина помола. Высокое содержание алита и трехкальциевого алюмината в портландцементе способствуют активному тепловыделению при гидратации цементов, тепловыделение наиболее интенсивно в начальные сроки твердения, вследствие активного взаимодействия указанных минеральных фаз с водой

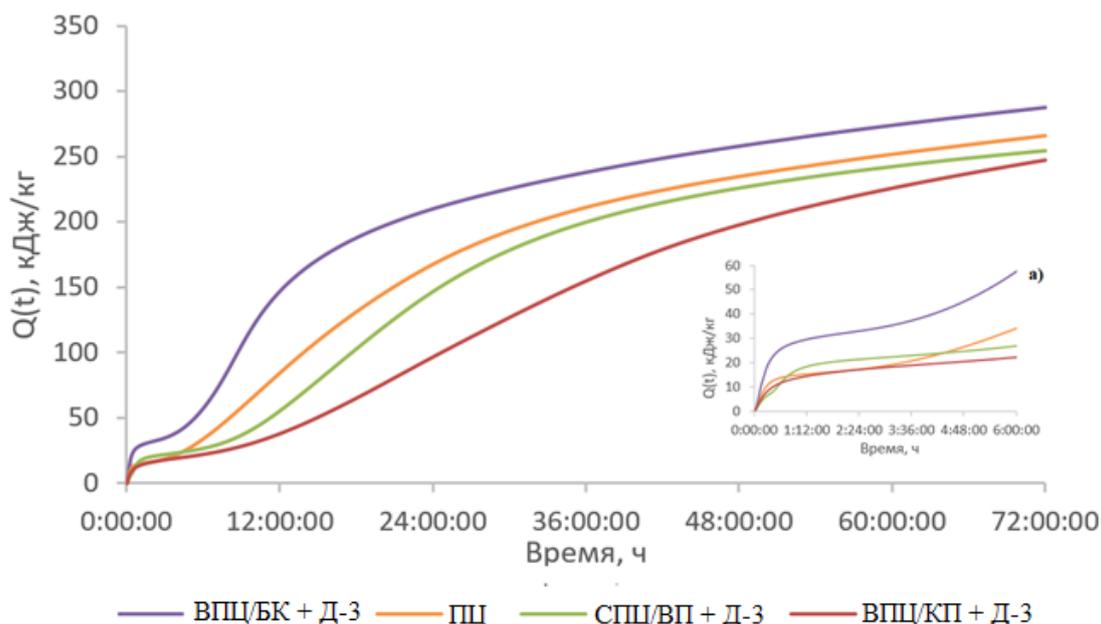


Рис. 5. Кинетика тепловыделения портландцемента и композиционных вяжущих оптимальных составов с использованием портландцемента и минеральных добавок: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли, приготовленных в вибрационной и вихревой струйной мельницах

Сравнительные исследования кинетики тепловыделения композиционных вяжущих, приготовленных с использованием различных алюмосиликатных наполнителей и органической добавки биологического происхождения показало, что на первой стадии кривых тепловыделения отмечается интенсивная гидратация поверхностных зерен клинкерных минералов, которые покрывают тончайшей пленкой гелевидной массой, образующихся соединений, эта пленка затрудняет активный доступ воды к ранее негидратированной части зерен и блокирует выход гидратных соединений в межзерновое пространство.

Присутствие различных минеральных наполнителей разного генезиса определенным образом влияет на течение процессов гидратации. Тепловыделение портландцемента в начальный период времени гидратации характеризуется значением 58 кДж/(кг·ч), что можно объяснить растворением клинкерных минералов, а также разложением портландита на ионы  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{OH}^-$ , переходящие в растворную смесь. Дисперсность портландцемента активно влияет на скорость процесса тепловыделения при гидратации, тем не менее, общее количество выделяемого тепла не определяется тониной помола портландцемента.

Для композиционных вяжущих с использованием боя керамического кирпича, тепловыделение в начальный период времени составляет 75 кДж/(кг·ч), что выше тепловыделения портландцемента на 25%, что свидетельствует об активных процессах физико-химического взаимодействия в системе. Величина тепловыделения композиционного вяжущего с использованием вулканического пепла составляет 17 кДж/(кг·ч), достигая к 30 часам максимального тепловыделения – 6 кДж/(кг·ч).

К 72 часам, все кривые тепловыделения исследуемых составов становятся равнозначными. Кинетика тепловыделения композиционного вяжущего, приготовленного с использованием керамзитовой пыли составляет 38 кДж/(кг·ч), что ниже тепловыделения портландцемента на 37%.

На основании проведенных исследований и полученных результатов технологических и физико-механических испытаний широкого спектра композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями и изучения их особенностей процессов тепловыделения установлено, что наилучшими показателями обладает композиционное вяжущее, полученное с использованием портландцемента, боя керамического кирпича и органической добавки белкового происхождения.

Это послужило основанием для проведения последующих исследований направленных на использование этого композиционного вяжущего для получения различных строительных композиционных материалов.

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Высокая удельная поверхность механоактивированных вяжущих композиций с различными алюмосиликатными наполнителями, полученных в вибрационной мельнице, положительно влияет на формирование внутренней структуры вяжущего за счет повышенного количества гидросиликатов кальция CSH-II в цементных системах, что обеспечивает им высокие физико-механические показатели. При этом отмечается, что приготовление вяжущей композиции в вибрационной мельнице обеспечивает показатели прочности выше, чем в вихревой струйной.

2. Выявлено, что при модификации вяжущих композиций, приготовленных с использованием различных минеральных наполнителей: вулканического пепла, боя керамического кирпича и керамзитовой пыли органическими добавками биологического происхождения, наиболее эффективной является добавка Д-3, синтезированная из крови КРС, обеспечивающая наилучший пластифицирующий эффект и увеличение

прочности при сжатии в 2...2,5 раза относительно бездобавочного портландцемента.

3. Установлено, что кинетика тепловыделения композиционных вяжущих с различными минеральными наполнителями: боем керамического кирпича; вулканическим пеплом и керамзитовой пылью имеет свои специфические особенности, обусловленные химическим и минералогическим составами используемых минеральных добавок. Следует отметить, что наибольшую химическую активность проявляет композиционное вяжущее с использованием керамического кирпича, что позволяет рекомендовать это вяжущее для широкого использования.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аниканова А.Л., Волкова О.В., Кудяков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
2. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58–68.
3. Муртазаев С.А.Ю., Успанова А.С., Хаджиев М.Р., Хадисов В.Х. Анализ влияния техногенных отходов в виде отсевов дробления керамического боя на основные свойства цементных композитов // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 1. С. 27–34.
4. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш. Формирование структуры многокомпонентных вяжущих систем щелочного затворения // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Т. 16. № 1 (19). С. 48–56. DOI: 10.34708/GSTOU.2020.19.1.007
5. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш. Возможности модификации вяжущих систем минеральными добавками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Т. 19. № 1 (31). С. 96–102. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.21.24.010
6. Загороднюк Л.Х., Рахимбаев Ш.М., Сумской Д.А., Рыжих В.Д. Особенности процессов гидратации вяжущих композиций с использованием отходов вспученного перлитового песка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 75–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88

7. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Аль Мамури С.К.Ш. Получение вяжущих композиций оптимальных составов на основе портландцемента и отходов боя керамического кирпича // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30
8. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Шаповалов Н.А., Сумской Д.А. Вяжущие композиции из цемента и керамзитовой пыли // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19. № 4 (86). С. 584–596. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596
9. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А. Вяжущие композиции на основе портландцемента и вулканического пепла // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5. № 4. С. 30–38. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-4-30-38
10. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Композиты нового поколения для специальных сооружений // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 9–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17
11. Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Podgornyi D.S. Composite binders and dry building mixes for 3d additive technologies // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 147. С. 229–235. DOI: 10.1007/978-3-030-68984-1\_34
12. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346–1356. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1346-1356
13. Ignatova O.A., Dyatchina A.A. Influence of high-calcium ash composition on the composite binders' properties // Solid State Phenomena. 2021. Т. 316. С. 1019–1024.
14. Bazhenov Y.M., Salamanova M.S., Murtazaev S.A.Y., MintsaeV M.S. Structural composite materials based on anthropogenic raw stuff and clinkerless binders of alkaline tempering // Rasayan Journal of Chemistry. 2021. Т. 14. № 1. С. 409–423. DOI: 10.31788/RJC.2021.1415850
15. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18
16. Fediuk R., Baranov A., Mosaberpanah M., Lesovik V. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer // Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Т. 18. № 3. С. 67–82. DOI: 10.3151/jact.18.54
17. Дмитрик Ю.В., Вернигор В.В. Активные минеральные добавки в составе композиционных вяжущих // Технологии бетонов. 2022. № 1 (180). С. 73–80.
18. Ильина Л.В., Самченко С.В., Раков М.А., Зорин Д.А. Моделирование процессов кинетики цементных композитов, модифицированных кальций-содержащими добавками // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2023. Т. 15. № 5. С. 494–503. DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-494-503
19. Аниканова А.Л., Волкова О.В., Кудяков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42
20. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсноармированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58–68.
21. Топчий, Ю.С., Хабилов Д.М. Модифицированный белковый пластификатор для цементных систем // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 46–47.
22. Cyr M., Ludmann C. Low risk meat and bone meal (MBM) bottom ash in mortars as sand replacement // Cement & Concrete Research. 2006. Т. 36. С. 469–480. DOI: 10.1016/j.cemconres.2005.09.009
23. Coutand M., Cyr M., Deydier E., Guilet R., Clastres P. Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications // Journal of Hazardous Materials. 2008. Т. 150. С. 522–532. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.133

#### Информация об авторах

**Махортов Денис Сергеевич**, кандидат технических наук. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Загороднюк Лилия Хасановна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Насонова Виктория Викторовна**, кандидат технических наук, руководитель отдела. E-mail: v.nasonova@fnrcps.ru. Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. Россия, 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26.

Сумской Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 25.03.2024 г.

© Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А., 2024

<sup>1</sup>Makhortov D.S., <sup>1</sup>Zagorodnyuk L.Kh., <sup>2</sup>Nasonova V.V., <sup>1,\*</sup>Sumskoy D.A.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova

<sup>2</sup>Federal Scientific Center for Food Systems named after. V.M. Gorbatov RAS

\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## COMPOSITE BINDER USING ALUMINUM SILICATE FILLERS AND ORGANIC ADDITIVES OF BIOLOGICAL ORIGIN

**Abstract.** The effectiveness of using aluminosilicate fillers as components in composite binders, providing a significant increase in strength up to 55.4-95.7% is shown. The study of the microstructure of cement stones of binder compositions indicates a uniform distribution of aluminosilicate filler in the formed stone, dense fouling of the filler surfaces with crystalline new formations is noted, which indicates the active occurrence of hydration processes and an increase in the strength of the samples. Studies of the plasticizing properties of organic additives have established the effective dosage and type of additive. The features of hydration processes were studied according to the kinetics of heat release of composite binders prepared using various mineral fillers: broken ceramic bricks, volcanic ash and expanded clay dust and the most effective organic additive. It has been revealed that when modifying binder compositions prepared using various mineral fillers: volcanic ash, broken ceramic bricks and expanded clay dust, organic additives of biological origin. The most effective is the additive synthesized from cattle blood, which provides the best plasticizing effect and an increase in compressive strength in 2.....2.5 times relative to non-additive Portland cement. It has been established that the kinetics of heat release of composite binders with various mineral fillers: broken ceramic bricks; volcanic ash and expanded clay dust has its own specific characteristics, determined by the chemical and mineralogical composition of the mineral additives used. It should be noted that the composite binder using ceramic bricks exhibits the greatest chemical activity, which makes it possible to recommend this binder for wide use.

**Key words:** composite binders, broken ceramic bricks, volcanic ash, expanded clay dust, organic additive of biological origin

### REFERENCES

1. Anikanova A.L., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangalieva A.I. Activated composite fluoroanhydrite binder [Aktivirovannoe kompozitsionnoe ftorangidritovoe vyazhushchee]. Construction materials. 2019. No. 1-2. Pp. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42 (rus)
2. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Barteneva E.A. Non-autoclaved foam concrete, dispersedly reinforced with mineral and fibrous additives [Neavtoklavnyy penobeton, dispersno-armirovanny mineralnymi voloknistymi dobavkami]. News of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 8 (716). Pp. 58–68. (rus)
3. Murtazaev S.A.Yu., Uspanova A.S., Khadzhiyev M.R., Khadisov V.Kh. Analysis of the influence of technogenic waste in the form of screenings from crushing ceramic waste on the basic properties of cement composites [Analizvliyaniya tekhnogennykh otkhodov v vide otsevvov drobleniya keramicheskogo boya na osnovnye svoystva tsementnykh

kompozitov]. Construction materials and products. 2021. Vol. 4. No. 1. Pp. 27–34. (rus)

4. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh. Formation of the structure of multicomponent binder systems for alkaline mixing [Formirovanie struktury mnogokomponentnykh vyazhushchikh system shchelochnogo zatvoreniya]. Vestnik GGNTU. Technical science. 2020. Vol. 16. No. 1 (19). Pp. 48–56. DOI: 10.34708/GSTOU.2020.19.1.007 (rus)

5. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh. Possibilities of modifying binder systems with mineral additives [Vozmozhnosti modifikatsii vyazhushchikh system mineralnymi dobavkami]. Vestnik GGNTU. Technical science. 2023. Vol. 19. No. 1 (31). Pp. 96–102. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.21.24.010 (rus)

6. Zagorodnyuk L.Kh., Rakhimbaev Sh.M., Sumskoy D.A., Ryzhikh V.D. Features of hydration processes of binder compositions using waste expanded perlite sand [Osobennosti protsessov gidratatsii vyazhushchikh kompozitsiy s ispolzovaniem otkhodov vspuchennogo perlitovogo peska]. Bulletin of the Belgorod State Technological University.

V.G. Shukhova. 2020. No. 11. Pp. 75–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88 (rus)

7. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A., Al Mamuri S.K.Sh. Obtaining binder compositions of optimal compositions based on Portland cement and broken ceramic brick waste [Poluchenie vyazhushchikh kompozitsiy optimalnykh sostavov na osnove portlandtsementa i otkhodov boya keramicheskogo kirpicha]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova. 2022. No. 7. Pp. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30 (rus)

8. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Shapovalov N.A., Sumskoy D.A. Binder compositions from cement and expanded clay dust [Vyazhushchie kompozitsii iz tsementa i keramzitovoy pyli]. Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. 2022. Vol. 19. No. 4 (86). Pp. 584–596. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596 (rus)

9. Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A. Cementing compositions based on Portland cement and volcanic ash [Vyazhushchie kompozitsii na osnove portlandtsementa i vulkanicheskogo pepla]. Construction materials and products. 2022. Vol. 5. No. 4. Pp. 30–38. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-4-30-38 (rus)

10. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. New generation composites for special structures [Kompozity novogo pokoleniya dlya spetsialnykh sooruzheniy]. Construction materials. 2021. No. 3. Pp. 9–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17 (rus)

11. Glagolev E.S., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Podgornyi D.S. Composite binders and dry building mixes for 3d additive technologies. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 229–235. DOI: 10.1007/978-3-030-68984-1\_34

12. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Increasing the efficiency of low-permeability cement composites [Povyshenie effektivnosti malopronitsaemykh tsementnykh kompozitov]. Bulletin of MGSU. 2021. Vol. 16. No. 10. Pp. 1346–1356. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1346-1356 (rus)

13. Ignatova O.A., Dyatchina A.A. Influence of high-calcium ash composition on the composite binders' properties. Solid State Phenomena. 2021. Vol. 316. Pp. 1019–1024.

14. Bazhenov Y.M., Salamanova M.S., Murtazaev S.A.Y., Mintshev M.S. Structural composite materials based on anthropogenic raw stuff and clinkerless binders of alkaline tempering. Rasayan Journal of Chemistry. 2021. Vol. 14. No. 1. Pp. 409–423. DOI: 10.31788/RJC.2021.1415850

15. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamuri S.K.Sh., Gunchenko T.S. Composite binders based

on concrete scrap [Kompozitsionnye vyazhushchie na osnove betonnoy loma]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18 (rus)

16. Fediuk R., Baranov A., Mosaberpanah M., Lesovik V. Link of self-compacting fiber concrete behaviors to composite binders and superplasticizer. Journal of Advanced Concrete Technology. 2020. Vol. 18. No. 3. Pp. 67–82. DOI: 10.3151/jact.18.54

17. Dmitrak Yu.V., Vernigor V.V. Active mineral additives in the composition of composite binders [Aktivnye mineralnye dobavki v sostave kompozitsionnykh vyazhushchikh]. Concrete Technologies. 2022. No. 1 (180). Pp. 73–80. (rus)

18. Ilyina L.V., Samchenko S.V., Rakov M.A., Zorin D.A. Modeling the kinetics of cement composites modified with calcium-containing additives [Modelirovanie protsessov kinetiki tsementnykh kompozitov, modifitsirovannykh kaltsiy-soderzhashchimi dobavkami]. Nanotechnologies in construction: scientific online journal. 2023. Vol. 15. No. 5. Pp. 494–503. DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-494-503 (rus)

19. Anikanova A.L., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangalieva A.I. Activated composite fluoroanhydrite binder [Aktivirovannoe kompozitsionnoe ftoorangidritovoe vyazhushchee]. Construction materials. 2019. No. 1-2. Pp. 36–42. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-36-42 (rus)

20. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Barteneva E.A. Non-autoclaved foam concrete, dispersedly reinforced with mineral and fibrous additives [Neavtoklavnyy penobeton, dispersnoarmirovanny mineralnyimi voloknistymi dobavkami]. News of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 8 (716). Pp. 58–68. (rus)

21. Topchiy Yu.S., Khabirov D.M. Modified protein plasticizer for cement systems [Modifitsirovanny belkovyy plastifikator dlya tsementnykh sistem]. Concrete Technologies. 2013. No. 11. Pp. 46–47. (rus)

22. Cyr M., Ludmann C. Low risk meat and bone meal (MBM) bottom ash in mortars as sand replacement. Cement & Concrete Research. 2006. Vol. 36. Pp. 469–480. DOI: 10.1016/j.cemconres.2005.09.009

23. Coutand M., Cyr M., Deydier E., Guilet R., Clastres P. Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications. Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 150. Pp. 522–532. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.133

*Information about the author*

**Makhortov Denis Sergeevich.** PhD. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Zagorodnyuk, Liliya K.** DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Nasonova, Victoria V.** PhD. E-mail: v.nasonova@fnpcs.ru. Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS. Russia, 109316, Moscow, st. Talalikhina, 26

**Sumskoy, Dmitry A.** PhD. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 25.03.2024*

**Для цитирования:**

Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Насонова В.В., Сумской Д.А. Композиционное вяжущее с использованием алюмосиликатных наполнителей и органических добавок биологического происхождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18

**For citation:**

Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Nasonova V.V., Sumskoy D.A. Composite binder using aluminum silicate fillers and organic additives of biological origin. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-8-18

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31

*\*Шеремет Е.О., Старченко С.Ф.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: 66910@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ПО АРХИВУ ТЕМПЕРАТУР

**Аннотация.** В последние десятилетия все сильнее прослеживается тенденция к глобальному потеплению планеты. Многочисленные исследования направлены на оценку воздействия изменения климата на строительную отрасль и на инфраструктурную сферу в целом. В то же время не так много работ направлены на изучение влияния климатических изменений на потребность здания в энергии для отопления. Целью работы было исследование изменения основных параметров отопительного сезона Белгородской области, необходимых для расчета тепловой защиты зданий. Проанализированы минимальные, средние и максимальные годовые температуры, даты начала и окончания отопительных периодов, продолжительности отопительных периодов, минимальные температуры отопительных периодов, температуры наиболее холодных пятидневок отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов с 1936 по 2023 год. Также была выполнена прогнозная оценка вышеперечисленных параметров с прогнозом до 2050, с учетом появления тренда повышения среднегодовых температур с 1980-х годов. Выявлены тенденции к повышению минимальных температур отопительных сезонов, повышению температур наиболее холодных пятидневок, повышению средних температур отопительных периодов и уменьшению градусо-суток отопительных периодов. Сделан вывод о корреляции глобального потепления и потепления климата в Белгородской области. Даны рекомендации к проектированию систем отопления с учетом тенденции к увеличению градусо-суток отопительных периодов.

**Ключевые слова:** отопление, энергосбережение, система отопления, изменение климатических параметров, прогнозирование.

**Введение.** В настоящее время энергетическая политика РФ [1–3] осуществляет мероприятия по повышению энергоэффективности и энергосбережения во всем топливно-энергетическом комплексе страны. Эти мероприятия также касаются снижения энергоёмкости, энергопотребления, повышения функциональности, гибкости работы систем отопления [4–8]. Данные вопросы в условиях РФ невозможно решать без учета глобального потепления в целом и каждого региона в частности.

Большое количество трудов посвящено изучению изменения климата в различных регионах планеты, а также на территории РФ. Однако не так много исследований направлены на изучение изменений основных параметров отопительного сезона, которые могут повлиять на конструкцию будущих зданий, а также их теплопотребляющих систем, и на оценку снижения тепловой потребности существующих конструкций. В основном это обширные исследования, направленные на общую оценку воздействия глобального потепления на различные сферы инфраструктуры [9]. Есть ряд зарубежных исследований [10–14] изучающих влияние глобального потепления на энергосбережение зданий.

Наиболее детальное исследование изменений параметров отопительного периода на европейской части России в результате глобального

потепления были описаны в работе [15], опубликованной в 2002 году. На основании данных 90 метеостанций, расположенных в центральной части России, производился расчет продолжительности отопительных периодов, средней температуры и дефицита тепла отопительных сезонов во временном диапазоне с 1881 по 1995 гг. Как указывается в исследовании, данные также были подвергнуты сглаживанию 10-летней скользящей средней. Для изучения динамики региональных климатических характеристик авторами указанной работы применялась регрессионно-аналитическая модель климата [16] алгоритм которой представлен в работах [17, 18]. В результате анализа были получены карты центральной европейской части России с нанесенными на них изолиниями продолжительности отопительных периодов, средней температуры отопительных периодов и дефицитом тепла отопительных периодов на момент исследования и с прогнозом на 2050 год. Для Белгорода продолжительности отопительных периодов на момент исследования авторов работы составляли в районе 190 дней, к 2050 году – 180 дней.

**Материалы и методы.** Для исследования изменения основных параметров отопительного сезона в Белгородской области были необходимы климатические данные региона за наиболее продолжительный промежуток времени. Первоначально планировалось взять

для исследования данные метеостанции Международного аэропорта имени В.Г. Шухова, находящиеся в открытом доступе [19]. Однако глубина данных метеостанции ограничивались 2005 годом, что было принято недостаточным временным промежутком для исследования. После некоторых поисков наиболее близкой метеостанцией с достаточной глубиной метеоданных была выбрана метеостанция Готня, расположенная в поселке Пролетарский Ракитянского района Белгородской области [20]. Данная метеостанция находится на расстоянии около 60 километров от Белгорода и располагает данными среднесуточных температур местности начиная с 1936 года. При обработке данных не учитывались года с неполными данными за год. В выборке отсутствуют данные в промежутке с 1941 по 1944 включительно, а также данные 1976 года.

На первом этапе решался вопрос насколько отличаются метеоданные Международного аэропорта имени В.Г. Шухова от данных метеостанции Готни, для чего было решено сравнить средние суточные температуры за временной промежуток с 2005 по 2023 год. На втором этапе обрабатывались метеоданные Готни.

Для обработки информации использовались: Pandas - программная библиотека на языке Python для обработки и анализа данных; Matplotlib - библиотека на языке программирования Python для визуализации данных; Scipy – библиотека на языке программирования Python,

с открытым исходным кодом, предназначенная для решения научных и математических задач. Для улучшения визуализации информации, сглаживания краткосрочных колебаний и выделения наиболее явных основных тенденций для построения графиков использовалась скользящая средняя с периодом 10.

**Основная часть.** Для оценки сходства данных метеостанций Готни и Белгорода использовался t-критерий Стьюдента. В качестве нулевой гипотезы было выдвинуто предположение, что данные среднесуточных температур двух метеостанций не отличаются друг от друга. Сравнивались среднесуточные данные температур с 2005 по 2023 год. Для расчетов использовалась модуль stats библиотеки Scipy. Значение t-критерия Стьюдента составило -1,36. Далее вычислялся p-уровень значимости, его значение составило 0,174, что оказалось больше p-уровня значимости 0,05, что говорит о том, что мы не можем отвергнуть нулевую гипотезу и данные температур метеостанций значимо не отличаются друг от друга. В равной степени можно говорить об исследовании средних температур Готни, как о средних температурах Белгорода. Однако данный критерий используется для сравнения средних значений выборок. Для сравнения распределения температур были посчитаны описательные статистики для среднесуточных температур метеостанций Готни и Белгорода, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Описательные статистики распределения данных исторических среднесуточных температур метеостанции Готни и Белгорода с 2005 по 2023 года

Описательные статистики	Данные метеостанции Готни	Данные метеостанции Белгорода
Число измерений, кол-во	6384,0	6384,0
Среднее значение	8,07	8,33
Стандартное отклонение	10,67	10,88
Минимальное значение	-26,4	-27,24
25% процентов наблюдений (1 квартиль)	-0,1	-0,1125
50% процентов наблюдений (2 квартиль)	8,6	8,855
75% процентов наблюдений (3 квартиль)	17,3	17,79
Максимальное значение	30,0	31,16

Как видно из таблицы среднесуточные температуры Белгорода несколько выше среднесуточных температур метеостанции Готни. Это хорошо согласуется с отрицательным значением t-критерия Стьюдента, который говорит о том, что среднее значение одной выборки, в нашем случае метеостанции Готни,

меньше среднего значения другой выборки (данные метеостанции Белгорода).

На рис.1 показаны графики изменения среднегодовых температур в Белгородской области по данным метеостанции Готни. Показаны минимальные, средние, максимальные температуры и скользящие средние с периодом

10 для этих же температур для выявления тренда возможных изменений. Как видно из рисунка с начала 1985-х для всех температур характерно повышение значений. Если до 1985 года округленные минимальные, средние и максимальные температуры колеблются в области соответственно 2 °С, 6 °С, 10-11 °С, то

после 1985 года в результате трендового изменения температур к началу 2020-х эти же температуры приближаются к 4 °С для минимальных округленных температур, к 8 °С для средних округленных температур, и к 12,5 °С для максимальных средних температур.

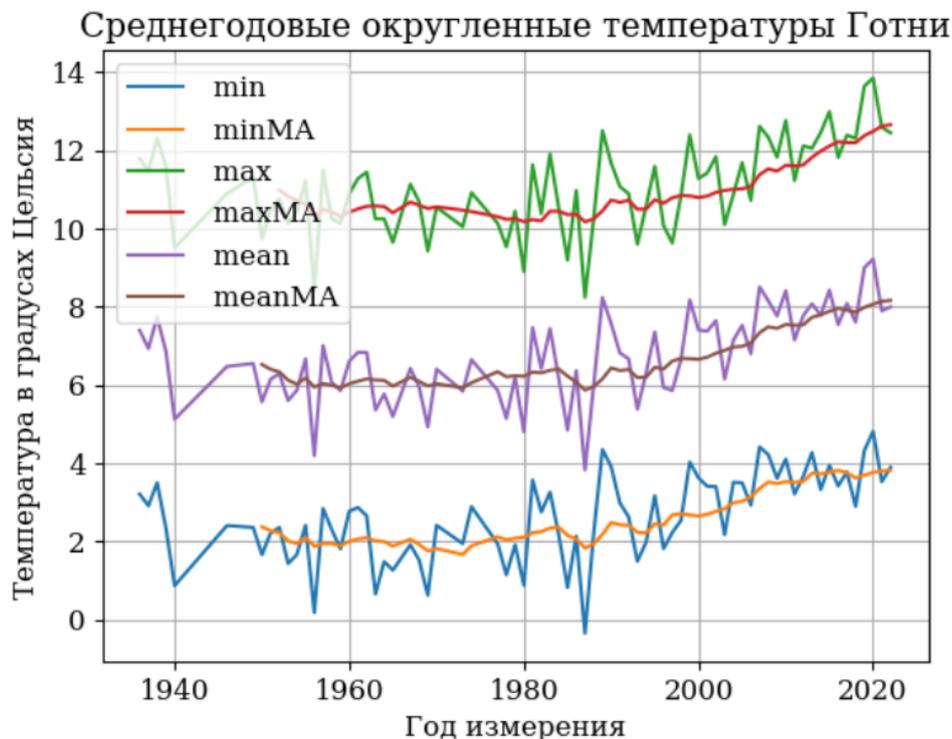


Рис. 1. Динамика изменения среднегодовых температур Готни: min, max, mean – минимальные, максимальные и средние температуры по данным метеостанции; minMA, maxMA, meanMA – округленные минимальные, максимальные и средние температуры (скользящая средняя с периодом 10)

Для более детального исследования изменения температур была составлена таблица со статистиками распределения данных годовых температур. Данные разбивались на две части: до 1988 года, включая аномальные понижения температуры в 1987-1988 году, и после 1988 года. Результаты представлены в таблице 2. Также в таблице приведены разницы статистик полученных периодов, по которым можно заметить, что почти все показатели более позднего периода исследования выше предыдущих. Для минимальных значений температур до 1988 года 75 процентов наблюдений не превышает 2,65 °С, в тоже время только 25 процентов значений минимальных температур выборки после 1988 года меньше 2,91 °С. Эти данные говорят о том, что минимальные температуры воздуха имеют тенденцию к повышению, причем разница количества наблюдаемых значений превышает 2 квантиля. Максимальные годовые температуры отличаются не столь значительно: 75 процентов наблюдений средних температур до 1988 года

лежат в пределе до 11,21 °С, что соответствует значениям средних температур между 1 и 2 квартилями для выборки после 1988 года. Причем средние значения также имеют достаточно сильные различия повторяемости значений температур: для средних значений температур до 1988 года 75 процентов наблюдений не превышает 6,65 °С, в тоже время только 25 процентов значений максимальных температур выборки после 1988 года меньше 6,81 °С.

Для определения вклада холодного периода года в итоговое увеличение среднегодовых температур с помощью программы [21] были вычислены даты начала и окончания отопительных периодов, продолжительности отопительных периодов, температуры наиболее холодных дней и температуры наиболее холодных пятидневок отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов на всем протяжении наблюдений.

Таблица 2

**Описательные статистики распределения данных исторических среднегодовых температур метеостанции Готни**

Описательные статистики	Значения после 1988 года			Значения до 1988 года			Разница статистик		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
<b>Среднее значение</b>	3,35	11,67	7,44	2,00	10,50	6,09	1,35	1,17	1,35
<b>Стандартное отклонение</b>	0,82	1,05	0,91	0,90	0,92	0,87	-0,08	0,13	0,04
<b>Минимальное значение</b>	1,50	9,60	5,38	-0,35	8,24	3,83	1,84	1,36	1,55
<b>25% процентов наблюдений (1 квартиль)</b>	2,91	10,88	6,81	1,49	10,13	5,60	1,43	0,75	1,21
<b>50% процентов наблюдений (2 квартиль)</b>	3,50	11,82	7,57	2,17	10,47	6,17	1,33	1,34	1,40
<b>75% процентов наблюдений (3 квартиль)</b>	3,93	12,42	8,08	2,65	11,21	6,65	1,27	1,21	1,43
<b>Максимальное значение</b>	4,82	13,85	9,22	3,57	12,32	7,73	1,24	1,53	1,48

На рис. 2 показаны графики изменения продолжительности отопительных периодов в Белгородской области. Продолжительность отопительного периода имеет волнообразный график. С 1980 года прослеживается тенденция с понижающимися минимумами и максимумами.

С начала 2000 до 2010 гг. наблюдается резкое снижение средних значений продолжительности отопительного периода со 195 до 180 дней. В настоящее время средняя продолжительность отопительного периода составляет 180–185 дней.



Рис.2. Продолжительность отопительных периодов: long – продолжительность отопительного периода по данным метеостанции, MAlong – округленные значения продолжительностей отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10).

На рис.3 показаны графики изменения температур наиболее холодных дней отопительных периодов в Белгородской области. Температуры наиболее холодных дней имеют волнообразный график с повышающимися максимумами и минимумами, что особенно отчетливо прослеживается на временном

промежутке с 1970 по 2023 гг. Если с 1950-х по конец 1970-х годов средние температуры наиболее холодных дней находились в пределах от -24 до -21 °С, средние температуры с 1990-х годов по 2005 балансируют в диапазоне от -22,5 до -19,5 °С, а с 2005 по 2023 от -21,5 до -19 °С и выше, если брать в расчет округленные значения.

Если рассматривать пиковые значения, то температура наиболее холодного дня не впервые за историю наблюдений средняя опустилась ниже  $-10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2019–2020 годах.

### Температура наиболее холодного дня отопительного периода Готни

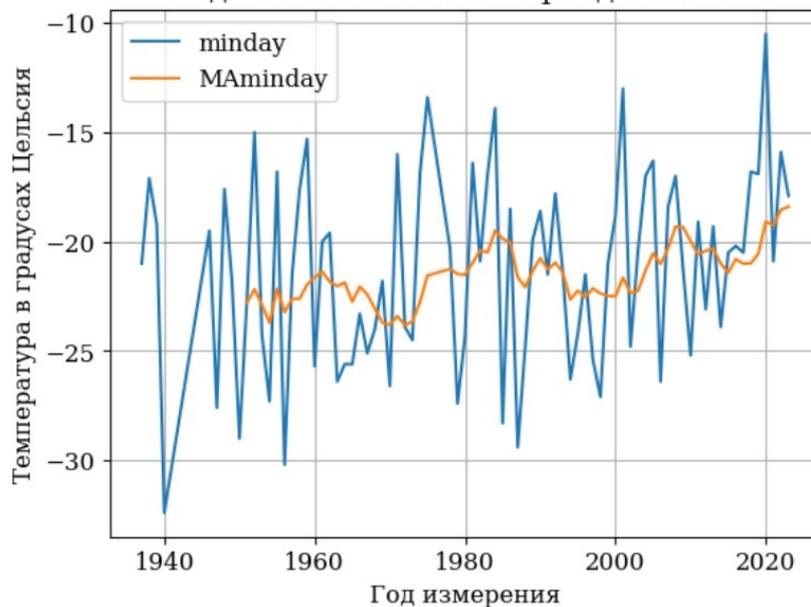


Рис. 3. Температуры наиболее холодных дней в течение отопительного периода: minday – температура наиболее холодного дня по данным метеостанции, MAminday – округленные температуры наиболее холодных дней в течение отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10)

Схожая картина наблюдается и при изучении графиков изменения температур наиболее холодных пятидневок (рис. 4). Здесь усредненные температуры с 1980-х годов не опускаются ниже  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальные пределы температуры наиболее холодных

пятидневок приближаются к средним значениям в районе  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. Также можно наблюдать что в аномально теплый 2019–2020 отопительный сезон температура наиболее холодной пятидневки составила приблизительно  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Температуры наиболее холодной пятидневки Готни

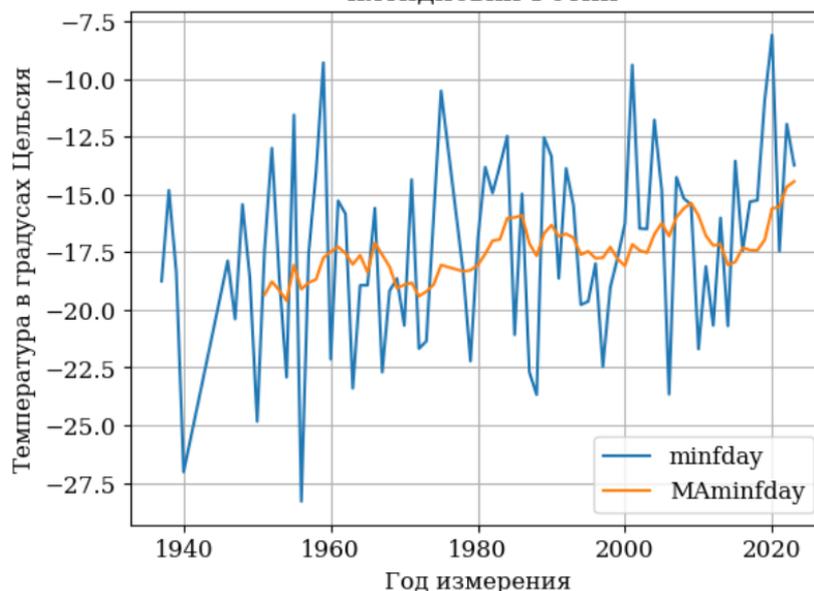


Рис. 4. Температуры наиболее холодных пятидневок в течение отопительного периода: minfday – температура наиболее холодных пятидневок отопительного периода по данным метеостанции, MAminfday – округленные температуры наиболее холодных пятидневок в течение отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10)

Достаточно хорошим индикатором усредненные изменения средней температуры потепления климата в регионе являются отопительного сезона (рис.5). Можно наблюдать

достаточно плавное повышение средней температуры отопительных сезонов на всем диапазоне исследований. Изменение температуры к настоящему времени по

сравнению с 1950-1960 годами составило около 2,5 °С. Самую высокую среднюю температуру отопительного периода можно наблюдать в 2019–2020 когда она составила 2,73 °С.

Средние температуры отопительного периода Готни

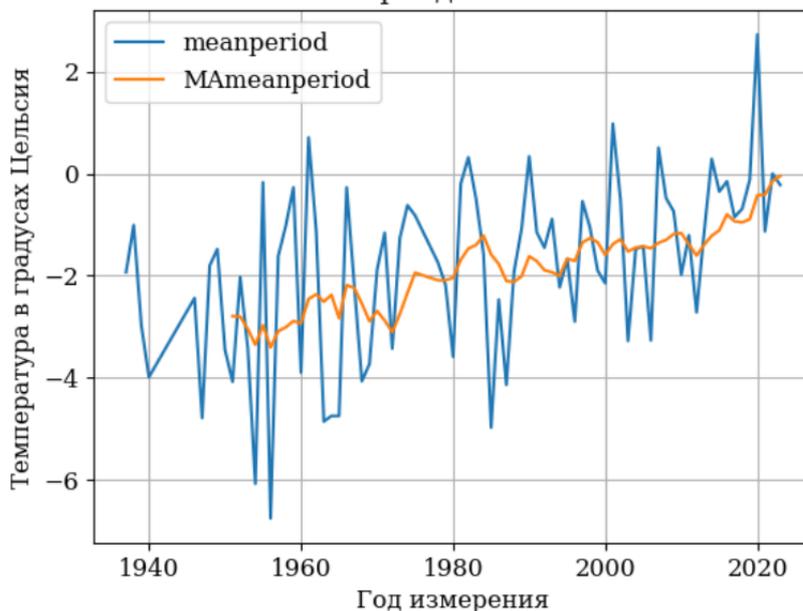


Рис. 5. Динамика средних температур отопительных периодов в Белгородской области: meanperiod – по данным метеостанции и MAmeanperiod – округленные (скользящая средняя с периодом 10)

При изучении графика изменения градусо-суток отопительного периода с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении 18°C (рис. 6) можно сделать вывод о плавном снижении количества градусо-суток

отопительных периодов с течением времени. Если в 1950–1960 годах усредненное значение градусо-суток находилось в диапазоне 4000–4100, в 2010–2020 годах это значение опускается ниже 3500.

Градусосутки отопительного периода Готни

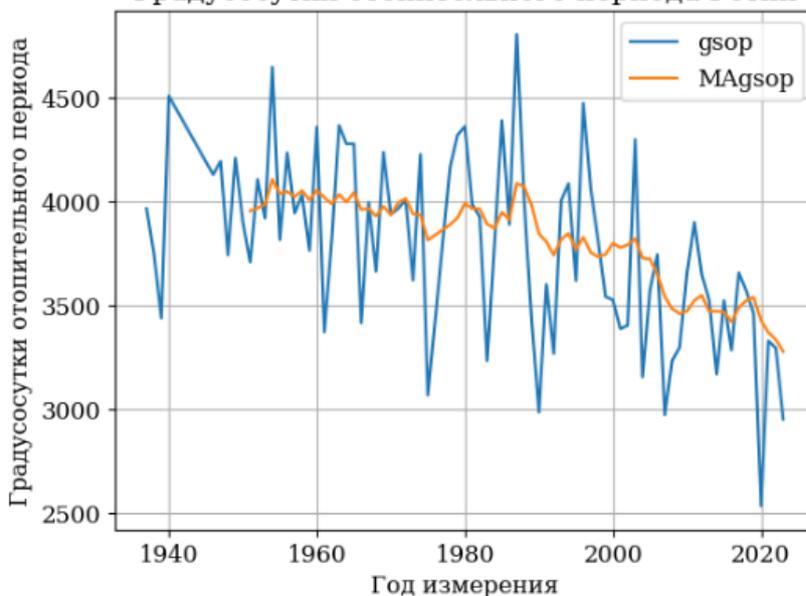


Рис. 6. Градусо-сутки отопительных периодов в Белгородской области: gsop - по данным метеостанции и MAgsop – округленные (скользящая средняя с периодом 10)

Также была произведена прогнозная оценка изменения среднегодовых температур, продолжительностей отопительного периода, изменения температур отопительного периода и

градусо-суток отопительного периода. Так как тренд на повышение среднегодовых температур пришелся примерно на конец 1980-х, было принято решение прогнозировать изменение

вышеперечисленных параметров приблизительно с этого же временного диапазона. Так как целью работы было получить прогнозные значения к 2050 году, решено было использовать линейную регрессию для прогнозирования тренда по средним значениям указанного периода исследования.

Для прогнозирования использовался класс LinearRegression библиотеки Scikit-learn. Данный

класс позволяет подбирать линейную модель к набору данных, предсказывать новые значения, а также оценивать производительность модели.

На рисунке 7 показана прогнозная оценка изменения среднегодовой температуры Готни. Как видно из графика прогнозное значение среднегодовой температуры к 2050 году составляет около 9,8 °С. Стандартное отклонение модели составило 0,57 °С.

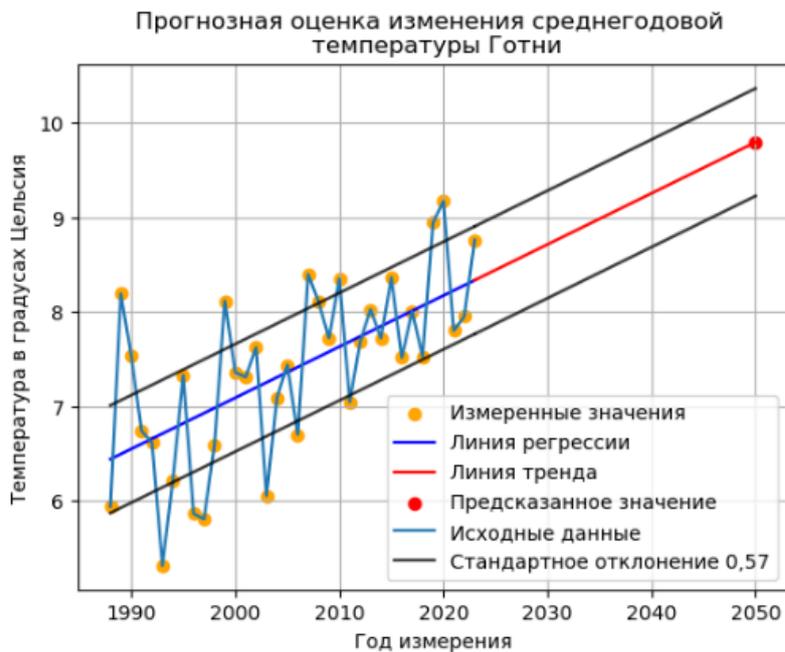


Рис. 7. Прогнозная оценка изменения среднегодовой температуры Готни

На рисунке 8 показана прогнозная оценка изменения продолжительности отопительного периода Готни. Прогнозное значение

продолжительности отопительного периода к 2050 году составляет 167 дней. Стандартное отклонение модели составило 11 дней.

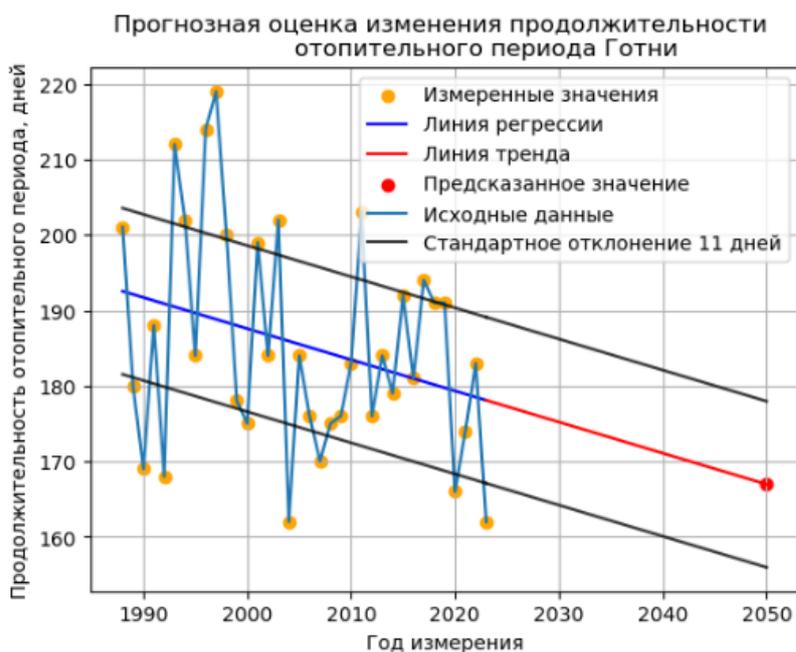


Рис. 8. Прогнозная оценка изменения продолжительности отопительного периода Готни

На рисунке 9 показана прогнозная оценка изменения средней температуры отопительного

периода Готни. Как видно из графика прогнозное значение средней температуры отопительного

периода к 2050 году составляет  $-0,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стандартное отклонение модели составило  $1,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 10 показана прогнозная оценка изменения градусо-суток отопительного периода

Готни. Прогнозное значение градусо-суток отопительного периода к 2050 году составляет  $3043\text{ градусо-суток}$ . Стандартное отклонение модели составило около  $350\text{ градусо-суток}$ .

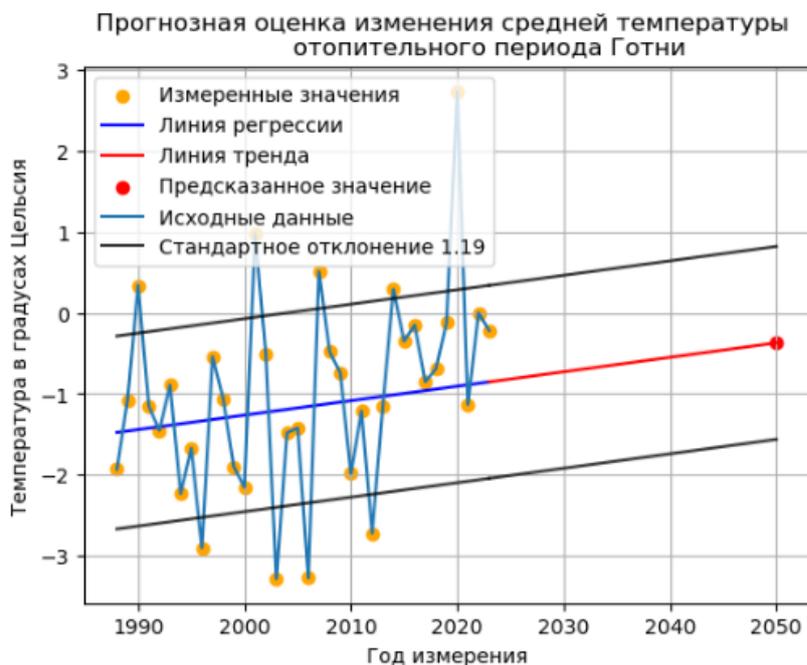


Рис. 9. Прогнозная оценка изменения средней температуры отопительного периода Готни.



Рис. 10. Прогнозная оценка изменения градусо-суток отопительного периода Готни.

При сравнении с данными, полученными в настоящей работе, можно сказать, что продолжительности отопительного периода на 1995–2000 годы совпадают с существующими данными исследования [15]. Однако реальное уменьшение средней продолжительности отопительного периода до 180 дней, которое прогнозируется к

2050 году по данным [15], по результатам настоящих исследований происходит к 2012-2013 годам, и в настоящее время составляет около 183 дней.

Значения средних температур отопительных периодов в работе [15] на момент исследования и прогноз на 2050 год меняется приблизительно на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , от  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на момент написания статьи и

до  $-0,5$  °C для прогноза на 2050 год, который в целом имеет близкое значение с данными настоящего исследования.

При изучении графика изменения градусо-суток отопительного периода с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении  $18^{\circ}\text{C}$  (рис.6) можно сделать вывод о плавном снижении количества градусо-суток отопительных периодов с течением времени. Если в 1950-1960 годах усредненное значение градусо-суток находилось в диапазоне 4000-4100, в 2010-2020 годах это значение опускается ниже 3500. Минимальное число градусо-суток отопительного периода зафиксировано в отопительном сезоне 2019-2020 и составило 2535.

Если сравнивать градусо-сутки отопительных периодов, то изменение с 2000 по 2050 гг. по данным автора [15] составляет от 3900 на 2000 год, и 3300-3400 на 2050 год. Однако прогнозное снижение градусо-суток отопительного периода по результатам настоящих исследований опускается ниже 3400 к 2023 году, а к 2050 году приближается к 3000.

Таким образом, потепление в Белгородской области в целом происходит быстрее прогнозируемых в исследованиях [15] показателей. Прогнозные значения продолжительности отопительных сезонов, средних температур отопительных периодов и градусо-суток отопительных периодов к 2050 году наблюдаются уже к 2023 году, а зачастую и превышают прогнозируемые к 2050 году значения. Однако по сравнению с более поздними источниками, направленными на изучение изменения климатических параметров [22,23], результаты, полученные в настоящем исследовании, имеют похожую тенденцию изменения, касающуюся прогнозирования изменения климата к 2050 году, что говорит о достаточно высокой достоверности и надежности полученных результатов, подтверждая соответствие уже проведенным исследованиям. Также это может говорить о том, что произошло значительное ускорение потепления в регионе, хорошо отслеживаемое после 2000-х годов, которые более ранние исследования не могли отражать. Данный факт может выступать ещё одним аргументом в пользу использования альтернативных источников энергии и технологий, использование которых раньше было в меньшей степени обосновано из-за достаточно низких температур воздуха [24].

**Выводы.** В настоящее время глобальное потепление является неоспоримым фактом, что доказывается многочисленными исследованиями и

десятилетиями наблюдений за изменением температурой поверхности земли. Данный процесс происходит вследствие повышения содержания в атмосфере углекислого газа, причиной которого в том числе является развитие промышленности, увеличение количества транспорта, добыча полезных ископаемых, вырубка лесов, эксплуатация зданий. Различные физико-математические модели климатической системы для понимания и предсказания процессов изменения климата в самых оптимистичных сценариях предполагают небольшое дальнейшее повышение средней глобальной температуры как минимум до 2050 года, а затем незначительное её снижение или остановки её роста. Более реальные сценарии предполагают рост глобальной температуры с  $2$  °C до почти  $5$  °C к 2085-2100 году по сравнению с 1986-2005 гг.

При исследовании основных параметров отопительного сезона в Белгородской области, таких как продолжительность отопительного периода, средняя температура отопительного периода и градусо-сутки отопительного периода было выявлено что в Белгородском регионе прослеживается общая тенденция к глобальному потеплению климата, причем потепление происходит более чем в два раза интенсивнее, чем прогнозировали ученые в начале 2000-х.

В связи с этим возникает вопрос о необходимости адаптации существующих методик для определения расчетных параметров отопительных периодов, например, градусо-суток отопительных периодов, для расчета которых используются усредненные данные за последние 50 лет наблюдений, что слабо отражает последние тренды изменения климата. Например, по СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» наиболее холодной пятидневке обеспеченностью 0,92 соответствует температура  $-23^{\circ}\text{C}$ , такая же расчетная температура указана в СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». Что касается последней редакции СП 131.13330.2020 – расчетная температура для той же обеспеченности составляет  $-24^{\circ}\text{C}$ , что выглядит достаточно необоснованно, учитывая, что по данным метеостанции температура наиболее холодной пятидневки опустилась ниже  $-22,5$  °C не больше четырех раз за последние 50 лет. С одной стороны, это говорит о том, что для полной достоверности необходимо исследовать остальные метеостанции Белгородской области, однако можно сказать, что для части региона актуальной температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 будет температура не ниже  $-23$  °C если брать в расчет глубину наблюдений 50 лет, и около  $-21$  °C для тридцатилетнего периода

наблюдений. Даже без изменения существующих методик расчета.

Одним из вариантов адаптации под климатологические изменения можно предложить рациональное изменение числа градусо-суток при проектировании в сторону уменьшения, что позволит обоснованно снизить требуемое термическое сопротивление при строительстве ограждающих конструкций новых зданий. Это повлияет на толщину утеплителя и конструкцию наружных ограждений в целом. Данное решение позволит снизить затраты на строительство в зависимости от масштаба применения, что отразится на уменьшении углеродного воздействия на атмосферу в будущем.

Другим способом может являться изменение требуемого термического сопротивления, учитывающего динамику изменения температур последних десятилетий при расчете систем отопления, что позволит уменьшить затраты при проектировании за счет уменьшения стоимости строительства, например, подбора котла меньшей мощности, или меньших диаметров магистралей и стояков, или же меньшей мощности насосного оборудования.

Для существующих зданий, наблюдаемая тенденция к потеплению отопительного периода будет способствовать повышению тепловой эффективности и создаст условия для сокращения энергопотребления в зимний сезон.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 11.06.2021 г.)
2. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Методология расчета индекса «Цифровая Россия» субъектов Российской Федерации. Московская школа управления Сколково. [электронный ресурс]. URL:<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>
3. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 №1632 Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации»

[электронный ресурс]. URL:<http://base.garant.ru/71734878/>

4. Лупей А.Г. О диагностике состояния систем отопления потребителей тепловой энергии // СОК. 2004. №8. С. 48–52.
5. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V. V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes // Записки Горного института. 2019. №237. С. 322–330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322
6. Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A. Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model // Lecture Notes in Civil Engineering. 2024. Vol. 372. Pp. 31–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4
7. Трухний А.Д., Зройчиков Н.А., Ломакин Б.В., Седов И.В. Информационно-диагностическая система контроля подогревателей сетевой воды турбоустановки Т-250/300-240 // Теплоэнергетика. 1998. № 1. С. 30–34.
8. Tol H.İ., Desmedt J., Salenbien R. A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction // Energy and Built Environment. 2021. Vol. 2(1). Pp. 105–125. DOI:10.1016/j.enbenv.2020.05.001
9. Khlebnikova E.I., Sall' I.A., Shkol'nik I.M. Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure // Russ. Meteorol. Hydrol. 2012. Vol. 37. Pp. 735–745. DOI: 10.3103/S1068373912110076
10. Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G. A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling // Res. Public Health. 2021. Vol. 18. Pp. 40–58. DOI:10.3390/ijerph18010040
11. Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y. Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China // Scientific reports. 2018. Vol. 8(1). Pp. 10211–10224. DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z
12. Andrade C., Mourato S., Ramos J. Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal // Atmosphere. 2021. Vol. 12. Vol. 6. Pp. 715–739. DOI:10.3390/atmos12060715.
13. Chidiac S.E., Yao L., Liu P. Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada // CivilEng. 2022. Vol. 3(2). Pp. 277–295. DOI:10.3390/civileng3020017.
14. Janković A., Podračanin Z., Djurdjević V. Future climate change impacts on residential heating and cooling degree days in Serbia // IDŐJÁRÁS/QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE.

2019. Vol. 123(3). Pp. 351–370.  
DOI:10.28974/idojaras.2019.3.6

15. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Изменение параметров отопительного периода на европейской территории России в результате глобального потепления // Изв. РАН. Энергетика. 2002. №. 2. С. 10–27.

16. Клименко В.В., Клименко А.В., Андрейченко Т.Н. Энергия, природа и климат. Москва: Изд-во МЭИ, 1997. 214 с.

17. Klimenko V.V., Mikushina O.V., Larin D. A. Tem perature changes in Taimyr region in the context of glo bal climate change // Geokol., Inzh. Geol., Hidrogeol., Geokriol. 2001. Vol. 3. Pp. 195–203.

18. Klimenko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V. Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors // Vestnik MEI. 2001. Vol. 2. Pp. 36–45.

19. Архив погоды в Белгороде / им. В.Г. Шухова (аэропорт). [электронный ресурс]. URL: [https://tr5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Белгороде\\_им.\\_В.Г.\\_Шухова\\_\(аэропорт\)](https://tr5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_им._В.Г._Шухова_(аэропорт)) (дата обращения: 20.03.2024)

20. Действующие метеорологические станции сети Росгидромета (RU\_RIHMI-WDC\_2667). [электронный ресурс].

URL:[http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU\\_RIHMI-WDC\\_2667](http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667) (дата обращения: 20.01.2024)

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682711 Российская Федерация. Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных : № 2022682110 : заявл. 17.11.2022; опублик. 25.11.2022 / Е. О. Шеремет, А. С. Семиненко, М. В. Свирин; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

22. Клименко В.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Изменения климатических параметров и их роль в работе систем теплоснабжения страны // Новости теплоснабжения. 2008. №. 8. С. 5–13.

23. Ивахов В.М. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург. 2020. 120 с.

24. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Веревкин О.В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 158–162.

#### Информация об авторах

**Шеремет Евгений Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, E-mail: 66910@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Старченко Сергей Федорович**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: s.starchenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.04.2024 г.

© Шеремет Е.О., Старченко С.Ф., 2024

**\*Sheremet E.O., Starchenko S.F.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: 66910@mail.ru*

## INVESTIGATION OF CHANGES IN THE MAIN DESIGN PARAMETERS OF THE HEATING PERIOD ACCORDING TO THE TEMPERATURE ARCHIVE

**Abstract.** In recent decades, there has been an increasing trend towards global warming of the planet. Numerous studies are aimed at assessing the impact of climate change on the construction industry and on the infrastructure sector as a whole. At the same time, not many works are aimed at studying the impact of climate change on the building's energy demand for heating. The purpose of the work was to study the changes in the main parameters of the heating season of the Belgorod region, necessary for calculating the thermal protection of buildings. The minimum, average and maximum annual temperatures are analyzed, the dates of the beginning and end of heating periods, the duration of heating periods, the minimum temperatures of heating periods, the temperatures of the coldest five-day heating periods, the average temperatures of heating periods, the degree-day heating periods from 1936 to 2023 are analyzed. A forecast assessment of the above parameters

was also performed with a forecast up to 2050, taking into account the appearance of a trend of increasing average annual temperatures since the 1980s. The trends towards an increase in the minimum temperatures of the heating seasons, an increase in the temperatures of the coldest five days, an increase in the average temperatures of the heating periods and a decrease in the degree-day of the heating periods are revealed. The conclusion is made about the correlation of global warming and climate warming in the Belgorod region. It has been revealed that warming in the Belgorod region is proceeding faster than estimated in a number of studies at the beginning of the XXI century, but the values of changes in the main parameters correlate well with a number of more modern studies considered in the work. Recommendations are given for the design of heating systems, taking into account the tendency to increase the degree-day of heating periods.

**Keywords:** heating, energy saving, heating system, climate change, forecasting.

## REFERENCES

1. Federal Law No. 261 of 11/23/2009 "On Energy Conservation and on Improving Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation" [«Ob energosberezhnii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii»] (as amended. dated 06/11/2021) (rus)
2. Decree of the President of the Russian Federation dated 05/19/2017 No. 203 "On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030" [«O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017-2030 gody». Metodologiya rascheta indeksa «Cifrovaya Rossiya»]. Methodology for calculating the Digital Russia index of the subjects of the Russian Federation. Moscow School of Management Skolkovo. URL:<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (rus)
3. Decree of the Government of the Russian Federation dated 07/28/2017 No. 1632 On the approval of the program "Digital Economy of the Russian Federation" [«Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii»]. URL:<http://base.garant.ru/71734878/> (rus)
4. Lupey A.G. On diagnostics of the state of heating systems for consumers of thermal energy [O diagnostike sostoyaniya sistem otopeniya potrebitel'ej teplovoj energii]. SOC. 2004. No. 8. Pp. 48–52. (rus)
5. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes. Notes of the Mining Institute. 2019. Vol. 237. Pp. 322–330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322
6. Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A. Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model. Lecture Notes in Civil Engineering. 2024. Vol. 372. Pp. 31–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4
7. Trukhny A.D., Zroychikov N.A., Lomakin B.V., Sedov I.V. Information and diagnostic control system for mains water heaters of the T-250/300-240 turbine unit [Informacionno-diagnosticheskaya sistema kontrolya podogrevatelej setevoy vody turboustanovki T-250/300-240]. Thermal power engineering. 1998. No. 1. Pp. 30–34. (rus)
8. Tol H.Ī., Desmedt J., Salenbien R.A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction. Energy and Built Environment. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 105–125. DOI:10.1016/j.enbenv.2020.05.001
9. Khlebnikova E.I., Sall' I.A., Shkol'nik I.M. Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure. Russ. Meteorol. Hydrol. 2012. Vol. 37. Pp. 735–745. DOI: 10.3103/S1068373912110076
10. Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G. A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling. Res. Public Health. 2021. Vol. 18. Pp. 40–58. DOI: 10.3390/ijerph18010040
11. Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y. Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China. Scientific reports. 2018. Vol. 8(1). Pp. 10211–10224. DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z
12. Andrade C., Mourato S., Ramos J. Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal. Atmosphere. 2021. Vol. 12(6). Pp. 715–739. DOI:10.3390/atmos12060715
13. Chidiac S.E., Yao L., Liu P. Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada. CivilEng. 2022. Vol. 3(2). Pp. 277–295. DOI:10.3390/civileng3020017
14. Janković A., Podračanin Z., Djurdjevic V. Future climate change impacts on residential heating and cooling degree days in Serbia. IDŐJÁRÁS/QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE. 2019. Vol. 123(3). Pp. 351–370. DOI:10.28974/idojaras.2019.3.6
15. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G., Mikushina O.V. Changes in the parameters of the heating period in the European territory of Russia as a result of global warming [Izmenenie parametrov otopitel'nogo perioda na evropejskoj territorii Rossii v rezul'tate global'nogo potepleniya]. Izv. RAS. Energy. 2002. No. 2. Pp. 10–27. (rus)

16. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Andrichenko T.N. Energy, nature and climate [Energiya, priroda, klimat]. M.: MPEI publishing house. 1997. 217 p. (rus)

17. Klimenko V.V., Mikushina O.V., Larin D.A. Temperature changes in Taimyr region in the context of global climate change. Geokol., Inzh. Geol., Gidrogeol., Geokriol. 2001. Vol. 3. Pp. 195–203.

18. Klimenko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V. Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors. Vestnik MEI. 2001. Vol. 2. Pp. 36–45.

19. Weather archive in Belgorod / im. V.G. Shukhov (airport) [Arhiv pogody v Belgorode / im. V.G. Shuhova (aeroport)]. <https://rp5.ru/> (rus) (date of treatment: 20.03.2024)

20. Operating meteorological stations of the Roshydromet network (RU\_RIHMI-WDC\_2667) [Dejstvuyushchie meteorologicheskie stancii seti Rosgidrometa]. URL: [http://esimo.ru/data-view/viewresource?resourceId=RU\\_RIHMI-WDC\\_2667](http://esimo.ru/data-view/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667) (rus) (date of treatment: 20.01.2024)

21. Certificate of state registration of the computer program No. 2022682711 Russian Federation. The program for analyzing the parameters of the heating season according to the archive of climatic data [Programma dlya analiza parametrov otopitel'nogo sezona po arhivu klimaticheskikh dannyh]:

No. 2022682110 : application 17.11.2022: publ. 25.11.2022 / E.O. Sheremet, A.S. Seminenko, M.V. Svirin; applicant Federal State budgetary educational institution of higher education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov". (rus)

22. Klimenko V.V., Tereshin A.G., Mikushina O.V. Changes in climatic parameters and their role in the operation of heat supply systems of the country [Izmeneniya klimaticheskikh parametrov i ih rol' v rabote sistem teplosnabzheniya strany]. Heat supply news. 2008. No. 8. Pp. 5–13. (rus)

23. Ivakhov V.M. Report on scientific and methodological foundations for the development of strategies for adaptation to climate change in the Russian Federation [Doklad o nauchno-metodicheskikh osnovah dlya razrabotki strategij adaptacii k izmeneniyam klimata v Rossijskoj Federacii] (in the field of competence of Roshydromet). St. Petersburg. 2020. 120 p. (rus)

24. Ilyina T.N., Mukhamedov R.Yu., Verevkin O.V. Prospects of using heat pumps in heating systems of low-rise residential buildings in the Belgorod region [Perspektivy ispol'zovaniya teplovykh nasosov v sistemah otopleniya maloetazhnykh zhilyh domov Belgorodskoj oblasti]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2009. No. 3. Pp. 158–162. (rus)

#### *Information about the authors*

**Sheremet, Evgeny O.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation. E-mail: 66910@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

**Starchenko, Sergej F.** Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation. E-mail: s.starchenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

---

*Received 01.04.2024*

#### **Для цитирования:**

Шеремет Е.О., Старченко С.Ф. Исследование изменения основных расчетных параметров отопительного периода по архиву температур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31

#### **For citation:**

Sheremet E.O., Starchenko S.F. Investigation of changes in the main design parameters of the heating period according to the temperature archive. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-32-40

*\*Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В., Махова П.А.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: as\_troshin@inbox.ru*

## АНАЛИЗ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Аннотация.** В статье представлено исследование этапов жизненного цикла строительных объектов с позиции эффективности инвестиционной деятельности. Строительная промышленность была и остается системообразующей сферой национальной экономики в любой стране. В настоящий момент, в силу беспрецедентного санкционного давления, она переживает сложные времена. Существующие ограничения являются серьезным вызовом для всех участников процесса. Общеизвестно, что инвестиционные проекты в области строительства отличаются сложностью и обладают высоким уровнем риска. Поэтому необходимо адаптировать теоретические основы системы управления рисками к этапам жизненного цикла строительных объектов и выявить пути повышения ее эффективности. В работе был произведен анализ ключевых стадий строительного процесса с позиции выявления возможных рисков и поиска путей по снижению их негативных последствий. Особый акцент был сделан на территориальном аспекте и особенности ведения инвестиционно-строительной деятельности в приграничных регионах, статус которых предполагает повышенное внимание к повышению качества управления рисками. Количество видов риска и вариативность их проявлений неукоснительно растет, и этот процесс необратимый и объективно существующий. В результате к традиционным рискам, добавляются ситуации, связанные с военными действиями и терактами, которые в большинстве случаев не входят в стандартный пакет страхования. Между тем, это не делает задачу их минимизации невыполнимой для всех фигурантов, заинтересованных в росте и процветании строительной отрасли, являющейся фундаментом для социально-экономического развития страны.

**Ключевые слова:** инвестиционно-строительный проект, жизненный цикл строительных объектов, система управления рисками, система страхования рисков, эффективность инвестиций, срок окупаемости инвестиций, склонность к риску.

**Введение.** Строительная отрасль, являясь фундаментальной для экономики любого типа, несмотря на кажущийся традиционализм и всестороннюю изученность, является одной из самых динамично развивающихся сфер, открытых для различных инноваций и прогрессивных технологий. Подобная открытость и стратегическая важность для социально-экономического благополучия государства делает ее уязвимой перед лицом различного рода рисков.

Согласно концепции жизненного цикла, процесс создания строительного объекта может быть поделен на следующие фазы:

- технико-экономическое обоснование проектируемого объекта, включающее прогноз и последующую корректировку необходимых издержек в процессе создания и эксплуатации;
- комплекс конструкторско-проектных работ с оценкой стоимости осуществления всех предпроектных мероприятий;
- непосредственная организация строительства на основе разработанных нормативов в границах определенной сметы расходов;
- этап пробной эксплуатации и предварительный анализ окупаемости проекта;

- эксплуатация объекта и расчет амортизации всех инженерных систем, разработка комплекса перспективных работ по дальнейшей модернизации или реконструкции в случае необходимости;

- стадия полного износа и последующей за ним ликвидации [1].

В зависимости от сложности, местоположения и назначения объекта, а также в силу дополнительных факторов различного свойства, длительность цикла и удельный вес каждой фазы может варьироваться.

При этом бремя риска, ложащееся в целом на весь проект, может быть распределено неравномерно. В силу этого обстоятельства, на наш взгляд было бы правомерно исследовать систему управления рисками применительно к каждой фазе строительного цикла.

Риск и неопределенность являются спутниками практически всех жизненных ситуаций, но, в отличие от обывательского восприятия, в контексте национального хозяйства указанные категории приобретают ключевое значение для эффективного функционирования рыночных механизмов и благосостояния общества.

Семантически близкие, понятия неопределенность и риск не являются тождествами в том

смысле, что, в отличие от неопределенности, вероятность наступления риска и степень его проявления может быть спрогнозирована с использованием различных существующих методик оценки. [2]

Риск, будучи ключевым фактором инвестиционных процессов в любой отрасли экономики, является составной квинтэссенцией потерь при неблагоприятном исходе и дополнительной прибылью в случае успеха. Сила риска мультиплицирует любой результат, который находится в прямой зависимости от нее. За некоторым исключением, подавляющее число высокорисковых проектов могут принести либо сверхприбыль, либо серьезные убытки, в то время как малый риск, как правило, сопровождается скромным выигрышем и незначительными потерями. [3]

Применительно к строительной отрасли инвестиционные проекты почти всегда обладают повышенной долей риска, что в данный период времени дополнительно обостряется следующими факторами:

1) Рост предложения на рынке жилья и количества застройщиков, как следствие, острая конкуренция, подогревающая желание девелоперов рисковать.

2) Усложнение технологий, применяемых в отрасли, увеличение инновационной составляющей продукта, что в отличие от использования традиционных паттернов, всегда увеличивает риск. [4]

3) Смена фаз экономического цикла, составляющего 25–40 лет и связанного с обновлением основных фондов, что вызывает срочную необходимость капитального ремонта, реноваций или полной замены. [1]

4) Санкционная политика в отношении страны, подрывающая давно сложившиеся международные связи, что выражается в отсутствии импортных комплектующих и росте цен на материалы.

5) Изменение климата, настоятельно требующее пересмотра технических регламентов с целью снижения степени риска, особенно в фазе эксплуатации объекта.

6) Угроза разрушений вследствие военных атак и терактов, особенно в приграничной зоне, что делает риск наиболее вероятным, и наименее управляемым.

7) Группа экономических факторов, подпадающих под влияние геополитики и социальных процессов: неустойчивость валютного курса, дисбаланс внутренних и мировых цен на материалы и энергоносители, повышение ключевой ставки, дефицит на рынке рабочей силы, вследствие ужесточения миграционной политики.

**Методы.** Исследование проблемы повышения эффективности системы управления рисками на разных стадиях жизненного цикла строительных объектов в настоящей работе было произведено с применением следующих методов, составляющих три основные группы:

-общетеоретическая группа, включающая анализ, синтез, классификацию, систематизацию, обобщение, конкретизацию, моделирование и др. Применение указанных приемов научного познания позволило проанализировать актуальное состояние заявленной проблемы, синтезировать выводы и сформировать предложения относительно возможных путей повышения эффективности системы управления рисками в контексте строительной отрасли;

- частно-эмпирические методы (сравнение, измерение, описание и др.), позволившие авторам собрать конкретные данные по исследуемой тематике, описать проблему, выявить закономерности и выдвинуть ряд гипотез по поводу улучшения качества инвестиционно-строительных проектов;

- группа практических методов дала основание предложить алгоритм оценки рисков инвестиционной деятельности на различных стадиях жизненного цикла строительного объекта.

**Результаты.** Инвестирование средств в строительство жилых и производственных зданий традиционно считается одним из самых надежных инструментов получения прибыли. Рост на рынке недвижимости имеет огромное количество бенефициаров: помимо непосредственных покупателей и продавцов, повышение прибыли наблюдается у производителей стройматериалов, представителей смежных производств, сферы услуг и кредитно-финансовых организаций [5]. Однако следует признать, что после пандемии и с началом спецоперации, вследствие падения платежеспособности населения, санкций и ухода иностранных компаний, на рынке недвижимости наблюдается заметный спад, составивший почти 50 % за период с 2022 по 2023 год. Отрицательная динамика наблюдается не только в сфере возведения жилья и социальных объектов, но и в деле строительства складов, объем заказов, по которым упал на 9 % [6].

Показательно, что в период СВО девелоперская активность преимущественным образом сконцентрировалась на покупке недвижимости банкротов, увеличив объемы сделок за первый год спецоперации таким образом на 14,34 %. Параллельно эксперты отмечают экспонентный рост цен на стройматериалы: так с 2018 по 2023 гг. цена прокатного стального листа увеличилась на 33 %, шифера на 54 %, строительных смесей

на 62 %, а на древесноволокнистые плиты на рекордные 164 %. В результате фиксируется падение спроса на новые строительные объекты, что, в сочетании с высокими расценками на комплектующие и уход иностранных поставщиков оборудования, делает инвестиционные проекты низко прибыльными или вовсе убыточными. Добавляет проблем миграционный кризис, выражающийся в дефиците дешевой рабочей силы, а также хронический кадровый голод в среде конструкторов, архитекторов и инженеров высшего звена вследствие структурного дисбаланса на рынке труда [7].

Отдельно стоит отметить ситуацию на приграничных территориях, гражданские и промышленные активы которых постоянно подвергаются ракетным атакам и разрушениям. За одну только неделю в марте 2024 года, по сообщению мэра города Белгорода, повреждено более 900 квартир и частных домов, многие жители из которых будут нуждаться в переселении или капитальном ремонте [8].

Таким образом, на сопредельных с Украиной территориях будет долгое время отмечаться высокий спрос на стройматериалы и услуги ремонтных бригад и одновременное катастрофическое падение объемов инвестиционных проектов в строительство новых зданий в силу многократно возросшей степени риска.

Одним из действенных инструментов, способных оживить строительный рынок, является льготная ипотека: об этом свидетельствует статистика, согласно которой 80–90 % сделок совершается с привлечением заемных средств. В 2023 году государство продлило льготную программу, но ставку повысило с 7 % до 8 %. В итоге количество ипотечных договоров сократилось почти в четыре раза. [9]

Таким образом, следует признать, что строительная индустрия и смежные с ней отрасли переживают острую фазу кризиса, вследствие наложения множества негативных факторов, увеличивающих количество рисков для инвестиционной деятельности. В силу этого факта, представляется необходимым исследовать содержание и степень риска на каждой стадии жизненного цикла строительного объекта и попытаться найти пути снижения его негативного воздействия.

**Обсуждение.** Выявление и оценка степени риска является важнейшей составляющей оценки эффективности инвестиционно-строительного проекта. [10] При этом само явление риска необходимо структурировать на следующие составляющие:

1) Опасность, т.е. потенциальная угроза, связанная либо с объектом-носителем риска,

либо с окружающей объект средой. Следует отметить, что опасность является неотъемлемой частью природы риска. Применительно к строительным сооружениям, опасность может заключаться как в самой возводимой конструкции (токсичность материалов, угроза обрушения), так и в месте нахождения объекта (стихийные бедствия, действия криминального характера, военные атаки и теракты) [11].

2) Подверженность риску, которая по сути является функцией двух аргументов: вероятность наступления негативного события и масштаб прогнозируемого ущерба [12]. В нашем исследовании категория подверженности риску может быть применена, как к готовому сооружению, так и к проекту, в содержании и параметрах которого возможные потери должны быть учтены.

3) Уязвимость, которая демонстрирует степень устойчивости системы перед негативными воздействиями и ее способность сохранять равновесие. В отличие от предыдущих характеристик, уязвимость строительного объекта может быть выражена конкретными техническими показателями, что дает возможность их корректировки на допроизводственной стадии.

4) Взаимодействие различных групп рисков и их соотношение в общем портфеле [13]. Примечательно, что действие нескольких рисков может иметь разнонаправленные векторы; тем самым один риск способен усилить другой или наоборот полностью его нивелировать. Например, риск незапланированной задержки начала строительства вследствие неполучения в срок материалов, может позволить избежать риска от форс-мажора в виде торнадо или наводнения.

Немаловажную роль при оценке риска инвестиционного проекта в строительстве играет определение его источника, который может иметь характер разных ситуаций в зависимости от стадии жизненного цикла объекта [14].

Так, на стадии *технико-экономического обоснования* проекта сооружения можно выделить несколько групп источников риска:

а) физико-географические, выраженные неполнотой информации о месте возведения, особенностях рельефа, глубины залегания грунтовых вод, сейсмической активности региона и др.

б) экологические, связанные с возможными изменениями климата, способными нанести ущерб проекту при дальнейшей эксплуатации здания, а также риски для окружающей среды при строительстве.

б) антропологические, возникающие по причине негативного воздействия третьих лиц, или же ущерба от будущего сооружения населению с

последующими финансовыми и репутационными потерями для застройщика.

в) технологические, связанными с динамикой рынка инновационных технологий, условий производства строительных конструкций или моральным износом оборудования.

г) юридические, подразумевающие изменения в законодательстве, которые могут серьезным образом затронуть технические регламенты, что заставит застройщика вносить коррективы в технико-экономическое обоснование проекта, а также влиять на уровень патентозащищенности.

д) институциональные источники риска, выраженные ограничительными или запретительными действиями государственных и общественных организаций.

е) экономические источники риска, заключенные в ошибках маркетингового исследования, колебаниях спроса, росте цен на сырье и материалы, повышении ставок по кредитам, недооценке логистических затрат и др.

д) производственные источники, выраженные в дефиците сырья и материалов, ненадлежащем качестве оборудования, недостатком рабочей силы, некомпетентностью управленческого персонала.

Источники риска на *стадии конструкторско-проектных работ* могут быть классифицированы следующим образом: [15]

а) группа инновационных источников, объединяющая риски, связанные с низким уровнем наукоемкости проекта, вызванного техническим отставанием, общей ориентацией на устаревшие образцы;

б) информационные источники риска, связанные с отсутствием аналогов в отрасли, недооценкой конкурентов, дефицитом данных о передовых образцах;

в) кадровые риски, выраженные неадекватной оценкой компетенции творческих коллективов, работающих на стадии ОКР, застоём в команде конструкторов, стереотипностью проектных решений [16];

г) организационная группа рисков, обусловленная отсутствием демонстрации макетов и опытных образцов, несвоевременным оформлением патентов [17];

На *стадии организации строительства* количество рисков может варьироваться в зависимости от сложности объекта, его локации, а также скорости изменения внешних факторов. Поэтому целесообразно выделить следующие группы источников:

а) управленческие: слабое научно-техническое сопровождение, недостаточно объективная оценка текущего состояния строящегося объ-

екта, отсутствие или нерегулярность оперативного мониторинга и контроля, неэффективное управление персоналом и т.п. [18];

б) финансовые: превышение сметы, изменение стоимости стройматериалов, повышение кредитных ставок, наложение штрафов со стороны инспектирующих организаций;

в) временные: невыполнение работ в срок, заложенный на этапе проектирования, задержка поставок оборудования, сырья и материалов, сезонность;

г) угроза безопасности: ущерб экологии, здоровью и жизни персонала, уязвимость конструкций перед внешним воздействием [2].

Источники риска на *этапе пробной эксплуатации* преимущественно связаны с недостоверной оценкой объекта в результате визуального обследования, измерительных работ, экспертизы осадки фундаментов и деформации грунта, ошибок и неточностей в технологических отчетах и заключении.

На *стадии эксплуатации* специфика портфеля рисков может быть отражена следующими аспектами: 1) технический: ухудшение надежности в результате изменения физических свойств материалов, ошибки эксплуатации систем, неправильная оценка величины износа, низкий уровень ремонтпригодности; 2) экологический: токсичность объекта для окружающей среды, разрушение или уничтожение здания в результате природной стихии; 3) антропогенный: деформация или уничтожение, связанные с деятельностью человека, как ненамеренной, так и умышленной [19].

*Стадия полного износа и последующей за ним ликвидации* сопровождается рисками технологического характера, которые впоследствии могут обернуться серьезными финансовыми потерями: обвал массивных конструкций, повреждение коммуникаций, пожар, шум, вибрация, выброс токсичных веществ в атмосферу.

Традиционные расчеты при проектировании строительных сооружений должны быть дополнены комплексом специальных приемов оценки и управления рисками. В зависимости от сложности объекта и исходных условий, эксперты могут использовать различные методики, основанные на регрессионном, корреляционном или дисперсионном анализе. Это позволит оценить каждый источник риска в отдельности, рассчитать интегральный показатель и в итоге разработать систему мер по предотвращению опасной ситуации и минимизации ущерба.

Алгоритм действий в системе управления рисками на конкретно взятой фазе жизненного цикла строительного объекта можно проследить, опираясь на следующую схему (рис. 1).

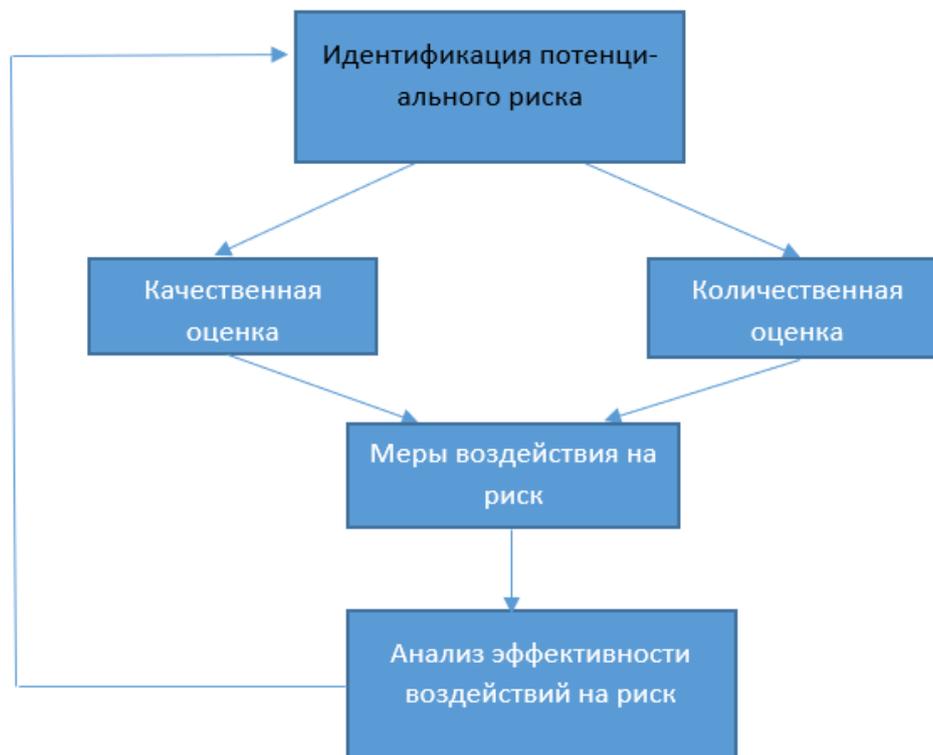


Рис. 1. Алгоритм действий в системе управления рисками  
(Разработано авторами)

Мероприятия по минимизации рисков включают широкий круг воздействий и разрабатываются индивидуально для каждого случая. [20] Вместе с тем рекомендации по снижению негативного эффекта от потенциального риска могут быть классифицированы следующим образом:

1. Организационные мероприятия (регламентация производственных и инвестиционных процессов, совершенствование системы управления персоналом, регулярность контрольных процедур, наличие обратной связи, финансовый аудит).

2. Информационно-аналитические мероприятия (сбор, обработка и анализ информации о конкурентах, поставщиках, изменениях цен, спроса, технологиях, совершенствование качества документооборота).

3. Финансовые мероприятия, подразумевающие поиск и привлечение дополнительных инвестиций в безопасность и качество материалов и конструкций, рекрутинг высококвалифицированных специалистов инженерных и рабочих специальностей, проведение научных исследований.

4. Страховые мероприятия, включающие страхование строительно-монтажных, инвестиционных и эксплуатационных рисков. Страхователями могут быть все участники строительства: инвесторы, заказчик, генподрядчик, субподрядчики, проектировщики.

В отношении инвестиций в строительство объектов на территориях, находящихся под постоянной угрозой в силу близости к государственным границам, на наш взгляд, необходимо на государственном уровне разработать специальные страховые программы, которые могли бы позволить защитить интересы инвесторов и застройщиков, и одновременно предоставить определенные льготы и преференции страховым компаниям, которые пока уклоняются от работы с рисками от военных действий. Подобная процедура возмещения потерь страховщикам в связи со страховыми случаями, наступившими вследствие событий, произошедших в результате диверсий, террористических атак уже опробована в отношении автотранспорта и грузов на территориях Донецкой, Луганской Народных Республик, Запорожской и Херсонской областей. [21]

Вместе с тем, нельзя забывать, что риск необходимо воспринимать не только, как угрозу ущерба или потерь, но и как дополнительный ресурс и источник роста. Риск, как носитель позитивных последствий, – неотъемлемый спутник многих инвестиционных проектов, особенно с выраженной инновационной составляющей.

**Заключение.** Инвестиционные проекты в области гражданского и промышленного строительства сопряжены с известной долей риска, источники которого должны быть идентифициро-

ваны, а также качественно и количественно оценены. Система управления рисками может быть соотнесена с этапами жизненного цикла строительного объекта в целях разработки комплекса соответствующих мероприятий для минимизации потенциальной угрозы проекту и непосредственно сооружению в разные периоды его существования. Проблема оценки и управления рисками стоит особенно остро в сфере проектирования и возведения строительных сооружений. Это объясняется не только увеличением числа сложных конструкций, применением высокотехнологичных материалов, но и непростой экономической и геополитической обстановкой, сложившейся в настоящее время.

В ходе анализа текущей ситуации на строительном рынке были выявлены группы источников рисков, которые в дальнейшем были ранжированы по фазам жизненного цикла строительного объекта. Все это дало, согласно алгоритму действий, в рамках системы управления рисками, разработать классификацию мероприятий по снижению потенциальной угрозы для строительного инвестиционного проекта в целях повышения его эффективности.

Резюмируя изложенное, необходимо подчеркнуть, что риск – это неизбежный фактор любой хозяйственной деятельности, и его следует воспринимать не только, как опасность, но и как условие для новых возможностей и роста. При этом построение эффективной системы управления рисками закономерно должно стать важнейшим элементом комплекса работ по возведению сооружений от момента их проектирования до полной ликвидации.

***Источник финансирования.** Данная работа была реализована в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова, с использованием оборудования Центра высоких технологий при БГТУ имени В.Г. Шухова.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Столярова З.В., Трошин А.С., Лесовик Р.В., Лесовик Г.А. Оценка эффективности инвестиций на различных этапах жизненного цикла строительных объектов // Вестник Евразийской науки. 2023. Т 15. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/80SAVN323.pdf> (дата обращения: 17.04.2024).
2. Аллахвердян А.Э., Комкова А.В. Некоторые аспекты менеджмент-риска предприятий инвестиционно-строительного комплекса // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 10 (Ч. 1). С. 53–54.
3. Troshin A.S. Kupriyanov S.V., Sandu I.S. Investment and Innovative Component of Strategic Development of the Region (on the Example of the Belgorod Region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272. 032236. DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032236.
4. Гусева И.Б., Далёкин П.И., Каленова О.В. Портфельный анализ рисков НИОКР предприятий ОПК // Инновации в менеджменте. 2016. № 9. С. 18–21.
5. Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В. Жизненный цикл наукоемкой продукции в сфере промышленного и гражданского строительства // Вестник Евразийской науки. 2023. Т 15. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/70SAVN323.pdf> (дата обращения: 22.04.2024).
6. Зайнулин, Е. Сталь не гнется под санкциями, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5797809> (дата обращения: 19.04.2024)
7. Башкатова А. Обвал производства стройматериалов отменил строительные рекорды, 2023 г. [Электронный ресурс] URL: [https://www.ng.ru/economics/2023-02-02/1\\_8651\\_stagnation.html](https://www.ng.ru/economics/2023-02-02/1_8651_stagnation.html) (дата обращения: 19.04.2024)
8. Смирнов Г. Мэр Белгорода сообщил о повреждении более 900 квартир и частных домов, 2024 [Электронный ресурс] URL: <https://amp.rbc.ru/rbcnews/politics/20/03/2024/65fb10ac9a7947b9e4209ead> (дата обращения: 19.04.2024)
9. Мерцалова А., Аминов Х. Девелоперы спрятались в котловане, 2023 [Электронный ресурс] URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5842368> (дата обращения: 19.04.2024)
10. Рыбаков О.Ю. Новый технологический уклад: вызовы и риски // В сборнике: Российская правовая система в условиях четвертой промышленной революции. Материалы VI Московского юридического форума XVI Международной научно-практической конференции. В 3-х частях. 2019. С. 316–320.
11. Курилова А.А. Риск-ориентированный финансовый механизм управления затратами и теория активных систем // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2013. № 1 (12). С. 85–88.
12. Казначеева Э.В. Управление в условиях неопределенности. М.: ВШЭ, 2014. 148 с.
13. Кузина С.В., Кузин П.К. Управление рисками инновационного проекта в условиях неопределенности. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2013. 71 с.

14. Ручьев А.Г., Ивакин Я.А. Анализ средств мониторинга реализации этапов жизненного цикла продукции // в сб. материалов II межд. научно-практической конференции «Образование. Бизнес. Наука. Культура.» (г. Дмитровград, 2019). Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. С. 201–204

15. Рукина И.М., Филатов В.В. Центры технологического девелопмента: как инструмент содействия инновационному развитию российской экономики // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2014. № 1. С. 85.

16. Димитриев А.М., Решетько К.М. Современные тенденции и причины несостоятельности застройщиков // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. №5-2. С. 285–294. DOI: 10.17513/vaael.1141

17. Андреев И.П., Учет конструкторских рисков при экспертизе инновационных проектов и аудиторских рекомендаций Журнал "Энергоаудит", [Электронный ресурс]. – URL: [www.j-e-a.ru](http://www.j-e-a.ru) (дата обращения: 19.04.2023)

18. Анпилов С.М., Сорочайкин А.Н. О стратегии развития строительной отрасли РФ (часть II) // Эксперт: теория и практика. 2019. №2(2). С. 12–15.

19. Юсубова О.Р., Бавина Е.В. Высокотехнологические материалы в строительстве // Молодой ученый. 2017. № 2(136). С. 70–73.

20. Третьяк В.В., Никитина И.А. Рисковые ситуации: условия возникновения, особенности и основные элементы // Ученые записки Международного банковского института. 2021. №4 (38). С. 114–123.

21. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1303488290> (дата обращения: 23.04.2024).

#### Информация об авторах

**Трошин Александр Сергеевич**, доктор экономических наук, профессор кафедры мировой экономики и финансового менеджмента. E-mail: [as\\_troshin@inbox.ru](mailto:as_troshin@inbox.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Столярова Злата Владиславовна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры теории и методологии науки. E-mail: [zlatast@mail.ru](mailto:zlatast@mail.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Лесовик Руслан Валерьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: [ruslan\\_lesovik@mail.ru](mailto:ruslan_lesovik@mail.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Махова Полина Александровна**, студентка кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: [makhovskaya109@gmail.com](mailto:makhovskaya109@gmail.com). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 03.05.2024 г.

© Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В., Махова П.А. 2024

**\*Troshin A.S., Stolyarova Z.V., Lesovik R.V., Makhova P.A.**  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
\*E-mail: [as\\_troshin@inbox.ru](mailto:as_troshin@inbox.ru)

## ANALYSIS OF RISKS OF INVESTMENT ACTIVITIES AT VARIOUS STAGES OF THE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTION PROJECTS

**Abstract.** The article presents a study of the stages of the life cycle of construction facilities from the perspective of the efficiency of investment activities. The construction industry remains the most important area of the national economy in any country. Now, due to the unprecedented sanctions pressure, it is going through difficult times. The existing restrictions are a serious challenge for all participants. It is a well-known fact that investment projects in the field of construction are characterized by increased complexity and have a high level of risk. That is why it is necessary to adapt the theoretical foundations of the risk management system to the stages of the life cycle of construction facilities and identify ways to improve its efficiency. The paper analyzes the key stages of the construction process from the perspective of identifying possible risks and finding ways to reduce their negative consequences. Particular emphasis is made on the territorial aspect and the specifics of investment and construction activities in border regions, the status of which implies increased attention to improving the quality of risk management. The number of types of risk and the variability of their

*manifestations are steadily growing, and this process is irreversible and objectively existing. First, this is due to the uncertainty of the political and social environment. As a result, in addition to traditional risks, situations related to military operations and terrorist attacks, which in most cases are not included in the standard insurance package, are added. At the same time, this does not make the task of minimizing them impossible for all those interested in the growth and prosperity of the construction industry, which is the foundation for the socio-economic development of the country.*

**Keywords:** investment and construction project, life cycle of construction facilities, risk management system, risk insurance system, investment efficiency, payback period, propensity to risk.

## REFERENCES

1. Stolyarova Z.V., Troshin A.S., Lesovik R.V., Lesovik G.A. Assessing the effectiveness of investments at various stages of the life cycle of construction projects [Ocenka effektivnosti investitsij na razlichnyh etapah zhiznennogo cikla stroitel'nyh ob'ektov]. Bulletin of Eurasian Science. 2023. Vol. 15. No. 3. URL: <https://esj.today/PDF/80SAVN323.pdf> (access date: 04/17/2024). (rus)
2. Allahverdyan A.E., Komkova A.V. Some aspects of risk management of investment and construction complex enterprises [Nekotorye aspekty menedzhment-riska predpriyatij investicionno-stroitel'nogo kompleksa]. Modern science-intensive technologies. 2013. No. 10 (part 1). Pp. 53–54. (rus)
3. Troshin, A. S. Kupriyanov S. V., Sandu I. S. Investment and Innovative Component of Strategic Development of the Region (on the Example of the Belgorod Region). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272. 032236. DOI 10.1088/1755-1315/272/3/032236.
4. Guseva I.B., Dalekin P.I., Kalenova O.V. Portfolio analysis of R&D risks at defense industry enterprises [Portfel'nyj analiz riskov NIOKR predpriyatij OPK]. Innovations in management. 2016. No. 9. Pp. 18–21. (rus)
5. Troshin A.S., Stolyarova Z.V., Lesovik R.V. Life cycle of high-tech products in the field of industrial and civil construction [ZHiznennyj cikl naukoemkoj produkcii v sfere promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva]. Bulletin of Eurasian Science. 2023. Vol. 15. No. 3. URL: <https://esj.today/PDF/70SAVN323.pdf> (access date: 04/22/2024). (rus)
6. Zainulin E. Steel does not bend under sanctions [Stal' ne gnetsya pod sankciyami], 2023 [Electronic resource]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5797809> (access date: 04/19/2024) (rus)
7. Bashkatova A. The collapse in the production of building materials overshadowed construction records [Obval proizvodstva strojmaterialov ottenil stroitel'nye rekordy], 2023 URL: [https://www.ng.ru/economics/2023-02-02/1\\_8651\\_stagnation.html](https://www.ng.ru/economics/2023-02-02/1_8651_stagnation.html) (access date: 04/19/2024) (rus)
8. Smirnov G. The mayor of Belgorod reported damage to more than 900 apartments and private houses [Mer Belgoroda soobshchil o povrezhdenii bolee 900 kvartir i chastnyh domov], 2024 [Electronic resource] URL: <https://amp.rbc.ru/rbcnews/politics/20/03/2024/65fb10ac9a7947b9e4209ead> (access date: 04/19/2024) (rus)
9. Mertsalova A., Aminov Kh. Developers hid in a pit [Developery spryatilis' v kotlovane], 202/3 URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5842368> (access date: 04/19/2024) (rus)
10. Rybakov O.Yu. New technological structure: challenges and risks [Novyj tekhnologicheskij ukklad: vyzovy i riski]. In the collection: Russian legal system in the conditions of the fourth industrial revolution. Materials of the VI Moscow Legal Forum of the XVI International Scientific and Practical Conference. In 3 parts. 2019. Pp. 316–320. (rus)
11. Kurilova A.A. Risk-oriented financial mechanism of cost management and the theory of active systems [Risk-orientirovannyj finansovyj mekhanizm upravleniya zatratami i teoriya aktivnyh sistem]. Vector of science of Tolyatti State University. Series: Economics and management. 2013. No. 1 (12). Pp. 85–88. (rus)
12. Kaznacheeva E.V. Management under conditions of uncertainty [Upravlenie v usloviyah neopredelennosti] M.: HSE, 2014. 148 p. (rus)
13. Kuzina S.V., Kuzin P.K. Risk management of an innovative project under conditions of uncertainty [Upravlenie riskami innovacionnogo proekta v usloviyah neopredelennosti] Tver: Tver State. univ., 2013. 71 p. (rus)
14. Ruchiev A.G., Ivakin Ya.A. Analysis of monitoring tools for the implementation of product life cycle stages [Analiz sredstv monitoringa realizacii etapov zhiznennogo cikla produkcii] // in collection. materials II int. scientific-practical conference "Education. Business. The science. Culture." (Dimitrovgrad, 2019). Krasnoyarsk: Scientific and Innovation Center, 2019. P. 201–204. (rus)
15. Rukina I.M., Filatov V.V. Technological development centers: as a tool for promoting innovative development of the Russian economy [Centry tekhnologicheskogo razvitiya: kak instrument sodejstvija innovacionnomu razvitiyu rossijskoj

ekonomiki]. Scientific journal of NRU ITMO. Series: Economics and environmental management. 2014. No. 1. 85. (rus)

16. Dimitriev A.M., Reshetko K.M. Modern trends and reasons for the insolvency of developers [Sovremennye tendencii i prichiny nesostoyatel'nosti zastrojshchikov]. Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2020. No. 5-2. Pp. 285–294. (rus)

17. Andreev I.P. Taking into account design risks during the examination of innovative projects and audit recommendations. Magazine "Energoaudit". URL: [www.j-e-a.ru](http://www.j-e-a.ru) (access date: 04/19/2023)

18. Anpilov S.M., Sorochaikin A.N. On the development strategy of the construction industry of the Russian Federation (part II) [O strategii razvitiya

stroitel'noj otrasli RF]. Expert: theory and practice. 2019. No. 2(2). Pp. 12–15. (rus)

19. Yusubova O.R., Bavina E.V. High-tech materials in construction [Vysokotekhnologichnye materialy v stroitel'stve]. Young scientist. 2017. No. 2(136). Pp. 70–73. URL: <https://moluch.ru/archive/136/38229/> (date of access: 04/19/2024). (rus)

20. Tretyak V.V., Nikitina I.A. Risk situations: conditions of occurrence, features and main elements [Riskovye situacii: usloviya voznikoveniya, osobennosti i osnovnye elementy]. Scientific notes of the International Banking Institute. 2021. No. 4 (38). Pp. 114–123. (rus)

21. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1303488290> (date of access: 04/23/2024).

#### *Information about the authors*

**Troshin, Alexandr S.** DSc, Professor. E-mail: [as\\_troshin@inbox.ru](mailto:as_troshin@inbox.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Stolyarova, Zlata V.** Ph.D., Assistant professor. E-mail: [zlast@mail.ru](mailto:zlast@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Lesovik, Ruslan V.** DSc, Professor. E-mail: [ruslan\\_lesovik@mail.ru](mailto:ruslan_lesovik@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Makhova, Polina A.** Bachelor student. E-mail: [makhovskaya109@gmail.com](mailto:makhovskaya109@gmail.com). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 03.05.2024*

#### **Для цитирования:**

Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В., Махова П.А. Анализ рисков инвестиционной деятельности на различных этапах жизненного цикла строительных объектов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-32-40

#### **For citation:**

Troshin A.S., Stolyarova Z.V., Lesovik R.V., Makhova P.A. Analysis of risks of investment activities at various stages of the life cycle of construction projects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 32–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-32-40

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-41-51

**Чжан Фужуй**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: 1449915005@qq.com

## ПРИНЦИПЫ АРХИТЕКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ФЕРМЕРСКИХ РЫНКОВ

**Аннотация.** Объектом исследования являются современные фермерские рынки. Важно отметить, что в связи с изменением социальных, экономических условий, архитектурная организация, а именно архитектурно-художественный образ, объемно-пространственные и функционально-планировочные решения, современных рыночных комплексов претерпела большие изменения. Развитие современных рынков характеризуется разнообразием архитектурных решений и сильно отличается от традиционных. В связи с этим определение принципов архитектурной организации современных фермерских рынков имеет большое значение сейчас и в будущем.

Целью исследования является определение основных принципов архитектурной организации современных фермерских рынков. Для достижения поставленной цели был проведен анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства современных фермерских рынков.

В исследовании использовались методы изучения литературно-публицистических источников и статистических данных (Интернет-источников в т.ч.) раскрывающих вопросы развития архитектуры ФР; изучения проектно-графических и фотографических материалов, характеризующих отечественную и зарубежную практику проектирования и строительства ФР.

В результате исследования выявлены следующие принципы формирования архитектуры современных фермерских рынков: принцип универсальности, принцип устойчивости, принцип гастрономии, принцип открытости и принцип идентичности. Эти принципы показывают, что современные фермерские рынки играют важную роль в устойчивом развитии городов, стимулировании жизнеспособности общественных пространств.

**Ключевые слова:** фермерский рынок, принципы архитектурной организации, многофункциональность, устойчивость, гастрономический принцип, открытость, идентичность.

**Введение.** Современные фермерские рынки (далее ФР) являются важными ориентирами, коммуникационными узлами и общественными пространствами в городской структуре, а также местом проявления идентичности, культуры и традиций местного населения [1].

Важно отметить, что концепция потребления современного покупателя не ограничивается просто «шопингом», а такие цели как общение, участие в мероприятиях, проникновение в местную культуру и «дух места» становятся все более важными и ценными [2, 3].

ФР, как и торговый центр является коммуникативной системой, в которой концентрируется большое разнообразие социальных групп, культур и национальностей [4]. Однако торговые центры в городах перенасыщены, и рыночные комплексы становятся альтернативным решением [5, 6]. Вдохновленные торговыми центрами, новые ФР все чаще включают в себя рестораны и фудкорты, а некоторые рынки также предлагают живое приготовление пищи и дегустацию. Специфика архитектурно-планировочных решений современных ФР заключается в возможности проведения мероприятий культурно-просветительских, учебно-образовательных мероприятий.

Современные фермерские рынки становятся общинно-культурными центрами в городских районах [7].

Таким образом, архитектурная организация современных ФР претерпела большие изменения. Развитие современных ФР характеризуется разнообразием архитектурных решений и сильно отличается от традиционных ФР. В связи с этим определение принципов архитектурной организации современных ФР имеет большое значение сейчас и в будущем.

**Методы, оборудование, материалы.** Методы исследования: изучение научных, литературно-публицистических источников и статистических данных (Интернет-источников в т.ч.) раскрывающих вопросы развития архитектуры ФР; изучение проектно-графических и фотографических материалов, характеризующих отечественную и зарубежную практику проектирования и строительства ФР.

Научной базой исследования являются: труды А.О. Георгиевской, А.М. Зайнулиной, раскрывающие проблемы развития типологии современных рынков; исследования Чуй Я.В., Чжан Лиси, в которых рассмотрены градостроительные аспекты размещения ФР в структуре города; работы А.Л. Гельфонд, А.И. Урбаха, Л.М.

Шмелевой, Чжан Юньфэн, Цяо Юй, Valenti Alvarez Planas, Neil Tomlinson раскрывающие основные вопросы, специфику проектирования и строительства рынков; труды Г.Н. Айдаровой, Ю.В. Петрусенко, Прокофьевой И.А. освещающие историю развития архитектуры общественно-торговых сооружений. Исследования Бектемирова С.И., Смоленской Е.О., S. Caramaschi раскрывающие взаимосвязь между ФР, экологическим сельским хозяйством и устойчивым развитием городов.

Однако, стоит отметить, что в настоящее время малоизученным остаются такие аспекты, как типология и принципы архитектурной организации фермерских рынков.

Цель исследования состоит в определении принципов архитектурной организации современных ФР.

Задачей исследования является проведение анализа опыта проектирования и строительства, раскрывающего архитектурно-планировочные и пространственные организации современных ФР.

Объектом изучения являются современные ФР.

**Основная часть.** На основе обобщения анализа опыта проектирования отечественных и зарубежных современных ФР [2, 8] выявлены принципы архитектурной организации современных ФР: принцип многофункциональности, принцип устойчивости, принцип открытости, принцип гастрономии и принцип идентичности.

**Принцип многофункциональности** стал основным принципом архитектурной организации современных ФР. Основными целями этого принципа являются: обеспечение адаптации архитектурно-планировочной организации ФР к современному городскому развитию и различным потребностям посетителей. Это повысит привлекательность рыночных комплексов и сделает возможным интегрирование общественных мероприятий в рыночное пространство [9].

Эволюция общественных пространств на ФР в XXI веке происходит на основе расширения их

функционального насыщения и вариативности функционального взаимодействия [10]. Существует два основных способа достижения многофункциональности на ФР: сочетание с торговой функцией другими функциями и функциональная трансформируемость.

Сочетание с другими функциями - это расширение и дополнение современных ФР к их собственным функциям. Согласно отечественному и зарубежному опыту проектирования, наиболее распространенной мерой является добавление на рынок супермаркета и сервисных функций (парикмахерская, прачечная, ремонтная мастерская и т.д.). Стоит отметить, что во многих зарубежных опытах проектирования рынок сочетается с функциями общественного назначения (библиотеки, стадионы, многофункциональные залы и т.д.). Такое сочетание превращает ФР в крупномасштабный комплекс. В такого рода рыночных комплексах обычно используется комбинированное объемно-пространственное планировочное решение, атриум, внутренний двор или галерея формирующие коммуникационные пространства для достижения эффективной связи между различными функциями.

Например, новый рыночный зал Уйпешт и пространство для проведения мероприятий UP (Мадрид, Испания) (рис. 1). Рынок, ратуша и церковь являются наиболее важными частями этого района. Новый рынок представляет собой комплекс с торговыми зонами, расположенными на первом и втором этажах и соединенными эскалаторами и атриумом. Зона погрузки и разгрузки, складское помещение и автостоянка расположены под торговым залом и соединены лифтом. На третьем этаже рынка также есть кофейня и многофункциональный зал, а также общественная терраса с южной стороны кофейни. На четвертом этаже еще есть два небольших многофункциональных зала и административные помещения. Архитектурно-планировочное решение этого рынка представляет собой новую модель архитектуры рыночного комплекса.



Рис. 1. Новый рыночный зал Уйпешт и пространство для проведения мероприятий UP (арх: Firka Architectural Studio, Будапешт, Венгрия, 2018 год) <https://architizer.com/projects/ujpest-new-market-hall-and-up-event-space-budapest-hu/>

Трансформируемость функций является эффективной мерой для решения проблем нехватки земельных ресурсов и недостаточного городского общественного пространства в современных крупных городах. Трансформация ФР заключается в максимальном использовании пространства для проведения различных общественных мероприятий. Согласно зарубежному и отечественному опыту, многие ФР имеют гибкую архитектурно-планировочную организацию. В таких комплексах по окончании торговли, зал рынка становится пространством для проведения других общественных мероприятий.

Стоит отметить, что в зарубежном опыте распространенным приемом является наличие



Рис. 2. Торрент-маркет и Гражданский центр (арх: Vázquez Consuegra, Мадрид, Испания, 2015 год)  
[https://www.archdaily.com/638376/barcelo-market-library-and-sports-hall-nieto-sobejano-arquitectos?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/638376/barcelo-market-library-and-sports-hall-nieto-sobejano-arquitectos?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

**Принцип устойчивости.** В последние годы в мире уделяют все больше внимания энергосбережению и сохранению природных ресурсов, и формированию экологически чистых пространств, экология стала главной темой городского развития в XXI веке [11]. Под влиянием развития современной “экологической архитектуры” использование экологических элементов и экологических технологий при строительстве фермерских рынков становится все более широким. Целью принципа устойчивости ФР является улучшение качества городской среды, создание комфортного пространства, снижение энергопотребления здания; улучшение климатических условий.

В настоящее время можно отметить три основных подхода к достижению устойчивой архитектуры ФР: агроэкология, зеленое пространство и экотехнологии.

Одним из перспективных направлений в развитии сельского хозяйства является агроэкология, главной целью которой является создание максимально полезного и безопасного продукта при сохранении природы [12]. В архитектурно-планировочные решения современных фермерских рынков внедряются системы агроэкологии. Люди могут узнать об органическом сельском

многофункционального зала, который обычно располагается над торговым залом и трансформируется в соответствии с различными общественными мероприятиями (выставки, конференции, спектакли и т.д.)

В качестве примера трансформации можно отметить Торрент-маркет и Гражданский центр в Испании (рис. 2). На первом этаже комплекса расположен торговый зал, на втором - розничные магазины, рестораны и кафе, а на третьем этаже - многофункциональный зал, который используется для проведения общественных мероприятий и торжеств. Главные помещения комплекса соединены многосветным атриумом.

хозяйстве на этом организованном фермерском рынке и непосредственно выбрать и купить свои любимые сельскохозяйственные продукты. Появляется новый способ покупки свежих сельскохозяйственных продуктов. Сочетание экологического земледелия на фермерских рынках требует создания крыши или теплицы, где можно выращивать сельскохозяйственные культуры.

Подобный прием не является распространенным в отечественном и зарубежном опыте проектирования. Интересным примером является Чедрауи Санта-Фе (рис. 3). Рынок расположен на окраине Мехико, в районе, где не хватает открытых пространств и парков. Здание предлагает уникальное архитектурно-планировочное решение и обеспечивает зеленую зону для сообщества. В дополнение к традиционной розничной торговле и парковке, функции здания включают экологическую ферму площадью 1725 квадратных метров и еженедельный фермерский рынок площадью 1230 квадратных метров на крыше, и они соединены несколькими дорожками. Клиенты могут прийти сюда, чтобы узнать об органическом сельском хозяйстве и купить свежие овощи и фрукты. Этот опыт пробуждает у людей уважение к еде и позволяет людям узнать, как еда попадает с фермы на наш стол.



Рис. 3. Чедрауи Санта-Фе (арх: Rojkind Arquitectos, Мексика, Мехико, 2013 год)  
<https://www.archdaily.com/432080/chedraui-santa-fe-rojkind-arquitectos>

Образы природы присутствовали в деятельности зодчих с древнейших времен, однако в наши дни использование природных форм получает широкий экологический смысл [13]. Внедрение приемов устойчивой архитектуры оказывает влияние на объемно-планировочные решения ФР и заключается в озеленении таких пространств, как атриум, внутренний двор, крыша и терраса. Создание «зеленых пространств» на фермерских рынках является эффективной мерой по улучшению городской пространственной среды и климатических условий.

Например, Рынок Марли-ле-Руа (рис. 4). Крыша рынка покрыта зелеными растениями, что обеспечивает хорошее визуальное восприятие, а также улучшает тепловой комфорт и управление дождевой водой. Кроме того, в парках и на автостоянках вокруг рынка также было посажено большое количество деревьев, которые интегрировали рынок с окружающей средой и обеспечили озеленение и устойчивое развитие городской среды.



Рис. 4. Рынок Марли-ле-Руа (арх. Ameller, Dubois & Associés, 2014г., Марли-Лу-Руа, Франция)  
[https://www.archdaily.com/594489/marly-le-roi-market-ameller-dubois-and-associés?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/594489/marly-le-roi-market-ameller-dubois-and-associés?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

Применение экологических технологий влияет на конструктивно-технические решения фермерских рынков, что заключается в использовании местных и природных материалов, сборе дождевой воды, использовании солнечных панелей. Обычной практикой является установка солнечных панелей и систем сбора дождевой воды на крышах фермерских рынков. Крыши с системами сбора дождевой воды обычно имеют воронкообразную конструкцию.

Например, рынок Лиан Йи в Куньмине, на крыше которого установлены солнечные панели и системы для сбора и утилизации дождевой воды (рис. 5).

**Гастрономический принцип.** Развитие гастропространства на ФР имеет большое социальное и культурное значение. Основная

цель гастрономического принципа ФР: использование гастрономических мероприятий и гастропространство для повышения привлекательности и интерактивности фермерских рынков [14].

Этот принцип главным образом учитывает возможность организации гастрономических пространств на фермерских рынках. В отечественном и зарубежном опыте проектирования новейшим подходом является создание на фермерских рынках кулинарных студий, общественных кухонь и фуд-кортков.

Кулинарная студия – это полифункциональное пространство, в котором возможна реализация различной деятельности: приготовление пищи, презентационное мероприятие, мастер-классы [15].



Рис. 5. Рынок Лиан Йи (арх: Da! Architects, Куньмин, Китай, 2019 год)  
<https://www.goood.cn/o-market-water-droplets-fall-into-peaceful-water-china-by-da-architects.htm>

Например, Долгоозерный рынок в Санкт-Петербурге (рис. 6). Рынок состоит из трех этажей, первый этаж - автостоянка, второй этаж – торговый зал, а третий этаж - другие магазины розничной торговли и бытового обслуживания. Рынок соединяет различные функции через атриум и эскалаторы. Стоит отметить, что на

третьем этаже маркета также расположена кулинарная студия, где семьи и дети могут научиться готовить и выпекать. Такое пространство на рынке предоставляет жителям города больше возможностей для участия в общественной жизни.



Рис. 6. Долгоозерный рынок (Санкт-Петербург, Россия) (Снято автором)

В последние годы “общая кухня” появилась в архитектурно-планировочных решениях китайских фермерских рынков и стала важной особенностью китайских фермерских рынков. Такое гастропространство позволяет людям готовить самостоятельно после покупки ингредиентов.

Например, на рынке Янпу в Шанхае в западной части рынка есть “общая кухня” площадью 50 квадратных метров. Люди могут готовить лично, купив ингредиенты. Кроме того, здесь также можно проводить небольшие собрания (рис. 7).



Рис. 7. Рынок Янпу (Архитектор: Yushe Design, Шанхай, Китай, 2023 год)  
<http://www.archcollege.com/archcollege/2023/8/52697.html>

Фуд-корты и фуд-холлы становятся все более распространенными на фермерских рынках, и такие фуд-пространства сформировали стандартное функционально-планировочное решение, то есть состоят из ресторанов быстрого питания и обеденных зон. Если фуд-корт на фермерском рынке находится на том же этаже, что и торговый зал, необходимо рассмотреть возможность создания отдельных зон для фуд-корта, чтобы избежать взаимного вмешательства; если они находятся на разных этажах, необходимо

рассмотреть возможность использования атриума, эскалаторов или лифтов для установления связи между ними.

Например: продовольственный рынок в Бангкоке, Таиланд, который разделен на торговую зону и фуд-корт в торговом зале. Фуд-корт расположен на северо-западной стороне торгового зала и занимает четверть торгового зала. Фуд-корт позволяет покупателям отведать блюда местной кухни во время шоппинга (рис.8).



Рис. 8. Продовольственный рынок в Бангкоке (Аpx: I Like Design Studio, 2013 год, Бангкок, Таиланд)  
[https://www.archdaily.com/771779/food-villa-market-i-like-design-studio?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/771779/food-villa-market-i-like-design-studio?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

Эти гастрономические пространства должны иметь самостоятельные зоны на фермерском рынке и использовать переходные пространства (фойе, коридоры, атриумы) для отделения их от торгового зала, чтобы они могли быть максимально связаны, дополняя друг друга.

**Принцип открытости.** Традиционная парадигма фермерского рынка «открытая структура, свободное большое пространство, естественное освещение и тонкий навес или крыша» оказывает большое влияние на архитектурную организацию современных фермерских рынков [16]. Основными целями принципа открытости современных фермерских рынков являются: обеспечить возможность свободной организации пространства фермерского рынка и взаимодействие внутренней среды и внешней среды.

Этот принцип требует, чтобы при проектировании фермерских рынков учитывалась организация открытых пространств. В настоящее время меры по обеспечению открытости фермерского рынка включают в себя атриум, площадь и внутренний двор.

Атриум стал важным коммуникационным пространством на многих фермерских рынках. Атриум не только соединяет различные функции, но и позволяет внутреннему пространству здания сообщаться с внешним пространством.

Площадь всегда была важной частью фермерского рынка, и в то же время площадь также является продолжением рыночной функции, создавая неформальное торговое место.

Пространство внутреннего двора создает хорошую внутреннюю среду для фермерского рынка и способствует регулированию климата.

Принцип открытости характерен для отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства ФР.

В качестве примера можно отметить Балтийский рынок в Таллине (рис. 9), Крыша рынка поддерживается огромной деревянной конструкцией в форме дерева, образующей открытое и закрытое рыночное пространство под карнизом. На северо-западной и юго-восточной сторонах рынка есть площадь (утренняя площадь и вечерняя площадь), и площадь образует рынок под открытым небом. Площади соединены пандусами и террасами, вдоль которых расположены уютные зоны отдыха, кафе и рестораны. За открытыми торговыми местами расположены деревянные киоски, предназначенные для небольших предприятий питания и розничной торговли, таких как пекарни, кондитерские, магазины специй [17].

В китайском опыте проектирования примечательным примером является рынок Юэцзе в Пекине (рис. 10). В центральной части рынка расположена открытая подземная площадь. Над площадью установлены четыре огромных прозрачных «зонтика», которые не только служат укрытием, но и обеспечивают пространство для торговли, отдыха и общения.

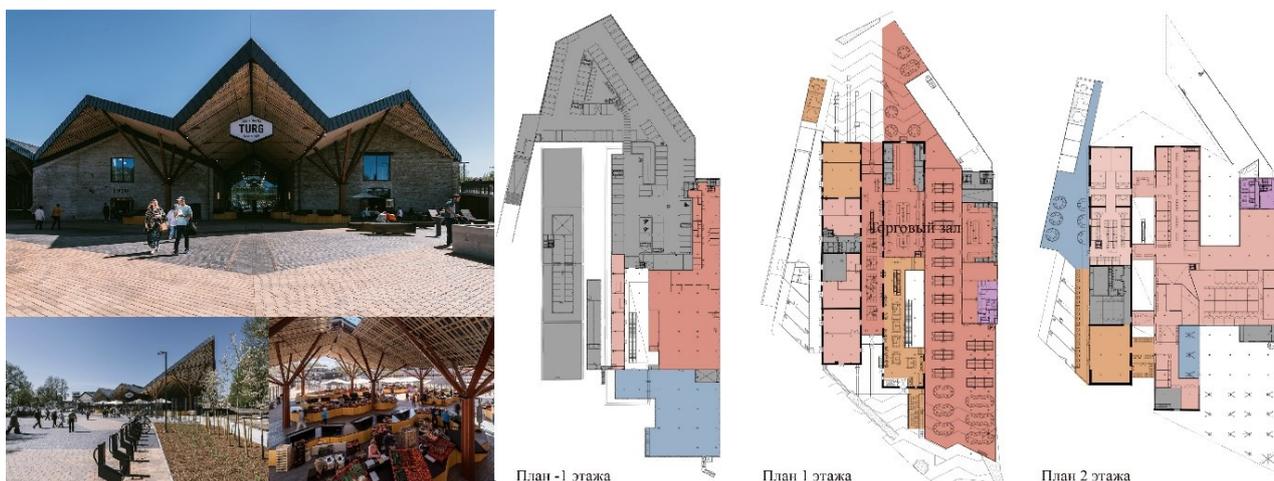


Рис. 9. Балтийский рынок в Таллине (Арх: КОКО architects; 2017 год; Таллинн, Эстония).  
[https://www.archdaily.com/881525/baltic-station-market-koko-architects?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/881525/baltic-station-market-koko-architects?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

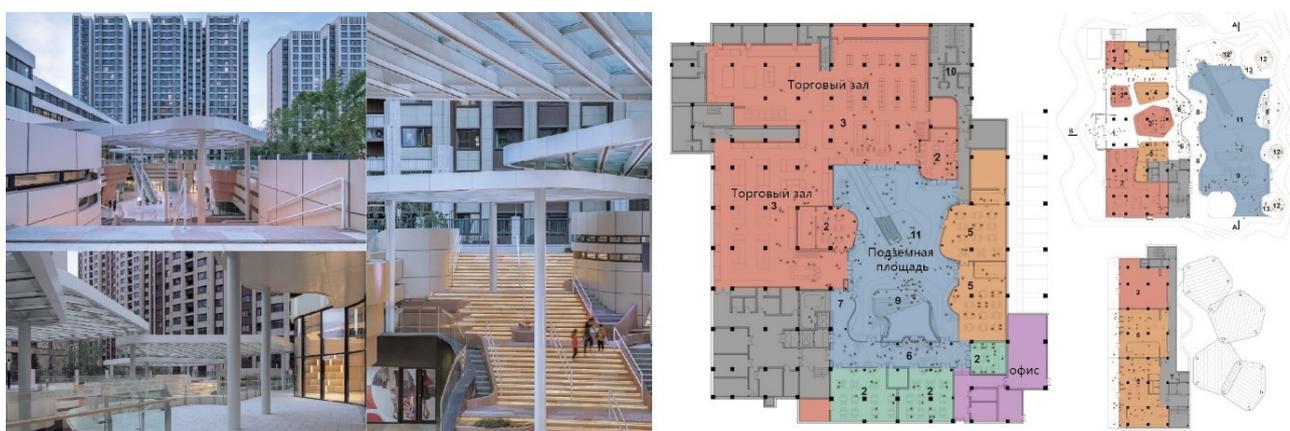


Рис. 10. Рынок Юэцзе (Арх: MAT; 2020 год; Пекин, Китай).  
[https://www.archdaily.cn/cn/978053/jing-xi-xiang-yun-yue-jie-mat-chao-ji-jian-zhu-shi-wu-suo?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.cn/cn/978053/jing-xi-xiang-yun-yue-jie-mat-chao-ji-jian-zhu-shi-wu-suo?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

**Принцип идентичности.** Хотя глобализация способствует мировому обмену, она также приводит к созданию универсальных и воспроизводимых произведений, что делает особенно важными городские пространства, сохраняющие характеристики идентичности [18, 19]. Основной целью принципа идентичности ФР является: унаследовать традиционные архитектурные элементы и пробудить коллективную память людей о социальных обычаях и традиционной культуре. Важно отметить, что рынок является важным символом идентичности города. Он не только снабжает город необходимым продовольствием, но и создает местный колорит исторической части города [20].

Идентичность – это потребность человека к комфортной среде, отвечающей его современным запросам и историческому прошлому. Выражение архитектурной индивидуальности требует учета различных технологий и методов, в то же время, соответствующих своей эпохе, не имитируют традиционную архитектуру [21].

Характеристики идентичности фермерского рынка отражают построение его архитектурного образа и внутренней среды. Распространенный подход заключается в применении традиционных архитектурных элементов к художественному образу фермерского рынка. Другой подход заключается в использовании некоторых культурных символов, элементов жизни и сцен из прошлого. Во внутреннем убранстве фермерского рынка внутренняя среда формирует культурную атмосферу. Такие фермерские рынки являются «музеями» прошлой социальной культуры и жизни.

Например: Рынок Ситанг (рис. 11), на рынке используются традиционные архитектурные элементы: белые стены, серую черепицу и скатные крыши, а также использует современные конструктивные методы для реорганизации этих элементов, чтобы здание наследовало традиции, не теряя при этом современности.



Рис. 11. Рынок Ситанг (Арх: Scenic Architecture Office; 2021 год; Цзяшань, провинция Чжэцзян, Китай.).  
[https://www.archdaily.com/972665/art-museum-on-market-scenic-architecture-office?ad\\_source=myad\\_bookmarks&ad\\_medium=bookmark-open](https://www.archdaily.com/972665/art-museum-on-market-scenic-architecture-office?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open)

Рынок Шуанта в Сучжоу, Рынок использует некоторые традиционные китайские символы и архитектурные элементы для оформления своего внутреннего пространства. На рынке также установлена сцена традиционной китайской драмы, а в торговом пространстве выставлены некоторые предметы прошлого производства и быта, образуя “музей” традиционной культуры и прошлой жизни (рис. 12).



Рис. 12. Рынок Шуанта (Арх: interior architecture studio; 2019 год; Сучжоу, Китай)  
<https://m.onewedesign.com/caishichangsheji.html/58-2479.html>

### Выводы

На основе анализа опыта проектирования отечественных и зарубежных фермерских рынков определены основные характеристики архитектурной организации современных фермерских рынков.

-Принцип многофункциональности: основной принцип архитектурной организации фермерских рынков, возможность многофункциональности должна быть учтена в архитектурном проекте.

-Принцип открытости: открытый дизайн фермерского рынка - это реакция на застроенную среду и особенность, которой должен обладать сам фермерский рынок.

-Принцип устойчивости: Устойчивость является темой архитектурного развития в 21 веке. Фермерские рынки естественно совместимы с такими понятиями, как «экология» и «сельское хозяйство». Устойчивая организация на фермерских рынках является важной тенденцией в его развитии.

-Принципы гастрономии: гастропространство делает фермерские рынки все более популярными. При проектировании фермерских рынков необходимо учитывать решения по организации гастропространства.

-Принцип идентичности: традиционные архитектурные формы, материалы и пространственные формы являются эффективным средством формирования идентичности фермерских рынков. Кроме того, следует также рассмотреть возможность организации местной традиционной культуры и обычаев сообщества.

Строительство и развитие современных фермерских рынков характеризуются разнообразием и сложностью, и при строительстве фермерских рынков необходимо учитывать один или несколько принципов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК

1. Георгиевская А.О. Современные тенденции организации рыночных пространств в струк-

туре города // В книге: Студенческая наука исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. Тезисы докладов 33-й межвузовской студенческой научно-технической конференции по итогам научно-исследовательской работы студентов в 2013 году. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2014. С. 135–136.

2. Фужуй Ч., Ивина М.С. Тенденции развития современных фермерских рынков // Системные технологии 2023. № 2 (47). С. 222–232. DOI: 10.55287/22275398\_2023\_2\_222

3. Москалев М.В. Особенности и тенденции формирования покупательского спроса и предложения на продовольственных рынках // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 164–169.

4. Витяев С.М., Родионова А.А. Торговый центр как реализация концепта идеального города // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2018. № 2 (82). С. 142–150.

5. Баграмян В.А. Многофункциональные здания и комплексы. Ульяновск: УлГТУ, 2019. 93 с.

6. Зайнуллина А.М. Типология современных архитектурных решений рынков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (42). С. 95–101.

7. Томлинсон Н., Планас В.А. Планирование и проектирование современных рынков. Гуйлинь: Издательство Гуанси Нормал Университи Пресс. 2018. 270 с.

8. Фужуй Ч., Ивина М.С. Сводная классификация современных фермерских рынков (отечественный и зарубежный опыт) // Инновации и инвестиции. 2023. № 12. С. 405–408.

9. Юньфэн Ч., Юй Ц., Хао Ю. Исследование текущей модели овощного рынка, основанной на адаптивной трансформации // Городское и сельское планирование и проектирование. 2021. №18 (400). С. 18–21. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2021.23.04.

10. Красильникова Э.Э., Мякишева Е.В. Основные тенденции реновации современных продовольственных рынков // Вопросы устойчивого развития общества. 2021. № 7. С. 305–313.

11. Бектемирова С.И. Экологический подход в архитектуре // Инновационная наука. 2022. № 6-1. С. 128–131.

12. Веселова А.С., Счисляева Е.Р. Структура рынка экологически чистых продовольственных продуктов // Труды СПбГТУ. 2010. № 512. С. 169–179.

13. Смоленская Е.О. Архипространства в системе современного урбанизированного города // Вестник СГАУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 16–20.

14. Фужуй Ч., Ивина М.С. Типы гастрономических пространств на современных фермерских рынках // В сборнике: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство. Сборник статей 80-ой юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой. Самара, 2023. С. 1163–1170.

15. Бурова Т.Ю. Архитектурно-пространственная организация кулинарных студий: тенденции, способы, приемы // Известия КГАСУ. 2020. №3(53). С. 108–118.

16. Типология фермерского рынка – эволюция и обновление [Электронный ресурс]. URL: <https://mp.weixin.qq.com/s/uCk0QFvuOONGgnYCtQqRxxg> (дата обращения: 31.12.2023).

17. Гельфонд А.Л. Открытое и закрытое пространство балтийского рынка в Таллине // В сборнике: Архитектура. Сборник научных трудов. Минск, 2023. С. 97–101.

18. Георгиевская А.О. Проблемы идентичности региональных продуктовых рынков // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10. № 1 (38). С. 140–147. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.18

19. Георгиевская А.О., Шестаков А.А. Рынок как гетеротопия // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Философия. 2020. № 2 (52). С. 48–59.

20. Петрусенко Ю.В. Сравнительный анализ старейших крытых рынков в Ростове-на-Дону // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 8. С. 72–85. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-72-85

21. Садриева А.Р., Ахтямова Р.Х. Проявление идентичности в современной архитектуре Китая // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (34). С. 65–71.

*Информация об авторах*

**Чжан Фужуй**, аспирант кафедры архитектурного проектирования. E-mail: 1449915005@qq.com Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

*Поступила 16.02.2024 г.*

© Чжан Фужуй, 2024

**Zhang Furui**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: 1449915005@qq.com

**PRINCIPLES OF ARCHITECTURAL DESIGN OF MODERN FARMERS' MARKETS**

**Abstract.** *The object of the study is modern farmers' markets. It is important to note that due to changes in social and economic conditions, the architectural organization, namely the architectural and artistic image, spatial and functional planning solutions, of modern market complexes has undergone major changes. The development of modern markets is characterized by a variety of architectural solutions and differs greatly from traditional ones. In this regard, the definition of the principles of the architectural organization of modern farmers' markets is of great importance now and in the future. The purpose of the study is to determine the basic principles of the architectural organization of modern farmers' markets. To achieve this goal, an analysis of domestic and foreign experience in the design and construction of modern farmers' markets was carried out. Research methods: the study of scientific, literary and journalistic sources and statistical data (including Internet sources) revealing the issues of the development of the architecture of the farmers' market; the study of design, graphic and photographic materials characterizing the domestic and foreign practice of design and construction of the farmers' market. As a result of the research, the following principles of forming the architecture of modern farmers' markets have been identified: the principle of universality, the principle of sustainability, the principle of gastronomy, the principle of openness and the principle of identity. These principles show that modern farmers' markets play an important role in the sustainable development of cities, stimulating the viability of public spaces.*

**Keywords:** *farmer's market, principles of architectural organization, versatility, sustainability, gastronomic principle, openness, identity.*

**REFERENCES**

1. Georgievskaya A.O. Modern trends in the organization of market spaces in the structure of the city [Sovremennye tendencii organizacii rynochnyh prostranstv v strukture goroda]. In the book: Student science research in the field of architecture, construction and environmental protection. Abstracts of reports of the 33rd interuniversity student scientific and technical conference on the results of students' research work in 2013. Samara State University of Architecture(rus)re and Civil Engineering. 2014. Pp. 135-136.
2. Furui Z., Ivina M.S. Trends in the development of modern farmers' markets [Tendencii razvitiya sovremennyh fermerskih rynkov]. System Technologies 2023. Vol. 2 (47). Pp. 222–232. DOI: 10.55287/22275398\_2023\_2\_222. (rus)
3. Moskalev M.V. Features and trends in the formation of consumer demand and supply in food markets [Osobennosti i tendencii formirovaniya pokupatel'skogo sprosa i predlozheniya na prodovol'stvennyh rynkah]. News of the St. Petersburg State Agrarian University. 2016. Vol. 43. Pp. 164–169. (rus)
4. Vityaev S.M., Rodionova A.A. Shopping center as the realization of the concept of an ideal city [Torgovyj centr kak realizaciya koncepta ideal'nogo goroda]. Bulletin of the Moscow State University of Culture and Arts. 2018. Vol. 2 (82). Pp. 142–150. (rus)
5. Bagramyan V.A. Multifunctional buildings and complexes [Mnogofunkcional'nye zdaniya i komplekсы]. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2019. 93 p. (rus)
6. Zainullina A.M. Typology of modern architectural solutions of markets [Tipologiya sovremennyh arhitekturnyh reshenij rynkov]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. Vol. 4 (42). Pp. 95–101. (rus)
7. Tomlinson N., Planas V.A. Planning and designing modern markets [Planirovanie i proektirovanie sovremennyh rynkov]. Guilin: Guangxi Normal University Press. 2018. 270 p. (rus)
8. Zhang Fuzhui, Ivina M.S. Summary classification of modern farmers' markets (domestic and foreign experience) [Svodnaya klassifikaciya sovremennyh fermerskih rynkov (otechestvennyj i zarubezhnyj opyt)]. Innovation and investment. 2023. Vol. 12. Pp. 405–408. (rus)
9. Yunfeng Z., Yu Q., Hao Y. Study of the current vegetable market model based on adaptive transformation [Issledovanie tekushchej modeli ovoshchnogo rynka, osnovannoj na adaptivnoj transformacii]. Urban and rural planning and design. 2021. Vol. 18 (400). Pp. 18–21. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2021.23.04. (rus)
10. Krasilnikova E.E., Myakisheva E.V. The main trends in the renovation of modern food markets [Osnovnye tendencii renovacii sovremennyh prodovol'stvennyh rynkov]. Issues of sustainable development of society. 2021. Vol. 7. Pp. 305–313. (rus)

11. Bektemirova S.I. Ecological approach in architecture [Ekologicheskij podhod v arhitekture]. Innovative science. 2022. Vol. 6–1. Pp. 128–131. (rus)
12. Veselova A.S., Chislyayeva E.R. The structure of the market of environmentally friendly food products [Struktura rynka ekologicheskii chistykh prodovol'stvennykh produktov]. Proceedings of St. Petersburg State Technical University. 2010. Vol. 512. Pp. 169–179. (rus)
13. Smolenskaya E.O. Archispaces in the system of a modern urbanized city [Arhiprostranstva v sisteme sovremennogo urbanizirovannogo goroda]. Bulletin of the SSAU. Urban planning and architecture. 2011. Vol. 1. Pp. 16–20. (rus)
14. Fuzhui Z., Ivina M.S. Types of gastronomic spaces in modern farmers' markets [Tipy gastronomicheskikh prostranstv na sovremennykh fermer-skih rynkah]. In the collection: Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and urban planning. Collection of articles of the 80th anniversary All-Russian Scientific and Technical Conference. Edited by M.V. Shuvalov, A.A. Pishchulev, E.A. Akhmedova. Samara, 2023. Pp. 1163–1170. (rus)
15. Burova T.Yu. Architectural and spatial organization of culinary studios: trends, methods, techniques [Arhitekturno-prostranstvennaya organizatsiya kulinarnykh studij: tendencii, sposoby, priemy]. News of KGASU. 2020. Vol. 3(53). Pp. 108–118. (rus)
16. Typology of the farmer's market – evolution and renewal [Tipologiya fermerskogo rynka – evolyuciya i obnovlenie]. Access mode: URL: <https://mp.weixin.qq.com/s/uCk0QFvuOOHGg-nYCtQqRxxg> (access date: 12/31/2023). (rus)
17. Gelfond A.L. Open and closed space of the Baltic market in Tallinn [Otkrytoe i zakrytoe prostranstvo baltiyskogo rynka v Talline]. In the collection: Architecture. Collection of scientific papers. Minsk, 2023. Pp. 97–101. (rus)
18. Georgievskaya A.O. Problems of identity of regional food markets [Problemy identichnosti regional'nykh produktovykh rynkov]. Urban planning and architecture. 2020. T. 10. Vol. 1 (38). Pp. 140–147. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.18. (rus)
19. Georgievskaya A.O., Shestakov A.A. The market as a heterotopia [Rynok kak geterotopiya]. Bulletin of Tver State University. Series: Philosophy. 2020. Vol. 2 (52). Pp. 48–59. (rus)
20. Petrusenko Yu.V. Comparative analysis of the oldest indoor markets in Rostov-on-Don [Sravnitel'nyy analiz starejshih krytykh rynkov v Rostove-na-Donu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. Vol. 8. Pp. 72–85. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-72-85
21. Sadrieva A.R., Akhtyamova R.H. The manifestation of identity in the modern architecture of China [Proyavlenie identichnosti v sovremennoj arhitekture Kitaya]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. Vol. 4 (34). Pp. 65–71. (rus)

*Information about the authors*

**Zhang Furu**. Postgraduate student E-mail 1449915005@qq.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, st. Krasnoarmeyskaya, 4.

*Received 16.02.2024*

**Для цитирования:**

Чжан Фужуй. Принципы архитектурной организации современных фермерских рынков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 41–51. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-41-51

**For citation:**

Zhang Furu. Principles of architectural design of modern farmers' markets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 41–51. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-41-51

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-52-61

**Закиева Л.Ф.**

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: zakievalily@gmail.com

## ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ Г. КАЗАНЬ

**Аннотация.** Работа посвящена комплексному картографическому анализу размещения медицинских учреждений в структуре г. Казань, определению обеспеченности территории города медицинскими учреждениями и разработке цифровой модели, отображающей размещение существующих медицинских учреждений и предоставляющей возможность автоматизированного моделирования в геоинформационных системах проектируемых объектов с целью оптимального размещения данных объектов в планировочной структуре города. Результаты исследования заложены в основу цифровой модели размещения медицинских учреждений г. Казань. В цифровой модели, помимо объектов здравоохранения, отображены пешеходные графы, построенные по параметру 20-ти минутной пешеходной доступности, амбулаторно-поликлинических учреждений и транспортные графы, отображающие 30-ти минутную транспортную доступность многопрофильных стационаров, травмпунктов, родильных домов и диспансеров. Проведен анализ обеспеченности населения г. Казань медицинскими учреждениями в соответствии с действующим нормативами градостроительного проектирования в сфере здравоохранения, выявлены территории, неохваченные радиусом доступности существующих медицинских организаций. Для оптимизации территориального размещения медицинских учреждений предложено внедрение кластерно-сетевой модели, которая апробирована на территории г. Казань. Результаты работы способствуют повышению эффективности системы здравоохранения, ее модернизации и переводу на современный уровень обслуживания населения. Цифровая модель является основой для формирования общей картины, позволяющей планировать, прогнозировать, принимать наиболее оптимальные решения, касающиеся пространственного размещения медицинских учреждений.

**Ключевые слова:** система здравоохранения, медицинские учреждения, транспортно-пешеходная доступность, модель, изохроны.

**Введение.** Система здравоохранения – одна из ключевых и важнейших систем, формирующих благосостояние и определяющих конкурентоспособность нации. Доступность и качество функционирования системы здравоохранения является важнейшим составляющим территориального развития всех субъектов градостроительных отношений. С целью повышения качества, эффективности, доступности системы здравоохранения разрабатываются национальные проекты, государственные программы, стратегии. Формирование цифровой модели пространственного размещения медицинских учреждений разработана с учетом требований программы «Создание единого цифрового контура в здравоохранении» и направлена на решение ключевых аспектов цифровой трансформации, заложенных в национальном проекте «Здравоохранение» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. N 16).

**Объект исследования** – медицинские учреждения г. Казань.

**Предмет исследования** – особенности градостроительного размещения медицинских учреждений в структуре города.

**Цель работы** заключается в разработке цифровой модели, отображающей существующие медицинские учреждения и предоставляющей возможность автоматизированного моделирования проектируемых объектов, учитывая пространственный фактор доступности.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ обеспеченности населения г. Казань медицинскими учреждениями;
2. Изучить особенности территориального размещения существующих медицинских учреждений и выявить территории, неохваченные транспортной и пешеходной доступностью существующих объектов;
3. Предложить концепцию реорганизации системы здравоохранения и апробировать ее на территории г. Казань;
4. Разработать цифровую модель размещения медицинских учреждений, в том числе проектируемых объектов, в планировочной структуре города.

**Методика исследования:**

В работе применяются следующие методы исследования: анализ и синтез; натурное обследование территории; статистический метод при расчете обеспеченности населения медицинскими учреждениями; картографический метод; метод проектного моделирования; системный метод. При построении изохрон пешеходной и транспортной доступности применялась методика, описанная в работе Боровской О.Ю., Боровского А.Е., Глущенко Е.И., Харузина В.Э. «Использование геоинформационных систем при анализе функционирования системы общественного транспорта городских агломераций» [1].

Вопросы градостроительного размещения медицинских учреждений актуален и изучен рядом авторов. Так, Фаткуллина А.А. выделяет пять типов центров межселенного медицинского обслуживания: местный, районный, межрайонный, региональный, агломерационный и, используя критерий оптимальности, с помощью математической модели определяет субъекты для размещения центров медицинского обслуживания в Набережно-Челнинской агломерации [2]. Садовая М.М. предлагает три варианта размещения медицинских учреждений: на селитебной территории с высокой плотностью застройки, внедрение в состав существующего медицинского учреждения и, наиболее оптимальный с точки зрения автора, размещение на селитебной территории в удалении от жилых образований [3]. Щувалова М.П., Письменская Т.В., Яроцкая Е.Л., ссылаясь на исследования зарубежных авторов, делают вывод о том, что территориальная

и временная доступность потенциально оказывает влияние на исход лечения и качество оказываемых медицинских услуг [4-6]. Дембич А.А. предлагает внедрение кластерно-сетевой модели размещения медицинских учреждений для решения градостроительных проблем в сфере здравоохранения Казанской агломерации [7]. Кузьмичев Н.В., Грин И.Ю. отмечают, что система медицинского обслуживания имеет несколько центров локализации и на данный момент характеризуются наличием диспропорций в размещении [8]. Виленский М.Ю., Провкин Б.С. предлагают разделение системы здравоохранения на территориально-пространственные структуры с дальнейшей разработкой регламентов, градостроительных ограничений для данных структур, а также отмечают необходимость привязки медико-санитарных зон к планировочной структуре города [9].

В отличие от перечисленных работ, данное исследование преимущественно опирается на картографический метод анализа и определение территориальной доступности медицинских учреждений. Новизной работы является то, что территориальная доступность определена не с помощью условных радиусов доступности, а в результате построения в геоинформационных системах графов (Рис. 1). Отличительной чертой является то, что радиусы пешеходной доступности определяются по кратчайшему расстоянию от объекта по воздушной линии, а графы выстраивают сеть, состоящую из наиболее оптимальных маршрутов с учетом параметров: вид передвижения, скорость, время в пути и др., которые формируют изохроны доступности.

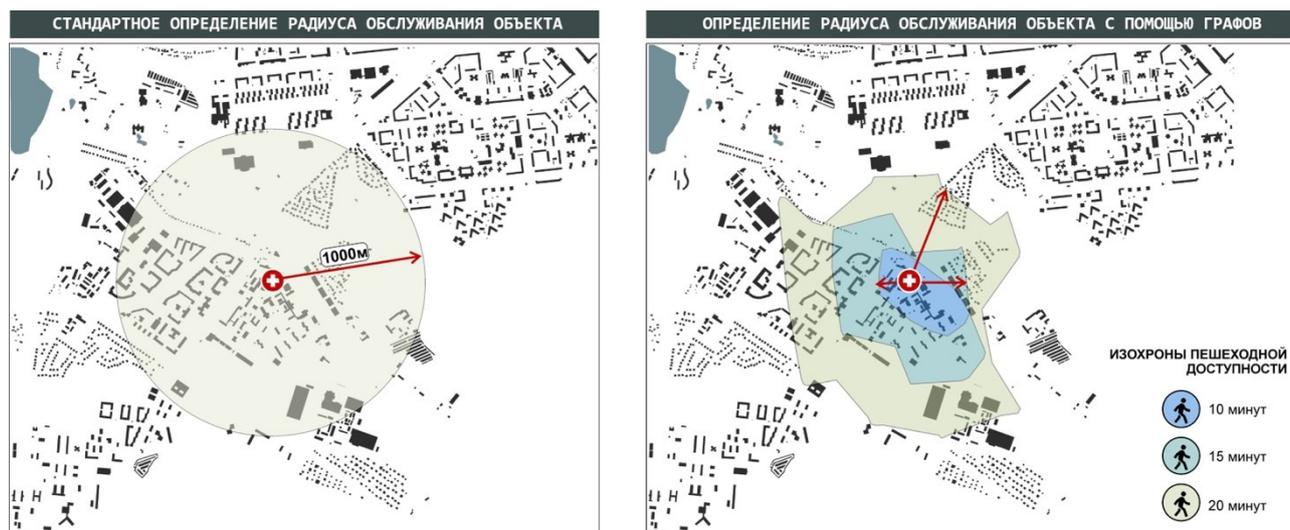


Рис. 1. Сравнительная схема определения доступности медицинских организаций: стандартная и принятая в исследовании

Территориальная доступность медицинских учреждений регламентируется нормативно-правовыми документами и устанавливается со-

гласно Местным нормативам градостроительного проектирования. В Таблице 1 отображены параметры доступности объектов здравоохранения, установленные для г. Казань (согласно

Местным нормативам градостроительного проектирования городского округа Казань (в ред. Решений Казанской городской Думы от 22.11.2022 N 10-18).

Таблица 1

### Пределные параметры доступности объектов здравоохранения

№	Объект	Радиус обслуживания, м	Территориальная доступность
1	Амбулаторно-поликлинические учреждения	1000	20-минутная пешеходная доступность
2	Стационарные учреждения	10000	30-минутная транспортная доступность
3	Диспансеры	10000	30-минутная транспортная доступность
4	Родильный дом	10000	30-минутная транспортная доступность
5	Станции скорой помощи	6000	15-минутная доступность на специальном автомобиле

**Основная часть.** На первом этапе исследования проведен анализ обеспеченности населения медицинскими учреждениями амбулаторного и стационарного типа: поликлиниками, родильными домами, травмпунктами, больницами, станциями скорой помощи. Проведен анализ размещения данных объектов: в геоинформационной системе построены пешеходные и транспортные графы существующих медицинских учреждений по предельным показателям доступности.

На примере анализа размещения амбулаторных медицинских учреждений продемонстрированы этапы исследования (рис.2.):

1) Нанесение всех существующих амбулаторно-поликлинических учреждений;

2) Построение изохрон пешеходной доступности от существующих учреждений по заданным параметрам:

- Скорость передвижения – 5 км/час;
- Время в пути – 20 минут;
- Отсутствие строящихся и закрытых объектов;

- Наличие тротуаров для передвижения.

3) Определение точной зоны обслуживания существующих медицинских учреждений и выявление территорий, неохваченных радиусом пешеходной доступности.

Скорость движения пешеходов зависит от возрастной категории, пола и интенсивности движения (медленный шаг, спокойный шаг, быстрый бег). Согласно данным Ленинградской НИИЛСЭ, скорость движения спокойным шагом составляет: школьники – 4,4–5,0 км/час; молодые люди (15–30 лет) – 5,0–5,7 км/час; люди среднего возраста (30–50 лет) – 4,9–5,7 км/час; пожилые люди (50–70 лет) – 3,8–4,8 км/час; люди старше 70 лет – 3,2 км/час. В данном исследовании принято усредненное значение параметра скорости движения пешеходов 5 км/час, которое также подтверждается в работе Вукана Р. Вучик «Транспорт в городах, удобных для жизни», где автор устанавливает скорость движения пешеходов 3 мили в час, что составляет 4,83 км/час.

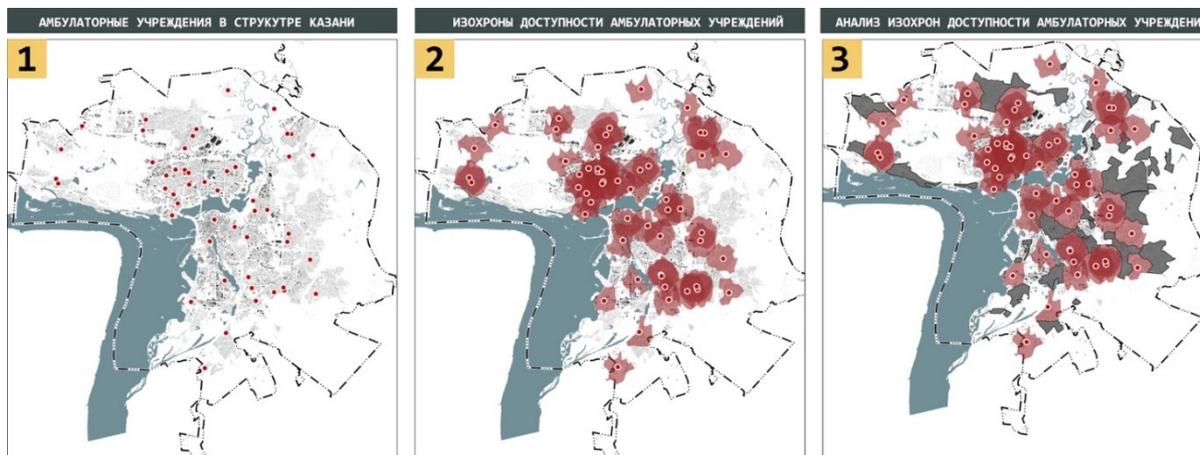


Рис. 2. Схема этапов исследования

В результате построения изохрон пешеходной доступности выявлено значительное превышение нормируемого радиуса доступности в периферийной зоне города, преимущественно в районах индивидуальной жилой застройки: изохроны пешеходной доступности достигают 2700 м. В районах новой массовой жилой застройки, расположенных в п. Залесный, п. Куюки, п. Константиновка, п. Салмачи отмечается значительное превышение нормативных показателей пешеходной доступности в результате увеличения плотности застройки и количества прикрепленных к учреждению жителей.

Аналогичным образом проанализирована укомплектованность г. Казань специализированными амбулаторными учреждениями: травмпунктами и диспансерами (рис.3). На территории города функционируют 10 травмпунктов и сеть диспансеров для детского и взрослого со специализацией в области онкологии, наркологии, кожно-венерологического профиля, психоневрологической направленности. Согласно расчетам, существующая мощность диспансеров и травмпунктов соответствует нормативным требованиям обеспеченности населения города, однако в результате построения изохрон выявлено превышение параметра 30-ти минутной транспортной доступности.

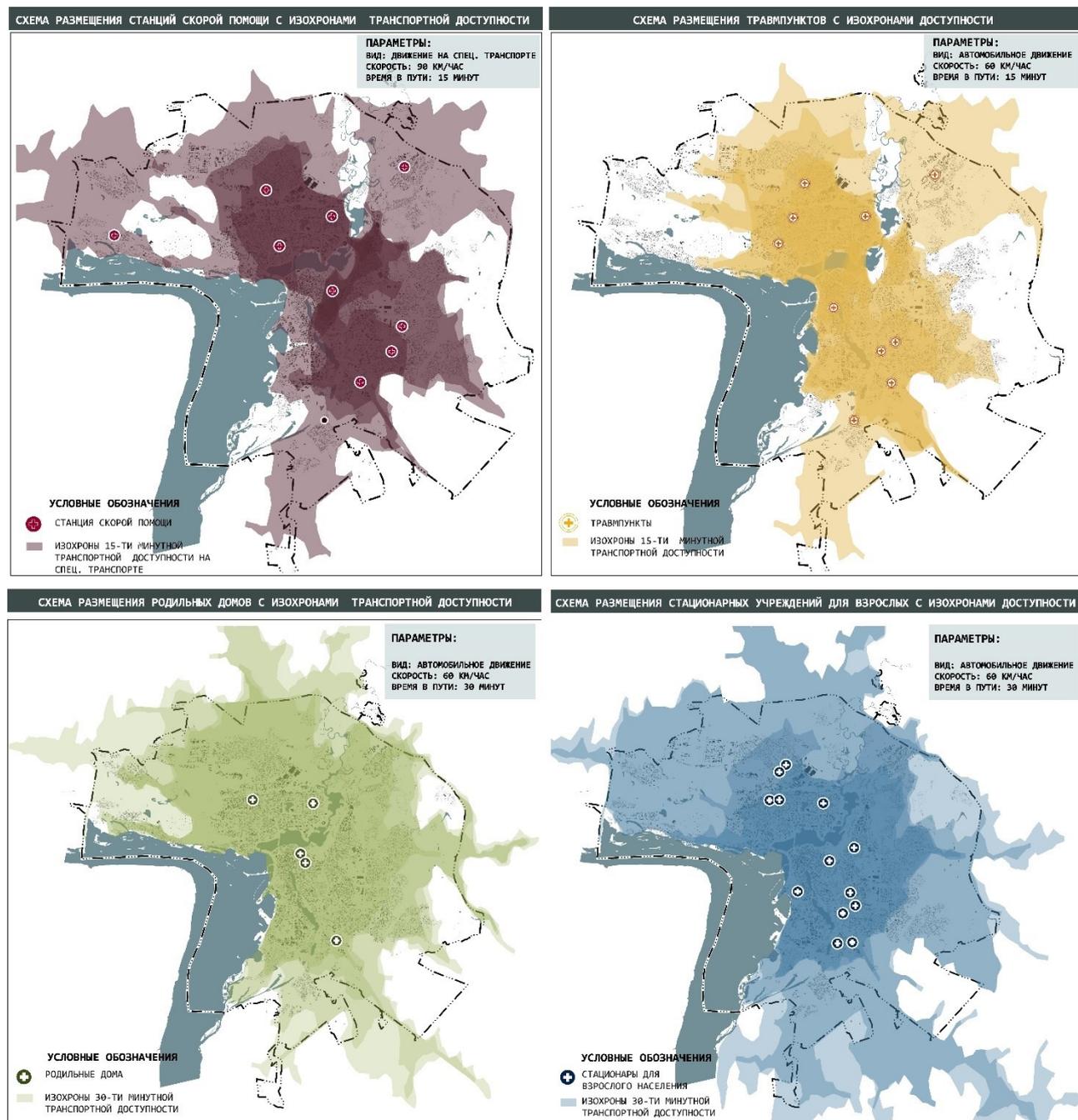


Рис. 3. Анализ размещения медицинских учреждений г. Казань с отображением изохрон транспортной доступности

Проведен анализ медицинских учреждений стационарного типа, общая коечная мощность которых составляет 10925 койко/мест. В результате построения изохрон транспортной доступности определена необходимость строительства объектов родовспоможения в Авиастроительном и Советском районах города. В Советском районе города, в периферийной зоне, также наблюдается нехватка стационаров ввиду формирования новых жилых массивов на данной территории без строительства сопутствующих социальных объектов, включая объекты здравоохранения. Выявлена необходимость строительства многопрофильного стационара для детей в Кировском и Ново-Савиновском районах города. Особенностью размещения стационарных специализированных объектов (офтальмологическая, психиатрическая, стоматологическая больницы и др.) является размещение в центральной зоне города, преимущественно в зданиях, имеющих историко-культурную ценность. Скорая и неотложная помощь предоставляется 9 станциями скорой помощи общей емкостью 93 машины.

В результате проведенного анализа выявлено, что территория г. Казань не соответствует

установленным нормативным показателям обеспеченности и территориальной доступности медицинских учреждений: необходимо строительство дополнительных объектов амбулаторного типа на 6500 посещений в смену, стационарных объектов для детей и взрослых на 1800 коек, требуется расширение станции скорой медицинской помощи.

Ключевыми функционально-планировочными проблемами города в части организации медицинской помощи являются:

- значительное превышение нормируемого показателя транспортной и пешеходной доступности медицинских организаций;
- наличие в структуре города территорий, население которых не обеспечено медицинскими учреждениями (рис. 4);
- недостаточная развитость амбулаторно-поликлинических учреждений;
- нехватка узкоспециализированных медицинских объектов (сердечно-сосудистых центров, диспансеров и др.).

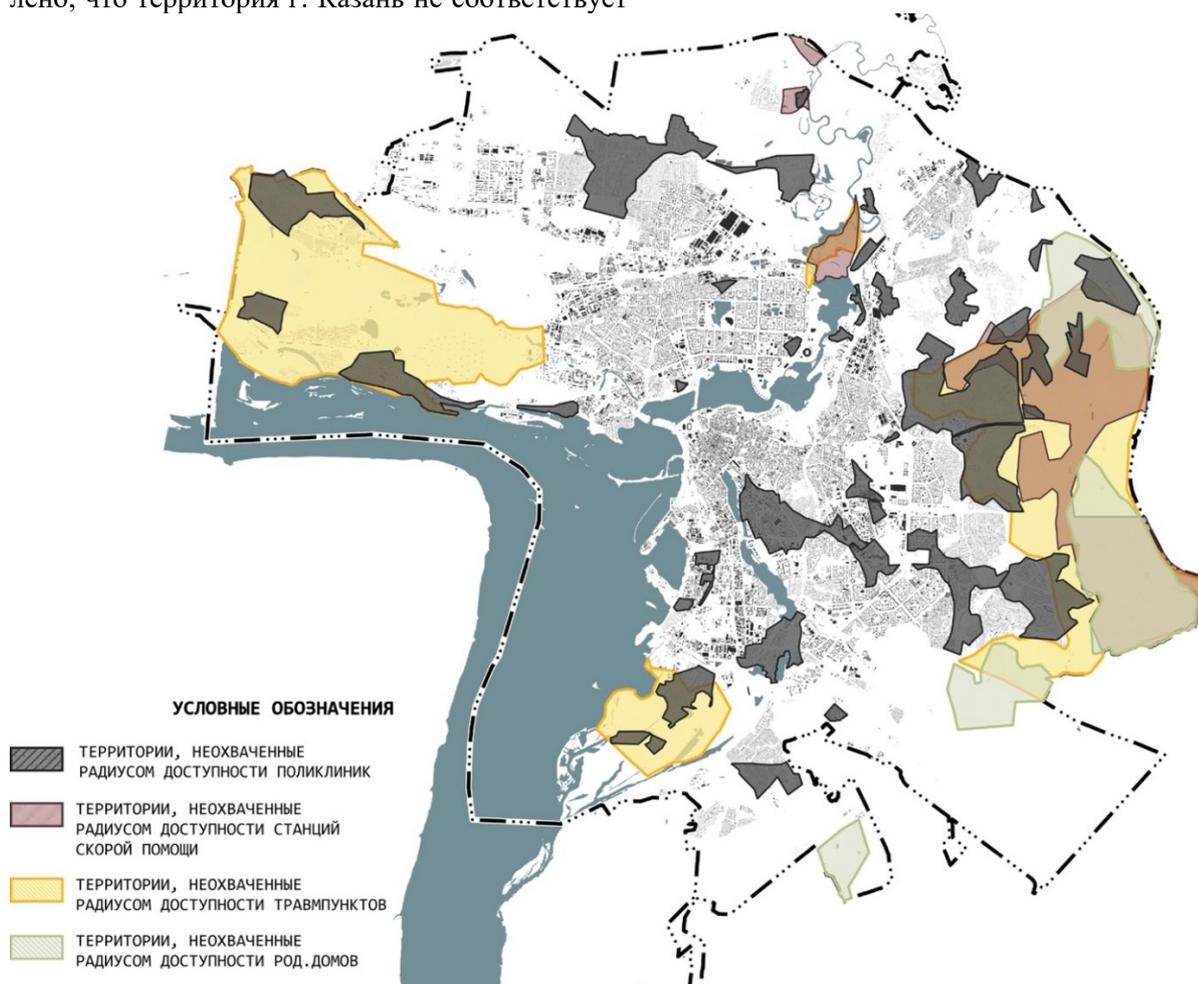


Рис. 4. Схема выявленных территорий, необеспеченных радиусом доступности существующих медицинских учреждений

Обеспечить население города своевременной медицинской помощью позволит внедрение кластерно-сетевой модели размещения медицинских учреждений [10]. Кластерно-сетевая модель подразумевает дифференциацию медицинских учреждений по следующим параметрам:

- специализация (многопрофильное / узкоспециализированное)
- мощность (посещений в смену, койко/мест);
- территориальный охват населения (микрорайон, административный район, город, муниципальный район, агломерация)
- форма оказания медицинских услуг (амбулаторно/стационарно/скорая/неотложная помощь);
- особенности размещения в пространственной структуре: центр / срединная зона / периферия города (рис. 5).

Основная идея заключается в том, что амбулаторные учреждения, оказывающие первичную многопрофильную и специализированную медицинскую помощь, должны быть размещены в пешеходной доступности от места жительства для пациентов. Только в этом случае, население своевременно будет обращаться за медицинской помощью, возрастет показатель выявления заболеваний на ранних стадиях и произойдет разгрузка вторичного звена, оказывающего медицинскую помощь в больницах. В результате оптимизации амбулаторных объектов ожидается снижение «эффекта сдерживающего расстояния» – явления, при котором население не обращается за медицинскими услугами ввиду отдаленности учреждения здравоохранения [11, 12]. При размеще-

нии амбулаторных объектов рекомендуется применять ступенчатую систему размещения объектов: в зависимости численности обслуживаемого населения будет определяться вид амбулаторного учреждения (кабинет врача общей практики, поликлиника или амбулаторный центр).

Высокотехнологичная и скорая медицинская помощь, согласно предложенной модели, будет оказываться в больничных стационарах, обслуживающих население планировочного района. При проектировании стационаров необходимо учитывать транспортную доступность и показатель плотности застройки стационара. Сегодняшний опыт показывает низкую плотность застройки медицинских стационаров, что приводит к рыхлой среде объектов здравоохранения и наличию неиспользуемых территорий. В проекте рекомендуется достраивать медицинские блоки необходимой специализации в составе существующих медицинских учреждений и в целом увеличить показатель плотности застройки больничных стационаров в условиях нового строительства.

Наиболее развитыми градостроительными структурами являются медицинские кластеры, которые помимо объектов здравоохранения включают объекты образования, научно-исследовательские центры, лаборатории, производственные учреждения, объекты обслуживания, развитую систему открытых общественных пространств и др. [13–15]. Так, формируется междисциплинарная платформа, направленная на разработку и внедрение полного цикла медицинской деятельности. Особенностью медицинских кластеров является то, что они обслуживают население не только города, но и прилегающих муниципальных районов.

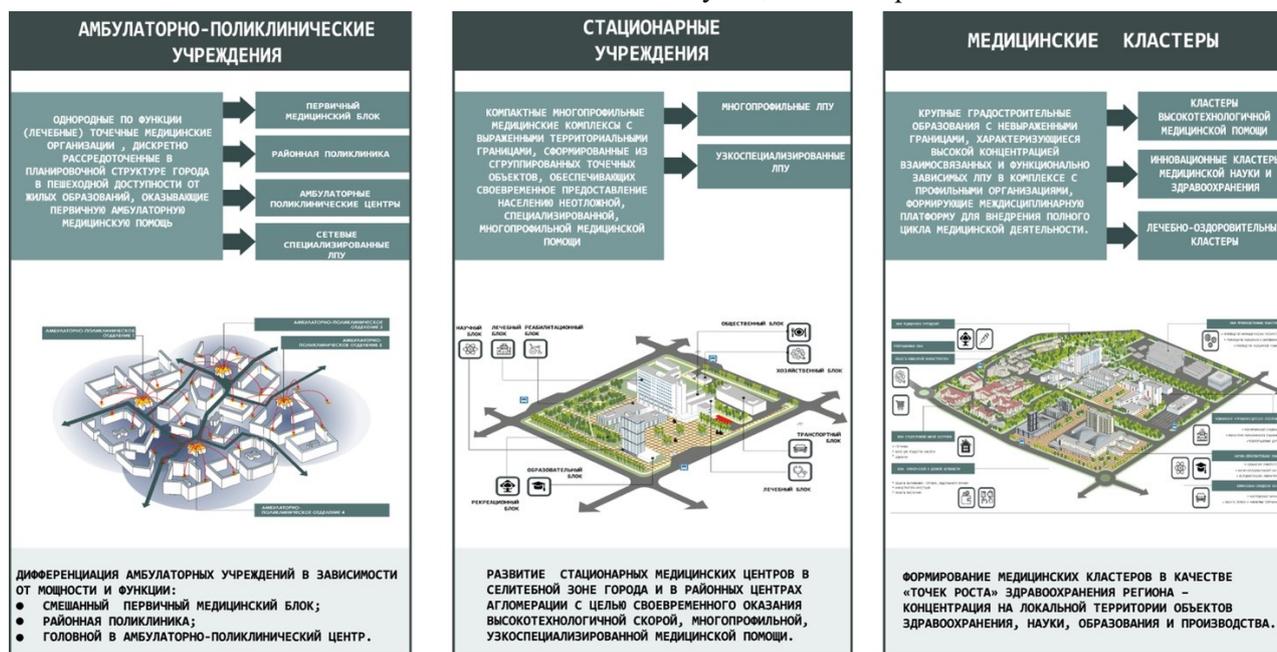


Рис. 5. Кластерно-сетевая модель размещения медицинских организаций

Предложенная кластерно-сетевая модель апробирована на территории г. Казань. На территориях, население которого не обеспечено медицинскими учреждениями, предлагается внедрение 35 новых амбулаторно-поликлинических объектов для детей и взрослых, 8 стационаров, из которых 2 – для детей, 2 станции скорой помощи. Размещение данных объектов планируется на незастроенных территориях, наиболее полно удо-

влетворяющих экологическим, социально-экономическим, градостроительным требованиям. В качестве ключевых градостроительных узлов выявлены территориальные, технологические, трудовые ресурсы для формирования 5 медицинских кластеров на территории города в области здравоохранения со специализацией в сфере инновационной медицины, геронтологии [16], онкологии, фармацевтики (рис. 6).

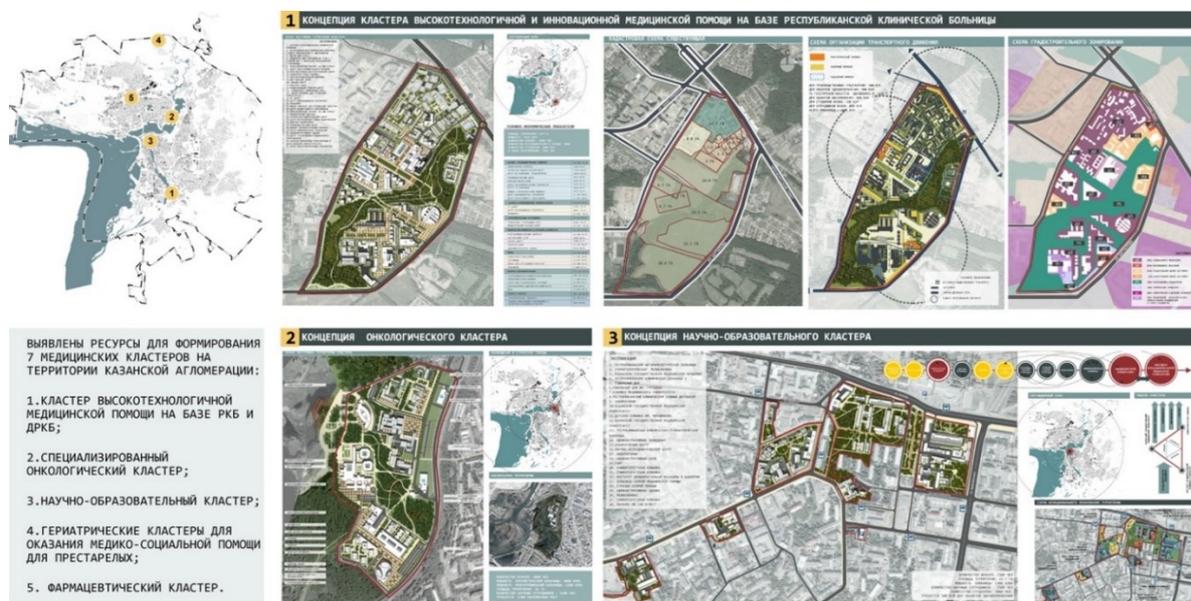


Рис. 6. Концепция формирования медицинских кластеров на территории г. Казань

На базе данных, полученных в результате проведенного предпроектного анализа, а также в результате отображения проектных решений, в геоинформационной программе разработана цифровая модель размещения медицинских

учреждений в планировочной структуре г. Казань (рис. 7). На данной модели отображены существующие и проектируемые медицинские организации с изохронами транспортной и пешеходной доступности.

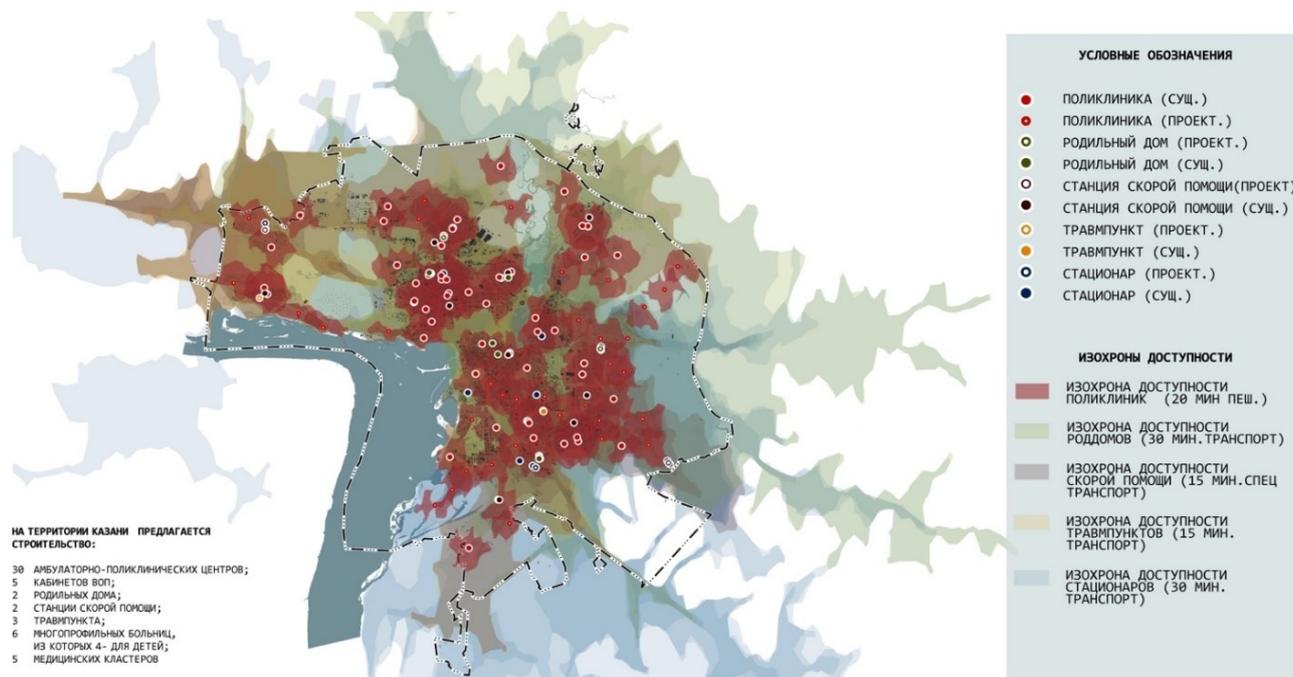


Рис. 7. Цифровая модель размещения медицинских организаций в г. Казань

Ожидается, что цифровая модель предоставит данные об объектах здравоохранения и оказываемых услугах, позволит выявлять территории с недостаточной обеспеченностью медицинскими учреждениями, фиксировать данные о распространении заболеваний, что в целом способствует улучшению диспетчеризации медицинской помощи и оптимизирует маршрутизацию пациентов.

Цифровая модель является основой для формирования общей картины, позволяющей планировать, прогнозировать и корректировать решения, принимать оптимальные и более адаптированные к конкретной ситуации решения, касающиеся размещения и организации медицинских учреждений.

#### **Выводы.**

В работе проведен комплексный картографический анализ обеспеченности населения г. Казань медицинскими учреждениями согласно действующим нормативно-правовым документам. В результате данного анализа выявлена необходимость строительства амбулаторных учреждений на 6500 посещений в смену, стационарных объектов для детей и взрослых на 1800 коек, нехватка станций скорой медицинской помощи. Наиболее остро проблема необеспеченности населения объектами здравоохранения наблюдается в периферийной зоне города в районах индивидуальной жилой застройки.

Для оптимизации системы здравоохранения региона предлагается внедрение кластерно-сетевой модели размещения объектов здравоохранения. Так, предлагается расширение сети амбулаторно-поликлинических учреждений, формирование локальных стационарных объектов и внедрение в планировочную структуру города территориальных медицинских кластеров разной специализации. В результате изменения маршрутизации пациентов ожидается оптимизация и совершенствование системы здравоохранения региона.

Кластерно-сетевая модель апробирована на территории г. Казань: в структуру города предложено внедрение 5 территориальных медицинских кластеров, 35 амбулаторно-поликлинических объектов, 8 стационаров, 2 станции скорой помощи. Результаты работы легли в основу цифровой модели размещения медицинских учреждений в пространственной структуре г. Казань.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Боровской А.Е., Глущенко Е.И., Харузин В.Э., Боровская О.Ю. Использование геоинформационных систем при анализе функционирования системы общественного транспорта го-

родских агломераций // Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (15-16 мая 2018 г.). Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2018. С. 43–51.

2. Фаткуллина А.А. Размещение медицинских учреждений в Набережно-Челнинской агломерации: анализ и предложения // Перспективы науки. 2017. № 4 (91). С. 27–30.

3. Садовая М.М. Типы размещения высокотехнологичных медицинских учреждений на примере города Новосибирска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2 (43). С. 53–59.

4. Шувалова М.П., Письменская Т.В., Яроцкая Е.Л. Международная практика территориального распределения перинатальных центров: объемы медицинской помощи и транспортная доступность для населения // Акушерство и гинекология. 2015. № 12. С. 110–115.

5. Barker C.L., Costello C., Clark P.T. Obstetric air medical retrievals in the Australian outback. *Air Med Journal*. 2013. Vol. 32(6). Pp. 329–33

6. Ruth J.B., Müller R., Brüggmann D., Groneberg D.A. Spatial Accessibility of Primary Care in England: A Cross-Sectional Study Using a Floating Catchment Area Method. *Health services research*. 2018. Vol. (3). Pp. 1957–1978.

7. Дембич А.А., Закиева Л.Ф. Особенности градостроительного размещения медицинских учреждений в крупногородских агломерациях // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 2 (48). С. 127–134.

8. Кузьмичев Н.В., Грин И.Ю. Градостроительные особенности размещения медицинских учреждений в Хабаровске // Новые идеи нового века. 2017. Т. 2. С. 146–151.

9. Виленский М.Ю., Провкин Б.С. Эволюция и развитие системы здравоохранения в пространственной структуре Санкт-Петербурга // Жилищное строительство. 2022. № 4. С. 55–66.

10. Киселев Д.Н. Кластерно-сетевые образования как инструмент территориальной интеграции регионов // Политика, экономика и инновации. 2019. №1 (24). С. 1–12.

11. Краснов А.Е., Мингазова Э.Н. Показатели первичной медико-санитарной помощи населению с учетом медико-демографических особенностей региона // Менеджер здравоохранения. 2023. № 11. С. 10-16. DOI 10.24412/2312-2935-2023-3-712-737

12. Ганжа С.Д., Захаренок В.А. Особенности пешеходной доступности учреждений медицинского обслуживания города Новосибирска //

Творчество и современность. 2019. № 3(11). С. 30–39.

13. Гулиев Э.А. Кластеры в развитии инновационной деятельности в сфере здравоохранения // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 51. С. 219–231. DOI: 10.17223/19988648/51/14

14. Volkova N.S., Putilo N.V. Medical cluster as a tool of innovative economy: legal aspects. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 254. Pp. 65–77.

15. Полянин А.В., Проняева Л.И., Павлова А.В. Развитие системы здравоохранения на основе кластерного подхода // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2021. Т. 29. № 1. С. 694–702. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-s1-694-702

16. Степанчук А.В., Галикиева Р.И., Семёнова У.Н., Шайхуллина А.М. Проектирование гериатрического центра в Советском районе города Казань // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. 2023. № 2 (2). С. 139–150.

Информация об авторах

**Закиева Лилия Фаритовна**, кандидат архитектуры, доцент кафедры градостроительства. E-mail: zakievalily@gmail.com. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д.1.

Поступила 13.03.2024 г.

© Закиева Л.Ф., 2024

**Zakieva L.F.**

*Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*

*E-mail: zakievalily@gmail.com*

## THE FEATURES OF MEDICAL INSTITUTIONS PLACEMENT IN THE SPATIAL STRUCTURE OF KAZAN

**Abstract.** *The work is devoted to a comprehensive cartographic analysis of the location of medical institutions in the structure of the city of Kazan. The provision of the city's territory with medical institutions is determined and the development of a digital model that displays the location of existing medical institutions is demonstrated. The possibility of automated modeling in geographic information systems of designed objects in order to optimally place these objects in the planning structure of the city is provided. The results of the study form the basis of a digital model for the location of medical institutions in Kazan. In addition to healthcare facilities, the digital model displays pedestrian graphs built according to the parameter of 20-minute pedestrian accessibility, outpatient clinics and transport graphs displaying 30-minute transport accessibility of multidisciplinary hospitals, emergency rooms, maternity hospitals and dispensaries. An analysis of the provision of the population of Kazan with medical institutions was carried out in accordance with the current standards of urban planning in the field of healthcare; territories not covered by the radius of accessibility of existing medical organizations were identified. To optimize the territorial location of medical institutions, it was proposed to introduce a cluster-network model, which was tested in Kazan. The results of the work contribute to increasing the efficiency of the healthcare system, its modernization and transfer to a modern level of service to the population. The digital model is the basis for forming an overall picture that allows planning, forecasting and making the most optimal decisions regarding the spatial placement of medical institutions.*

**Keywords:** *healthcare system, medical institutions, transport and pedestrian accessibility, model, isochrons.*

### REFERENCES

1. Borovskoi A.E., Glushchenko E.I., Kharuzin V.E., Borovskaya O.Y. The use of geoinformation systems in the analysis of the functioning of the public transport system of urban agglomerations [Ispol'zovanie geoinformacionnyh sistem pri analize funkcionirovaniya sistemy obshchestvennogo transporta gorodskih aglomeracij]. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and innovations in

transport" (May 15-16, 2018). Orel: Orel State University named after I.S. Turgeneva, 2018. Pp. 43–51. (rus)

2. Fatkullina A.A. PLACEMENT of medical institutions in the Naberezhnye Chelny agglomeration: analysis and proposals North [Razmeshchenie medicinskih uchrezhdenij v Naberezhno-Chelninskoj aglomeracii: analiz i predlozheniya]. Prospects of science. 2017. No. 4 (91). Pp. 27–30. (rus)

3. Sadovaya M.M. Types of placement of high-tech medical institutions on the example of the city of Novosibirsk [Tipy razmeshcheniya vysokotekhnologichnykh medicinskih uchrezhdenij na primere goroda Novosibirskaja]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2014. No. 2 (43). Pp. 53–59. (rus)
4. Shuvalova M.P., Pisinskaya T.V., Yarot'skaya E.L. International practice of territorial distribution of perinatal centers: volumes of medical care and transport accessibility for the population [Mezhdunarodnaya praktika territorial'nogo raspredeleniya perinatal'nyh centrov: ob'emny medicinskoj pomoshchi i transportnaya dostupnost' dlya naseleeniya]. Obstetrics and gynecology. 2015. No. 12. Pp. 110–115. (rus)
5. Barker C.L., Costello C., Clark P.T. Obstetric air medical retrievals in the Australian outback. Air Med Journal. 2013. Vol. 32(6). Pp. 329–333.
6. Ruth J.B., Müller R., Brüggmann D., Gronenberg D. A. Spatial Accessibility of Primary Care in England: A Cross-Sectional Study Using a Floating Catchment Area Method. Health services research. 2018. Vol. (3). Pp. 1957–1978.
7. Dembich A.A., Zakieva L.F. Features of urban planning of medical institutions in large-town agglomerations [Osobennosti gradostroitel'nogo razmeshcheniya medicinskih uchrezhdenij v krupnogorodskih aglomeracijah]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo architecturno-stroitel'nogo universiteta. 2019. No. 2 (48). Pp. 127–134. (rus)
8. Kuzmichev N.V., Green I.Yu. Urban planning features of the placement of medical institutions in Khabarovsk [Gradostroitel'nye osobennosti razmeshcheniya medicinskih uchrezhdenij v Khabarovske]. New ideas of the new century. 2017. Vol. 2. Pp. 146–151. (rus)
9. Vilensky M.Yu., Provkin B.S. Evolution and development of the healthcare system in the spatial structure of St. Petersburg [Evoljuciya i razvitie sistemy zdravooxraneniya v prostranstvennoj strukture Sankt-Peterburga]. Housing construction. 2022. No. 4. Pp. 55–66. (rus)
10. Kiselev D.N. Cluster-network education as a tool for territorial integration of regions [Klasterno-setevye obrazovaniya kak instrument territorial'noj integracii regionov]. Politics, economics and innovations. 2019. No. 1 (24). Pp. 1–12. (rus)
11. Krasnov A.E., Mingazova E.N. Indicators of primary health care for the population, taking into account the medical and demographic characteristics of the region [Pokazateli pervichnoj mediko-sanitar'noj pomoshchi naseleniyu s uchetom mediko-demograficheskix osobennostej regiona]. Health care manager. 2023. No. 11. Pp. 10–16. DOI: 10.24412/2312-2935-2023-3-712-737 (rus)
12. Ganzha S.D., Zakharenok V.A. Features of pedestrian accessibility of medical care facilities in Novosibirsk [Osobennosti peshekhodnoj dostupnosti uchrezhdenij medicinskogo obsluzhivaniya goroda Novosibirskaja]. Creativity and modernity. 2019. No. 3(11). Pp. 30–39. (rus)
13. Guliyev E.A. Clusters in the development of innovative activities in the field of healthcare [Klastery v razvitii innovacionnoj deyatel'nosti v sfere zdravooxraneniya]. Bulletin of Tomsk State University. Economy. 2020. No. 51. Pp. 219–231. DOI: 10.17223/19988648/51/14 (rus)
14. Volkova N.S., Putilo N.V. Medical cluster as a tool of innovative economy: legal aspects. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 254. Pp. 65–77.
15. Polyenin A.V., Pronyaeva L.I., Pavlova A.V. Development of the healthcare system based on the cluster approach [Razvitie sistemy zdravooxraneniya na osnove klasternogo podhoda]. Problems of social hygiene, healthcare and the history of medicine. 2021. Vol. 29. No. 1. Pp. 694–702. DOI: 10.32687/0869-866X-2021-29-s1-694-702 (rus)
16. Stepanchuk A.V., Galikieva R.I., Semenova U.N., Shaikhullina A.M. Designing a geriatric center in the Sovetsky district of Kazan [Proektirovanie geriatricheskogo centra v Sovetskom rajone goroda Kazan]. Architecture. Restoration. Design. Urbanistics. 2023. No. 2 (2). Pp. 139–150. (rus)

#### Information about the authors

**Zakieva, Lilia F.** PhD. E-mail: zakievalily@gmail.com. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 420043, Kazan, st. Zelenaya, 1.

Received 13.03.2024

#### Для цитирования:

Закиева Л.Ф. Особенности размещения медицинских учреждений в пространственной структуре г. Казань // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 52–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-52-61

#### For citation:

Zakieva L.F. The features of medical institutions placement in the spatial structure of Kazan. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 52–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-52-61

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-62-71

**Свечкарь Е.С.**

Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета

E-mail: egor\_svechkar@mail.ru

## АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛОДЕЖНЫХ ДОСУГОВЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

**Аннотация.** Объектом исследования являются молодежные досуговые учреждения как важный элемент инфраструктуры для досуговой деятельности молодежи. Проведен анализ существующих примеров молодежных досуговых учреждений и особенностей организации деятельности молодежи, указана взаимосвязь между деятельностью и формированием архитектурного пространства молодежного досугового учреждения. Выделены основные учреждения, которые можно отнести к архитектуре молодежного досуга. Отмечена их уникальность в плане организации объемно-планировочной структуры, а также, базируясь на некоторых общих особенностях, выделены основные архитектурные принципы формирования молодежных досуговых учреждений. Проведена классификация принципов в соответствии с их особенностями, используемыми приемами и подходами для реализации определенного принципа.

К основным выделенным принципам относятся принцип доступности (дистанционной, физической, визуальной, экономической); устойчивого развития (технический, функционально-планировочный, художественно-эстетический аспекты); многофункциональности (избыточности, универсальности пространства и многофункциональности учреждения); аттрактивности (визуальной, структурно-планировочной, градостроительной); социальной адресованности; адаптивности (выделены архитектурно-планировочные и технические приемы для реализации принципа).

Проанализировано взаимное влияние принципов друг на друга. Приведены примеры возможных путей реализации принципов на практике, а также существующие архитектурные объекты, использующие приведенные принципы. Выделены приемы и средства для реализации некоторых принципов на практике.

**Ключевые слова:** молодежные досуговые учреждения, молодежная архитектура, принципы формирования, многофункциональные учреждения, объемно-планировочная структура.

**Введение.** На сегодняшний день существует целый ряд программ, инициатив в различных регионах мира, направленных на формирование условий для удовлетворения досуговых потребностей молодежи. Одним из важных элементов для реализации этих программ является создание необходимой инфраструктуры, в том числе соответствующей архитектурной среды.

Точкой отсчета формирования молодежных досуговых учреждений можно назвать начало XX века, когда молодежь на теоретическом уровне была выделена как отдельная социальная группа [1]. В дальнейшем происходит активное теоретическое исследование молодежи в различных областях, в том числе и в архитектуре, что в результате привело к формированию различных типов учреждений для деятельности молодежи. В отечественном и зарубежном опыте такими учреждениями являлись дома молодежи, дома творчества, молодежные клубы, молодежные кафе, студенческие центры, молодежные центры. На протяжении второй половины XX века возникли новые подходы к определению и формированию молодежного пространства с точки зрения архитектуры и организации деятельности [2].

Само понятие досуга часто ассоциируется со свободным временем, за исключением времени,

затрачиваемым на удовлетворение естественных потребностей (сон, пища). В связи с этим досуговая деятельность является весьма разнообразной, что затрудняет ее структуризацию, в том числе с точки зрения архитектуры. Исходя из этого, можно сформулировать определение молодежного досугового учреждения как учреждения, создающего необходимые условия для досуговой деятельности молодежи, удовлетворения ее досуговых потребностей. Также стоит учитывать, что ряд досуговых потребностей могут быть удовлетворены в рамках учреждений общего досуга. В соответствии с определением, помимо уже перечисленных учреждений, выделенных в течение XX века, в той или иной мере к молодежным можно отнести такие учреждения, как коворкинги, креативные кластеры, некоторые виды культурных центров, образовательные центры, некоторые виды социальных центров и т.п. В рамках текущей работы предлагается рассмотреть архитектурные принципы как один из важнейших элементов формирования архитектурного пространства.

Таким образом, основной целью исследования является определение архитектурных принципов формирования молодежных досуговых

учреждений. Для реализации этой цели поставлен ряд задач: анализ различных учреждений для досуговой деятельности молодежи; определение общих характерных элементов; формирование общих принципов, проявляющихся в различных учреждениях; классификация принципов в соответствии с их особенностями проявления.

**Материалы и методы.** В ходе исследования было проведено системный анализ ряда объектов, структурированы их основные характеристики, которые влияют на определение ключевых принципов формирования архитектурного пространства. Также методом аналогии проведен анализ основных досуговых потребностей молодежи, которые выступают основой деятельности, и, следовательно, основой для формирования архитектурной среды. К основным досуговым потребностям и соответствующим видам деятельности относят: самообразование – образовательно-просветительская; духовное развитие – культурно-творческая; телесное развитие – физкультурно-оздоровительная; развлечение – любительские интересы, развлекательная; отдых – рекреация; коммуникация – общение; социальная интеграция – социальная поддержка и по-

мощь; улучшение материального благосостояния – полудосуговая; гражданское самовыражение – гражданская и политическая активность [3, 4]. Для определения ключевых принципов были также использованы метод обобщения, абстрагирования, сравнения. Проведена классификация принципов в соответствии с их особенностями.

**Основная часть.** Несмотря на большое разнообразие возможных подходов и методов формирования архитектурного пространства для досуговой деятельности молодежи, возможно определение некоторых общих принципов, которые необходимо учитывать. К ним можно отнести: принцип доступности, принцип устойчивого развития, принцип многофункциональности, принцип аттрактивности, принцип социальной адресованности, принцип адаптивности. Они взаимосвязаны с рядом подходов, методов и приемов, способствующих реализации этих принципов, а также имеют взаимное влияние друг на друга.

Принцип доступности включает в себя аспекты, которые влияют на создание доступной среды для различных категорий населения. Его можно разделить на дистанционную доступность, физическую доступность, визуальную доступность (рис. 1).

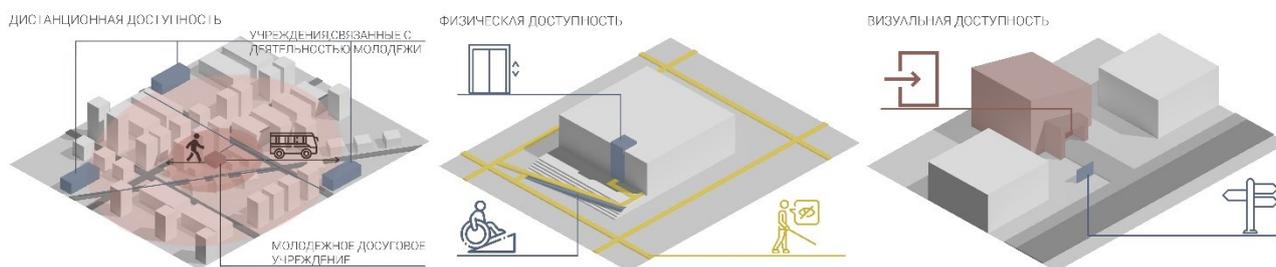


Рис. 1. Классификация принципа доступности

Дистанционная доступность подразумевает учет уровня обслуживания учреждения, а также особенностей организации транспортной и пешеходной сети в рамках населенного пункта или его структурного элемента. При анализе учреждений молодежного досуга важно учитывать расположение возможных мест скопления молодежи, например, взаимосвязь студенческих центров с университетскими кампусами – формирование учреждения на территории кампуса; создание межвузовского центра с учетом транспортных взаимосвязей между разными университетами. Таким образом, при анализе транспортной доступности необходимо учитывать особенности организации основных транспортных магистралей, а также особенности организации общественного транспорта. Пешеходная доступность подразумевает расположение объекта на комфортном расстоянии от места жительства, приложения труда. Как правило, это расстояние, кото-

рое человек может пройти за 5-10 минут. Ключевым элементом для определения этого расстояния является модель застройки: центральная – 210 м, среднеэтажная – 600 м, малоэтажная – 840 м. [5].

Физическая доступность взаимосвязана с созданием безбарьерной среды для доступа к учреждению всех категорий населения. Регулируется эта доступность с помощью различных нормативных документов, которые включают в себя такие требования и рекомендации, как исключение препятствий на пути движения посетителей, безопасность путей движения, своевременное получение полноценной и качественной информации, комфорт при посещении учреждений и т.д. Сами средства для достижения этого принципа могут значительно улучшать внешний вид здания, например, использование пандусов в качестве выразительного элемента здания в опер-

ном театре Гуанчжоу (Китай), включение подсветки вдоль путей движения для улучшения видимости и т.д. [6]

Визуальная доступность взаимосвязана с визуальным восприятием учреждения, а также навигацией на территории учреждения и внутри него. Реализуется за счет правильной организации визуально-коммуникативных систем, формирования определённого образа здания, а также выделения некоторых элементов этого здания (входных групп, основных путей движения) за счет анализа визуального пространства [7]. Одним из методов анализа пространства является «изовистский анализ среды», который позволяет прогнозировать поведение человека, основываясь на его визуальном восприятии пространства [8]. Таким образом, возможна частичная автоматизация достижения этого аспекта принципа при помощи применения автоматизированных программ.

Также отдельно можно выделить экономическую доступность, которая имеет более косвенное влияние на формирование архитектурной среды. Этот аспект в большей мере взаимосвязан с особенностями организации деятельности в

рамках архитектурного пространства, возможность создания учреждения или части учреждения с доступом для населения с различным материальным достатком. В рамках архитектурных решений эта составляющая может проявляться на этапе формирования сценариев использования пространства, например, создание общих холлов или открытых пространств, взаимосвязанных с городской средой и предполагающих свободный доступ, вокруг которых уже формируются блоки или ячейки с включением коммерческих элементов.

Принцип устойчивого развития является весьма распространённым при проектировании различных типов зданий в современном мире. Подразумевает формирование архитектурного пространства с учетом интересов будущих поколений: снижение влияния на окружающую среду, снижение количества потребляемых ресурсов, учет возможных сценариев использования пространства в будущем, его адаптации, гармонизация среды. В связи с этим это понятие во многом взаимосвязано с экологичным, экоустойчивым, энергоэффективными, «зеленым» строительством [9]. Реализацию этого принципа условно можно разделить на несколько аспектов (рис. 2).



Рис. 2. Аспекты реализации принципа устойчивого развития

Технический аспект подразумевает использование различных современных технологий для увеличения автономности здания и снижения его влияния на окружающую среду. Примерами могут являться использование альтернативных источников энергии, использование материалов способных уменьшить теплопотери здания, включение кинетических элементов для регулирования влияния внешней среды. Например, здание кампуса Университета Южной Дании в Коллинге, который также позиционирует себя как общественный центр города, использует кинетический фасад для регулирования количества солнечного света, проникающего в здание (рис.3). Помимо этого, объект использует воду близлежащей реки для системы охлаждения и механическую вентиляцию.

Функционально-планировочный аспект взаимосвязан с учетом жизненного цикла здания,

анализ его возможных адаптационных особенностей [10]. В рамках молодежной архитектуры этот аспект может иметь как прямую связь – учет различных сценариев использования пространства молодежного учреждения в будущем, так и обратную – возможность расположения учреждения в рамках других пространств, не актуальных на сегодняшний день. Последнее достаточно часто применяется при организации многих типов общественных зданий, которые, например, часто размещаются в бывших промышленных объектах. Подобный подход получил название «джентрификации» промышленных территорий [11]. Примером реализации этого аспекта при создании объектов молодежной архитектуры может являться молодежный центр «Ангар» (г. Анадырь, Россия), сформированный в бывшем здании гаража промышленной зоны.

Художественно-эстетический аспект должен учитывать влияние учреждения на окружающую среду, застройку, с точки зрения эстетического восприятия пространства, а также его влияние на психический и физический комфорт людей. Включает в себя ряд приёмов, например, ис-

пользование сомасштабных объёмно-пространственных решений с учетом контекста природной среды и окружающей застройки, повышение визуального комфорта людей, внедрение природных элементов в структуру здания, ориентация на региональные особенности [12].



Рис.3. Кинетический фасад Университета Южной Дании в Коллинге [Источник: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>]

Принцип многофункциональности также актуален для целого ряда различных типов общественных зданий. При организации молодежных досуговых учреждений эта актуальность подкрепляется обильным количеством различных видов досуговой деятельности, которые характерны для молодежи. Исходя из этого, можно прийти к заключению, что пространство для досуговой деятельности молодежи также должно быть многофункциональным, чтобы создавать

наиболее оптимальные условия для осуществления этой деятельности. Формирование многофункционального пространства возможно уже на этапе проектирования за счет продумывания различных сценариев его использования и учета этих сценариев при формировании функционально-планировочной и конструктивной структуры здания. Можно выделить несколько основных путей реализации этого принципа (рис. 4).



Рис. 4. Пути реализации принципа многофункциональности

Первым путем является учет избыточного пространства при организации учреждений и их эксплуатации. Предполагает возможность использования определённого пространства под изначально не характерные процессы, без структурных изменений пространства или значительного изменения предметного наполнения. Примером такого может являться использование учебных классов в школах для собраний каких-либо групп населения, аудиторий в университете в качестве репетиционного зала и т.п. Особенно это актуально в связи с рассмотрением некоторых молодежных учреждений в качестве досугового пространства для посетителей (досуговые пространства университетов, школ), или даже

для всего района (концепция «школа как открытый дом», предложенная в Швейцарии во второй половине XX века) [13, 14].

Второй путь реализации этого принципа подразумевает создание универсального пространства уже на этапе проектирования, учет различных сценариев его использования, учет возможных трансформаций пространства в зависимости от осуществляемых в нем процессов. Таким образом, пространство должно учитывать минимальные габариты в соответствии с предполагаемыми видами деятельности, возможные пути изменения предметного наполнения (размещение смежно кладовых), создание оптимальных условий микроклимата. Можно выделить

два основных способа трансформации пространства – за счет пространственного изменения (трансформируемые стены, трибуны и т.д.), или его предметного наполнения (расстановка мебели и оборудования в соответствии с предполагаемой деятельностью). Включение универсальных залов характерно уже для прототипов молодежных учреждений – рабочих клубов [2]. На се-



годняшний день универсальный зал является одним из ключевых структурных элементов большинства молодежных учреждений. Наглядным примером является молодежный центр Гэри Комера (Чикаго, США), в рамках которого предполагается использование главного зала в качестве спортивного или актового за счет трансформируемой системы актовых кресел, а также рольставней, закрывающих сцену (рис. 5).



Рис. 5. Универсальный зал молодежного центра Гэри Комера [Источник: [https://www.archdaily.com/189411/the-gary-comer-youth-center-john-ronan-architects?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/189411/the-gary-comer-youth-center-john-ronan-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab)]

Многофункциональность учреждения является третьим путем и взаимосвязана с необходимостью формирования нескольких функциональных зон для удовлетворения различных досуговых потребностей молодежи, а также осуществления ряда процессов одновременно в рамках одного учреждения. Для крупных учреждений возможно формирование отдельных функциональных блоков, выделение отдельных ячеек с определенной функцией. При формировании малых учреждений более характерно использование универсальных пространств, за счет чего достигается многофункциональность учреждения, однако также возможно включение ячеек с одной функцией. Также в крупных учреждениях возможно включение различных дополнительных зон, не связанных с досуговой деятельностью. Примером крупного учреждения может быть молодежный центр в бывшей швейной фабрике в Пекине (Китай), где помимо основных функциональных пространств (образовательного центра, развлекательного пространства, конференц-зала), а также ряда вспомогательных, есть жилая зона для временного проживания посетителей, ресторан. Таким образом, в рамках крупных учреждений возможно внедрение ряда дополнительных функциональных зон, помимо основных и вспомогательных, которые позволяют воплощать концепцию свободного выбора, характерную для крупных общественных пространств,

формировать полифункциональные комплексы без четко выраженной или с перетекающей функцией

Принцип аттрактивности подразумевает создание привлекательной среды, то есть среды, которая бы являлась точкой притяжения для определенных посетителей. Особенно это актуально для таких учреждений, как молодежные досуговые, которые не являются обязательными к посещению и не связаны с предоставлением жизненно необходимых услуг. Этот принцип также можно классифицировать в соответствии с определенными особенностями (рис. 6).

Структурно-планировочная аттрактивность взаимосвязана с внедрением в структуру здания планировочных элементов способных стать точкой притяжения для населения. Подобные элементы в первую очередь связаны с рекреационной и развлекательной деятельностью, то есть пространства, не обязывающие к каким-либо конкретным действиям, но формирующие среду для социального взаимодействия и отдыха. К таким пространствам можно отнести холлы, атриумы, амфитеатры, а также обустроенные открытые пространства – зоны отдыха, парковые пространства. Для молодежных учреждений такими пространствами также могут выступать элементы молодежной культуры, например, пространства для уличных видов спорта.



Рис. 6. Классификация принципа аттрактивности

Градостроительная аттрактивность взаимосвязана с принципом доступности и предполагает размещение учреждения с учетом путей движения (транспортных и пешеходных) основных посетителей, а также визуальное восприятие учреждения с учетом окружающей застройки.

Визуальная аттрактивность взаимосвязана с современной моделью архитектуры, включающей морфологию, символику и феноменологию [15]. Подразумевает создание необходимого символа (архитектурного образа), который бы мог

формировать определенные личностные смыслы. Достигается за счет художественно-композиционных и эстетических средств архитектуры при разработке объемно-пространственных, фасадных, интерьерных решений. Для современного этапа этот принцип выражается в уходе от типовых объемно-пространственных решений, в попытках формирования аутентичного образа в рамках всей городской среды, например, Центр творчества Восточной Латвии (Резекне, Латвия) (рис. 7).



Рис. 7. Центр творчества Восточной Латвии

[Источник: <https://www.archdaily.com/589480/zeimuls-centre-of-creative-services-of-eastern-latvia-saals-architecture>]

Принцип социальной адресованности является важным для учреждений, деятельность которых взаимосвязана с какой-либо социальной группой населения. В случае молодежных досуговых учреждений с возрастной группой – молодежью. Необходимо учитывать особенности молодежи как общие, так и характерные для определенного региона или какой-либо социальной подгруппы. В связи с этим, стоит отметить неоднородность молодежи как социальной группы и выделение отдельных подгрупп: подростков (14–17 лет), собственно молодежи (18–24 лет), молодых взрослых (25–35 лет) [16].

Особенности каждой подгруппы могут оказывать влияние на расположение объекта (привязка к месту приложения труда и жизнедеятельности); на особенности организации деятельности (необходимость надзора, наставничества для младших возрастных групп, особенности социальных потребностей каждой группы); на функционально-планировочную среду (зависимость функциональной направленности учреждения и

организации его структурных элементов от возрастной группы, включение коммерческих элементов в досуговые учреждения старших групп молодежи).

Этот принцип взаимосвязан с одним из подходов современного проектирования - соучастующее проектирование, которое подразумевает включение сообществ в процесс проектирования [17]. Такие подходы практиковались уже во второй половине XX века, например, при разработке программы «1000 клубов», во Франции, а также остаются актуальными при разработке некоторых современных проектов [18, 19].

Последним важным принципом является принцип адаптивности. Взаимосвязан с принципом устойчивого развития и принципом многофункциональности. Предполагает учет на этапе проектирования различных сценариев использования пространства при сохранении общей объемно-планировочной структуры учреждения или с учетом путей изменения этой

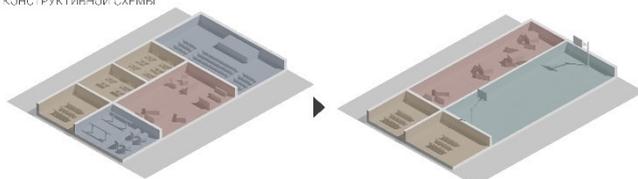
структуры. Для реализации этого принципа возможно использование нескольких приемов (рис. 8).

Архитектурно-планировочные приемы должны учитывать возможность использования пространства под различные функции, что влияет на габариты помещения, функциональные связи с другими пространствами, возможные

пути адаптации этих параметров. Необходимо учитывать конструктивные особенности здания, применять универсальные конструктивные схемы, продумывать пути изменения конструктивной схемы, а также использовать укрупненные сетки колонн, увеличенные высоты этажей, в случае обоснованности с точки зрения сценариев использования пространства.

#### АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИЕМЫ

УЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УЧРЕЖДЕНИЯ: ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ



#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ

ВКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНУЮ СТРУКТУРУ

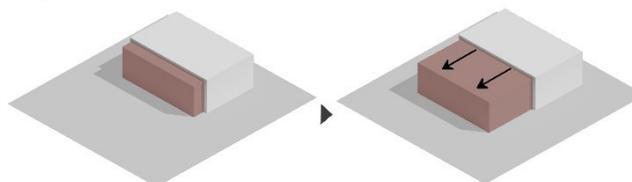


Рис. 8. Приемы реализации принципа адаптивности

Технические приемы могут включать внедрение динамических структур в здание: кинетические фасады, здания изменяющие свое положение, выдвижные элементы здания, трансформируемые стены и элементы отдельных пространств (выдвижные трибуны и т.п.). Одним из наиболее ярких примеров применения технических средств для адаптации пространства является художественный центр The Shed в Нью-Йорке (США), который может увеличить площадь своего пространства за счет выдвижного элемента, перемещающегося по специальным рельсам [20].

#### Выводы.

1. В современном мире развитие молодежного досуга является одной из важнейших задач, стоящих перед обществом. Для развития досуга необходимо формировать соответствующую инфраструктуру, одной из составляющей которой является архитектурная среда. Таким образом, исследования различных аспектов этой среды имеет прямую связь с развитием молодежного досуга.

2. Проведенный анализ современных примеров молодежных досуговых учреждений, а также особенностей деятельности молодежи, позволяет отметить уникальность различных учреждений с разных позиций (организации, функциональной насыщенности, объемно-планировочных особенностей). Однако возможно выделение некоторых общих принципов, характерных для всех молодежных учреждений: принципа доступности, устойчивого развития, многофункциональности, аттрактивности, социальной адресованности, адаптивности.

3. Структуризация и классификация этих принципов с точки зрения особенностей проявления, применяемых приемов и подходов для их

реализации, упрощает использование этих принципов при проектировании, а также позволяют более структурировано анализировать существующие объекты на предмет реализации этих принципов. Таким образом, выделенные принципы являются неотъемлемой частью процесса формирования архитектуры молодежных досуговых учреждений, имеют практическое и теоретическое значение.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Змановский Г.Р., Мясоутов О. В. Молодежь: субъект-объектный статус в системе молодежной политики муниципального образования // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Социология. Политология. 2020. Т. 20. № 4. С. 484–488. DOI: 10.18500/1818-9601-2020-20-4-484-488
2. Свечкарь Е.С., Моргун Н.А. Эволюция функционально-планировочной структуры досуговых учреждений клубного типа // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 3. С. 34–48. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-34-48
3. Доманов А.С. Культура досуга как фактор развития личности в культурно-образовательном пространстве вуза: автореф. на соиск. ученой степ. канд. соц. наук: 22.00.06. – социология культуры, духовной жизни. Ростов-на-Дону, 2009. 28 с.
4. Валиахметова Л.З. Архитектурная среда для внеучебной студенческой деятельности: автореф. на соиск. ученой степ. канд. архитектуры: 18.00.01. – теория и история архитектуры, реставрации и реконструкции историко-архитектурного наследия. Екатеринбург, 2004. 25 с.
5. Стандарт комплексного развития территорий : Книга 1. Свод принципов комплексного развития городских территорий // Министерство

строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. М.: ДОМ.РФ, КБ Стрелка, 2020. 283 с.

6. Киричков И.В. Адаптация объектов современной архитектуры к потребностям маломобильных групп населения. // Урбанистика. 2019. № 2. С. 71–81 DOI: 10.7256/2310-8673.2019.2.29735

7. Силикина М.А. Влияние высоты размещения визуальнокоммуникативных систем на образ архитектурной среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2014. №. 2 (27). С. 1-15.

8. Wiener J.M. Isovists as a Means to Predict Spatial Experience and Behavior // Conference: Spatial Cognition IV: Reasoning, Action, Interaction, International Conference Spatial Cognition. Fraunchiemsee, Germany, October 11-13, 2004. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. Pp. 1–15.

9. Есаулов Г.В. Устойчивая архитектура - от принципов к стратегии развития // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 6. С. 9–24

10. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений : учеб. пособие. М.: Архитектура-С, 2006. 280 с.

11. Прохоров С.И. Формирование креативного пространства // Вестник РГГУ. Серия «Философия. Социология. Искусствоведение». 2021. №. 1. С. 100–110.

12. Салмина О.В., Быстрова Т.Ю. Принципы создания устойчивой архитектуры // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. №. 4. С. 36–40.

13. Gosseye J., Heynen H. Architecture for leisure in post-war Europe, 1945-1989: Between experimentation, liberation and patronisation // The Journal of Architecture. 2013. No. 18 (5). Pp. 623–631. DOI: 10.1080/13602365.2013.835334

14. Баклыская Л.Е., Чукмарева Е.А., Фишева Н.О. Атриум на территории университетского кампуса // Урбанистика. 2023. № 3. С. 44–59. DOI: 10.7256/2310-8673.2023.3.43888

15. Воличенко О.В., Иманкулов Д.Д., Марченко А. Теоретическая модель художественного и архитектурного объекта // Проект Байкал. 2023. №. 1 (75). С. 98–104. DOI: 10.51461/pb.75.22

16. Загребин В.В. Подходы к определению категории «молодёжь» // Концепт. 2014. №. 2. С. 1–7.

17. Зайцева А.П., Ильвицкая С.В. Соучаствующее проектирование в процессе формирования архитектуры молодежных волонтерских центров // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. №. 1 (58). С. 136–144. DOI: 10.24412/1998-4839-2022-1-136-144

18. Avermaete T. A thousand youth clubs: Architecture, mass leisure and the rejuvenation of post-war // The Journal of Architecture. 2018. Vol. 23. No. 4. Pp. 617–631. DOI: 10.1080/13602365.2018.1479232

19. Ильвицкая С.В., Зайцева А.П. Трансформация концепции молодежного пространства в современной городской среде // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. №. 4 (53). С. 168–181. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15310

20. Гатин Т.Н. К вопросу об интерпретации термина «трансформация» в архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 84–92. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-84-92

#### Информация об авторах

**Свечкар Егор Сергеевич**, аспирант кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: egor\_svechkar@mail.ru. Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета. Россия, 344002, Ростов-на-Дону, Буденовский проспект, д. 39.

Поступила 21.03.2024 г.

© Свечкар Е.С., 2024

**Svechkar E.S.**

*Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University*

*E-mail: egor\_svechkar@mail.ru*

## ARCHITECTURAL PRINCIPLES OF THE FORMATION OF YOUTH LEISURE INSTITUTIONS

**Abstract.** *The object of the study is youth leisure facilities as an important element of infrastructure for youth leisure activities. The analysis of existing examples of youth leisure institutions and the specifics of the organization of youth activities is carried out, the relationship between the activities and the formation of the architectural space of a youth leisure institution is indicated. The main institutions that can be attributed to the architecture of youth leisure are highlighted. Their uniqueness in terms of the organization of the spatial*

planning structure is noted, and based on some common features, the main architectural principles of the formation of young-married leisure institutions are highlighted. The classification of principles is carried out in accordance with their features, the techniques and approaches used to implement a certain principle. The main highlighted principles include the principle of accessibility (remote, physical, visual, economic); sustainable development (technical, planning, ethetic aspects); multifunctionality (redundancy, universality of space and multifunctionality of the institution), attractiveness (visual, structural planning, urban planning), social targeting, adaptability (architectural planning and technical techniques for the implementation of the principle). The mutual influence of the principles on each other is analyzed. Examples of possible ways to implement the principles in practice are given, as well as existing architectural objects using these principles. Techniques and means for achieving the implementation of some principles in practice are highlighted.

**Keywords:** youth leisure institutions, youth architecture, principles of formation, multifunctional institutions, the spatial planning structure.

## REFERENCES

- Zmanovskiy G.R., Myasoutov O.V. Youth: subject-object status in the system of youth policy of the municipality [Molodezh': sub"ekt-ob"ektnyj status v sisteme molodezhnoj politiki municipal'nogo obrazovaniya]. Izvestiya of Saratov university. New series. Series: Sociology. Politology. 2020. Vol. 20. No. 4. Pp. 484–488. DOI: 10.18500/1818-9601-2020-20-4-484-488 (rus)
- Svechkar E.S., Morgun N.A. The evolution of the functional and planning structure of club-type leisure facilities [Evolyuciya funktsional'no-planirovочноj struktury dosugovyh uchrezhdenij klubnogo tipa]. Vestnik of Tomsk state university of architecture and building. 2022. Vol. 24. No. 3. Pp. 34–48. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-34-48 (rus)
- Domanov A.S. Leisure culture as a factor of personality development in the cultural and educational space of the university. Abstract of PhD Thesis [Kul'tura dosuga kak faktor razvitiya lichnosti v kul'turno-obrazovatel'nom prostranstve vuza]. Rostov-on-Don, 2009. 28 p. (rus)
- Valiakmetova L.Z. Architectural environment for extracurricular student activities. Abstract of PhD Thesis [Arhitekturnaya sreda dlya vneuchebnoj studencheskoj deyatel'nosti]. Ekaterinburg, 2004. 25 p. (rus)
- The standard of integrated development of territories : Book 1. A set of principles for the integrated development of urban areas [Standart kompleksnogo razvitiya territorij : Kniga 1. Svod principov kompleksnogo razvitiya gorodskih territorij]. Ministry of Construction, Housing and Utilities (Russia). Moscow: DOM.RF, KB Strelka, 2020. 283 p. (rus)
- Kirichkov I.V. Adaptation of objects of modern architecture to the needs of low-mobility groups of the population [Adaptaciya ob"ektov sovremennoj arhitektury k potrebnostyam malomobil'nyh grupp naseleniya]. Urbanistics. 2019. No. 2. Pp. 71–81 DOI: 10.7256/2310-8673.2019.2.29735
- Silikina M.A. The influence of the height of the placement of visual communication systems on the image of the architectural environment [Vliyanie vysoty razmeshcheniya vizual'nokommunikativnyh sistem na obraz arhitekturnoj sredy]. Architecture and Modern Information Technologies. 2014. No. 2 (27). Pp. 1–15. (rus)
- Wiener J.M. Isovists as a Means to Predict Spatial Experience and Behavior. Conference: Spatial Cognition IV: Reasoning, Action, Interaction, International Conference Spatial Cognition. Frauenchiemsee, Germany, October 11-13, 2004. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. Pp. 1–15.
- Yesaulov G.V. Sustainable architecture - from principles to development strategy [Ustojchivaya arhitektura - ot principov k strategii razvitiya]. Vestnik of Tomsk state university of architecture and building. 2014. No 6. Pp. 9–24 (rus).
- Gelfond A.L. Architectural design of public buildings and structures : a textbook [Arhitekturnoe proektirovanie obshchestvennyh zdaniy i sooruzhenij : ucheb. posobie.] Moscow: Architecture-S, 2006. 280 p. (rus)
- Prokhorov S.I. Creating a creative space [Formirovanie kreativnogo prostranstva]. RGGU bulletin. Series: Philosophy. Sociology. Art studies. 2021. No. 1. Pp. 100–110. (rus)
- Salmina O.V., Bystrova T.Yu. Principles of creating a sustainable architecture [Principy sozdaniya ustojchivoj arhitektury]. Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN. 2015. No. 4. Pp. 36–40. (rus)
- Gosseye J., Heynen H. Architecture for leisure in post-war Europe, 1945-1989: Between experimentation, liberation and patronisation. The Journal of Architecture. 2013. No. 18 (5). Pp. 623–631. DOI: 10.1080/13602365.2013.835334
- Baklyskaya L.E., Chukmareva E.A., Fischeva N.O. Atrium on the university campus [Atrium na territorii universitetskogo kampusa]. Urbanistics. 2023. No. 3. Pp. 44–59. DOI: 10.7256/2310-8673.2023.3.43888 (rus)
- Volichenko O.V., Imankulov D.D., Marchenko A. Theoretical model of an artistic and architectural object [Teoreticheskaya model' hudozhestvennogo i arhitekturnogo ob"ekta]. Baikal

Project. 2023. No. 1 (75). Pp. 98–104.  
DOI: 10.51461/pb.75.22 (rus)

16. Zagrebin V.V. Approaches to defining the category of "youth" [Podhody k opredeleniyu kategorii «molodyozh'»]. Concept. 2014. No. 2. Pp. 1-7.

17. Zaitseva A.P., Ilvitskaya S.V. Co-participating design in the process of forming the architecture of youth volunteer centers [Souchastvuyushchee proektirovanie v processe formirovaniya arhitektury molodezhnykh volonterskih centrov]. Architecture and Modern Information Technologies. 2022. No. 1 (58). Pp. 136–144. DOI: 10.24412/1998-4839-2022-1-136-144 (rus)

18. Avermaete T. A thousand youth clubs: Architecture, mass leisure and the rejuvenation of post-war. The Journal of Architecture. 2018. Vol. 23.

No. 4. Pp. 617–631.  
DOI:10.1080/13602365.2018.1479232

19. Ilvitskaya S.V., Zaitseva A.P. Transformation of the concept of youth space in a modern urban environment [Transformaciya koncepcii molodezhnogo prostranstva v sovremennoj gorodskoj srede]. Architecture and Modern Information Technologies. 2020. No. 4 (53). Pp. 168–181. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15310 (rus).

20. Gatin T.N. On the interpretation of the term "transformation" in architecture [K voprosu ob interpretacii termina «transformaciya» v arhitekture]. Vestnik of Tomsk state university of architecture and building. 2023. Vol. 25. No. 1. Pp. 84–92. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-84-92 (rus)

#### *Information about the authors*

**Svechkar Egor S.**, postgraduate student of the Department of Architectural and Environmental Design. E-mail: egor\_svechkar@mail.ru. Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University. Russia, 344002, Rostov-on-Don, Budenovskiy Avenue, 39

---

*Received 21.03.2024*

#### **Для цитирования:**

Свечкаръ Е.С. Архитектурные принципы формирования молодежных досуговых учреждений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 62–71. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-62-71

#### **For citation:**

Svechkar E.S. Architectural principles of the formation of youth leisure institutions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 62–71. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-62-71

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-72-80

**Стельмакова Т.О.**

Тихоокеанский государственный университет

E-mail: 012862@pnu.edu.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОГО ВЕДОМСТВА 1930-Х ГОДОВ В Г. ХАБАРОВСК

**Аннотация.** В статье рассмотрены общие принципы в формировании облика парадной архитектуры военного и силового ведомства советского предвоенного периода в городе Хабаровск. Речь идет об объектах 1930-х годов постройки: Окружного дома Офицеров (как объекта культурной архитектуры), Управления Народного комиссариата внутренних дел по Хабаровскому краю (как объекта административной архитектуры) и дома командиров Особой Краснознаменной Дальневосточной армии (объекта жилой архитектуры), спроектированных военными архитекторами и инженерами. В исследовании объекты хабаровского постконструктивизма проанализированы по следующим критериям: объемно-пространственная композиция, оформление первоэлементов и использование стилистических приемов. Выявленные автором в результате исследования материалы классифицированы и сгруппированы в сводную таблицу, представляющую сходство и различие характерных архитектурных решений компонентов городского ландшафта исторической части города. Полученные в результате исследования данные иллюстрируют основные особенности в формировании облика объектов того периода – сложный ландшафт города влияет на формообразование сооружений, в некоторых случаях вынуждая архитектора отказываться от расположения композиционного объема по центральной оси здания; функциональное назначение объекта отражается на применяемых стилистических приемах – административные объекты оформляются исключительно строгими геометрическими формами: квадрат и прямоугольник, в то время как объекты культурного и жилого назначения украшены более плавными формами: арками, цилиндрическими колоннами и различными уникальными декоративными элементами.

**Ключевые слова:** Окружной дом Офицеров, Управление НКВД, жилой дом ОКДВА, постконструктивизм, военные инженеры.

**Введение.** История развития и формирования архитектурного облика Дальнего Востока изучается уже много лет. Дальний Восток открывался и застраивался землепроходцами – военными офицерами и инженерами. Многие города Сибири и Дальнего Востока основывались как остроги: Якутск (Ленский острог, 1632 год), Охотск (Охотский острог, 1649 год), Петропавловск-Камчатский (Петропавловский острог, 1740 год [1]), или как военный пост (Николаевск (Николаевский пост, 1850 год), Владивосток (1860 год), Уссурийск (г. Никольск-Уссурийский, 1870 год [2]) и так далее.

Географические рамки данного исследования ограничены Хабаровском. История этого города началась с подписания Айгуньского договора с Китаем в мае 1858 года [3] и определения границ. На правом берегу Амура было основано военное поселение 13-го Восточно-Сибирского линейного батальона – Хабаровка [4]. За небольшой период Хабаровка получила статус города с населением более 15 тыс. человек, затем, в 1923 г. Хабаровск получил статус столицы Дальневосточного края. Новый статус вызвал стремительный рост города – было возведено множество промышленных, учебных, медицинских соору-

жений. Но более всего этот статус манифестировался через появление объектов силовых и военных ведомств, представленных в новом имперском стиле.

Наименее изученным периодом истории дальневосточной архитектуры является постконструктивизм (1930–1940 гг.), а наименее изученной типологией дальневосточного ландшафта является архитектура военных и силовых ведомств.

В подавляющем числе исследований внимание уделяется сооружениям гражданского населения. Историей дальневосточной архитектуры занимаются Н.П. Крадин, М. Е. Базилевич, Ю.В. Охотникова и другие. Исследования на смежные тематики ранее проводили Федорова М. С., Резвина Ю. Е., Новенькова Т. В., Кулев С. А., Перминова Е. О., Дубинин В. О., Анисков А. С. Перечисленные авторы рассматривали оборонительную архитектуру западной части России и Урала, не делая акцент или вообще не изучая архитектуру Дальнего Востока.

Феномен гарнизонной архитектуры дальнего Востока и Туркестана изучает А. П. Иванова, но наши исследования идут параллельно и дополняют друг друга.

Исходя из вышеописанного, основная цель данного исследования – выявить принципы и

приемы формирования облика ведомственной архитектуры в 1930-е годы в городе Хабаровск. Это позволит осветить ведомственные постройки 1933-1936 гг., и отчасти закрыть существующие лакуны в истории развития архитектурного облика Дальнего Востока.

Периодизация выбранного объекта исследования совпадает с общепринятым делением дальневосточной архитектуры на дореволюционный, советский довоенный и послевоенный периоды. Ранее автором (на примере Маньчжурии) рассматривался дореволюционный этап формирования «архитектуры фронта» [5]. В Хабаровске в это время было построено множество объектов, самыми значительными из которых являлись:

– Офицерское собрание (ныне Дальневосточный художественный музей), ул. Шевченко, д. 7, 1884 г.,

– Дом генерал-губернатора, ул. Алексеевская (ныне – улица Шевченко, д. 16), 1884 г.;

– Кадетский корпус, ул. Серышева, д. 13, 1888 г.

Помимо репрезентативных зданий, расположенных в стратегически важных местах строящегося города, в разных частях Хабаровска были возведены десятки казарм (типичным примером гарнизонной архитектуры этого периода является казарма 24-го пехотного полка, ул. Павловича 16, 1912 г.; также в перечень объектов культурного наследия города Хабаровска включено более 20 казарм [6]), несколько домов для командного состава и госпитальные постройки.

Хронологические рамки данной работы ограничены предвоенным периодом (1920–1930 гг.).

К данному периоду, помимо рассматриваемых объектов, относятся:

– Здание, где размещался штаб Красной гвардии (ныне Хабаровский Гарнизон, Военная Автоинспекция), ул. Ленина, д. 34, 1918 г.;

– Казарма военного полугоспиталя (ныне 57 Военная Прокуратура Гарнизона), ул. Серышева, д. 4, до 1920 г.;

– Дом-коммуна работников НКВД, ул. Муравьева-Амурского, д. 25, 1931-1933 гг.

В эти годы в Москве и Санкт-Петербурге также появляются новые ведомственные постройки, которые скоро повлияют на формирование ландшафта как современных столиц России, так и остальных городов страны. Образы, которыми зодчие страны вдохновлялись в то время, можно отнести к явлению, которое после 1925 года получило наименование «ар-деко» [7]. Но эта тема для отдельной статьи.

**Материалы и методы.** Метод исследования основан на изучении и систематизации исторических и архитектурных материалов, результатов натурных обследований методом фотофиксации сооружений военного и силового ведомства, построенных в одно время в центральном районе города Хабаровска. Изучение объектов методом сравнительного анализа архитектурных решений: объемно-пространственной композиции, оформления первоэлементов и использования стилистических приемов. Проведен обзор теоретических работ по теме исследования.

**Основная часть.** В этой статье рассматриваются яркие архитектурные объекты Хабаровска, построенные практически одновременно и являющиеся узнаваемыми и на сегодняшний день – Окружной дом Офицеров, Управление НКВД по Хабаровскому краю и Дом командиров ОКДВА (табл. 1).

Таблица 1

### Классификация объектов военного и силового ведомств 1931–1936 гг. по функциональному признаку

Культурная функция	Административная функция	Жилая функция
Окружной дом Офицеров, ул. Шевченко, д. 16, 1933–1936 гг.	Управление НКВД по Хабаровскому краю, ул. Волочаевская, д. 144, 1936 г.	Дом командиров Особой Краснознаменной Дальневосточной армии (ОКДВА), ул. Серышева, д. 3, 1935 г.

**Окружной дом Офицеров** в г. Хабаровске (рис. 1) является частью комплекса зданий ОДОРА. Строительство данного комплекса заняло несколько десятилетий – с 1880-х до середины 1950-х гг. и началось с возведения жилого дома генерал-губернатора Хабаровского края. Данная постройка стала одной из первых кирпичных построек в городе. Разработка проекта и строительство «небольшого кирпичного дворца», как его назвал Н. П. Крадин, шло под

контролем военного инженера подполковника В. Г. Мооро.

В первоначальном виде данное сооружение не сохранилось, но его стены послужили основой для создания в начале 1930-х годов Дома Красной Армии. Высота здания была увеличена до трех этажей и перестроено под новые запросы общества. В середине 30-х годов, после сильного пожара, здание реконструируется и к нему пристраивается театральный комплекс, позже получивший название Окружной дом Офицеров.

Проект реконструкции разрабатывали архитекторы А. И. Гегелло и Д. Л. Кричевский [8]. Замысел архитекторов был масштабен, но финансирование не позволило воплотить задуманное. Поэтому трехэтажное здание оформлено сдержанно и не имеет большого количества декора-

тивных элементов. Главный вход оформляет колоннада из гладких колонн, круглых в сечении. Фасад декорирован прямоугольной рустовкой, двери парадного входа и окна первого этажа декорированы гладкими пилястрами и архивольтами с замковым камнем.



а)



б)

Рис. 1. Окружной дом Офицеров, ул. Шевченко, д. 16, 1933-1936 гг.  
а) фасад по ул. Шевченко; б) вид со стороны Комсомольской пл. Фото автора

На сегодняшний день Дом Офицеров полностью функционирует. К 2022 году военные строители провели реставрацию, сохранив внешний облик здания, но оборудовав его новыми современными инженерными коммуникациями.

Грандиозный проект **Управления НКВД по Хабаровскому краю** (рис. 2), разработан архитектором Шумовским Ю. Н. [9].

П-образное в плане здание, далеко вынесенные боковые ризалиты образуют внутренний двор. Входная группа расположена на центральном ризалите и оформленная рустованными квадратными в сечении колоннами высотой в четыре этажа. Колонны держат просторный балкон, оформленный классической балюстрадой.

Нижние четыре этажа здания декорированы пилястрами и подчеркнуты молдингом. Верхний этаж также подчеркнут карнизом, но более крупным и весомым.

В то время, как Дом Офицеров декорирован мягкими формами – арками и колоннадой круглых в сечении колонн –, здание Управления НКВД лишено даже намека на плавность форм. Все элементы фасада – окна, колонны, пилястры – декорированы четкими, прямолинейными формами, расположение геометрически выверенное, рустовка на фасаде греческая, на колоннах – прямоугольная. Облик сооружения вышел величественный, монументальный и стал ярким примером образца военной парадной архитектуры Хабаровска.



а)



б)

Рис. 2. Управление НКВД по Хабаровскому краю, 1936 г., ул. Волочаевская, д. 144.  
а) вид с ул. Волочаевская; в) ночной вид с ул. Шеронова. Фото автора

**Дом командиров Особой Краснознаменной Дальневосточной армии** (рис. 3), на мо-

мент постройки, считался одним из самых комфортабельных жилых домов в Хабаровске. Архи-

тектор В. Гречановский [10] продумал масштабный проект, используя приемы классической архитектуры – украсил фасад колоннадой из гладких, квадратных в сечении, колонн, арками до четвертого этажа, пилястрами и нишами. Этот впечатляющий объект на Военной горе, где располагались в основном казармы и кадетский корпус, стал украшением города и позволил стереть грань между центральной частью города и трущобами.

Первая очередь дома строилась по улице Серышева. Главный фасад более декорирован, используются интересные приемы в оформлении окон и лоджий, в то время как фасады второй очереди, хоть и повторяют черты главного фасада, но уже менее насыщены пластикой: вместо полноценных колонн используются балясины, стены первого этажа декорированы рустовкой, а окна имеют другие пропорции.



а)



б)



в)

Рис. 3. Дом командиров Особой Краснознаменной Дальневосточной армии, 1935 г. ул. Серышева, д. 3.  
а) вид с пересечения улиц Серышева и Калинина; б) вид с ул. Серышева; в) вид с ул. Калинина.

Фото автора

В этом пятиэтажном доме П-образной формы мечтали жить не только командиры, но и чиновники высокого ранга. На первом этаже размещались детский сад и магазин, а верхние четыре этажа оснащены жилыми трех-, четырех- и пятикомнатными квартирами. Планировки продуманы до мелочей и отличаются от привычных на то время принципов «коммунального» жилья – в каждой квартире предусмотрена комната для домработницы, удобная кухня со шкафом-холодильником, ванная, уборная, водопровод и мусоропровод, лифт. В цокольном этаже для каждой квартиры предусмотрено кладовое помещение.

#### Сравнительный анализ стилистических приемов.

Предлагается рассмотреть описанные выше объекты вместе и проанализировать, чем данные архитектурные образы отличаются, а в чем схожи (табл.2).

К примеру, разное расположение повлияло на планировочную структуру зданий: Дом Офицеров имеет два фасада – симметричный, расположенный вдоль улицы Шевченко, и блокированный, выходящий на Комсомольскую площадь; Управление НКВД – симметричный фасад, который протягивается вдоль параллельных улиц Волочаевская и Шеронова; жилой дом ОКДВА расположен на перекрестке, из-за чего архитектором было принято решение композиционный объем сместить боковую ось здания, на пересечение улиц Серышева и Калинина.

Рельеф также отразился на визуальном восприятии сооружений. Жилой дом ОКДВА расположен на вершине Военной горы (ул. Серышева), боковые фасады, хоть и расположены на улицах, имеющих уклон, не приобретают дополнительных цокольных этажей. Угловой объем хорошо

просматривается на перекрестке улиц и виден издалека. Также ничего не мешает рассмотреть фасады Дома Офицеров, расположенного у широ-

кой дороги и примыкающего к просторной Комсомольской площади. Управление НКВД, наоборот, удастся изучить, лишь находясь напротив здания на противоположной стороне улицы.

Таблица 2

### Сравнительный анализ объемно-пространственной композиции

Объемно-пространственная композиция	Жилой дом ОКДВА	Окружной дом Офицеров	Управление НКВД
Положение в пространстве	На пересечении улиц Серышева и Калинина	Вдоль улицы Шевченко у Комсомольской площади	Вдоль параллельных улиц Волочаевская и Шеронова. По бокам от сооружения расположены другие здания
Рельеф местности	Ул. Серышева находится на вершине «Военной горы», с которой идет спуск по ул. Калинина	Равнинная местность	Улицы Волочаевская и Шеронова расположены на подъеме к улице Муравьева-Амурского
Композиционное решение	Фронтальная композиция	Фронтальная композиция	Глубинно-пространственная композиция. Фасад симметричен, статичен
Композиционный центр	Размещен на пересечении боковых осей здания	Главный фасад симметричен, симметричное решение бокового фасада разрушает чрезмерно декорированный верхний объем, расположенный по правой оси	Размещен на центральной оси здания

Стилистические приемы, используемые архитекторами, в основном схожи (табл. 3). Различия обусловлены функциональным назначением

сооружений и смысловой нагрузкой зданий. Рассматриваемые объекты выполнены в стиле постконструктивизм (ар-деко).

Таблица 3

### Сравнительный анализ оформления первоэлементов

Стилизация первоэлементов	Жилой дом ОКДВА	Окружной дом Офицеров	Управление НКВД
Стены	Оштукатурены	Оштукатурены	Оштукатурены
Входная группа	Имеет несколько схожих по выразительности оформлений входных групп. Высокий прямоугольный входной портал, оформленный широким декоративным наличником	Входные группы утоплены в ниши и скрыты за колоннадой. Порталы главного входа декорированы пилястрами, соединенными архивольтом с замковым камнем	Входная группа, выделенная ризалитом, является акцентным решением данного проекта. Три входных портала выделяют четыре колонны высотой в четыре этажа. Стены входной группы украшены такими же высокими пилястрами
Окна	Используется несколько форм оконных проемов: прямоугольные вертикальные; прямоугольные горизонтальные; арочные окна; высокие арочные окна, выделяющие верхние 4 этажа	В основном окна одинаковые, прямоугольные, небольшие. На втором этаже над входной группой присутствуют квадратные окна	В основном окна одинаковые, прямоугольные, небольшие. По бокам от входной группы размещены два больших оконных проема высотой в три этажа и шириной, равной трем стандартным оконным проемам. Боковые ризалиты со стороны внутреннего двора подчеркивают высокие оконные проемы высотой в три этажа

Методы использования элементов оформления рассматриваемых зданий сильно отличаются друг от друга: хоть архитекторы и применяли рустовку в своих проектах, масштабы и виды рустовки различны – Дом Офицеров оформлен (но не полностью) крупномасштабной рустовкой, заметной при первом взгляде; жилой дом ОКДВА декорирован рустом лишь частично; у здания Управления НКВД рустом оформлены не только

стены, но и колонны. Колонны и пилястры также используются по-разному.

Сооружения практически не имеют своих уникальных декоративных элементов, за исключением архивольты у здания Дома Офицеров и особым решением балюстрады у жилого дома ОКДВА – лоджии оформлены декоративными квадратными модулями.

Таблица 4

#### Сравнительный анализ используемых стилистических приемов

Детали	Жилой дом ОКДВА	Окружной дом Офицеров	Управление НКВД
Рустовка	Прямоугольная, гладкая, применяется для декора нижних двух этажей; отдельно взятые объемы декорированы рустовкой на всю высоту здания	Прямоугольная, гладкая, применяется для декорирования углов выступающих объемов главного фасада. Стены бокового фасада декорированы рустовкой почти полностью	Вся площадь фасада, кроме первого этажа, декорирована греческой сколотой рустовкой. Рустовка первого этажа прямоугольная и более крупная.
Колонны, пилястры	Не имеет ярко выраженной колоннады. На главном фасаде по ул. Серышева выделены два объема, где расположены колонны, квадратные в сечении, на всю высоту здания, но на уровне каждого этажа протяженность опоры прерывает межэтажное перекрытие, за счет чего образуются лоджии.	Используется колоннада из круглых в сечении колонн для оформления входных групп главного и бокового фасадов. Пилястры применяются для оформления ниш входных групп и верхнего объема бокового фасада.	Квадратные колонны с прямоугольной рустовкой украшают главный вход. Пилястры с каннелюрами поддерживают решение входной группы и украшают боковые ризалиты.
Арки	Присутствуют. Выделяют лоджии четвертого этажа.	Архивольт с замковым камнем над окнами входной группы.	Отсутствуют.
Карнизы	Выступающий карниз, декорированный кессонами и поддержанный декорированным фризом.	Ярко выраженный карниз с декорированным фризом завершает верхний объем бокового фасада. Главный фасад завершен широким антаблементом без декора.	Выступающий массивный карниз с сухариками, но без фриза. Центральный ризалит завершает также массивный карниз, но его поддерживает множество небольших консолей, расположенных на близком друг от друга расстоянии

Градостроители, возведя данные объекты, закрыли сразу три запроса города – культурный, жилой и управленческий (административный). Эти здания спроектированы разными архитекторами и расположены отдаленно друг от друга, но они объединены временем постройки и стилистическими приемами.

Рассматриваемые сооружения стали значимыми архитектурными элементами Хабаровска, повлияв на дальнейшее развитие, как и облика города, так и его планировочной структуры.

#### Выводы

Военная архитектура Дальнего Востока заслуживает особого внимания историков архитектуры – дальневосточные земли изучались, осваивались и защищались военными офицерами. Участники экспедиций и их семьи заселяли эти земли, возводили первые сооружения – оборонительные, жилые, административные и т.д. Их действия стали катализатором не только к вопросу о присоединении земель к территориям Российской Империи, но и к формированию населенных пунктов, их развитию и преобразованию.

В рамках данного исследования сделаны следующие выводы:

1. Описаны проекты военных зодчих и инженеров одних из самых узнаваемых объектов (в том числе сооружений гражданской архитектуры) исторической части города.

2. Проведен сравнительный анализ объемно-пространственной композиции, оформления первоэлементов и использованных стилистических приемов одних из самых узнаваемых объектов военного и силового ведомства в центральной части города Хабаровска.

3. Выделены основные принципы и приемы формирования облика ведомственной архитектуры в 1930-е годы в городе Хабаровск.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основан город Петропавловск-Камчатский, Президентская библиотека, [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.prlib.ru/history/619636> (дата обращения: 06.03.2024)

2. Кузнецов А.М. 150 лет Уссурийску // Известия Восточного института. 2016. №3(31). С. 4–24.

3. Историческая справка, Хабаровск, [Электронный ресурс]. – URL: <https://khv27.ru/administration/structural-units/komitet-administratsii-goroda-khabarovskaro-upravleniyu-tsentrallym-rayonom/obshchaya-informatsiya/> (дата обращения: 06.03.2024)

4. Мамешин Е.Д. Наш город: заметки архитектора. – Хабаровск : Хабаровское книжное издательство, 1958. 52 с.

5. Иванова А.П., Чанади Г., Стельмакова Т.О. Казармы и крепости. Сравнительный обзор военной архитектуры Венгрии и русского Дальнего Востока // Архитектон: известия вузов. 2023. №4(84). С. 1–12. DOI: 10.47055/19904126\_2023\_4(84)\_11

6. Перечень объектов культурного наследия Хабаровского края, Хабаровский краевой центр охраны памятников истории и культуры, [Электронный ресурс]. – URL: <https://perechen.nasledie27.ru/monument> (дата обращения: 06.03.2024)

7. Хазанова В.Э. Архитектура СССР 1930-х годов. Люди и судьбы. XX век. Книга очерков. М.: Едиториал УРСС, 2005. 252 с.

8. Крадин Н.П. Дом генерал-губернатора. Хабаровская недвижимость. 1996. №23 (64). С. 2–3

9. Крадин Н.П., Базилевич М.Е. Архитекторы и инженеры Дальнего Востока. Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2019. 236 с.

10. Крадин Н.П. Охраняются государством: Памятники архитектуры и скульптуры общерос. значения в Хабаровске. Хабаровск : Част. коллекция, 1999. 192 с.

11. Иванова А.П. От «говорящей архитектуры» к монументальной пропаганде: символические пласты петербурга и будапешта (конец XIX – середина XX века) // Архитектон: известия вузов. 2022. №4(80). С. 1–16. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-17

12. Базилевич М.Е. Творческая деятельность архитектора в. Г. Мооро на Дальнем Востоке (конец XIX – начало XX в.) // Архитектон: известия вузов. 2016. №1(53). С. 1–6

13. Иванова А.П., Путилов И.Д. Архитектура казарм Дальнего Востока начала XX века // Архитектон: известия вузов. 2022. №2(78). С. 1–9. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-15

14. Савина Д.С. Особенности функционально-пространственного развития советского неоклассицизма в Воронеже в период 1930–1950 годов // Научные высказывания. 2023. №9 (33). С. 10–16.

15. Климанов С.Г. Роль военных архитекторов в обустройстве войск // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. №2 (14). С. 219–228.

16. Чугунов Е.В. Военные городки как основа формирования военно-стратегической функции городов Западной Сибири (Омска и НовоНиколаевска) в начале XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 3. С. 71–80. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-3-71-80

17. Victor L., Zatspine V. Harbin to Hanoi: The Colonial Built Environment in Asia, 1840 to 1940. Hong Kong: University Press, 2013. 304 p.

18. Denison E., Ren G. Ultra-Modernism: Architecture and Modernity in Manchuria. Hong Kong: University Press, 2016. 148 p.

19. Oskanian K. Russian Exceptionalism between East and West: The Ambiguous Empire. Palgrave Macmillan, 2021. 285 p.

20. Schorkowitz D., Chavez J.R., Schroder I.W. Shifting Forms of Continental Colonialism Unfinished: Struggles and Tensions. Palgrave Macmillan, 2019. 430 p.

21. Cavanagh E., Veracini L. The Routledge Handbook of the History of Settler Colonialism. Routledge, 2017. 486 p.

22. Veracini L. The World Turned Inside Out: Settler Colonialism as a Political Idea. Verso, 2021. 320 p.

23. Bailey C.M.S. Comparative Colonialism: Russia in the North Pacific and Central Asia Bailey // Journal of Inquiry and Research. 2020. Vol. 112. Pp. 109–123.

Информация об авторах

**Стельмакова Татьяна Олеговна**, ассистент высшей школы архитектуры и градостроительства института архитектуры, строительства и дизайна, магистрант высшей школы архитектуры и градостроительства. E-mail: 012862@pnu.edu.ru. Тихоокеанский государственный университет. Россия, 680035, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

Поступила 06.03.2024 г.

© Стельмакова Т.О., 2024

**Stelmakova T.O.**

Pacific national university

E-mail: 012862@pnu.edu.ru

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MILITARY DEPARTMENT FACILITIES OF THE 1930S IN Khabarovsk

**Abstract.** The article examines the general principles in shaping the appearance of the ceremonial architecture of the military and law enforcement agencies of the Soviet pre-war period in the city of Khabarovsk. They are objects built in the 1930. The District House of Officers (as an object of cultural architecture), the Office of the People's Commissariat of Internal Affairs for the Khabarovsk Territory (as an object of administrative architecture) and the house of commanders of the Special Red Banner Far Eastern Army (an object of residential architecture) - designed by the military architects and engineers. In the study, the objects of Khabarovsk post-constructivism are analyzed according to the following criteria: volumetric-spatial composition, design of primary elements and the use of stylistic techniques. The materials identified by the author as a result of the research are classified and grouped into a summary table that presents the similarities and differences in the characteristic architectural solutions of the components of the urban landscape of the historical part of the city. The data obtained as a result of the study illustrate the main features in the formation of the appearance of objects of that period. The complex landscape of the city affects the formation of structures, in some cases forcing the architect to abandon the location of the compositional volume along the central axis of the building. The functional purpose of the object is reflected in the stylistic techniques used - administrative objects are decorated with exclusively strict geometric shapes: square and rectangle, while cultural and residential objects are decorated with smoother forms: arches, cylindrical columns and various unique decorative elements.

**Keywords:** district House of Officers, NKVD Directorate, OKDVA residential building, post-constructivism, military engineers

### REFERENCES

1. The city of Petropavlovsk-Kamchatsky was founded, Presidential Library [Osnovan gorod Petropavlovsk-Kamchatskij, Prezidentkaya biblioteka]. URL: <https://www.prlib.ru/history/619636> (date of treatment: 06.03.2024) (rus)
2. Kuznetsov A.M. 150 years of Ussuriysk [150 let Ussurijsku]. Izvestiya Vostochnogo instituta. 2016. No. 3(31). Pp. 4–24. (rus)
3. Historical information, Khabarovsk [Istoricheskaya spravka, Habarovsk]. URL: <https://khv27.ru/administration/structural-units/komitet-administratsii-goroda-khabarovskapo-upravleniyu-tsentralnym-rayonom/obshchaya-informatsiya/> (date of treatment: 06.03.2024) (rus)
4. Mameshin, E.D. Our city: notes from an architect. [Nash gorod: zametki arhitekтора]. Khabarovsk: Habarovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1958. 52 p.
5. Ivanova A.P., Chanadi G., Stelmakova T.O. Barracks and fortresses. A comparative review of the military architecture of Hungary and the Russian Far East [Kazarmy i kreposti. Sravnitel'nyj obzor voennoj arhitektury Vengrii i russkogo Dal'nego Vostoka]. Arhitekton: izvestiya vuzov. 2023. No. 4(84). Pp. 1–12. DOI: 10.47055/19904126\_2023\_4(84)\_11 (rus)
6. List of objects of cultural heritage of the Khabarovsk Territory, Khabarovsk Regional Center for the Protection of Historical and Cultural Monuments, [Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya Habarovskogo kraja, Habarovskij kraevoj centr ohrany pamyatnikov istorii i kul'tury]. URL: <https://perechen.nasledie27.ru/monument> (date of treatment: 06.03.2024) (rus)
7. Khazanova V.E. Architecture of the USSR in the 1930s. People and destinies. XX century Book of essays. [Arhitektura SSSR 1930-h godov. Lyudi i sud'by. XX vek. Kniga ocherkov] M.: Editorial URSS, 2005. 252 p. (rus)
8. Kradin N.P. House of the Governor General [Dom general-gubernatora]. Habarovskaya nedvizhimost'. 1996. No. 23 (64). Pp. 2–3 (rus)

9. Kradin, N.P., Bazilevich M.E., Architects and engineers of the Far East [Arhitektory i inzheneriy Dal'nego Vostoka] Khabarovsk: Izdatel'stvo TOGU, 2019. 236 p. (rus)

10. Kradin, N.P. Protected by the state: Monuments of architecture and sculpture of all Russia values in Khabarovsk [Ohranyayutsya gosudarstvom : Pamyatniki arhitektury i skulptury obshcheros. znacheniya v Habarovske]. Khabarovsk: Part. collection, 1999. 192 p. (rus)

11. Ivanova, A.P. From «talking architecture» to monumental propaganda: symbolic strata of st. petersburg and budapest, late 19th – mid 20th century [Ot «govoryashchej arhitektury» k monumental'noj propagande: simvolicheskie plasty peterburga i budapeshta (konec XIX – seredina XX veka)]. Arhitekton: izvestiya vuzov. 2022. No. 4(80). Pp. 1–16. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-4(80)-17 (rus)

12. Bazilevich M.E. Creative activity of the architect. G. Mooro in the Far East (late XIX - early XX centuries) [Tvorcheskaya deyatelnost' arhitekтора v. g. mooro na dal'nem vostoке (konec xix – nachalo xx v.)] Arhitekton: izvestiya vuzov. 2016. No. 1(53). Pp. 1–6. (rus)

13. Ivanova A.P., Putilov I.D. Architecture of the barracks of the Far East at the beginning of the twentieth century [Arhitektura kazarm dal'nego vostoka nachala hkh veka]. Arhitekton: izvestiya vuzov. 2022. No. 2(78). Pp. 1–9. DOI: 10.47055/1990-4126-2022-2(78)-15 (rus)

14. Savina D. S. Features of the functional-spatial development of Soviet neoclassicism in Voronezh in the period 1930–1950 [Osobnosti funkcionāl'no-prostranstvennogo razvitiya sovet'skogo neoklassitsizma v Voronezhe v period 1930 -1950 godov]. Nauchnye vyskazyvaniya. 2023. No. 9 (33). Pp. 10–16. (rus)

15. Klimanov S. G. The role of military architects in the arrangement of troops. Aktual'nye problemy voenno-nauchnyh issledovanij. 2021. No. 2 (14). Pp. 219–228. Adobe Acrobat Reader. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_45049631\\_54959847.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_45049631_54959847.pdf) (date of treatment: 06.03.2024) (rus)

16. Chugunov E.V. Military towns for military-strategic function of western siberian towns (omsk and novo-nikolaevsk) early in the 20th century. Vestnik TGASU. 2021. Vol. 23. No. 3. Pp. 71–80. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-3-71-80 (rus)

17. Victor L., Zatseline V. Harbin to Hanoi: The Colonial Built Environment in Asia, 1840 to 1940. Hong Kong: University Press, 2013. 304 p.

18. Denison E., Ren G. Ultra-Modernism: Architecture and Modernity in Manchuria. Hong Kong: University Press, 2016. 148 p.

19. Oskanian K. Russian Exceptionalism between East and West: The Ambiguous Empire. Palgrave Macmillan, 2021. 285 p.

20. Schorkowitz D., Chavez J.R., Schroder I.W. Shifting Forms of Continental Colonialism Unfinished: Struggles and Tensions. Palgrave Macmillan, 2019. 430 p.

21. Cavanagh E., Veracini L. The Routledge Handbook of the History of Settler Colonialism. Routledge, 2017. 486 p.

22. Veracini L. The World Turned Inside Out: Settler Colonialism as a Political Idea. Verso, 2021. 320 p.

23. Bailey C.M.S. Comparative Colonialism: Russia in the North Pacific and Central Asia. Journal of Inquiry and Research. 2020. Vol. 112. Pp. 109–123.

#### *Information about the authors*

**Stelmakova, Tatiana O.** Assistant at the Higher School of Architecture and Urban Planning, Institute of Architecture, Construction and Design, master's student at the Higher School of Architecture and Urban Planning. E-mail: 012862@pnu.edu.ru. Pacific national university. Russia, 680035, Khabarovsk region, Khabarovsk, st. Pacific, 136

---

*Received 06.03.2024*

#### **Для цитирования:**

Стельмакова Т.О. Сравнительный анализ архитектурных решений объектов военного ведомства 1930-х годов в г. Хабаровск // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 72–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-72-80

#### **For citation:**

Stelmakova T.O. Comparative analysis of military department facilities of the 1930s in Khabarovsk. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 72–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-72-80

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92

<sup>1</sup>Хуртасенко А.В.,<sup>2,\*</sup>Чередников И.И.,<sup>1</sup>Мамченкова А. А.,<sup>1</sup>Чуев К.В.,<sup>1</sup>Бондаренко А.А.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>ООО» СКИФ-М»,

\*E-mail: cherednikovya@gmail.com

## ОЦЕНКА ИЗНАШИВАНИЯ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЙ ЦЕЛЬНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ 4Х5МФ1С ТВЕРДОСТЬЮ 52 HRC

**Аннотация.** Главная проблема при фрезеровании закаленной стали заключается в ее высокой твердости и неравномерности закалки заготовки, что подвергает режущий инструмент циклическим нагрузкам в процессе резания. Сверхвысокие температуры, создаваемые в зонах первичного и вторичного сдвига, значительно ускоряют различные виды износа режущих инструментов из твердого сплава, особенно адгезионный и диффузионный износ, но самой распространенной и основной причиной выхода инструмента из строя является хрупкое разрушение.

В данной работе было представлено исследование влияния геометрических параметров режущей части концевой фрезы, износостойкого покрытия, химического состава и зернистости твердого сплава на степень различных видов износа и разрушения при фрезеровании закаленных сталей. Исследовались параметры инструмента, такие как износостойкое покрытие, микроструктура твердого сплава, угол наклона режущей кромки, передний и задний углы режущей кромки. Зернистость и химический состав твердого сплава изучались и анализировались с помощью электронного микроскопа и энергодисперсионной спектроскопии. Замер толщины износостойкого покрытия производился методом шарового истирания с помощью толщиномера покрытий. После испытаний были сделаны выводы о влиянии зернистости сплава, химическом составе и об распространенном виде износа.

**Ключевые слова:** фрезерование закаленной стали, фреза из твердого сплава, износ, разрушение, износостойкость.

**Введение.** Закаленная сталь обладает высокой стойкостью к механическим воздействиям, а также имеет высокую стойкость к коррозии и окислению. Твердость этого материала составляет 47–70 HRC. В силу перечисленных особенностей материал устойчив к воздействию окружающей среды и слабо подвергается разрушению от различных химических процессов.

Из закаленной стали изготавливают детали и узлы с повышенной износоустойчивостью, поэтому данный материал широко применяется в автомобильной отрасли (производство пружин, подшипников, штоков поршней и пр.) и машиностроении (изготовление штампов, прессформ и тд.).

Механическая обработка стали после термообработки позволяет получать детали высокого качества, исключая при этом дорогостоящие чистовые операции и устраняя проблемы, связанные со скручиванием, изгибом и прочими отклонениями формы заготовок, вызванными термической обработкой.

Одним из наиболее распространенных видов металлообработки, которым подвергают детали из закаленной стали является фрезерование. Фрезерование закаленной стали представляет собой технически сложную задачу, так как мате-

риал имеет большую твердость, и, соответственно, требует высокого качества режущего инструмента, жесткости и мощности оборудования [1, 2]. Исследования и производственный опыт показывают, что наибольшая доля отказов автоматических линий массового производства связана с отказами режущих инструментов.

Режущий инструмент – особый элемент технологической системы механической обработки, характеризующийся повышенными нагрузками на его режущую часть, что может вызвать различные виды повреждений, связанных с износом, поломками, выкрашиванием режущей кромки и др. При этом скорость изнашивания режущего инструмента значительно выше скорости изнашивания деталей и узлов технологического оборудования (станков, приспособлений и т.д.), поэтому режущий инструмент является особым звеном по надежности в автоматизированных технологических системах и требует своевременной замены на дублирующий.

В качестве наиболее подходящего по характеристикам инструментального материала для изготовления режущего инструмента, предназначенного для обработки деталей из закаленной стали, следует выделить поликристаллический нитрид бора (PcBN) и твердый сплав.

Режущий инструмент из поликристаллического нитрида бора превосходит твердосплавный с износостойким покрытием в процессе фрезерования [3, 4], но несмотря на это, твердый сплав используются чаще, чем PсBN, что связано со значительной разницей в стоимости и надежности при работе в тяжелых условиях [5]. Основной причиной износа твердосплавных фрез являются повышенные температуры резания, возникающие в зонах первичного и вторичного сдвига, которые ускоряют адгезионный, диффузионный и окислительный режимы износа [6].

Важнейшими параметрами, влияющими на износостойкость режущего инструмента при фрезеровании являются: износостойкое покрытие инструмента, угол наклона режущей кромки, передний угол, задний угол, химический состав и твердость материала обрабатываемой детали, вид фрезерования: попутное (направление подачи детали совпадает с направлением вращения фрезерного инструмента) или встречное (направление вращения фрезы и подачи обрабатываемой детали противоположны), прерывистое [7,8] или непрерывное фрезерование, скорость резания и подача, а также наличие/отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания.

При обработке заготовок до точного размера, фреза не только изнашивается, на нее действует и упругая деформация в системе СПИД (станок–приспособление–инструмент–деталь).

Деформация значительно усиливается с увеличением износа, который проявляется по задней и передней граням зуба. Показатель размерного износа, допускаемый при работе с материалом, можно установить только опытным путем для каждой ситуации и условий, в частности для определенных материала инструмента и обрабатываемого материала, так как нормативов не существует.

В данной статье будет проанализировано влияние вышеупомянутых параметров на износ и характер разрушения режущей части концевой твердосплавной фрезы при фрезеровании стали 4Х5МФ1С твердостью 52 HRC. Твердость обрабатываемого материала измерялась с помощью динамического портативного твердомера МЕТ-Д1.

Для проведения исследования влияния параметров на износ и характер разрушения режущей части концевой твердосплавной фрезы при фрезеровании стали 4Х5МФ1С твердостью 52 HRC, необходимо учитывать следующие факторы:

- Износостойкое покрытие инструмента: качество покрытия может значительно влиять на эффективность режущего процесса и износостойкость инструмента.

- Угол наклона режущей кромки, передний угол, задний угол: правильная геометрия режущей кромки также играет важную роль в процессе фрезерования.

- Химический состав и твердость материала обрабатываемой детали.

- Вид фрезерования: направление подачи детали и скорость резания также оказывают влияние на износ режущего инструмента.

- Наличие/отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости: правильное охлаждение инструмента может существенно увеличить его срок службы.

Исследование данных параметров позволит оптимизировать процесс фрезерования стали 4Х5МФ1С и повысить эффективность производства.

**Материалы и метод.** К наиболее значимым параметрам концевой твердосплавной фрезы следует отнести износостойкое покрытие [9–11], зернистость и химический состав сплава, угол наклона режущей кромки [12, 13], передний и задний углы (рис. 1).

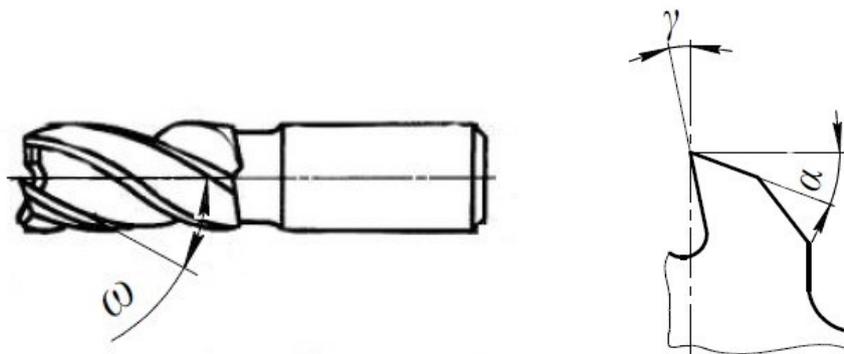


Рис. 1. Угол наклона режущей кромки ( $\omega$ ), передний ( $\gamma$ ) и задний угол ( $\alpha$ )

Максимальное сопротивление износу наблюдается у сплавов с малым содержанием кобальта [14]. С увеличением его содержания в твердом сплаве сопротивление износу снижается, но увеличивается ударная вязкость твердого сплава, вместе с тем, увеличивается способность сплава выдерживать большую ударную нагрузку [15]. Увеличение содержания в твердом сплаве карбида вольфрама и уменьшение размера его зерен повышает твердость и увеличивает хрупкость.

Существенно повышает стойкость режущего инструмента нанесение на его режущую часть износостойкого покрытия. В работе [16] приведены результаты исследования влияния износостойкого покрытия TiAlN и AlCrN на повышение стойкости при фрезеровании углеродистой конструкционной стали 45 монолитными твердосплавными концевыми фрезами. Из анализа полученных результатов, следует, что стойкость фрез с износостойким покрытием в 6 раз больше стойкости фрез без покрытия.

Повышение стойкости достигается путем увеличения микротвердости, коррозионной стойкости и термодинамической устойчивости поверхностного слоя, а также снижения коэффициента трения между режущим инструментом и

заготовкой [17]. За счет применения различных химических связей в покрытии и обрабатываемом материале удастся достигнуть увеличения сопротивления адгезионному изнашиванию и снизить негативное влияние от химического взаимодействия с обрабатываемым материалом и окружающей средой.

Передний угол оказывает непосредственное влияние на угол схода стружки и пластическую деформацию, максимальную температуру, распределение температур на передней поверхности и прочность режущей кромки [18].

Несмотря на то, что задний угол не принимает непосредственного участия в резании его величина также влияет на износостойкость фрезы, т.к. задняя поверхность зуба подвергается трению со стороны обрабатываемого материала. Изменение величины заднего угла в большую сторону способствует уменьшению трения, что положительно влияет на износостойкость режущего инструмента и качество (шероховатость) обработанной поверхности [18].

При увеличении угла наклона режущей кромки увеличивается осевая сила, уменьшается радиальная сила резания, увеличивается время задержки между врезаниями отдельных точек режущей кромки и уменьшается крутящий момент.

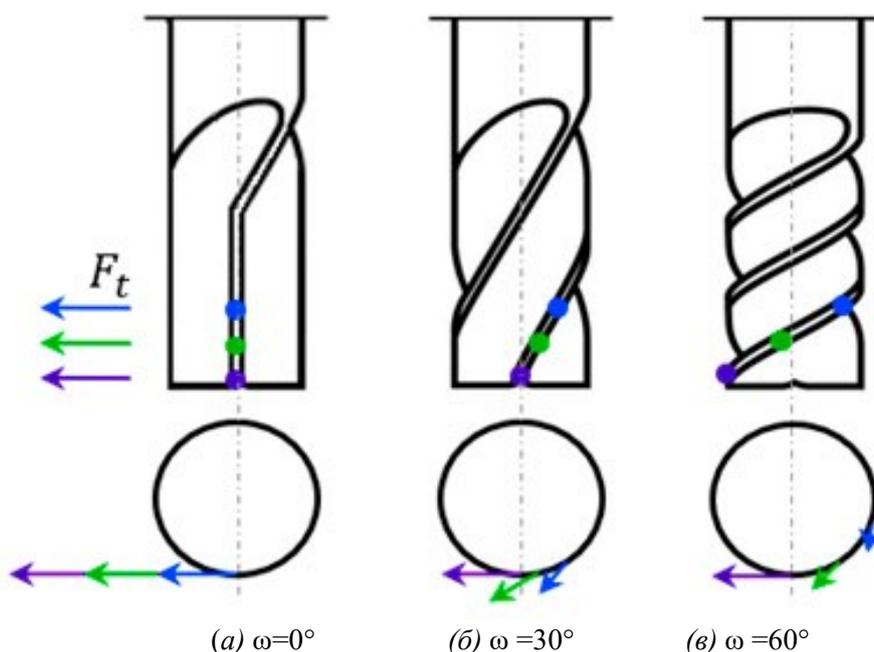


Рис. 2. Расположение вектора тангенциальной силы  $F_t$  в зависимости от точки ее приложения в зоне контакта режущей кромки с материалом заготовки

На рисунке 2 представлена схема, которая наглядно показывает расположение векторов тангенциальной силы  $F_t$ , направленной по касательной к зубьям фрезы, в точках контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом в зависимости от угла наклона режущей кромки.

В первом случае (рисунок 2a) в контакте с обрабатываемым материалом находятся три точки одновременно, таким образом, толщина снимаемой стружки максимальная, и процесс резания затрачивает большие усилия и крутящий момент.

Во втором и третьем случае (рисунок 2б, 2в) за счет увеличения угла наклона режущей кромки точки приложения усилий смещаются, при этом толщина стружки уменьшается, что приводит к снижению усилий и крутящего момента, а также более равномерному распределению нагрузки на режущую кромку.

Все эксперименты проводились на сверхскоростном обрабатывающем центре HAAS VF-2SS мощностью 22.4 кВт. В качестве оснастки использовался цанговый патрон TN-NC40ZP16(ER)H063AD. Применялся попутный вид фрезерования без использования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Параметры резания, которые поддерживались постоянными во всех экспериментах, были следующими: скорость резания ( $v_c$ )=80 м/с, подача на зуб ( $f_z$ )=0.1, ширина фрезерования ( $a_e$ )=0,5 мм, глубина реза-

ния ( $a_p$ )=5 мм. Критериями отказа режущего инструмента считалось достижение предельной величины износа на задней поверхности 0,2 мм, чрезмерное выкрашивание режущей кромки или торца режущего инструмента; или разрушение режущей части инструмента.

**Основная часть.** Измерение значений геометрических параметров режущей части рабочего инструмента выполнялись на измерительной установке Zoller genius 3с и представлены в таблице 1. Так же в таблице 1 указан вид износостойкого покрытия режущей части исследуемых образцов.

Для определения процентного содержания составляющих элементов твердого сплава образцов был проведен металлографический контроль, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 1

### Геометрические параметры и покрытия фрез

Номер образца	Угол наклона режущей кромки ( $\omega$ )	Передний угол ( $\gamma$ )	Задний угол ( $\alpha$ )	Диаметр сердцевины ( $\varnothing$ ), мм	Покрытие
1	50°	0° 45'	6°40'	8.078	TiAlN
2	50°	10°	7°41'	8.075	AlTiN
3	45°	8°30'	6°37'	8.24	TiAlSiN+TiAlN
4	45°	10°	7°	6.5	AlTiN
5	45°	3°28'48"	10°55'12"	8.059	TiAlCrSiN
6	44°	-16°	7°17'	8.4	TiAlN
7	45°	6°	8°	8	AlTiN
8	45°	-8°30'	6°	8	TiAlN

Таблица 2

### Результаты металлографического контроля

Номер образца	WC	Co	Cr	Ms	$\lambda$	HC	$\rho$
1	89,6	8,4	2,0	100,1	0,5-0,8	26,6	14,7
2	87,7	10,5	1,8	149,9	0,5-0,8	39,3	14,4
3	88,1	10,2	1,7	146,1	0,5-0,8	37,1	14,4
4	85,0	13,7	1,3	198,0	0,6-0,8	27,1	14,0
5	87,8	11,2	1,0	147,6	0,5-0,8	34,3	14,4
6	87,9	10,8	1,4	161,3	0,5-0,8	34,6	14,4
7	89,3	9,1	1,6	128,2	0,5-0,8	34,0	14,5
8	87	11	1,9	146,3	0,5-0,8	41,0	14,45

где WC – содержание карбида вольфрама (%), Co – содержание кобальта (%), Cr – содержание хрома (%), Ms – магнитное насыщение ( $\frac{10^{-7} \cdot m^3}{кг}$ ), HC – коэрцитивная сила ( $\frac{кА}{м}$ ),  $\lambda$  – средний размер зерен карбида вольфрама (мкм),  $\rho$  – плотность (г/см<sup>3</sup>).

Для оценки размера наиболее крупных зерен карбида вольфрама в твердом сплаве применялся микроскоп Olympus GX51. Образцы рассматривались при тысячекратном увеличении.

На рисунке 3 наглядно представлены зерна карбида вольфрама в твердом сплаве режущего инструмента. Наиболее крупное зерно карбида вольфрама наблюдается у образца №7 (9,86 мкм). У образца №5 размер зерна минимальный (1,07 мкм).

В процессе проведения эксперимента были получены следующие результаты стойкости инструментов (рис. 4).

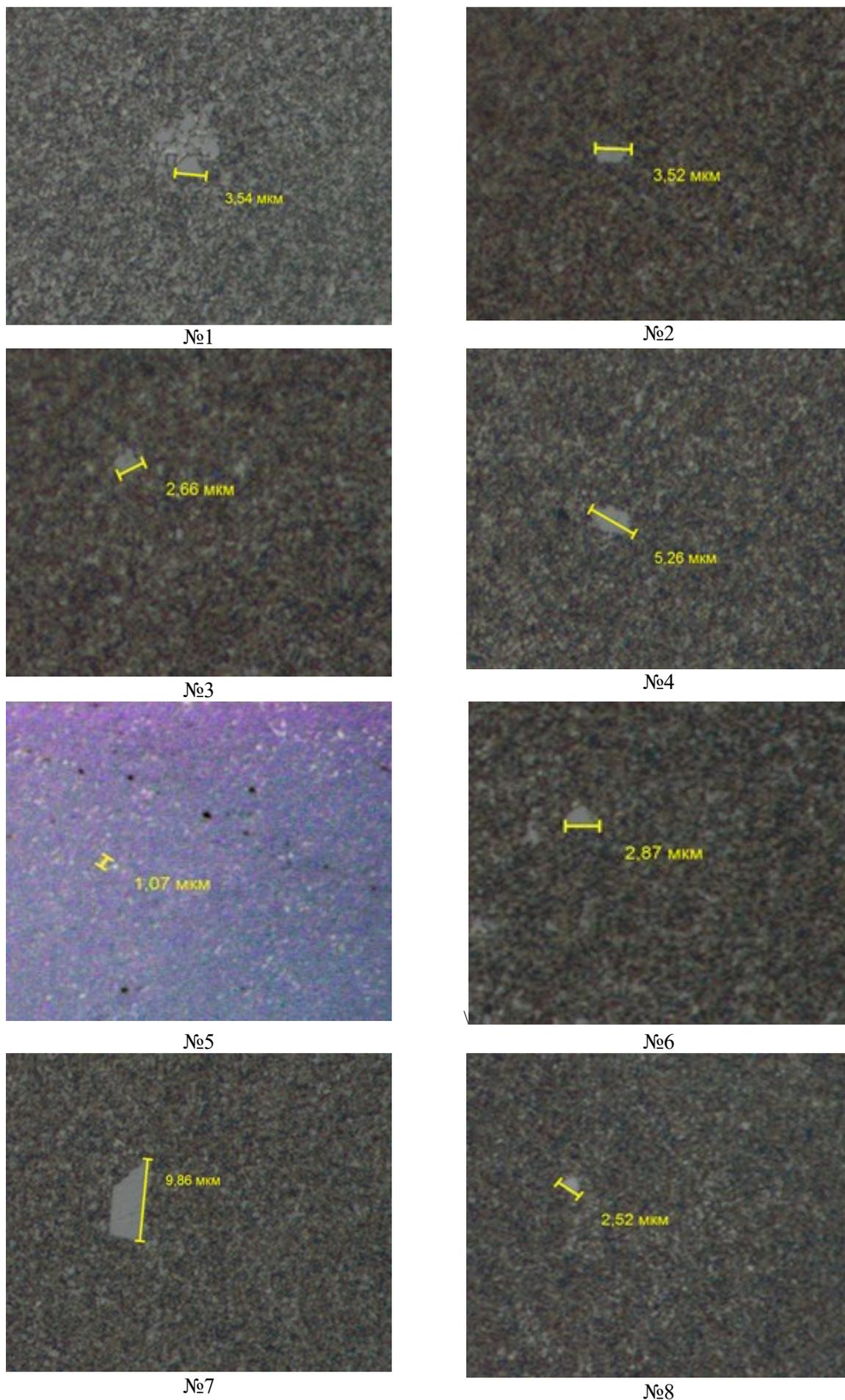


Рис. 3. Максимальный размер зерен карбида вольфрама в твердом сплаве инструментов

Наименьшую стойкость показали образцы под номерами 1, 2, 4, 7 и 8. У образцов №1, 2, 7 и 8 после непродолжительной работы наблюдались сколы зубьев, в результате чего инструмент стал непригоден для продолжения эксперимента.

Образец №4 вышел из строя при врезании в заготовку. Врезание и выход из зоны контакта режущего инструмента с заготовкой наиболее опасны для твердосплавного инструмента условия, так как твердый сплав плохо работает на удар, в результате чего на контактной поверхности инструмента образуются сколы. В момент выхода инструмента из зоны контакта с заготовкой наблюдается разгрузочный удар, который оказывает негативное влияние на режущую

кромку и стойкость режущего инструмента в целом [15, 18, 19].

Оптимальной комбинацией геометрических параметров режущей части, износостойкого покрытия, химического состава и зернистости твердого сплава оказались значения параметров образца №5:  $\omega=45^\circ$ ,  $\gamma=3^\circ28'48''$ ,  $\alpha=10^\circ55'12''$ ,  $\varnothing8.059$ . Вид износостойкого покрытия: TiAlCrSiN, толщина 1,5 мкм. Образец №5 имел наибольшую стойкость в сравнении с остальными. Эксперимент был остановлен после 236 минут работы по причине достижения максимального износа на задней поверхности зуба ( $h_3$ ).

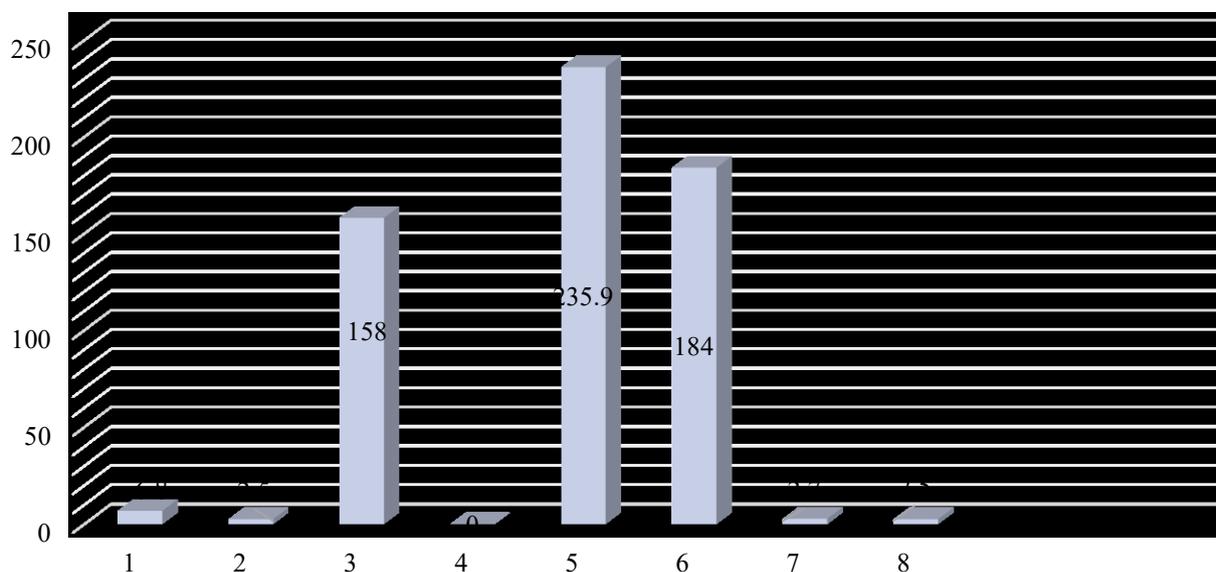


Рис. 4. Стойкость образцов по результатам проведенного эксперимента

Эксперимент с образцами №6 и №3 был остановлен по причине достижения предельной величины износа на задней поверхности режущей кромки (0,2 мм) [20].

Образец №6 обладает следующими параметрами:  $\omega=44^\circ$ ,  $\gamma= -16^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ17'$ ,  $\varnothing8.4$ . Покрытие TiAlN толщиной 2,9 мкм. Несмотря на то, что отрицательный передний угол является наиболее подходящим для обработки материалов повышенной твердости [14] фрезами из твердого сплава, стойкость оказалась значительно меньше, чем у образца №5 и составила 184 минуты.

Геометрические параметры режущей части образца №3:  $\omega=45^\circ$ ,  $\gamma= 8^\circ30'$ ,  $\alpha=6^\circ37'$ ,  $\varnothing8.24$ . Химический состав износостойкого покрытия: TiAlSiN+TiAlN. Толщина 1,7 мкм. Стойкость 158 мин.

На рисунке 5 изображены графики зависимости износа на задней поверхности зуба ( $h_3$ ) от времени работы (Т) образцов №3, 5, 6, построенные на основе данных, полученных в результате эксперимента. Из графиков видно, что сначала износ на задней поверхности увеличивается плавно, но в определенный момент его рост резко увеличивается и достигает максимального значения. Это связано с истиранием износостойкого покрытия. Как только толщина покрытия достигает минимального значения – износ резко увеличивается.

Далее на изображениях (рис. 6) наглядно представлен характер разрушения образцов.

У образцов, которые показали наилучшие результаты стойкости был выполнен замер толщины износостойкого покрытия на приборе CALOTESTER компании TRIBOtechnic (рис. 7).

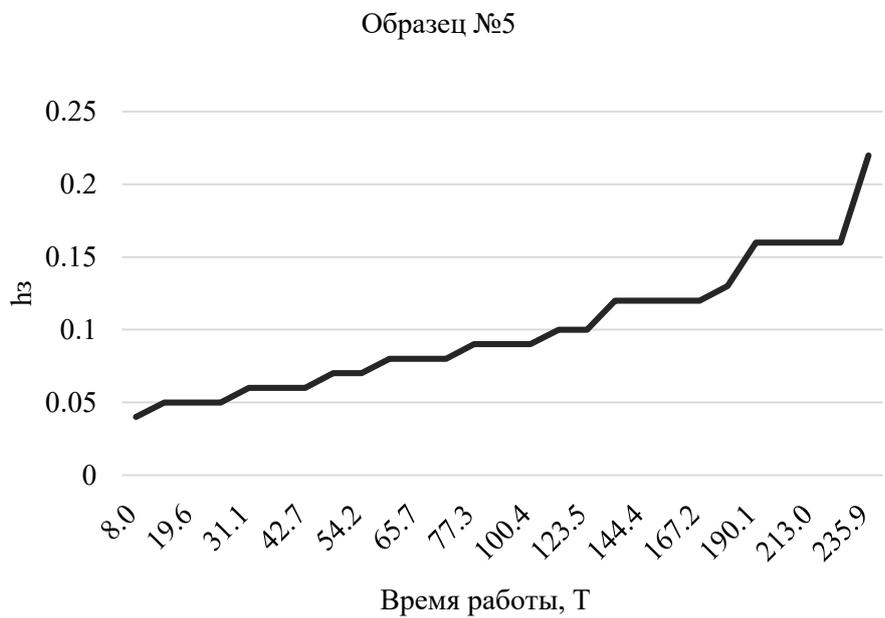


Рис. 5. Графики зависимости износа по задней поверхности зуба от времени работы образцов №3, 5, 6

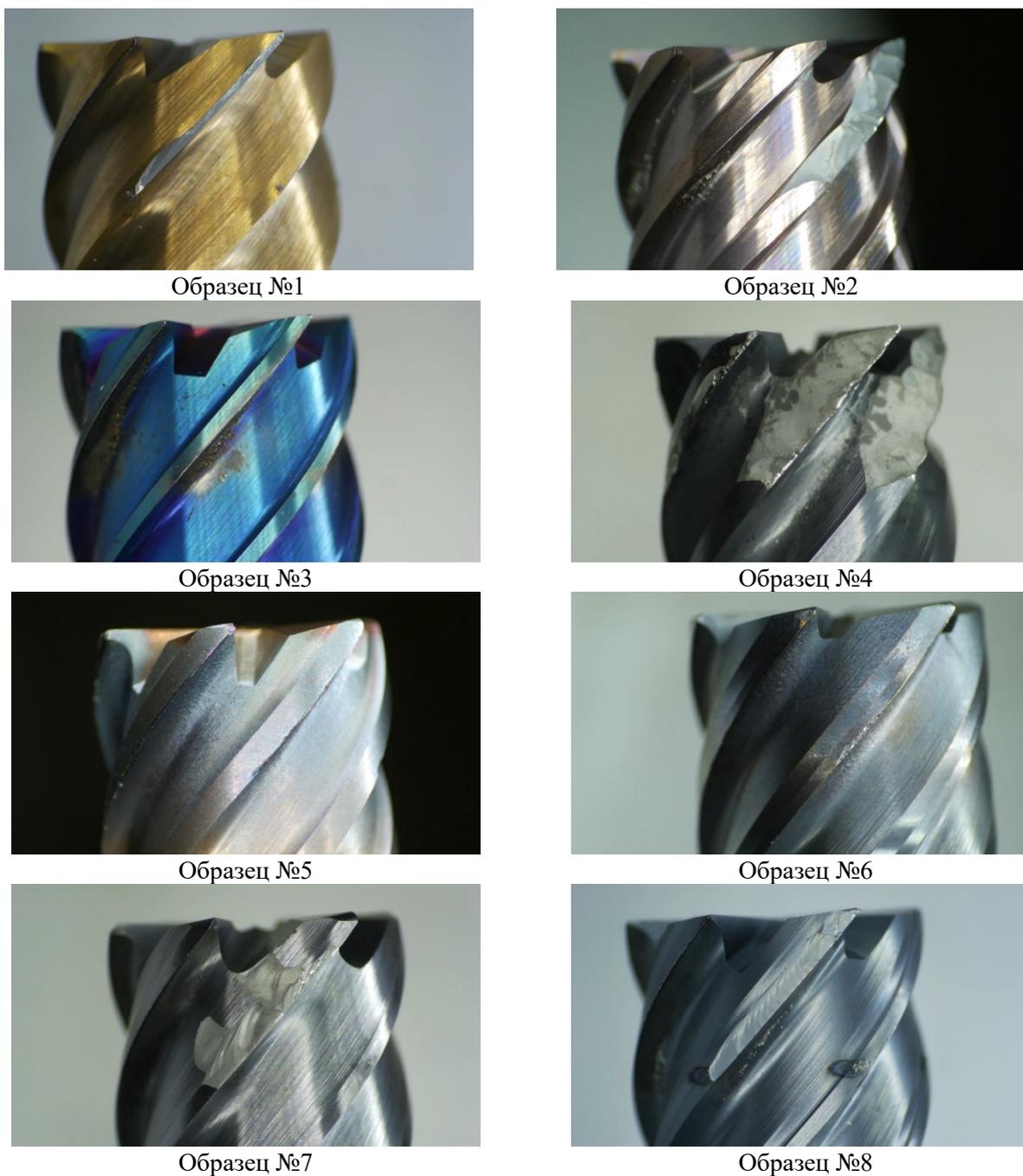


Рис. 6. Характер разрушения образцов в результате проведения эксперимента.



Образец №3  
TiAlSiN+TiAlN  
Толщина 1,7 мкм.

Образец №5  
TiAlCrSiN  
Толщина 1,5 мкм.

Образец №6  
TiAlN  
Толщина 2,9 мкм.

Рис. 7. Толщина износостойкого покрытия

**Выводы.**

В статье представлено экспериментальное исследование, направленное на изучение влияния геометрических параметров инструмента, зернистости твердого сплава и износостойкого покрытия на стойкость твердосплавных фрез, используемых при фрезеровании закаленных сталей. Из результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Зернистость твердого сплава значительно влияет на стойкость режущего инструмента. Величина среднего размера зерен карбида вольфрама в твердом сплаве одинакова практически у всех исследуемых образцов (0,5–0,8 мкм), за исключением образца №4 (0,6–0,8 мкм). Фрезы, в твердом сплаве которых были обнаружены крупные зерна карбида вольфрама (образцы №1, 2, 4, 7, 8) показали самые худшие результаты стойкости.

2. Химический состав износостойкого покрытия оказывает большее влияние, нежели его толщина.

3. Угол наклона режущей кромки фрезы оказывает незначительное влияние на стойкость, а такие параметры режущей части фрезы, как передний угол, задний угол и диаметр сердцевины в совокупности играют немаловажную роль.

4. Наиболее распространенным видом отката твердосплавных фрез при фрезеровании закаленных сталей является скол (5 образцов из 8 вышли из строя по причине разрушения режущей части); за ним следует износ (у 3-х образцов из 8-ми в процессе фрезерования была достигнута предельная величина износа на задней поверхности режущей кромки (0,2 мм).

Таким образом, результаты исследования позволяют оптимизировать параметры инструмента и повысить эффективность процесса фрезерования закаленных сталей.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Kayhan M., Budak E., An experimental investigation of chatter effects on tool life // *Journal of Engineering Manufacture*. 2009. № 11. Pp. 1455–1463. DOI: 10.1243/09544054JEM1506

2. Kaye J.E., Yan D.H., Popplewell N., Balakrishnan S. Predicting tool flank wear using spindle speed change // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1995. № 9. Pp. 1309–1320. DOI: 10.5937/fmet1903430N

3. Lin T.R., Experimental design and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel // *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. №127. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00026-2

4. Yamada T., Aoki S., Kitaura Y., Tanaka Y., Hayasaki H. High speed cutting performance of (Al, Ti) N coated carbide end mills for hardened steels // *International Journal of Materials Science and Applications*. 1997. №5. Pp. 486–489.

5. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. *Metal Machining: Theory and Applications*. Arnold Publishers, 2000. 118 p.

6. Ташлицкий Н.И. Особенности изнашивания твердосплавного инструмента при прерывистом резании // *Вестник машиностроения*. 2005. № 7. С. 55–56.

7. Жигалов А. Н., Шелег В. К. Исследование влияния аэродинамического упрочнения на стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании // *Машиностроение*. 2018. №5. С. 37–48

8. Jing L., Chen M., An Q. Study on Performance of PVD AlTiN Coatings and AlTiN-Based Composite Coatings in Dry End Milling of Hardened Steel SKD11 // *Metals*. 2021. №12. Pp. 110–116. DOI: 10.3390/met11122019

9. Aslantas K., Hopa H.E., Percin M. Cutting performance of nanocrystalline diamond (NCD) coating in micro-milling of Ti6Al4V alloy // *Precision Engineering*. 2016. №45. Pp. 55–66. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.01.009

10. Koller C.M., Glatz S.A., Riedl H., Kolozsvári S., Polcik P., Bolvardi H., Mayrhofer P.H. Structure and Mechanical Properties of Architecturally Designed Ti-Al-N and Ti-Al-Ta-N-Based Multilayers // *Surface and Coatings Technology*. 2020. №5. Pp. 210–222. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125355

11. Zhang H.J., Sun C. Lina M. Analysis of the optimization of tool geometric parameters for milling of Inconel 718 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 1. Pp. 253–259. DOI: 10.1088/1757-899X/423/1/012030

12. Gong Zhao J., Ni X. Wear and breakage of coated carbide tool in milling of H13 steel and SKD11 hardened steel // *SN Applied Sciences*. 2019. № 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s42452-019-1152-6

13. Мутафян Л.А. Явление удара при прерывистом резании и его влияние на характер протекания износа инструмента // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2015. № 5-2. С. 73–78.

14. Баженов М.Ф., Байчман С. Г., Карпачев Д. Г. *Твердые сплавы*, 1978. 184 с

15. Девин Л.Н., Губа А.Г., Осипов А.И. Определение энергетических характеристик разрушения твердых сплавов при динамическом нагружении // *Вестник НТУ ХПИ*. 2005. С. 142–149.

16. Гордовенко М.А., Михнёв М.М. Исследование повышения стойкости монолитных твердосплавных концевых фрез производства АО "ИСС" с износостойким покрытием // *Решетневские чтения*. 2017. Т. 1. № 21. С. 485–487.

17. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями, 2005. 151 с.

18. Самойлов В.С., Эйхманс Э. Ф., Фальковский В. А., Локтев А.Д., Шкурин Ю.П. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент, 1988. 368 с.

19. Коротких М.Т. Измерение ударных нагрузок на лезвие инструмента при прерывистом резании // Металлообработка. 2001. № 1. С. 72–74.

20. ISO 8688-2:1989 (en) Tool life testing in milling – Part 2: End milling [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-2:ed-1:v1:en> (дата обращения: 11.01.2024 г.)

#### Информация об авторах

**Хургасенко Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: [hurtintbel@mail.ru](mailto:hurtintbel@mail.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чередников Игорь Иванович**, аспирант кафедры технологии машиностроения, инженер-технолог. E-mail: [cherednikovya@gmail.com](mailto:cherednikovya@gmail.com). ООО «СКИФ-М», Россия, 308009, Белгород, ул. Волчанская, д. 159

**Мамченкова Анастасия Александровна**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: [mamchenkova03@yandex.ru](mailto:mamchenkova03@yandex.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чуев Кирилл Витальевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: [kirill.chuev@gmail.com](mailto:kirill.chuev@gmail.com). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Бондаренко Антон Александрович**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: [mamchenkova03@yandex.ru](mailto:mamchenkova03@yandex.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.04.2024 г.

© Хургасенко А.В., Чередников И.И., Мамченкова А.А., Чуев К.В., Бондаренко А.А., 2024

<sup>2</sup>*Khurtasenko A.V.*, <sup>1</sup>\**Cherednikov I.I.*, <sup>2</sup>*Mamchenkova A.A.*, <sup>2</sup>*Chauev K.V.*, <sup>2</sup>*Bondarenko A.A.*  
<sup>1</sup>ООО «СКИФ-М»

<sup>2</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

\*E-mail: [cherednikovya@gmail.com](mailto:cherednikovya@gmail.com)

## ASSESSMENT OF WEAR AND DESTRUCTION OF SOLID CARBIDE CUTTERS DURING MILLING OF HARDENED STEEL 4X5MF1C WITH A HARDNESS OF 52 HRC

**Abstract.** The main problem when milling hardened steel is its high hardness and uneven hardening of the workpiece, which exposes the cutting tool to cyclic loads during the cutting process. The ultrahigh temperatures created in the primary and secondary shear zones significantly accelerate various types of wear of hard alloy cutting tools, especially adhesive and diffusion wear. The most common and main cause of tool failure is brittle fracture. This paper presents a study of the influence of geometric parameters of the cutting part of the end mill, wear-resistant coating, chemical composition and grain size of a hard alloy on the degree of various types of wear and destruction during milling of hardened steels. The parameters of the tool were studied, such as the wear-resistant coating, the microstructure of the hard alloy, the angle of inclination of the cutting edge, the front and rear corners of the cutting edge. The grain size and chemical composition of the hard alloy were studied and analyzed using an electron microscope and energy dispersive spectrometry. The thickness of the wear-resistant coating was measured by the ball abrasion method using a coating thickness gauge. After the tests, conclusions were drawn about the influence of the alloy's grain size, chemical composition and the widespread type of wear

**Keywords:** milling of hardened steel, milling of hard alloy, wear, fracture, wear resistance.

### REFERENCES

1. Kayhan M., Budak E., An experimental investigation of chatter effects on tool life. Journal of

Engineering Manufacture. 2009. № 11. Pp. 1455–1463. DOI: 10.1243/09544054JEM1506

2. Kaye J.E., Yan D.H., Popplewell N., Balakrishnan S. Predicting tool flank wear using spindle speed change. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1995. № 9. Pp. 1309–1320. DOI: 10.5937/fmet1903430N
3. Lin T.R., Experimental design and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. №127. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00026-2
4. Yamada T., Aoki S., Kitaura Y., Tanaka Y., Hayasaki H. High speed cutting performance of (Al, Ti) N coated carbide end mills for hardened steels. *International Journal of Materials Science and Applications*. 1997. №5. Pp. 486–489.
5. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. *Metal Machining: Theory and Applications*. Arnold Publishers, 2000. 118 p.
6. Tashlitsky N.I. Features of wear of a carbide tool during intermittent cutting [Osobennosti iznashivaniya tverdospavnogo instrumenta pri prery`vstom rezanii]. *Bulletin of Mechanical Engineering*. 2005. No. 7. Pp. 55–56. (rus)
7. Zhigalov A. N., Sheleg V. K., Investigation of the effect of aerodynamic hardening on the durability of a carbide tool during intermittent cutting [Issledovanie vliyaniya aerodinamicheskogo uprochneniya na stojkost` tverdospavnogo instrumenta pri prery`vstom rezanii]. *Mashinostroenie*. 2018. No. 5. Pp. 37–48 (rus)
8. Jing L., Chen M., An Q. Study on Performance of PVD AlTiN Coatings and AlTiN-Based Composite Coatings in Dry End Milling of Hardened Steel SKD11. *Metals*. 2021. No. 12. Pp. 110–116. DOI: 10.3390/met11122019
9. Aslantas K., Hopa H.E., Percin M. Cutting performance of nanocrystalline diamond (NCD) coating in micro-milling of Ti6Al4V alloy. *Precision Engineering*. 2016. No. 45. Pp. 55–66. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.01.009
10. Koller C.M., Glatz S.A., Riedl H., Kolozsvári S., Polcik P., Bolvardi H., Mayrhofer P.H. Structure and Mechanical Properties of Architecturally Designed Ti-Al-N and Ti-Al-Ta-N-Based Multilayers. *Surface and Coatings Technology*. 2020. No. 5. Pp. 210–222. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125355
11. Zhang H.J., Sun C. Liua M. Analysis of the optimization of tool geometric parameters for milling of Inconel 718. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 1. Pp. 253–259. DOI: 10.1088/1757-899X/423/1/012030
12. Gong Zhao J., Ni X. Wear and breakage of coated carbide tool in milling of H13 steel and SKD11 hardened steel. *SN Applied Sciences*. 2019. № 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s42452-019-1152-6
13. Mutafyan L.A. The phenomenon of impact during intermittent cutting and its effect on the nature of tool wear [Yavlenie udara pri prery`vstom rezanii i ego vliyanie na xarakter protekaniya iznosa instrumenta]. *News of TULSU. Technical sciences*. 2015. No. 5-2. Pp. 73–78. (rus)
14. Bazhenov M.F., Baichman S. G., Karpachev D.G. *Hard alloys [Tverdy`e splavy`]*, 1978. 184 p. (rus)
15. Devin L.N., Guba A.G., Osipov A.I. Determination of the energy characteristics of the destruction of hard alloys under dynamic loading [Opredelenie energeticheskix xarakteristik razrusheniya tverdy`x splavov pri dinamicheskom nagruzhении] // *Bulletin of NTU KHPI*. 2005. Pp. 142–149. (rus)
16. Gordovenko M.A., Mikhnev M.M. Study of increasing the durability of monolithic carbide end mills manufactured by JSC ISS with a wear-resistant coating [Issledovanie povы`sheniya stojkosti monolitny`x tverdospavnny`x koncevny`x frez proizvodstva AO "ISS" s iznosostojkim pokry`tiem]. *Reshetnev readings*. 2017. Vol. 1. No. 21. Pp. 485–487. (rus)
17. Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsikin A.V. Operability of end mills with multilayer wear-resistant coatings [Rabotosposobnost` torczovy`x frez s mnogoslojny`mi iznosostojkimi pokry`tiyami], 2005. 151 p. (rus)
18. Samoilov V.S., Eichmans E.F., Falkovsky V.A., Loktev A.D., Shkurin Yu.P. *Metalworking carbide tools [Metalloobrabaty`vayushhij tverdospavnny`j instrument]*, 1988. 368 p. (rus)
19. Korotkov M.T. Measurement of impact loads on the tool blade during intermittent cutting [Izmerenie udarny`x nagruzok na lezvie instrumenta pri prery`vstom rezanii]. *Metalworking*. 2001. No. 1. Pp. 72–74. (rus)
20. ISO 8688-2:1989 (en) Tool life testing in milling – Part 2: End milling [Electronic resource]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-2:ed-1:v1:en> (date of access: 11.01.2024).

#### Information about the authors

**Khurtasenko, Andrey V.** PhD. Khurtasenko, Andrey V. PhD. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Cherednikov, Igor I.** Postgraduate student. E-mail: cherednikovya@gmail.com. LLC SKIF-M, Russia, 308009, Belgorod, Volchanskaya str., 159

**Mamchenkova, Anastasia A.** Postgraduate student. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chuev, Kirill V.** Postgraduate student. E-mail: kirill.chuev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Bondarenko, Anton A.** Postgraduate student. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 16.04.2024*

**Для цитирования:**

Хуртасенко А.В., Чередников И.И., Мамченкова А.А., Чуев К.В., Бондаренко А.А. Оценка изнашивания и характер разрушений цельных твердосплавных фрез при фрезеровании закаленной стали 4X5MФ1С твердостью 52 HRC // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 81–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92

**For citation:**

Khurtasenko A.V., Cherednikov I.I., Mamchenkova A.A., Chauv K.V., Bondarenko A.A. Assessment of wear and destruction of solid carbide cutters during milling of hardened steel 4X5MF1C with a hardness of 52 HRC. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 81–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-93-105

*\*Макин М.К., Волков А.Н., Кочнева О.В.*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*\*E-mail: ppppp5.5@mail.ru*

## ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЦИКЛОВОГО И ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ОТ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ И ЕГО ПАРАМЕТРОВ

**Аннотация.** Цикловые и позиционные приводы являются основой автоматизации дискретного производства. Обычно они используются для реализации операций загрузки, ориентации, транспортирования в технологическом оборудовании, а также в промышленной робототехнике и мехатронных модулях различного назначения. Основными характеристиками таких приводов во многих случаях являются величины перемещений и времен движения. Математическая модель приводов для типовых законов движения, характеризующихся временами разгона и торможения, учитывает тепловые потери в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением. Исследование проводилось с целью определения эффективности оптимизации закона движения по максимальной потребляемой мощности при учёте потерь в двигателе. Смоделированы два закона изменения ускорения электродвигателя: прямоугольный и треугольный. Для каждого закона рассмотрены 2 ситуации: перемещение с участком равномерного движения и без него. Исследования моделей в среде Simulink позволили установить связь между потреблением энергии, мощностью и законом движения. Получена зависимость между напряжением и потребляемым током от вида закона движения. Потери энергии в электродвигателе не превышают 2 % от общего энергопотребления при преобладающей инерционной нагрузке, и 44 % при активном моменте сопротивления, равном номинальному. Установлено, что эффективность оптимизации закона движения, по сравнению с известными исследованиями, при инерционной нагрузке возросла с 44 % до 47–48 %, а при приложении активного момента уменьшилась с 44 % до 9–10 %.

**Ключевые слова:** закон движения, двигатель постоянного тока, энергия, мощность, математическая модель, исследование, Simulink.

**Введение.** Проектирование мехатронных и робототехнических устройств с цикловым и позиционным приводом [1, 2] осуществляется по одному или нескольким критериям, которым они должны соответствовать: надёжность, масса, максимальная мощность, энергопотребление, быстродействие, стоимость и т. д. Выбор одного или набора этих критериев, а также весовых значений в последнем случае производится с учетом конкретных условий эксплуатации. Например, для космических или для автономных наземных роботов критически важна потребляемая энергия, а для стационарных металлообрабатывающих станков, манипуляторов автоматических линий большое значение часто приобретает максимальная за цикл потребляемая мощность, определяющая установленную мощность, на которую часто накладываются весьма жёсткие ограничения сетями энергообеспечения. Поэтому, проблема энергосбережения и снижения потребляемой машинами мощности является актуальной, что подтверждают и зарубежные исследования [3–7]. Наиболее широкие возможности для ее решения имеются в робототехнике и мехатронике, когда цикловые и позиционные приводы имеют систему управления, способную обеспечить ра-

циональный закон движения при заданных перемещении и времени. В работах [8–12] не рассматривалось влияние электродвигателя, как следствие, потерь в нём, при синтезе законов движения, а в [13–15] не очевидно, какую роль они вносят. В статье анализируется влияние двигателя на два закона изменения ускорения: треугольный и прямоугольный. Установлено [16], что при равном времени разгона, равномерного движения и торможения, пиковая мощность за цикл работы будет минимальной, поэтому для каждого закона движения привода рассматривается две ситуации: разгон и торможение занимают по половине времени перемещения, и разгон занимает треть времени, равномерное движение занимает треть времени и торможение также занимает треть времени от общего цикла движения. Для исследования выбран двигатель постоянного тока ЕС-таx 22. Его технические характеристики, приведенные в таблице 1, занесены в математическую модель в программе Simulink.

**Методика.** Исследование проводилось в среде Simulink с помощью блоков библиотеки Simscape. В качестве модели взята известная структурная схема [17], усовершенствованная в соответствии с поставленной задачей, представ-

лена на рисунке 1. Добавленный блок для задания закона движения, обеспечивает управление электродвигателем. Так как исследуется только влияние потерь в двигателе [18–19] на эффективность оптимизации закона движения, то блок управления считается идеальным. В базовую модель добавлен блок расчёта электрической (полной) мощности, учитывающей потери в электродвигателе, и механической мощности, потребляемой энергии и потерь в двигателе. Моделируется 2 случая функционирования привода. Во-первых, двигатель имеет преобладающую инерционную нагрузку. Во-вторых, к нему прикладывается активный момент сопротивления, равный номинальному.

Регулирование скорости электродвигателя происходит путём изменения напряжения на якоре двигателя с помощью кусочно-линейной функции в блоке задания закона движения, указанном на рисунке 1. Момент, необходимый для вращения двигателя, определяется током якоря, который зависит от изменения ЭДС и напряжения на якоре [20]. ЭДС увеличивается пропорционально

скорости вращения двигателя, поэтому для работы двигателя напряжение на якоре должно изменяться пропорционально скорости. Исходя из этого, с помощью напряжения на якоре двигателя задаётся закон движения привода.

Таблица 1

Характеристики двигателя постоянного тока ЕС-max 22

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания	12 В
Скорость холостого хода	12400 об/мин
Сопротивление обмотки якоря	0,955 Ом
Индуктивность обмотки якоря	0,0000498 Гн
Номинальный момент	0,023 Н·м
Постоянная момента	0,0091 Н·м/А

На выходе блока модели электродвигателя выводятся скорость вращения ротора, ускорение, полученное путём дифференцирования скорости вращения, сила тока на якоре и крутящий момент. Далее рассчитывается мощность и энергопотребление, являющееся работой электрической мощности.

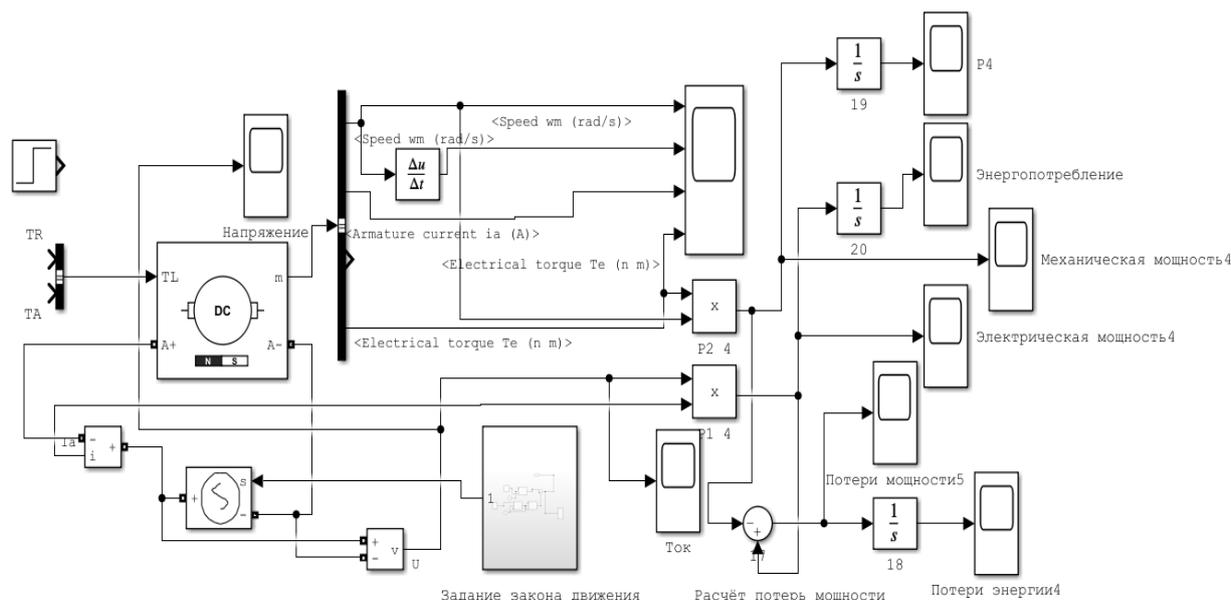


Рис. 1. Структурная схема модели электропривода

Модель электродвигателя в программе Simulink описывается системой уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} E = K_E * \omega \\ K_E = L_{af} * I_f \\ T_E = K_T * I_a \\ K_E = K_T \\ J * \frac{d\omega}{dt} = T_E - T_L - B_m * \omega - T_f \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $E$  – ЭДС;  $K_E$  – постоянная эдс двигателя;  $T_E$  – электромагнитный момент двигателя;  $K_T$  –

постоянная момента двигателя;  $T_L$  – момент сопротивления;  $J$  – момент инерции, приведённый к валу двигателя;  $\omega$  – скорость вращения вала двигателя;  $I_a$  – ток цепи обмотки якоря;  $I_f$  – ток цепи обмотки возбуждения;  $B_m$  – коэффициент вязкого трения;  $T_f$  – реактивный момент сопротивления, учитывающий силу трения;  $L_{af}$  – взаимная индуктивность обмотки возбуждения и обмотки якоря электродвигателя.

**Моделирование работы привода с преобладающей инерционной нагрузкой.** Смоделированы 4 закона движения электропривода, и получены графики зависимости скорости и ускорения

от времени, представленные на рисунке 2, при условии постоянства времени цикла и расстоянии перемещения (рисунок 3). При моделировании, на ускорение не накладывалось каких-либо ограничений. Все сравнения проводились только

для участка разгона и равномерного движения электропривода до половины периода времени цикла движения, рекуперация энергии при торможении не учитывалась.

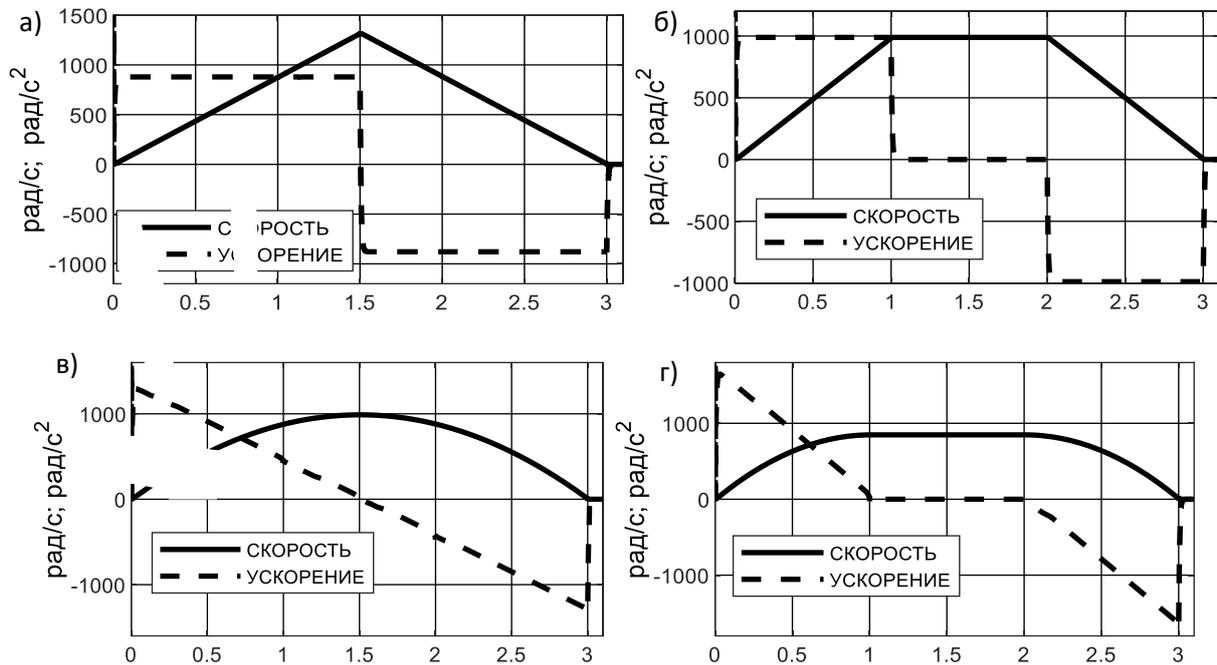


Рис. 2. Зависимость скорости и ускорения электродвигателя от времени

- а) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$ , в) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , г) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$

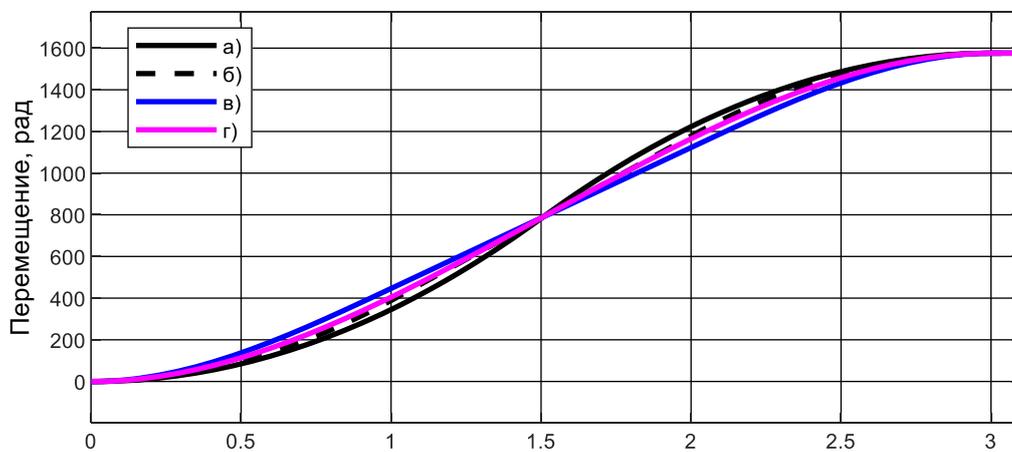


Рис. 3. Зависимость перемещения привода от времени

- а) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$ , в) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , г) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$

На рисунках 4-10 представлены графики механических и электрических (полных) мощностей, полученных по формулам (2), (3), энергопотребления, рассчитанного путём интегрирования полной мощности, потребляемой электродвигателем, потерь мощности и энергии в двигателе.

$$P1 = U * I \quad (2)$$

$$P2 = M * \omega \quad (3)$$

где  $P1$  – электрическая мощность, потребляемая из сети;  $P2$  – механическая мощность, получаемая на валу двигателя;  $U$  – напряжение на двигателе;  $I$  – ток, потребляемый двигателем;  $M$  – крутящий момент;  $\omega$  – скорость вращения

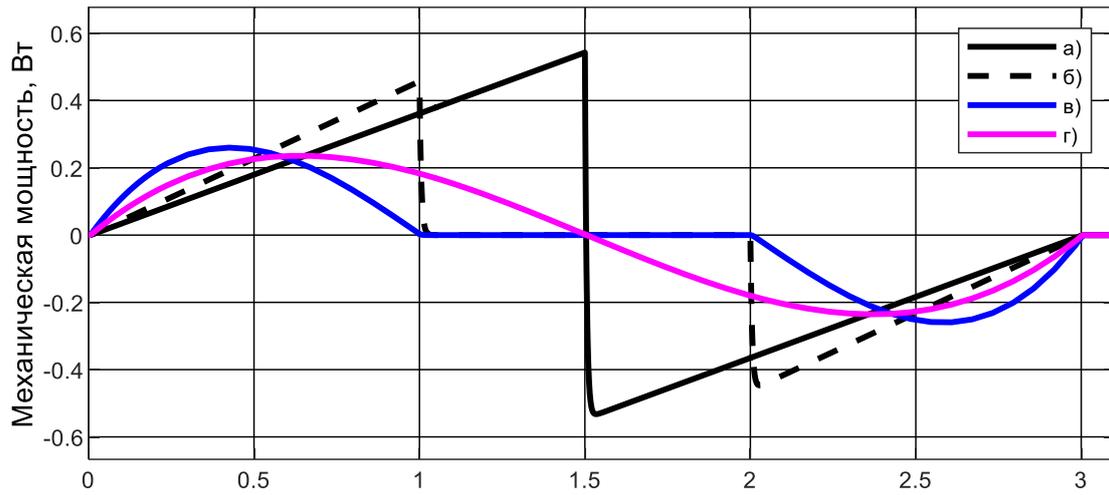


Рис. 4. Зависимость мгновенной механической мощности от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

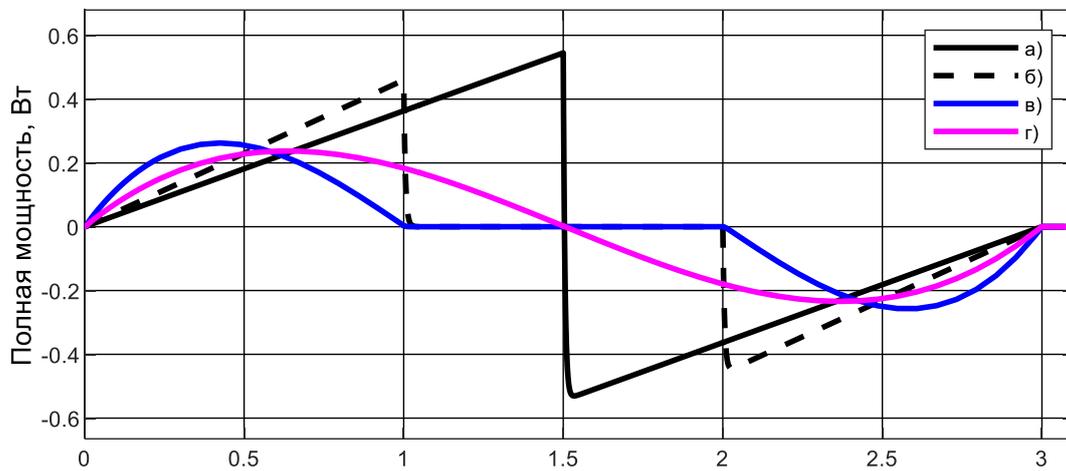


Рис. 5. Зависимость мгновенной электрической (полной) мощности от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

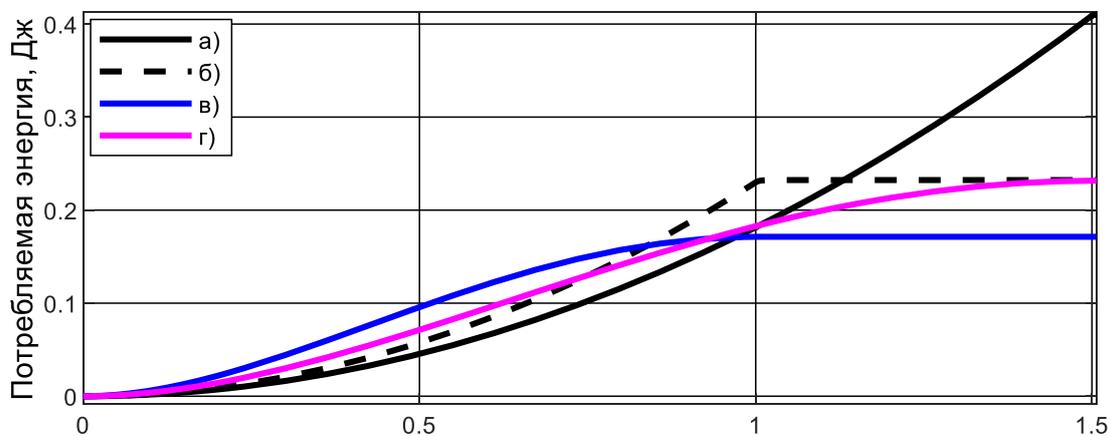


Рис. 6. Зависимость потребляемой энергии от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

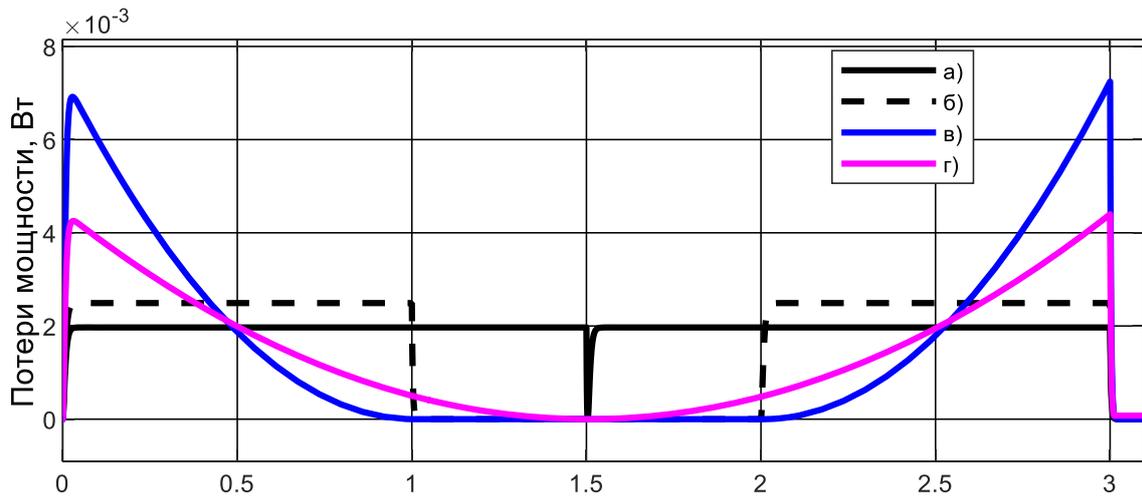


Рис. 7. Зависимость мгновенных потерь мощности от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

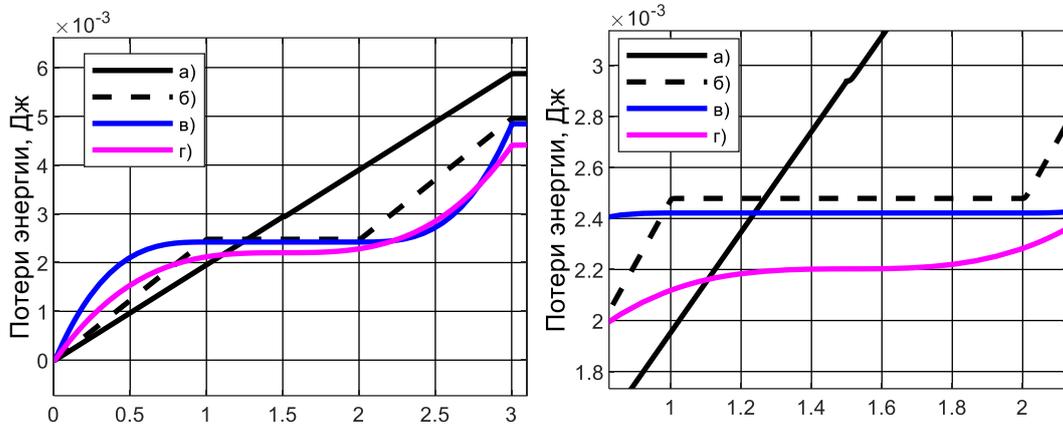


Рис. 8. Зависимость мгновенных потерь энергии в двигателе от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

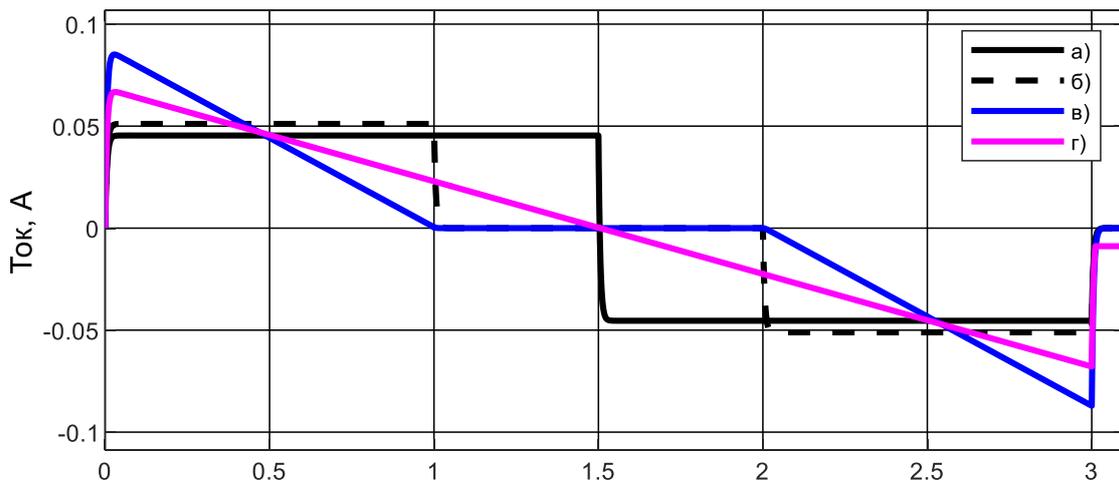


Рис. 9. Зависимость потребляемого двигателем тока от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

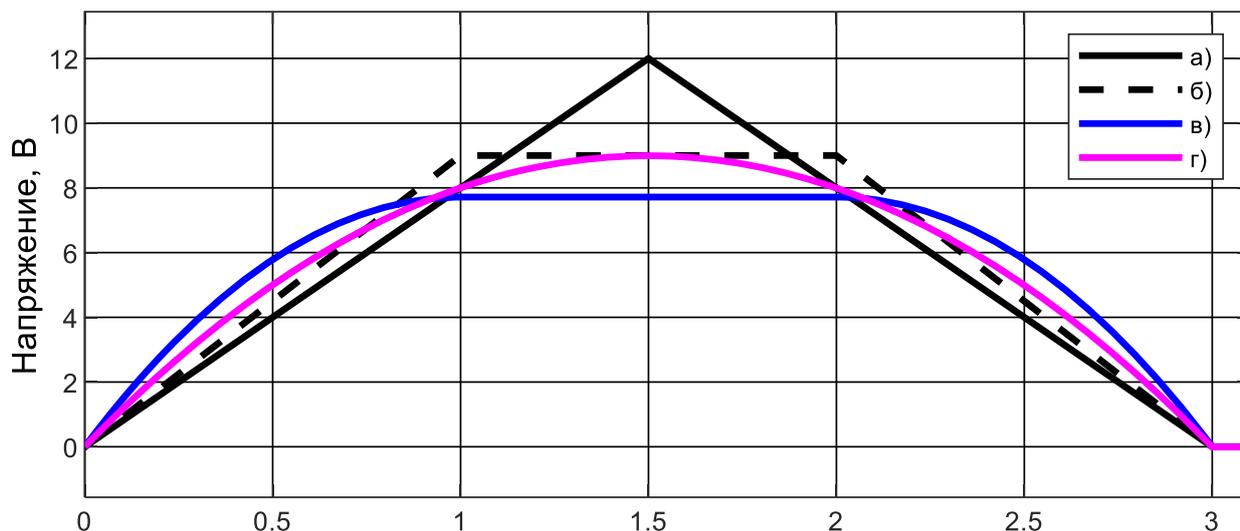


Рис. 10. Зависимость напряжения якоря двигателя от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

По полученным зависимостям, представленным на рисунках 2-10, можно сделать следующие выводы. Среди треугольных законов самый низкий пик мощности имеет закон с временем разгона  $T/2$ , а среди прямоугольных с временем разгона  $T/3$ , как механической, так и электрической, учитывающей потери в двигателе. Относительно прямоугольного закона изменения ускорения с временем разгона  $T/3$  пик механической мощности треугольного меньше на 48 %, а пик электрической на 47 %, причём, их энергопотребление идентично. По графику энергопотребления двигателя видно, что закон треугольного ускорения с временем разгона  $T/3$  имеет наименьшую его величину, так как в период равномерного движения потребляемый ток равен нулю из-за отсутствия активной нагрузки на валу электродвигателя. Относительно потерь энергии в двигателе можно сказать, что у треугольного закона изменения ускорения с временем разгона  $T/2$  они минимальные, и, в сравнении с законом прямоугольного изменения ускорения с временем разгона  $T/3$ , меньше на 11 %. Экономичность треугольного закона изменения ускорения по энергопотреблению можно объяснить пониженным напряжением, так как от него зависит скорость вращения вала электродвигателя, которая тоже меньше, чем у прямоугольного закона изменения ускорения, и пониженным потреблением тока, из чего следует, что и тепловые потери в двигателе будут меньше. Оценить влияние электродвигателя на моделируемые законы движения

можно по максимальным потерям энергии, которые не превышают 2 % от общего энергопотребления в самом худшем случае.

**Моделирование работы привода с преобладающей инерционной нагрузкой и активным моментом сопротивления.** На вход модели был подан ступенчатый сигнал, равный моменту сопротивления 0.023 Нм, который является номинальным для данного двигателя. Смоделированы те же самые 4 закона движения циклового привода. На рисунках 11 – 19 представлены зависимости скорости, ускорения, мощностей, энергопотребления от времени. Рекуперация энергии при торможении не учитывалась.

Так как напряжение и ток в двигателе нарастает не мгновенно, ограничения на ускорение нет, а двигателю необходимо преодолеть активный момент сопротивления, то присутствует скачок скорости и ускорения. Графики сдвинуты по времени, так как при треугольном законе изменения ускорения нарастание напряжения и тока происходит быстрее, соответственно, и момент двигателя, необходимый для преодоления момента сопротивления, нарастает быстрее, и цикл движения завершается раньше. Сравнения полученных зависимостей проводились на половине времени рабочего цикла, для этапа разгона и равномерного движения. Время половины цикла для прямоугольного закона с временем разгона  $T/2 = 2.939$  с, прямоугольного закона с временем разгона  $T/3 = 2.49$  с, треугольного закона с временем разгона  $T/2 = 1.958$  с, треугольного закона с временем разгона  $T/3 = 1.913$  с.

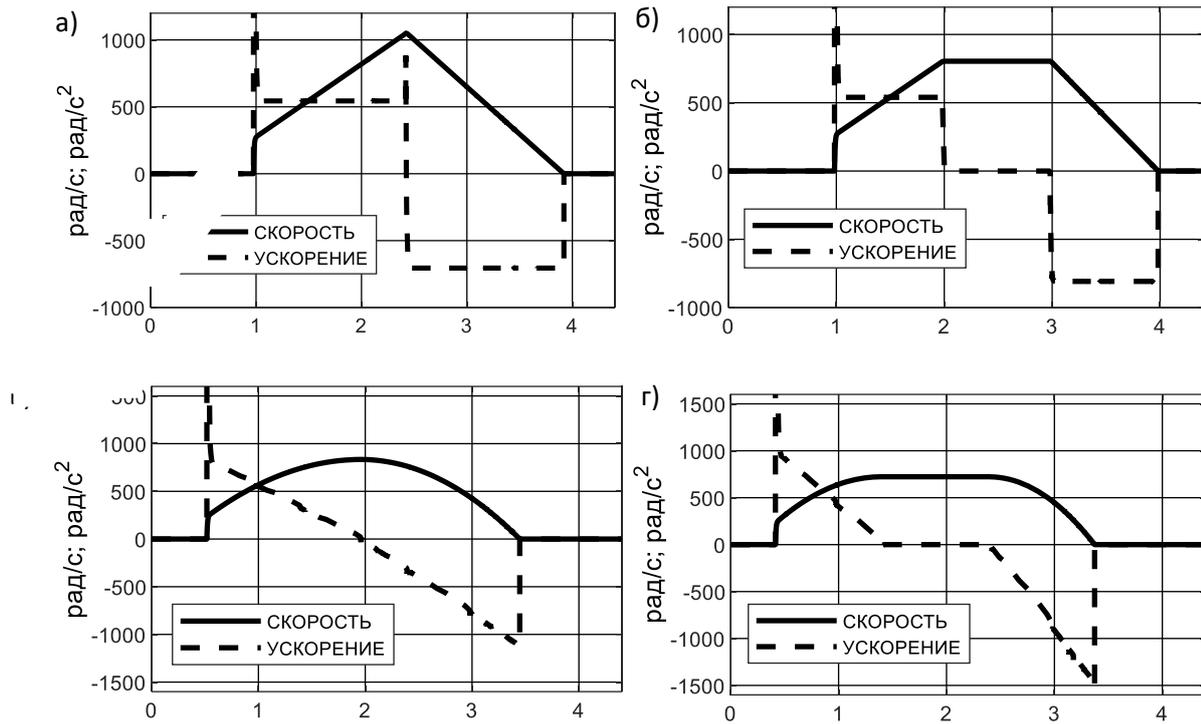


Рис. 11. Зависимость скорости и ускорения электродвигателя от времени

- а) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$ , в) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/2$ , г) треугольный закон изменения ускорения с временем разгона  $T/3$

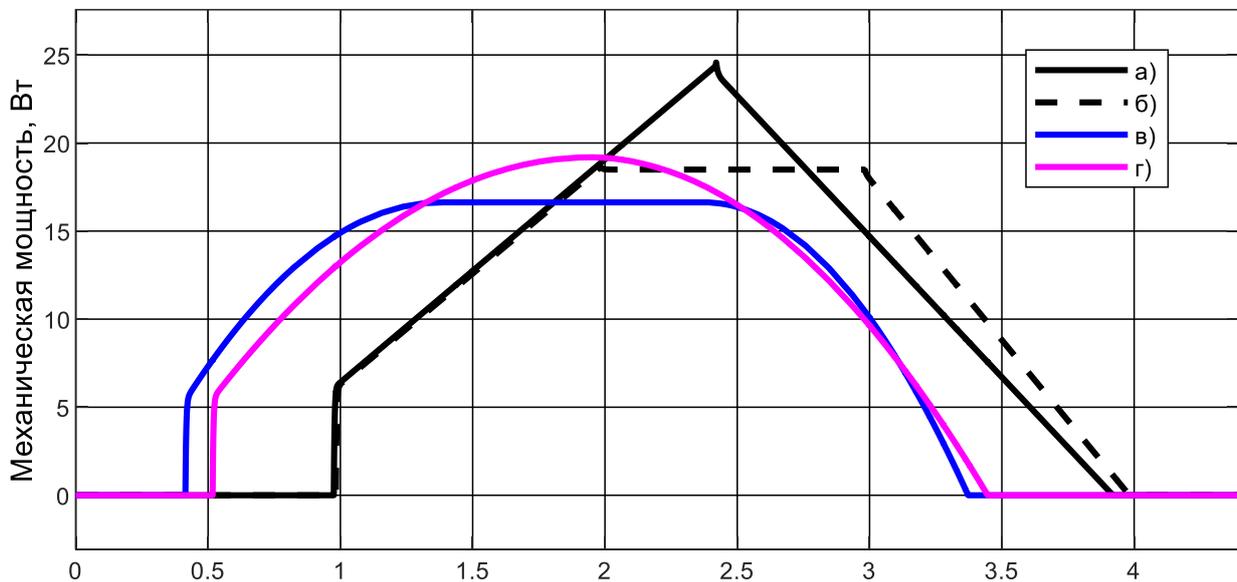
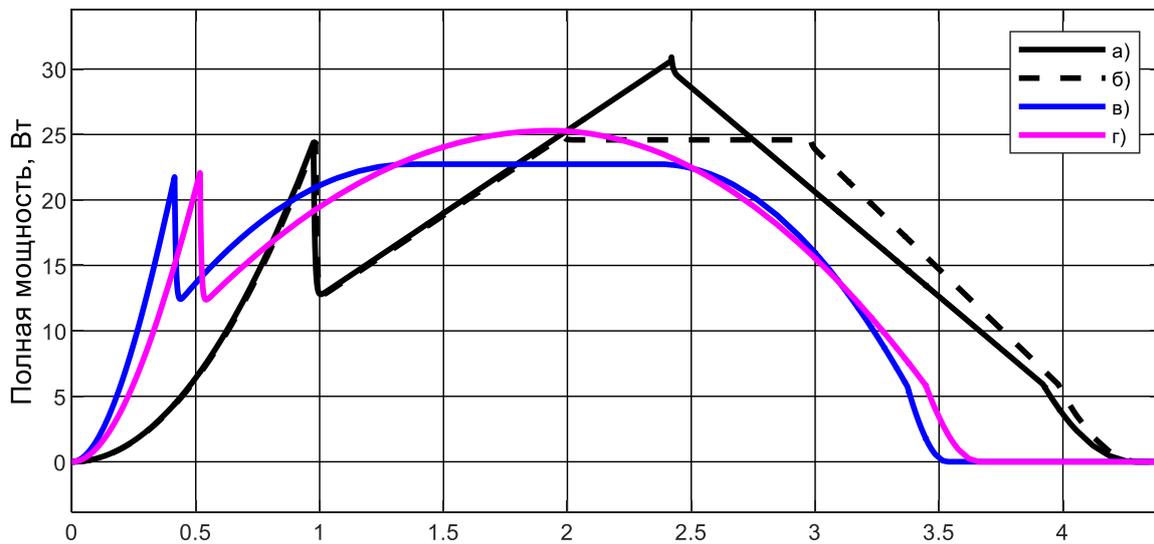


Рис. 12. Зависимость мгновенной механической мощности от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ , в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$



Offset=0

Рис. 13. Зависимость мгновенной электрической (полной) мощности от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

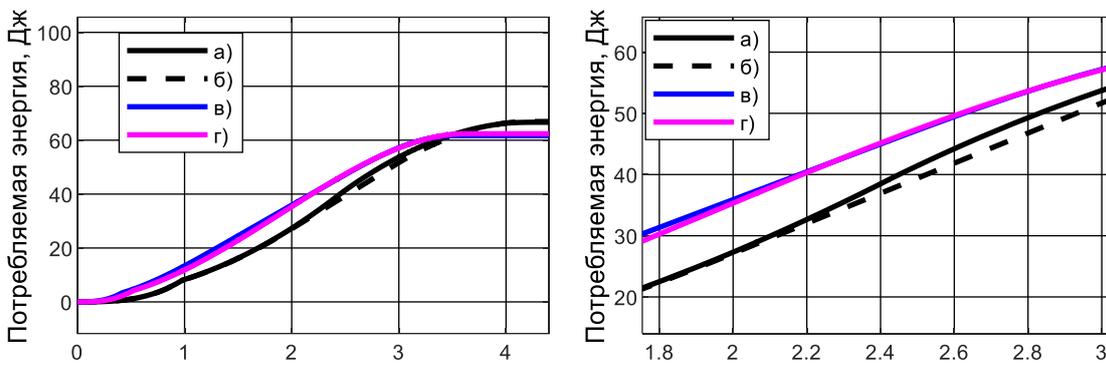


Рис. 14. Зависимость потребляемой энергии от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

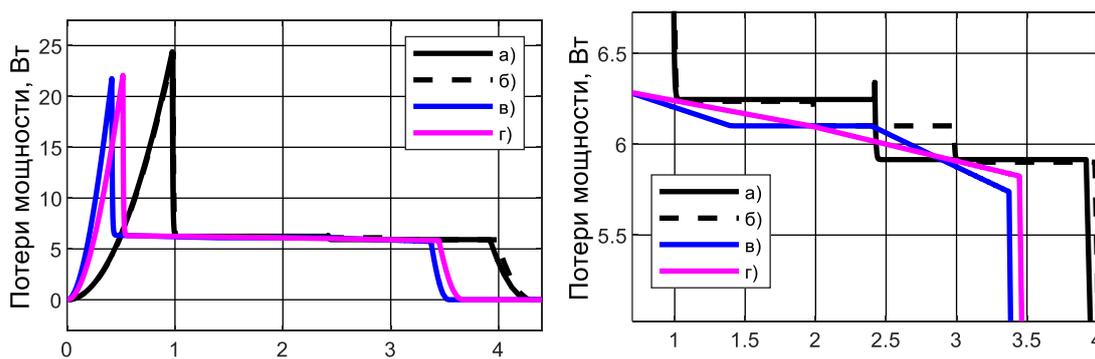


Рис. 15. Зависимость потерь мгновенной мощности от времени

- а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,
- в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

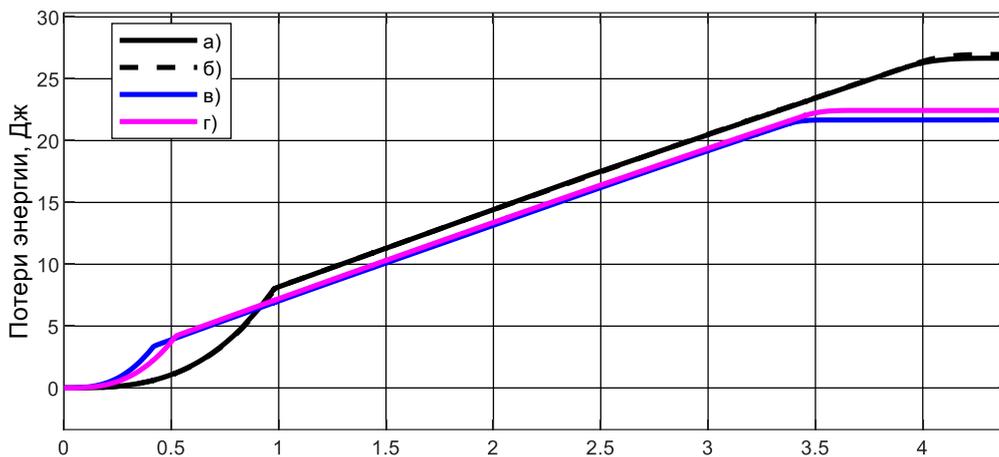


Рис. 16. Зависимость потерь энергии в двигателе от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

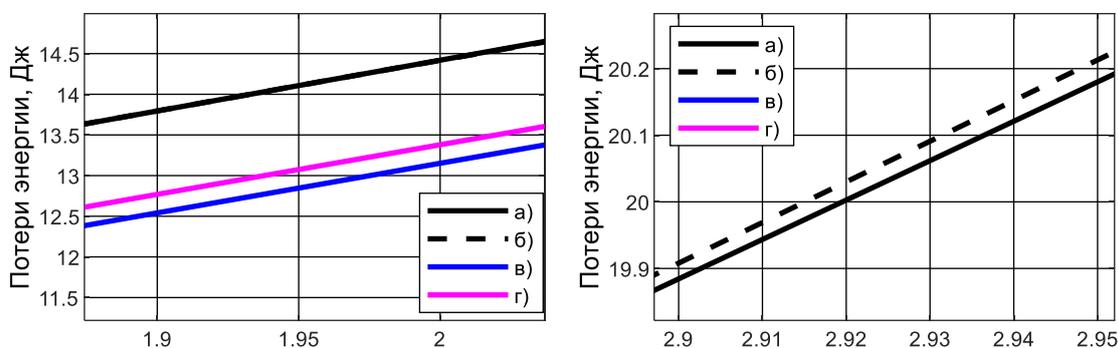


Рис. 17. Зависимость потерь энергии в двигателе от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

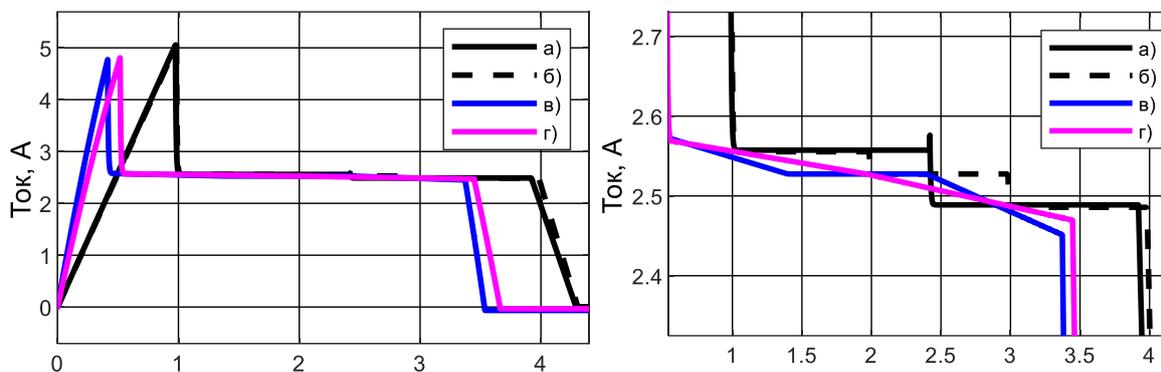


Рис. 18. Зависимость мгновенного значения тока, потребляемого электродвигателем, от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

Среди треугольных законов самый низкий пик мощности имеет закон с временем разгона  $T/3$ , а среди прямоугольных с временем разгона  $T/3$ , как механической, так и полной, поэтому далее сравниваться будут только они. Пик механической мощности треугольного закона меньше, чем у прямоугольного на 10%, а электрической на 9%. Из графика потребляемой энергии следует, что пик энергопотребления в середине

цикла у закона треугольного ускорения с временем разгона  $T/3$  на 13 % меньше, чем у прямоугольного закона с временем разгона  $T/3$ . Потери энергии в двигателе у треугольного закона меньше на 28 %. Максимальные потери в электродвигателе в данном случае не превышают 44 %, что является критичным значением, которое необходимо учитывать при синтезе закона движения.

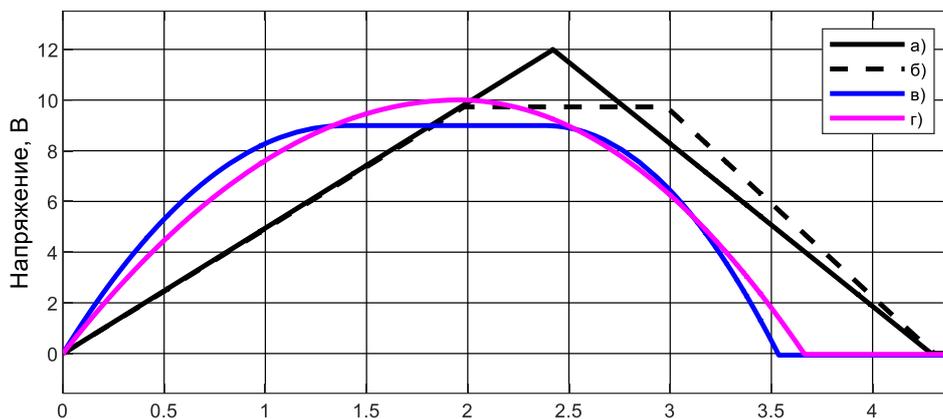


Рис. 19. Зависимость мгновенного значения напряжения, на якоре двигателя, от времени  
 а) прямоугольный закон с временем разгона  $T/2$ , б) прямоугольный закон с временем разгона  $T/3$ ,  
 в) треугольный закон с временем разгона  $T/3$ , г) треугольный закон с временем разгона  $T/2$

**Выводы.** Проведённое исследование подтверждает результат, полученный ранее при синтезе оптимальных законов движения и показывает, что при моделировании только инерциальной нагрузки и учёте потерь в электродвигателе, разница в пиковой мощности между треугольным законом с временем разгона  $T/2$  и прямоугольным законом с временем разгона  $T/3$  изменяется с 44 %, полученных без учёта потерь в электродвигателе, на 48 % при сравнении механической мощности и на 47 % при сравнении электрической (полной) мощности, то есть эффективность оптимизации возрастает. При отсутствии активного момента сопротивления потери в электродвигателе малы и не оказывают существенного влияния на эффективность разработанных законов движения электропривода. При моделировании законов с активной нагрузкой полученные зависимости показывают, что для минимизации энергопотребления следует использовать закон движения с наибольшим ускорением для минимизации активных потерь. При синтезе законов движения, учитывающих активную нагрузку, необходимо учитывать и потери в электродвигателе, которые могут достигать 44 % от общего энергопотребления за время разгона. Пиковая мощность уменьшилась с 44 % до 9 % при сравнении пиков электрической (полной) мощности, и до 10 % при сравнении механической мощности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
2. Тимофеев А.Н., Каледина Д.Е. Механизмы перемещения рабочих органов технологического оборудования: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 374 с.

3. Ho P.M., Uchiyama N., Sano S., Honda Y., Kato A., Yonezawa T. Simple motion trajectory generation for energy saving of industrial machines // SICE journal of control, measurement, and system integration. 2014. Vol. 7. Pp. 29–34. DOI: 10.9746/jcmsi.7.29

4. Vanbecelaere F., Oosterwyck V.N., Derammelaere S., Cuyt A., Monte M., Stockman K. On-line motion profile optimization for reciprocating mechanisms // Mechanism and machine theory. 2022. Vol. 173. Pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.104833

5. He Y., Mei J., Fang Z., Zhang F., Zhao Y. Minimum Energy Trajectory Optimization for Driving Systems of Palletizing Robot Joints // Mathematical problems in engineering. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–26. DOI:10.1155/2018/7247093

6. Zhang M., Yan J. A data-driven method for optimizing the energy consumption of industrial robots. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 285. 2021. 124862. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124862

7. Dorell D.G. A Review of the Methods for Improving the Efficiency of Drive Motors to Meet IE4 Efficiency Standards // Journal of power electronics. 2014. Vol. 14(5). Pp. 842–851. DOI: 10.6113/JPE.2014.14.5.842

8. Волков А.Н., Мацко О.Н., Мосалова А.В. Выбор энергосберегающих законов движения мехатронных приводов технологических машин // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. №4. С. 141–149.

9. Волков А.Н., Корнилова А.А., Мацко О.Н., Козлов А.В. Синтез оптимальных по критерию энергосбережения алгоритмов работы приводов роботов и технологических машин: учеб. пособие. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. 80 с.

10. Андреев И.Д., Мацко О.Н., Мосалова А.В. Оптимизация законов движения мехатронных модулей с цикловым приводом // Неделя

науки Санкт-Петербургского государственного политехнического университета с международным участием. Лучшие доклады. 2018. С. 71–74.

11. Мацко О.Н. Оптимизация законов движения мехатронных приводов автоматизированного оборудования // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021. Сборник тезисов VIII. Международной научно-практической конференции. 2021. С. 61–65.

12. Бондаренко С.И., Розкаряка П.И. Расчёт оптимальных по тепловым потерям диаграмм отработки заданного перемещения с ненулевыми начальными и конечными скоростями движения // Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. 2021. С. 168–173.

13. Бохонский А.И., Рыжов А.И. Реализация электродвигателем постоянного тока минимально энергоёмкого управления движением // Механика и машиностроение. Наука и практика, материалы международной научно-практической конференции. 2021. №4. С. 12–17.

14. Vanbecelaere F., Oosterwyck V.N., Deramelaere S., Cuyt A., Monte M., Stockman K., Knaepkens F. Energy optimal point-to-point motion profile optimization // Mechanics based design of structures and machines. 2024. Vol. 52. Pp. 239–256 DOI: 10.1080/15397734.2022.2106241

15. Carabin G., Vidoni R. Energy-saving optimization method for point-to-point trajectories

planes via standard primitives in 1-DoF mechatronic systems // The international journal of advanced manufacturing technology. 2021. Vol. 116. Pp. 331–344. DOI: 10.1007/s00170-021-07277-y

16. Вульфсон И.И. Динамика цикловых машин. СПб.: Политехника, 2015. 425 с.

17. Терёхин В.Б., Дементьев Ю.Н. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 307 с.

18. Встовский А.Л. Электрические машины: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 464 с.

19. Присмотров Н.И. Обобщенная теория электро-, гидро- и пневмопривода: учеб. пособие. [В 2 ч.] Ч. 2. Замкнутые системы регулируемого привода. Регулирование положения. Выбор мощности двигателей. Энергетическая эффективность и качество энергопотребления. Киров: ВятГУ, 2021. 368 с.

20. Присмотров Н.И. Обобщенная теория электро-, гидро- и пневмопривода: учеб. пособие. [В 2 ч.] Ч. 1. Механическая часть привода. Электро-, гидро- и пневмомеханические и механические характеристики двигателей. Установившиеся и переходные режимы работы привода. Разомкнутые системы регулирования координат. Киров: ВятГУ, 2022. 648 с.

#### Информация об авторах

**Макин Михаил Константинович**, студент-магистр второго курса «Высшей Школы Автоматизации и Робототехники». E-mail: rrrrr5.5@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Волков Андрей Николаевич**, доктор технических наук, профессор «Высшей Школы Автоматизации и Робототехники». E-mail: volkov-and@yandex.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Кочнева Ольга Владимировна**, кандидат технических наук, доцент «Высшей Школы Автоматизации и Робототехники». E-mail: kov\_mirny@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

Поступила 15.03.2024 г.

© Макин М.К., Волков А.Н., Кочнева О.В., 2024

**\*Makin M.K., Volkov A.N., Kochneva O.V.**

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University*

*\*E-mail: ppppp5.5@mail.ru*

## DEPENDENCE OF THE MAXIMUM POWER AND ENERGY CONSUMPTION OF THE CYCLE ELECTRIC DRIVE OF ROBOTS AND MECHATRONIC MODULES ON THE MOTION LAW AND ITS PARAMETERS

**Abstract.** Cycle and position drives are the basis for automation of discrete manufacturing. They are usually used to implement loading, orientation and transport operations in process equipment, as well as in

*industrial robotics and mechatronic modules for various purposes. The main characteristics of such drives in many cases are the values of displacements and motion times. The mathematical model of drives for typical laws of motion characterized by acceleration and deceleration times takes into account thermal losses in a DC motor with independent excitation. The study was carried out in order to determine the efficiency of optimizing the motion law by maximum power consumption while taking into account the losses in the motor. Two laws of change of acceleration of the electric motor were modelled: rectangular and triangular. For each law both situations are considered: movement with and without a section of uniform motion. Studies of models in Simulink environment allowed to establish the relationship between energy consumption, power and the law of motion. The dependence between voltage and current consumption on the type of motion law was obtained. Energy losses in the electric motor do not exceed 2% of the total power consumption at the prevailing inertial load, and 44 % at the active resistance torque equal to the nominal one. It is found that the efficiency of optimization of the law of motion, in comparison with known studies, at inertial load increased from 44 % to 47-48 %, and at application of active torque decreased from 44 % to 9–10 %.*

**Keywords:** Law of motion, DC motor, energy, power, mathematical model, research, Simulink.

## REFERENCES

1. Yurevich E.I. Fundamentals of Robotics. 2nd ed. [Osnovy robototekhniki. 2-e izd.] SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 416 p. (rus)
2. Timofeev A.N., Kaledina D.E. Mechanisms of movement of working bodies of technological equipment: textbook. [Mekhanizmy peremeshcheniya rabochih organov tekhnologicheskogo oborudovaniya: ucheb. posobie] SPb.: Izd-vo Polytechnic University, 2017. 374 p. (rus)
3. Ho P.M., Uchiyama N., Sano S., Honda Y., Kato A., Yonezawa T. Simple motion trajectory generation for energy saving of industrial machines. SICE journal of control, measurement, and system integration. 2014. Vol. 7. Pp. 29–34. DOI: 10.9746/jcmsi.7.29
4. Vanbecelaere F., Oosterwyck V.N., Derammelaere S., Cuyt A., Monte M., Stockman K. On-line motion profile optimization for reciprocating mechanisms. Mechanism and machine theory. 2022. Vol. 173. Pp. 1–18. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.104833
5. He Y., Mei J., Fang Z., Zhang F., Zhao Y. Minimum Energy Trajectory Optimization for Driving Systems of Palletizing Robot Joints. Mathematical problems in engineering. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–26. DOI: 10.1155/2018/7247093
6. Zhang M., Yan J. A data-driven method for optimizing the energy consumption of industrial robots. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 285. 2021. 124862. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124862
7. David G. Dorell A Review of the Methods for Improving the Efficiency of Drive Motors to Meet IE4 Efficiency Standards. Journal of power electronics. 2014. Vol. 14(5). Pp. 842–851 DOI:10.6113/JPE.2014.14.5.842
8. Volkov A.N., Matsko O.N., Mosalova A.V. Choice of energy-saving laws of motion of mechatronic drives of technological machines. [Vybor energosberegayushchih zakonov dvizheniya mekhatronnyh privodov tekhnologicheskikh mashin]. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2018. No. 4. Pp. 141–149 p. (rus)
9. Volkov A.N., Kornilova A.A., Matsko O.N., Kozlovich A.V. Synthesis of energy-saving optimal algorithms of robots and technological machines drives: textbook. [Sintez optimal'nyh po kriteriyu energosberezheniya algoritmov raboty privodov robotov i tekhnologicheskikh mashin: ucheb. posobie]. SPb.: POLITEKH-PRESS, 2023. 80 p. (rus)
10. Andreev I.D., Matsko O.N., Mosalova A.V. Optimisation of the laws of motion of mechatronic modules with a cycle drive. [Optimizaciya zakonov dvizheniya mekhatronnyh modulej s ciklovym privodom]. Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta s mezhdunarodnym uchastiem. Luchshie doklady. 2018. Pp. 71–74. (rus)
11. Matsko O.N. Optimisation of laws of motion of mechatronic drives of automated equipment. [Optimizaciya zakonov dvizheniya mekhatronnyh privodov avtomatizirovannogo oborudovaniya]. Innovacii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: IPDME-2021. Sbornik tezisov VIII. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2021. Pp. 61–65. (rus)
12. Bondarenko S.I.; Rozkaryaka P.I. Calculation of the heat-loss optimum diagrams of a given displacement with non-zero initial and final speeds. [Raschyot optimal'nyh po teplovym poteryam diagramm otrabotki zadannogo peremeshcheniya s nenulevymi nachal'nymi i konechnymi skorostyami dvizheniya]. Perspektivy razvitiya elektrotekhnicheskikh, elektromekhanicheskikh i energosberegayushchih sistem. 2021. Pp. 168–173. (rus)
13. Bokhonskiy A.I., Ryzhov A.I. Realisation of the minimum energy-consuming motion control by the DC motor. [Realizaciya elektrodvigatelem postoyannogo toka minimal'no energoyomkogo upravleniya dvizheniem]. Mekhanika i mashinostroenie. Nauka i praktika, materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2021. No. 4. Pp. 12–17. (rus)

14. Vanbecelaere F., Oosterwyck V.N., Deramelaere S., Cuyt A., Monte M., Stockman K., Knaepkens F. Energy optimal point-to-point motion profile optimization. Mechanics based design of structures and machines. 2024. Vol. 52. Pp. 239–256 DOI: 10.1080/15397734.2022.2106241

15. Carabin G., Vidoni R. Energy-saving optimization method for point-to-point trajectories planes via standard primitives in 1-DoF mechatronic systems. The international journal of advanced manufacturing technology. 2021. Vol. 116 2021. Pp. 331–344. DOI: 10.1007/s00170-021-07277-y

16. Wolfson I.I. Dynamics of cyclic machines. [Dinamika ciklovyh mashin]. SPb.: Politechnika, 2015. 425 p. (rus)

17. Teryokhin V.B., Dementiev Yu.N. Computer modelling of DC and AC electric drive systems in Simulink: textbook [Komp'yuternoe modelirovanie sistem elektroprivoda postoyannogo i peremennogo toka v Simulink: uchebnoe posobie]. Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Izd-vo Tomsk Polytechnic University, 2013. 307 p. (rus)

18. Vstovskiy A.L. Electric machines: textbook. [Elektricheskie mashiny: ucheb. posobie]. Krasnoyarsk: Sib. fed. un. university, 2013. 464 p. (rus)

19. Prismotrov N.I. Generalised theory of electric, hydraulic and pneumatic drive: textbook. [In 2 parts] Ch. 2. Closed systems of adjustable drive. Position regulation. Selection of motor power. Energy efficiency and quality of energy consumption. [Obobshchennaya teoriya elektro-, gidro- i pnevmoprivoda: ucheb. posobie. [V 2 ch.] CH. 2. Zamknutyie sistemy reguliruemogo privoda. Regulirovanie polozheniya. Vybormoshchnosti dvigatelej. Energeticheskaya effektivnost' i kachestvo energopotrebleniya]. Kirov: VyatSU, 2021. 368 p. (rus)

20. Prismotrov N.I. Generalised theory of electric, hydraulic and pneumatic drive: textbook. [In 2 parts]. P. 1. Mechanical part of the drive. Electro-, hydro- and pneumomechanical and mechanical characteristics of motors. Steady-state and transient modes of operation of the drive. Open-circuit systems of coordinate regulation. [Obobshchennaya teoriya elektro-, gidro- i pnevmoprivoda: ucheb. posobie. [V 2 ch.] CH. 1. Mekhanicheskaya chast' privoda. Elektro-, gidro- i pnevmomekhanicheskie i mekhanicheskie harakteristiki dvigatelej. Ustanovivshiesya i perekhodnye rezhimy raboty privoda. Razomknutyie sistemy regulirovaniya koordinat] Kirov: VyatSU, 2022. 648 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Makin, Mihail K.** Second-year master's student at the Graduate School of Automation and Robotics. E-mail: ppppp5.5@mail.ru. Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St.-Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29

**Volkov, Andrey N.** DSc, Professor. E-mail: volkov-and@yandex.ru. Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya St., 29

**Kochneva, Olga V.** PhD, Assistant professor. E-mail: kov\_mirny@mail.ru. Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya St., 29.

---

*Received 15.03.2024*

#### **Для цитирования:**

Макин М.К., Волков А.Н., Кочнева О.В. Зависимость максимальной мощности и энергопотребления циклового и позиционного электропривода роботов и мехатронных модулей от закона движения и его параметров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 93–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-93-105

#### **For citation:**

Makin M.K., Volkov A.N., Kochneva O.V. Dependence of the maximum power and energy consumption of the cycle electric drive of robots and mechatronic modules on the motion law and its parameters. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 93–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-93-105

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113

**Шлаев К.И.**

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: kir.shl@ya.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ УГЛОВОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ В ЦЕЛЯХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

**Аннотация.** Для расширения технологических возможностей станков в производственных процессах применяется дополнительное оборудование – угловые фрезерные головки. Такого рода оборудование повышает эффективность станка, но также оказывают влияние на его динамические характеристики. Установка дополнительного оборудования влияет на надежность станка, поскольку в его конструкцию добавляется еще один элемент, обладающий массой и податливостью, а также содержащий стыки между деталями. В настоящее время сроки технического обслуживания, в основном, определяются на основе опыта специалистов, ответственных за состояние оборудования. Актуальной задачей является оценка методик, которые позволяют оценить техническое состояние угловых головок.

В данной работе исследуется применение методов импульсного возбуждения и анализа вибраций для оценки технического состояния угловой фрезерной головки MultiTec3000AT в процессе ее использования на станке Multitec Vertical Bridge Mill. Рассматривается комплексная методика диагностики угловых головок, которая позволяет на основе технического состояния планировать дату технического обслуживания или ремонта. Был получен и проанализирован спектр вибросигнала с акселерометров, записанных во время холостого хода и во время процесса резания. Проведена оценка состояния составных частей угловой головки. Была построена АЧХ головки и диаграммы колебаний по двум осям (XY диаграммы). Было выполнено сравнение спектра сигнала угловой головки во время резания и холостого хода.

**Ключевые слова:** угловая фрезерная головка, динамические характеристики, вибродиагностика, импульсное возбуждение, техническое обслуживание.

**Введение.** Внедрение современных методов мониторинга состояния и технической диагностики играет значительную роль в повышении эффективности металлорежущих станков, особенно при использовании вспомогательной оснастки. Применение данной оснастки может привести к снижению точности обработки в силу добавления в несущую систему станка дополнительного узла, обладающего массой, податливостью и содержащего стыки между деталями. Техническое состояние вспомогательной оснастки оказывает существенное влияние на надежность станка, что, в свою очередь, приводит к уменьшению производительности и качества продукции.

В большинстве случаев сроки технического обслуживания и ремонта определяются опытом специалистов, ответственных за состояние оборудования. Этот подход может привести к неэффективному использованию ресурсов и увеличению риска аварий. Как результат, производительность станка и качество продукции снижаются.

Необходимость проведения технического обслуживания или ремонта в зависимости от фактического состояния оборудования становится актуальной задачей для предотвращения неожиданных отказов и оптимизации временных

затрат. Эта актуальность подчеркивается не только финансовыми рисками, связанными с поломками оборудования, но и необходимостью оптимизации производственных процессов. Развитие методов диагностики и мониторинга технического состояния угловых фрезерных головок может существенно повысить надежность оборудования и снизить эксплуатационные расходы.

**Цель** настоящей работы заключается в оценке технического состояния фрезерной головки MultiTec3000AT (рис. 1) путем исследования ее вибрационных характеристик. Дополнительно, исследование позволит провести анализ эффективности методики диагностики [1].



Рис. 1. Обработка станины токарного станка с применением угловой головки MultiTec3000AT

**Обзор работ по теме исследования.** Исследованию динамических характеристик угловых фрезерных головок уделено ограниченное внимание в научной литературе. Недостаточная изученность может быть объяснена узкой специализацией такого оборудования, которое применяется в основном для обработки деталей сложной формы в определенных производственных условиях [2].

**Методология проведения исследований.** Исследование методом импульсного возбуждения заключалось в следующем: при неработающем станке с помощью динамометрического молотка наносится удар по режущему инструменту. Динамический молоток – это специализирован-

ный инструмент, аналогичный обычному молотку, соединенному с усилителем через кабель для передачи сигнала (рис. 2а). Рабочая часть молотка состоит из наконечника, изготовленного из фторопласта, через который импульсы передаются на пьезокерамический элемент, который переводит силовое возбуждение в электрические импульсы. Фторопласт обеспечивает эффективную передачу энергии удара на анализатор с минимальными потерями. Это материалом достаточной твердости, обеспечивающий отсутствие помех и шумов в процессе записи удара.

На корпус угловой головки крепится два акселерометра (вибродатчики). Схема стенда для проведения эксперимента приведена на рисунке 2б.

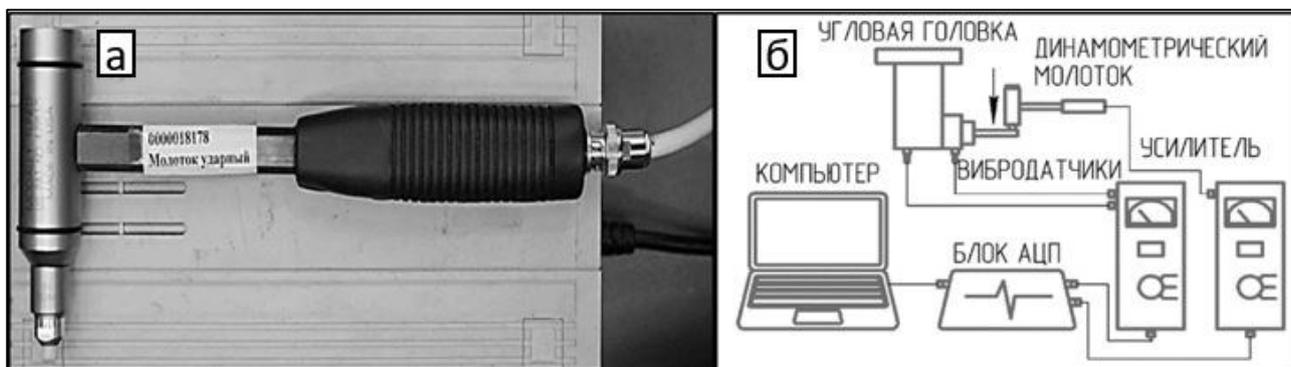


Рис. 2. Схема стенда регистрации колебаний при импульсном возбуждении

Удар динамометрическим молотком генерирует некоторое возбуждение в несущей системе станка и установленной фрезерной головке. Датчики регистрируют момент удара и сигнал с них передается (через высокочастотный кабель для помехоустойчивости и усилитель сигнала) на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП способен воспринимать сигнал с нескольких датчиков по разным каналам. Оцифрованный сигнал передается в компьютер для анализа. Для анализа из вибросигнала оценивается импульс, соответствующий одному удару. Для исключения случайных шумов и погрешностей выбирается нижний порог для анализа. В рассматриваемом случае рассматривается диапазон от 0 Гц до 1000 Гц. На более высоких частотах выделяются гармоники собственных частот более высоких порядков, которые не представляют интереса для данного исследования, т.к. имеют малую амплитуду колебаний и не оказывают существенного влияния на работу станка [5]. Анализ сигнала выполнен в программном комплексе nkRecorder [6], разработанном на кафедре станков в МГТУ «Станкин». Данная программа позволяет провести всесторонний анализ записанного сигнала, в частности, получить АЧХ системы.

Другое исследование проводилось при работающем станке. Вместо динамометрического молотка использовался оптический датчик регистрации частоты вращения шпинделя. Исследование проводилось при холостом ходе и при обработке чугуна марки СЧ30. Регистрация колебаний проводилась в следующем порядке: на стойке пульта ЧПУ оператором выставлялась частота вращения шпинделя 100 об/мин. После 1 минуты работы в таком режиме частота вращения увеличивалась до 2000 об/мин. Это необходимо для выравнивания внутренних напряжений сборки конструкции и стабилизации зазоров и натягов между деталями конструкции. Проработав в заданном режиме 1 мин. шпиндель останавливался. На корпус головки крепились вибродатчики и датчик регистрации частоты вращения [7].

На следующем этапе оператор запускал вращение шпинделя и плавно наращивал обороты от 0 до требуемой частоты. При этом начиналась запись сигнала со всех датчиков. Схема стенда для записи вибросигнала приведена на рисунке 3.

На схеме стенда для проведения вибродиагностики себя (1) - корпус шпинделя, на который посредством переходного фланца (2) закреплена угловая фрезерная головка (3) (вид с местным

разрезом), состоящая из закрепленного на подшипниковых опорах (4) ведущего вала (5), который передает, через коническую зубчатую передачу (6), вращение шпинделя ведомому валу (7). Конструкция ведомого вала выполнена с установочным конусом (9), к которому присоединен режущий инструмент (10).

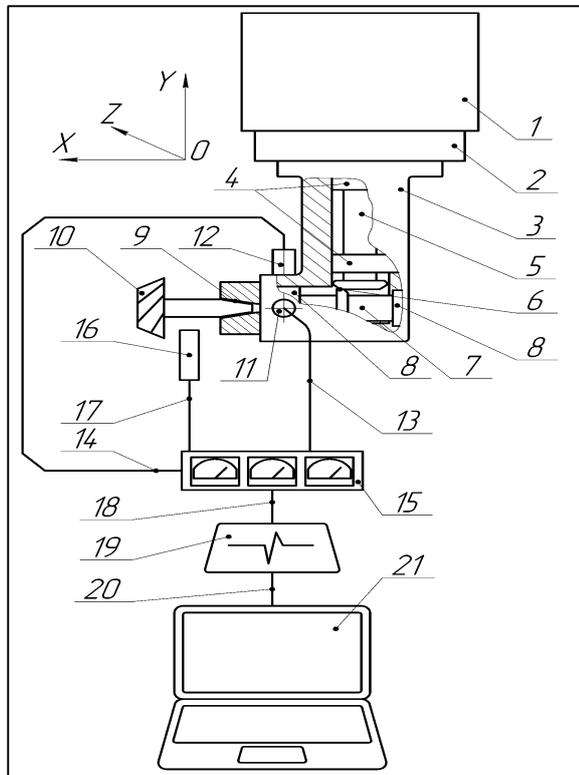


Рис. 3. Схема станка регистрации колебаний при холостом ходе и резании

К корпусу угловой фрезерной головки жестко закреплены два акселерометра (11) и (12), расположенных взаимоперпендикулярно в плоскости подшипниковых опор и измеряющих колебания в направлении собственной оси (по оси Z

для (11), по оси Y для (12)). Акселерометры соединены высокочастотными коаксиальными кабелями (13) и (14) с усилителем аналогового сигнала (15).

Фотоэлектрический датчик оборотов (16) позволяет определить частоту вращения шпинделя. Фотоэлектрический датчик оборотов, также известный как оптодатчик, работает на основе принципа действия фотоэлектрического эффекта. Принцип работы датчика основан на измерении изменения светового потока, вызванного движением объекта, и преобразовании этого изменения в электрический сигнал для дальнейшей обработки. Роль элемента, изменяющего световой поток, может играть кусок контрастной ленты, наклеенного на вращающийся шпиндель или инструмент. Полученный аналоговый сигнал с датчика так же передается на усилитель аналогового сигнала (15) посредством кабеля (17).

Далее усиленный сигнал передается в блок АЦП (19). АЦП преобразует полученный аналоговый сигнал в цифровой вид и передает его по кросс-кабелю (20) в компьютер (21). Компьютер содержит пакет программ для получения спектра вибросигнала с акселерометров и XY диаграмм колебаний угловой фрезерной головки. Аналогичным образом выполнялась запись сигнала при обработке резанием.

Регистрация колебаний проводилась при частотах вращения шпинделя 400, 800, 2000 и 4000 об/мин. при двух вариантах расположения вибродатчиков (рис. 4). В плоскости YZ датчики закреплялись у передних опор ведомого (горизонтального) вала, в плоскости XZ – у передних опор ведущего (вертикального) вала. Исследовались в основном передние опоры, т.к. на них приходится основная нагрузка при работе, и именно они первыми выходят из строя.

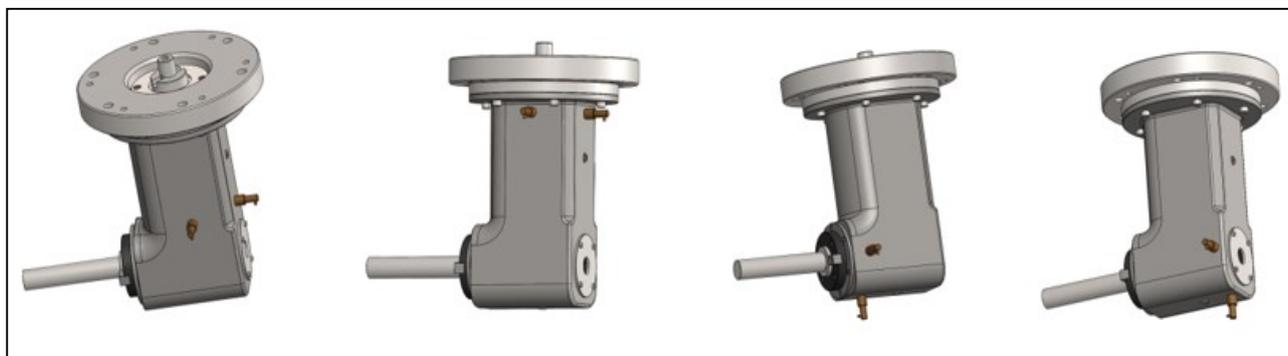


Рис. 4. Схемы расположения датчиков при измерении вибраций

**Анализ результатов исследования.** После обработки сигналов была получена АЧХ фрезерной головки. По графику собственная частота составила 792 Гц (рис. 5).

Виброакустическая диагностика проводится на основе метода спектрального разложения огибающей высокочастотного сигнала. Анализ сигнала позволяет выделить частоты, источников возмущений, например, от оборотной частоты,

частоты вращения сепаратора, тел качения и т.д. На рисунке 6 представлен спектр вибросигнала

угловой головки на частоте вращения 2 000 об/мин. при резании и при холостом ходе.

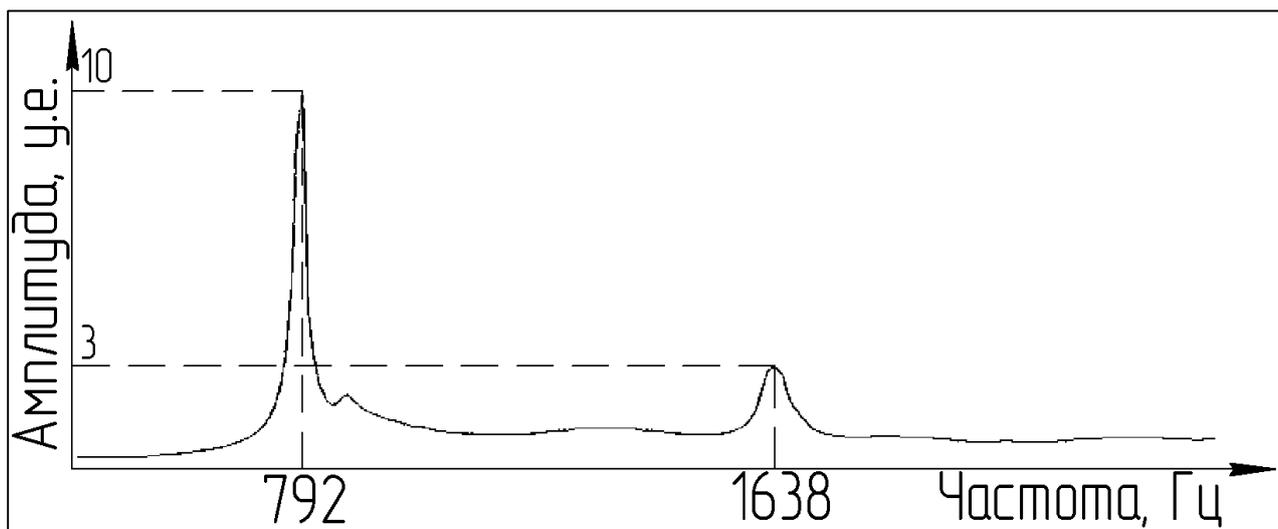


Рис. 5. график АЧХ угловой головки MultiТес3000АТ

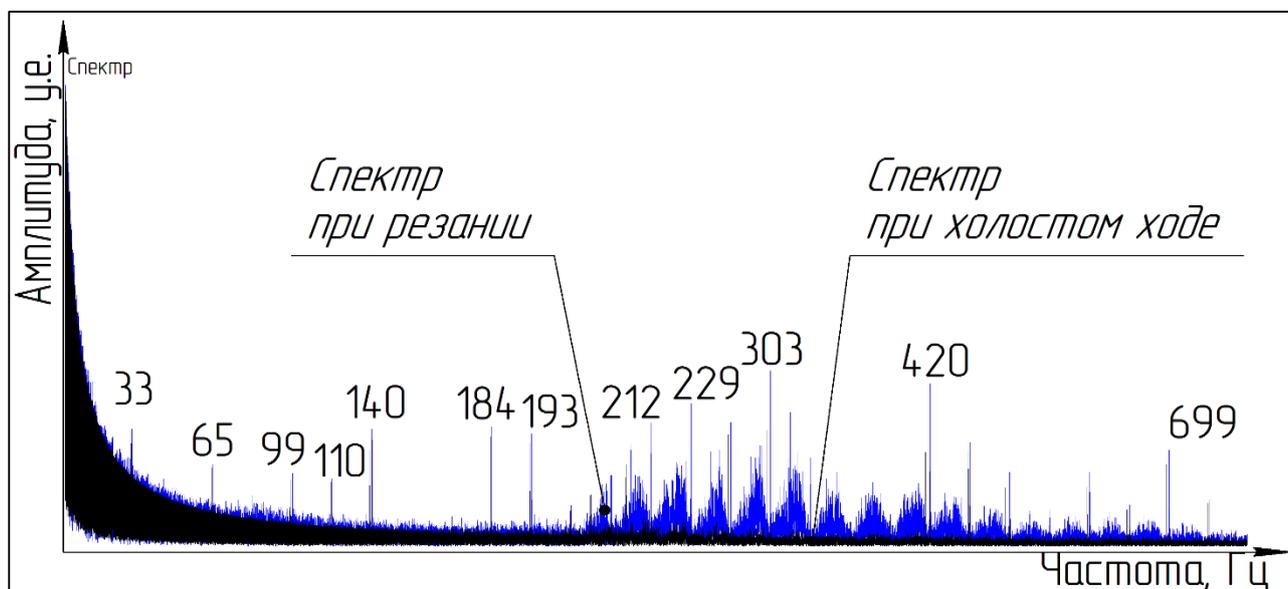


Рис. 6. Спектр вибросигнала с акселерометров при частоте вращения 2000 об/мин

На спектре сигнала пик, соответствующий 33 Гц это оборотная частота, 65 Гц и 99 Гц ее вторая и третья гармоники, 212 Гц это зубцовая частота, 420 Гц ее вторая гармоника, 193 Гц это частота перекачивания тел качения по наружному кольцу и т.д. Так же спектр вибраций позволяет оценить состояния конструктивных элементов угловой головки (подшипников, зубчатых колес и т.д.) по допустимому уровню дефектов [8, 9]. Например, для частоты перекачивания тел качения по наружному кольцу подшипника порог дефекта составляет +16 % от номинального значения. В среднем, порог дефекта для частоты деталей подшипникового узла на 13 % выше расчетного значения.

Для сравнения уровня вибраций у опор вертикального и горизонтального вала головки по величине среднеквадратичного значения (СКЗ), построены диаграммы колебания по двум осям (XY диаграммы) (рис. 7). Вибродатчики для записи вибраций горизонтального вала располагались в плоскости YZ а для вертикального вала - в плоскости XZ угловой головки [10, 11].

На графиках плотная часть – это среднее квадратичное значение (СКЗ) амплитуды, а отдельные выбросы – это эксцесс. Видно, что СКЗ и эксцесс отличаются для ведущего и ведомого вала. СКЗ амплитуды вибросигнала больше на ведомом валу. Разница составляет в среднем 9 %. Такая разница возникает, вероятно, из-за изменения вибросигнала при переходе через зубчатое

зацепление с ведущего вала на ведомый (на сигнал накладываются вибровозмущения от деталей

ведомого вала и конического зубчатого зацепления, передающего вращение шпинделя).

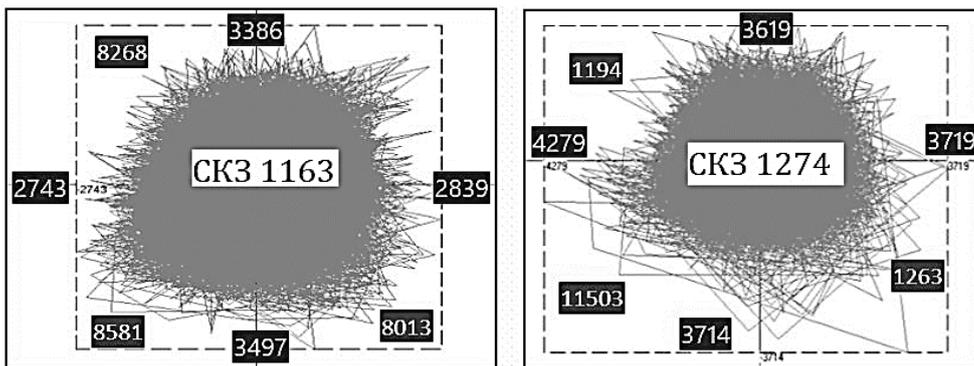


Рис. 7. XY диаграммы. Вертикальный вал (а) горизонтальный вал (б)

Максимальные амплитудные значения сигналов для ведущего вала отличаются от аналогичных значений для ведомого вала в среднем на 15 %. Это говорит том, что амплитуда колебаний в радиальной плоскости ведомого вала больше, чем в плоскости ведущего. Это можно объяснить тем, что ведомый вал воспринимает наибольшую нагрузку в процессе резания [12, 13].

Для оценки технического состояния угловой головки в процессе эксплуатации, на графике зависимости собственной частоты от наработки отмечена собственная частота, полученная экспериментально. Расчетным способом получена собственная частота, моделирующая состояние нового оборудования. Для определения даты следующего технического обслуживания, построена кривая экстраполяции (рис. 8).

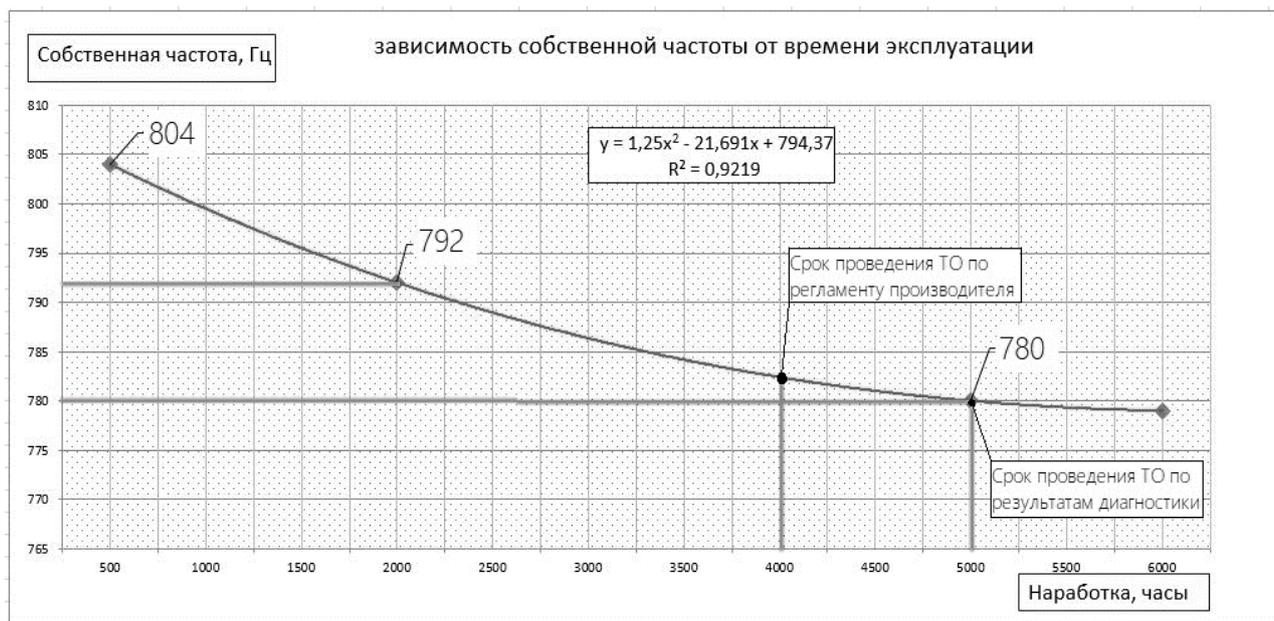


Рис. 8. График зависимости собственной частоты от наработки угловой головки

Опираясь на данные моделирования и вибродиагностики была определена дата следующей диагностики. Она назначена исходя из собственной частоты, меньшей на 3% (780 Гц) относительно частоты, полученной экспериментально. Учитывая кривую экстраполяции, следующую диагностику необходимо провести через 3000 часов наработки. Плановая дата диагностики была назначена исходя из принятого на производстве плана технического обслуживания.

**Рекомендации по проведению вибродиагностики.** Существенное влияние на результат вибродиагностики оказывает места установки вибродатчиков и способ их крепления. При выборе точек установки вибродатчиков для вибродиагностики оборудования следует учитывать несколько факторов. Основные из них:

1. Конструкция оборудования: необходимо изучить конструкцию оборудования и определить компоненты или части, которые могут быть

подвержены вибрации или механическим колебаниям. В основном, такими компонентами являются подшипниковые узлы, валы, зубчатые колеса, роторы и другие движущиеся или вращающиеся элементы.

2. Ожидаемые источники вибрации: необходимо идентифицировать источники, которые могут вызывать вибрацию в оборудовании. Это могут быть дисбаланс, неправильное выравнивание, износ подшипников, резонансные явления и другие факторы. Необходимо определить места, где эти источники наиболее вероятны.

3. Рекомендации производителя: важно учитывать сведения из руководства по эксплуатации и рекомендации производителя оборудования. Они могут содержать указания относительно оптимальных точек установки вибродатчиков для проведения диагностики или данные о конструкции изделия, что поможет наиболее эффективно определить эти точки самостоятельно.

4. История проблем: необходимо изучить исторические данные и записи о ремонтах, заменах компонентов или других проблемах, которые могли возникнуть в прошлом. Они могут указывать на определенные места, которые требуют более пристального внимания и мониторинга.

5. Доступность и безопасность: важно учесть доступность точек установки вибродатчиков и проведения измерений. Выбранные точки должны обеспечивать безопасность при работе с оборудованием и не представлять риска для персонала и измерительного оборудования.

Необходимо также уделить должное внимание форме сигнала при импульсном возбуждении, чтобы исключить возможное воздействие побочных гармоник на результаты исследования. Также следует обратить внимание на форму сигнала, получаемого с вибродатчиков, которые регистрируют колебания системы в различных режимах работы станка [14, 15]. Это важно для обеспечения надежной диагностики и точной оценки технического состояния оборудования.

#### **Выводы.**

Комплексный подход диагностики угловых фрезерных головок, описанный в работе, позволяет оценивать их техническое состояние и планировать дату следующей диагностики. Результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность предложенной методики.

Применение методов импульсного возбуждения и анализа вибраций позволяет оперативно выявлять дефекты и оценивать техническое состояние в процессе эксплуатации. Методика прогнозирования технического состояния угловых головок на основе вибродиагностики дополнительно позволяет оценивать их состояние и

назначать дату следующего технического обслуживания. Такой подход позволит наиболее точно выбирать время проведения технического обслуживания, оптимизируя использование временных ресурсов.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Шлаев К.И., Сабилов Ф.С. Вибродиагностика технического состояния угловых фрезерных головок // Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 68–74
2. Шереметьев К.В. Влияние ускорительной головки планетарного типа на качество обрабатываемой поверхности при фрезеровании концевыми фрезами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2008. 250 с.
3. Krol O., Sokolov V. Development of models and research into tooling for machining centers // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No. 3. Pp. 12–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131778
4. Hung J., Lin W. Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool // Advances in Science and Technology Research Journal. 2019. No. 13. Pp. 14–22. DOI: 10.12913/22998624/100449
5. Козочкин М.П., Сабилов Ф.С., Селезнев А.Е. Виброакустический мониторинг лезвийной обработки заготовок из закаленной стали // Вестник МГТУ "СТАНКИН". 2018. № 1(44). С. 23–30.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №20096132214 Российская Федерация. Программный комплекс сбора, обработки и анализа вибрационных сигналов nkRecorder / Кочинев Н.А., Сабилов Ф.С., Козочкин М.П. ОБПБТ. 2009. №4 (69).
7. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем. Часть 2: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. 128 с.
8. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин. Омск: Изд-во ОмГТУ. 2011. 360 с.
9. Бушуев В.В., Еремин А.В., Какоило А.А. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Том 2. М.: Машиностроение. 2013. 584 с.
10. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение. 2000. 344 с.
11. Stamm J.A. Machinery diagnostics via mechanical vibration analysis using spectral Analysis techniques. Naval postgraduate school montereyca. 1988. 332 p.
12. Vance J., Murphy B., Zeidan F. Machinery vibration and rotordynamics. New Jersey. 2010. 402 p.

13. Mohanty A.R. Machinery condition monitoring principles and practices. Indian Institute of Technology Mechanical Engineering Department Kharagpur. West Bengal, India. 2015. 232 p.

14. Correa J.A., Guzman A.A. Mechanical Vibrations And Condition Monitoring. National Polytechnic Institute Queretaro. Mexico. 2020. 197 p.

15. Sinha J.K., Raton B. Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring. FL. 2020. 238 p.

Информация об авторе

**Шлаев Кирилл Иванович**, аспирант. E-mail: kir.shl@ya.ru. Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». 127994, Россия, Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д.1

Поступила 31.03.2024 г.

© Шлаев К.И. 2024

**Shlaev K.I.**

Moscow State University of Technology "STANKIN"

E-mail: kir.shl@ya.ru

## VIBRATION ANALYSIS OF THE ANGULAR MILLING HEAD FOR TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT

**Abstract.** To expand the technological capabilities of machine tools in manufacturing processes, additional equipment is used - angular milling heads. Such equipment enhances the efficiency of the machine tool but also influences its dynamic characteristics. The installation of additional equipment affects the reliability of the machine tool because another element is added to its structure, which has mass and flexibility and also contains joints between parts. Currently, the timing of technical maintenance is mainly determined based on the experience of specialists responsible for the condition of the equipment. An important task is the evaluation of methods that allow assessing the technical condition of angular heads. The paper examines the application of impulse excitation and vibration analysis methods for assessing the technical condition of the MultiTec3000AT angular milling head during its operation on the Multitec Vertical Bridge Mill. A comprehensive diagnostic methodology for angular heads is considered, allowing to plan the date of maintenance or repair based on their technical condition. The spectrum of vibration signals from accelerometers recorded during idle operation and cutting is obtained and analyzed. An assessment of the condition of the components of the angular head is carried out. The frequency response function of the head and vibration diagrams along two axes (XY diagrams) are constructed. A comparison of the spectrum of the angular head signal during cutting and idle operation is performed.

**Keyword:** angular milling head, dynamic characteristics, vibration diagnostics, impulse excitation, technical maintenance.

### REFERENCES

1. Shlaev K.I., Sabirov F.S. Vibroacoustic diagnostics of the technical condition of angular milling heads [Vibrodiagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya uglovyh frezernykh golovok]. Vestnik MSUT «STANKIN». 2024. No. 1 (68). Pp. 68–74. (rus)

2. Sheremetyev K.V. The influence of a planetary-type accelerator head on the quality of the treated surface when milling with end mills. [Vliyaniye uskoritel'noj golovki planetarnogo tipa na kachestvo obrabatyvaemoj poverhnosti pri frezerovanii koncevymi frezami]. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow. 2008. 250 p. (rus)

3. Krol O., Sokolov V. Development of models and research into tooling for machining centers.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. No. 3. Pp. 12–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131778

4. Hung J., Lin W. Investigation of the Dynamic Characteristics and Machining Stability of a Bi-rotary Milling Tool. Advances in Science and Technology Research Journal. 2019. No. 13. Pp. 14–22. DOI: 10.12913/22998624/100449

5. Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Seleznev A.E. Vibroacoustic monitoring of cutting edge machining of hardened steel [Vibroakusticheskij monitoring lezviynoj obrabotki zagotovok iz zakalenoj stali]. Vestnik MSTU «STANKIN». 2018. No. 1 (44). Pp. 23–30. (rus)

6. Certificate of state registration of the computer program №20096132214 Russian Federation. Software Complex for Collection, Processing and Analysis of Vibration Signals nkRecorder. Kochinev

N.A., Sabirov F.S., Kozochkin M.P. OBP. 2009. No.4 (69). (rus)

7. Gavrilin A.N., Moises B.B. Diagnostics of technological systems: a textbook. Part 2 [Diagnostika tekhnologicheskikh sistem. CHast' 2: uchebnoe posobie]. Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 2014. 128 p. (rus)

8. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Fundamentals of vibroacoustic diagnostics and monitoring of machines: textbook. the manual. [Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin: ucheb. posobie]. Omsk: Publishing house of OmSTU, 2011. 360 p. (rus)

9. Bushuev V.V., Eremin A.V., Kakoilo A.A. Metal cutting machines: textbook. In 2 vols. [Metallozhushie stanki: uchebnik. V 2 vol.] Vol. 2. Moscow: Mashinostroenie. 2013. 584 p. (rus)

10. Goldin A.S. Vibration of rotating machines. [Vibraciya rotornyh mashin]. Moscow. 2000. 344 p. (rus)

11. Stamm J.A., Machinery diagnostics via mechanical vibration analysis using spectral Analysis techniques. Naval postgraduate school montereyca, 1988. 332 p.

12. Vance J., Murphy B., Zeidan F. Machinery vibration and rotordynamics. New Jersey. 2010. 402 p.

13. Mohanty A.R. Machinery condition monitoring principles and practices. Indian Institute of Technology Mechanical Engineering Department Kharagpur. West Bengal, India. 2015. 232 p.

14. Correa J.A., Guzman A.A. Mechanical Vibrations And Condition Monitoring. National Polytechnic Institute Queretaro. Mexico. 2020. 197 p.

15. Sinha J.K., Raton B. Industrial Approaches in Vibration-Based Condition Monitoring. FL. 2020. 238 p.

*Information about the author*

**Shlaev, Kirill I.** Postgraduate student of MSTU «STANKIN». E-mail: kir.shl@ya.ru. 127994, Russia, Moscow, GSP-4, Vadkovsky lane, 1

---

*Received 31.03.2024*

**Для цитирования:**

Шлаев К.И. Исследование вибраций угловой фрезерной головки в целях оценки технического состояния // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113

**For citation:**

Shlaev K.I. Vibration analysis of the angular milling head for technical condition assessment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-106-113