



Научно-теоретический журнал

# Вестник

Белгородского государственного технологического  
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071- 7318

8

2019

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**

**№ 8, 2019 год**

# **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:

- 05.23.01** – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 05.23.03** – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 05.23.05** – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 05.23.20** – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура)
- 05.23.21** – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
- 05.23.22** – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 05.23.22** – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 05.17.06** – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)
- 05.17.11** – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
- 05.02.05** – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
- 05.02.07** – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 05.02.08** – Технология машиностроения (технические науки)
- 05.02.13** – Машины, агрегаты и процессы (по отраслям) (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).

Официальный сайт журнала: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

Тел: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: [VESTNIK@intbel.ru](mailto:VESTNIK@intbel.ru).

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 44446.

Online подписка: <http://www.akc.ru/itm/255810462/>

# **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:

- 05.23.01** – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 05.23.03** – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 05.23.05** – Building materials and products (technical sciences)
- 05.23.20** – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 05.23.21** – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
  
- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 05.17.06** – Technology and processing of polymers and composites (technical sciences)
- 05.17.11** – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 05.02.05** – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 05.02.07** – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 05.02.08** – Engineering technology (technical sciences)
- 05.02.13** – Machines, units and processes (branch-wise) (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).

Official website of the journal: <https://bulletinbstu.editorum.ru>  
Tel.: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: [VESTNIK@intbel.ru](mailto:VESTNIK@intbel.ru)  
Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.  
Online subscription: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>



**Главный редактор**

**Евтушенко Евгений Иванович**, д-р техн. наук, проф., первый проректор, заведующий кафедрой технологии стекла и керамики 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).  
**Баженов Юрий Михайлович**, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ МГСУ (РФ, г. Москва).

**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).

**Большаков Андрей Геннадьевич**, д-р арх., проф., зав. каф. архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета (РФ, г. Иркутск).

**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).

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

**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 МГСУ (РФ, г. Москва).

**Гридчин Анатолий Митрофанович**, д-р техн. наук, проф., Президент Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Давидюк Алексей Николаевич**, д-р техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (РФ, г. Москва).

**Дуюн 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., декан архитектурно-строительного факультета, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, директор НИИ «Материаловедение» Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва (РФ, Республика Мордовия, г. Саранск).

**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).

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

**Леонович Сергей Николаевич**, иностранный член академик 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).

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

**Мещерин 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., директор института химических технологий, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

**Павлович Ненад**, PhD, проректор по научной работе и издательской деятельности, проф. Машиностроительного факультета Государственного Нишского университета (Республика Сербия, г. Ниш).

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

**Потапов Евгений Эдуардович**, д-р хим. наук, проф. МИРЭА – Российского технологического университета (РФ, г. Москва).

**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).

**Семенов Сергей Владимирович**, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектурного и градостроительного наследия 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).

**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).

**Фишер Ханс-Бертрам**, Dr.-Ing., (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 (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).

**Yuriy M. Bazhenov**, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Russian Federation, Moscow).

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

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

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

**Andrey G. Bol'shakov**, Doctor of Architecture, Professor, Irkutsk National Research Technical University (Russian Federation, Irkutsk).

**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, Stavropol).

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

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

**Anatoliy M. Gridchin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, President, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

**Aleksey N. Davidyuk**, Doctor of Technical Science, Director NIIZHB named after A.A. Gvozdeva AO «NIC «Stroitel'stvo» (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, Director of the Institute «Materials Science», National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (Russian Federation, Republic of Mordovia, Saransk).

**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).

**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).

**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).

**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» KERAM-BET-OGNEUPOR (Russian Federation, Saint Petersburg).

**Evgeniy E. Potapov**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, MIREA - Russian Technological University (Russian Federation, Moscow).

**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).

**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).

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

**Hans Bertram Fischer**, Dr.-Ing., (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>Денисов В.П., Траутвайн А.И., Яковлев Е.А.</b><br>РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ<br>СМЕШИВАНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ                               | 8  |
| <b>Картушина Ю.Н., Паринков С.В., Севрюкова Г.А.</b><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ<br>ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ОСОБО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА                       | 14 |
| <b>Онопrienko Н.Н., Сальникова О.Н.</b><br>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО<br>ПРОИЗВОДСТВА                                                                        | 22 |
| <b>Макеева А.В., Семенов К.В., Макеев А.А., Амелина А.В.</b><br>ТРЕЩИНСТОЙКОСТЬ МАССИВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ<br>ПЕРИОД С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ                      | 30 |
| <b>Назарова Я.А., Барабаш М.В.</b><br>ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРНОГО<br>ФОРМИРОВАНИЯ ДЕТСКИХ ТЕХНОПАРКОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ                                                   | 40 |
| <b>Воробьева Ю.А., Щукина Т.В., Кармазин Ю.И., Ходунов А.М.</b><br>ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА<br>В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ПРИНЦИПОВ «УМНОГО ГОРОДА»       | 49 |
| <b>Костина Е.К., Попов А.Д.</b><br>МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭСТЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ<br>ФОРМООБРАЗОВАНИЯ                                                                                 | 57 |
| <b>Абуали А.М.А., Перькова М.В.</b><br>СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАНОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ ИРАКА                                                                                          | 63 |
| <b>Петрусенко Ю.В.</b><br>ВЛИЯНИЕ «ЗОДЧИХ-НАСТАВНИКОВ» НА ТВОРЧЕСТВО АРХИТЕКТОРА НИКОЛАЯ<br>МАТВЕЕВИЧА СОКОЛОВА                                                                                 | 73 |
| <b>Абасс Х.С., Иванова-Ильичева А.М.</b><br>ВЛИЯНИЕ ЕВРОПЕЙСКИХ АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ НА АРХИТЕКТУРУ<br>СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ СТРАН ПОД КОНТРОЛЕМ ФРАНЦУЗСКОГО МАНДАТА<br>В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВВ. | 81 |
| <b>Акулова Н.А.</b><br>ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ<br>БЫВШЕГО ЦАРСКОСЕЛЬСКОГО УЕЗДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ ГУБЕРНИИ<br>В XVIII–НАЧАЛЕ XX ВЕКА                   | 91 |

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Борисов И.Н., Стронин А.А., Классен В.К.</b><br>ВЛИЯНИЕ ПУСТОТНОСТИ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ<br>НА ДИСПЕРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИНКЕРА | 99 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Никитина И.П., Поляков А.Н.</b><br>СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТЧИК ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ВНУТРЕННИХ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ РЕЗЬБ                                                                                           | 106 |
| <b>Пышьев Р.С., Рубанов В.Г.</b><br>НЕЧЕТКАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ<br>РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА                                                                              | 115 |
| <b>Рыбак Л.А., Бехера Л., Малышев Д.И., Вирабян Л.Г.</b><br>АППРОКСИМАЦИЯ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ МАНИПУЛЯТОРОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ<br>И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ В СОСТАВЕ МУЛЬТИРОБОТИЗИРОВАННОЙ<br>СИСТЕМЫ | 121 |
| <b>Романцов Р.С., Серых И.Р., Чернышева Е.В.</b><br>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАЗМЕННОГО СИЛИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ<br>ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ                                                         | 129 |
| <b>Савин С.И., Ворочаева Л.Ю.</b><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ<br>С НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ В СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЕ                                                          | 136 |
| <b>Мамонтов А.Н., Пушница К.А.</b><br>ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ РЕАКТОРОВ                                                                                                                          | 145 |

## CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Denisov V.P., Traytvain A.I., Yakovlev E.A.</b><br>DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL TOOL FOR THE CALCULATION<br>OF THE TEMPERATURE OF MIXING AND SEALING OF ASPHALT CONCRETE                               | 8  |
| <b>Kartushina Yu.N., Parinov S.V., Sevriukova G.A.</b><br>COMPARATIVE ANALYSIS OF MATERIALS PROPERTIES OBTAINED IN RECYCLING<br>WASTE OF HEAVY CONCRETE                                                  | 14 |
| <b>Onoprienko N. N., Salnikova O.N.</b><br>IMPROVING THE EFFICIENCY OF MORTARS OF DOMESTIC PRODUCTION                                                                                                    | 22 |
| <b>Makeeva A.V., Semenov K.V., Makeev A.A., Amelina A.V.</b><br>CRACK RESISTANCE OF MASSIVE CONCRETE STRUCTURES DURING<br>THE BUILDING PERIOD TAKING INTO ACCOUNT TEMPERATURE EFFECTS                    | 30 |
| <b>Nazarova Y.A., Barabash M.V.</b><br>FEATURES OF FUNCTIONING AND THE ARCHITECTURAL FORMING OF CHILDREN'S<br>TECHNOLOGY PARKS IN RUSSIA AND ABROAD                                                      | 40 |
| <b>Vorobyeva Yu.A., Shchukina T.V., Karmazin Yu.I., Hodunov A.M.</b><br>URBAN DEVELOPMENT CONCEPT OF CREATING AN INNOVATIVE CENTER<br>IN THE VORONEZH AREA BASED ON THE PRINCIPLES OF «SMART CITY»       | 49 |
| <b>Kostina E.K., Popov A.D.</b><br>DESIGN TECHNIQUE BASED ON AESTHETIC PRINCIPLES OF FORMATION                                                                                                           | 57 |
| <b>Abuali A.M.A., Perkova M.V.</b><br>STRATEGIC ENVIRONMENTAL EVALUATION OF IRAQ PLANS AND PROGRAMS                                                                                                      | 63 |
| <b>Petrusenko Y.V.</b><br>THE INFLUENCE OF «ARCHITECTS-MENTORS» ON THE CREATIVITY OF ARCHITECT<br>NIKOLAI MATVEEVICH SOKOLOV                                                                             | 73 |
| <b>Abass H.S., Ivanova-Ilyicheva A.M.</b><br>INFLUENCE OF EUROPEAN ARCHITECTURAL TRADITIONS ON THE MEDITERRANEAN<br>COUNTRIES UNDER CONTROL OF THE FRENCH MANDATE IN THE FIRST HALF<br>OF THE XX CENTURY | 81 |
| <b>Akulova N.A.</b><br>REGULARITIES OF INDUSTRIAL ARCHITECTURE DEVELOPMENT<br>IN THE FORMER TSARSKOSEL'SKY UYEZD OF SAINT PETERSBURG PROVINCE<br>IN THE XVIII – EARLY XX CENTURY                         | 91 |

## CHEMICAL TECHNOLOGY

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Borisov I.N., Stronin A.A., Klassen V.K.</b><br>INFLUENCE OF POROUSNESS OF GRINDING MEDIA OF A BALL DRUM ON DISPERSE<br>CHARACTERISTICS OF CLINKER | 99 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

|                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Nikitina I.P., Polyakov A.N.</b><br>SPECIAL TAP FOR CUTTING INTERNAL SMALL-SIZED THREADS                                                                                     | 106 |
| <b>Pyshev R.S., Rubanov V.G.</b><br>FUZZY EXTREME SYSTEM OF AUTOMATIC ADJUSTMENT OF A RESONANCE CIRCUIT                                                                         | 115 |
| <b>Rybak L.A., Behera L., Malyshev D.I., Virabyan L.G.</b><br>APPROXIMATION OF THE WORKSPACE OF PARALLEL AND SERIAL<br>STRUCTURE MANIPULATORS AS PART OF THE MULTI-ROBOT SYSTEM | 121 |
| <b>Romantsov R.S., Serykh I.R., Chernysheva E.V.</b><br>APPLICATION OF PLASMA SILICATION METHOD TO WEAR RESISTANCE OF THE PART                                                  | 129 |
| <b>Savin S.I., Vorochaeva L.Yu.</b><br>ANALYSIS OF CONTROL METHODS AND ALGORITHMS FOR WALKING ROBOTS TAKING<br>INTO ACCOUNT THE NONLINEAR PROPERTIES OF THE ROBOT SENSOR SYSTEM | 136 |
| <b>Mamontov A.N., Puschnitsa K.A.</b><br>THERMAL CONTROL OF REACTORS                                                                                                            | 145 |



# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681

<sup>1,\*</sup>Денисов В.П., <sup>1</sup>Траутвайн А.И., Яковлев Е.И.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: wpdbel@mail.ru

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕШИВАНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

**Аннотация.** С появлением новых национальных стандартов по проектированию асфальтобетона по технологии Superpave пришла необходимость рассчитывать температуру смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Методика определения этих показателей описана в ГОСТ Р 58401.13-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем» и предусматривает определение двух и более значений динамической вязкости при различных температурах вяжущего. Представленный способ определения необходимых параметров зависит от изобретательности специалиста, так как получить более точные значения не представляется возможным. Решить данную проблему можно за счет использования математически обоснованной функции получения требуемых температурных показателей на основании двух замеров вязкости в соответствии с ГОСТ Р 58401.13-2019 при различной температуре. Для обеспечения работы полученного математического инструмента разработан программный продукт (приложение для Windows) «Вязкость» (свидетельство о депонировании №219.017.52AE). Для получения диапазонов температуры смешения и уплотнения смеси достаточно ввести измеренные величины вязкости в двух точках при известных температурах, и программа выдаёт температурный диапазон для смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. При этом нет необходимости заниматься графическими построениями для получения лишь приблизительных результатов.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, проектирование, температура смешивания и уплотнения, предварительные национальные стандарты, технология Superpave.

**Введение.** В настоящее время Российская Федерация начала активный обмен знаниями и разработками с зарубежными странами. В связи с чем встает вопрос о переходе к единым нормативным документам. Сейчас возможно использование действующих на данный момент нормативов, таких как ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов», ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные». Начиная активно использовать такие стандарты, как ПНСТ 184-2019 «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия», ПНСТ 183-2019 «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия». Кроме того, впервые РФ начинает использование стандарта по методологии Superpave ГОСТ Р 58401.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования», ГОСТ Р 58401.2-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования».

Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования». Технология проектирования асфальтобетонных смесей по методу Superpave существенно отличается от традиционно используемой дорожными организациями и имеет ряд особенностей [1–6].

**Методология.** Проектирование асфальтобетона по технологии Superpave предполагает использование основных предварительных национальных стандартов: ГОСТ Р 58401.1-2019 [7], ГОСТ Р 58401.3-2019 [8], ГОСТ Р 58401.2-2019 [9], ГОСТ Р 58401.4-2019 [10], ГОСТ Р 58401.13-2019 [11].

**Основная часть.** С появлением предварительных национальных стандартов (ПНСТ) по проектированию асфальтобетона по технологии Superpave пришла необходимость рассчитывать температуру смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Методика определения этих показателей описана в ГОСТ Р 58401.13-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем» и предусматривает

определение двух и более значений динамической вязкости при различных температурах вязущего. Полученные значения точек необходимо отметить на шаблоне, представленном в нормативном документе ГОСТ Р 58401.13-2019, и провести через них прямую (рис. 1). В местах пересечения полученной прямой с горизонтальными линиями требуемой вязкости, расположен-

ных на логарифмической шкале определяется необходимая для смешения и уплотнения температура.

Требуемая температура смешения вязущего, соответствует диапазону значений при динамической вязкости системы от 0,15 до 0,19 Па·с, температура уплотнения – от 0,25 до 0,31 Па·с (рис. 1).

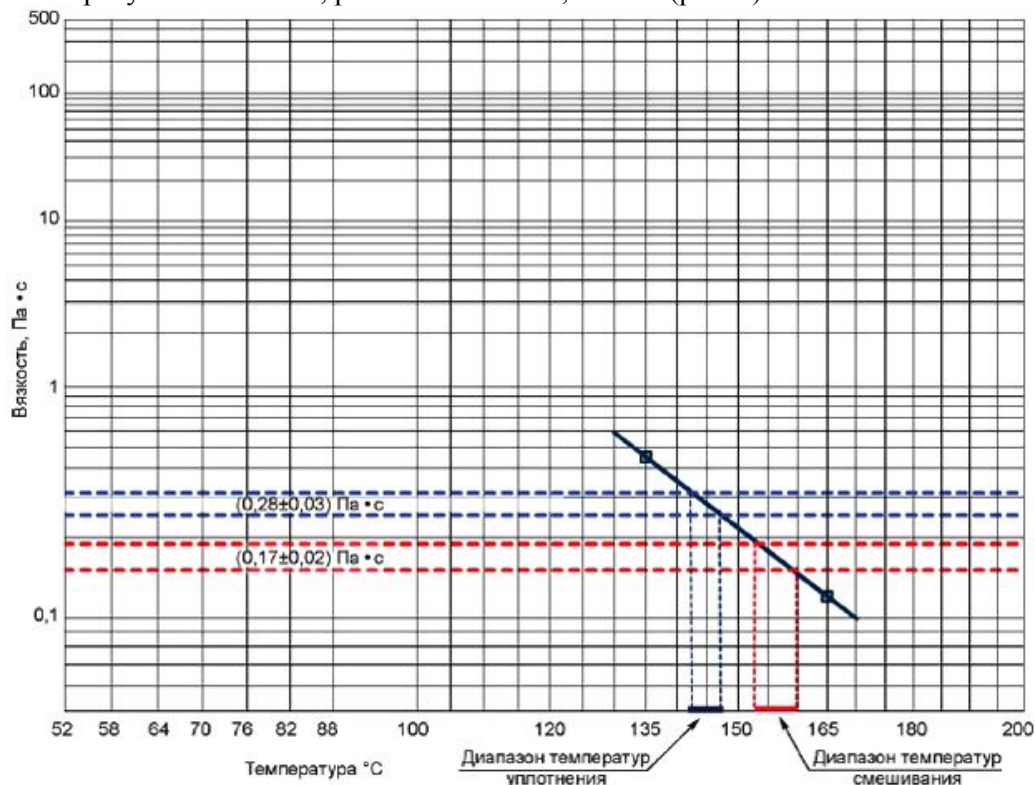


Рис. 1. Шаблон ГОСТ Р 58401.13-2019

Представленный способ определения необходимых параметров зависит от изобретательности специалиста, так как получить более точные значения не представляется возможным.

Данные, полученные на основании графика, построенного в табличном редакторе с применением линий экспоненциальной линии тренда, являются наиболее верными (рис. 2).

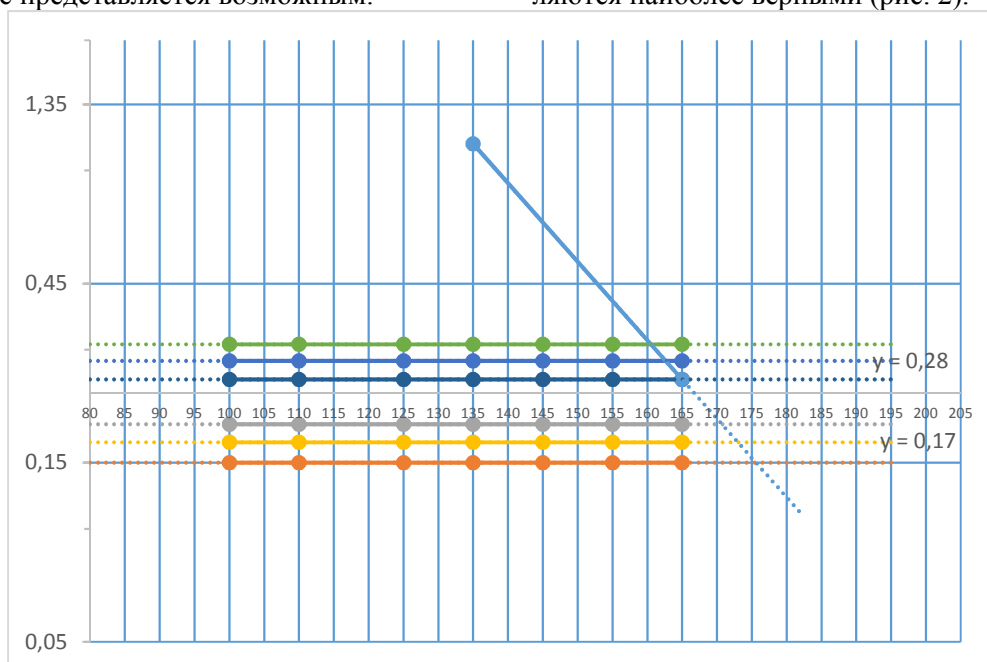


Рис. 2. Шаблон, построенный в табличном редакторе

Пожалуй, с момента появления такого инструмента, как логарифмическая линейка, стандартный (графический) метод определения необходимых температур можно считать устаревшим. Решение данной задачи предложенным в ГОСТ Р 58401.13-2019 способом можно сравнить с определением гипотенузы в прямоугольном треугольнике с помощью угольника и линейки, без использования существующей теоремы Пифагора.

Высокая точность результатов может быть достигнута при использовании вискозиметров, обеспечивающих получение большого массива данных с широким диапазоном температуры испытаний. Но подобное оборудование могут позволить себе очень узкий круг дорожных организаций в виду дороговизны. Большая же часть лабораторий будет использовать бюджетные варианты вискозиметров, обеспечивающие минимально требуемый набор функций.

Современный подход проектирования асфальтобетонных смесей и устройства покрытий автомобильных дорог, разработанный с учётом опыта зарубежных стран, не предусматривает использование математического инструмента расчета температуры смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Это вносит дополнительные сложности в алгоритм подбора состава смеси, который и так является сложным и имеет множество тонкостей. При этом, полученный

диапазон температур влияет на основные показатели образцов асфальтобетона, исследуемые при подборе состава асфальтобетонных смесей. В случае возникновения спорных моментов отсутствует точный математический инструмент для установления истины.

Решить данную проблему можно за счет использования математически обоснованной функции получения требуемых температурных показателей на основании двух замеров вязкости в соответствии с ГОСТ Р 58401.13-2019 при различной температуре.

Для доказательства математической зависимости был использован следующий метод.

Создадим произвольный график линейной функции (рис. 3), проходящий через точки А и Б. Ось абсцисс линейная шкала и ось ординат логарифмическая с основанием 10. В соответствии с уже принятым правилом по оси абсцисс будет регистрироваться температура, а по оси ординат - вязкость. В связи с тем, что ось ординат логарифмическая, то функцию прямой АБ не корректно считать линейной. В связи с чем дополнительно построим шкалу ординат, значения на которой будут представлять собой величину десятичного логарифма от значений вязкости. Данная шкала является линейной. Таким образом, функция прямой АБ относительно дополнительной шкалы справедливо считается линейной.

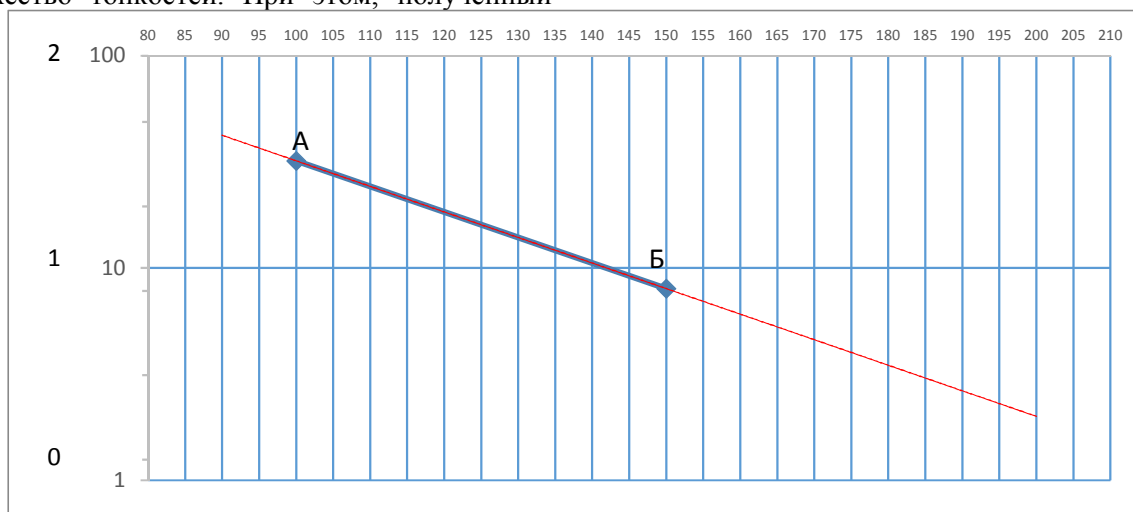


Рис. 3. График зависимости вязкости от температуры

Предположим, что точки А и Б – это результат определения вязкости вяжущего в зависимости от температуры. Условно обозначим координаты точки А ( $T_1$ ,  $V_1$ ), точки Б – ( $T_2$ ,  $V_2$ ). Величину требуемой вязкости назовем  $V$ , а искомую температуру  $T$ . Для того, чтобы вывести уравнение прямой необходимо значения линейной шкалы ординат, соответствующие точкам А и Б, выразить через значения  $V_1$  и  $V_2$ . Так как по условию построения дополнительной оси ординат

значения (назовём их условно  $B$ ) являются десятичным логарифмом вязкости, то  $B = \lg V$ . При этом, координаты точек А и Б по дополнительной оси ординат будут соответственно равны  $B_1 = \lg V_1$ ,  $B_2 = \lg V_2$ , требуемая величина вязкости –  $B = \lg V$  соответственно.

Строим уравнение линейной функции:

$$\frac{B-B_1}{B_2-B_1} = \frac{T-T_1}{T_2-T_1}, \quad (1)$$

где  $V$  – переменная величина вязкости десятичного логарифма вязкости;  $T$  – переменная величина температуры.

Теперь заменим значения  $V$ ,  $V_1$  и  $V_2$  ранее полученными выражениями:

$$\frac{\lg V - \lg V_1}{\lg V_2 - \lg V_1} = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

В итоге после пары преобразований получим следующее:

$$T = \frac{\lg(V:V_1)(T_2 - T_1)}{\lg(V_2:V_1)} + T_1 \quad (3)$$

где  $V$  – требуемая величина вязкости;  $V_1$  и  $V_2$  – вязкость при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно.

С учётом того, что в конечной формуле в числителе и знаменателе фигурирует логарифм с одинаковым основанием, то данная формула справедлива при использовании логарифма с любым положительным основанием.

Таким образом, получена математическая функция, обеспечивающая точное математическое определение температуры ( $T$ ) для требуемой вязкости ( $V$ ) по двум известным величинам, установленным в лаборатории по ГОСТ Р 58401.13-2019.

Для обеспечения работы полученного математического инструмента разработан программный продукт (приложение для Windows) «Вязкость» (свидетельство о депонировании №219.017.52AE).

Для получения диапазонов температуры смешения и уплотнения смеси достаточно ввести измеренные величины вязкости в двух точках при известных температурах, и программа выдаёт температурный диапазон для смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси (рис. 4).

Рис. 4. Результаты расчета, полученные с помощью программного продукта «Вязкость»

При этом нет необходимости заниматься графическими построениями для получения лишь приблизительных результатов

**Выводы.** С позиции обеспечения наибольшей точности определения температуры смешения и уплотнения асфальтобетонных смесей по технологии Superpave в соответствии с нормативными документами предложена возможность использования математического инструмента, разработанного на кафедре «Автомобильные и железные дороги» БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюхин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний // Автомоб. дороги и мосты: Обзорн. информ. ФГУП «Информавтодор», 2005. №. 6. С. 96.
2. Радовский Б.С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв // Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2008. С. 42–52.
3. Руденски А.В. Современный метод проектирования состава асфальтобетона по асфальтовому вяжущему // Дороги и мосты. 2009. №. 21. С. 201–207.
4. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Дорожная техника. 2007. №. 1. С. 86–99.
5. ОДМ 218.4.036-2017. Методические рекомендации по приготовлению асфальтобетонных смесей, их укладке, а также приемке выполненных работ, основанные на методологии "Superpave". Введ. 2017-05-15. М.: Росстандарт, 2017. 36 с.
6. Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Денисов В.П., Лашин М.В. Особенности метода объемного проектирования асфальтобетона по технологии SUPERPAVE // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 8–14.
7. ГОСТ Р 58401.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 20 с.
8. ГОСТ Р 58401.3-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Правила проектирования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.
9. ГОСТ Р 58401.2-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-

мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

10. ГОСТ Р 58401.4-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального

проектирования. Правила проектирования. Введ. 2016-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

11. ГОСТ Р 58401.13-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем. Введ. 2019-06-07. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

#### Информация об авторах

**Денисов Василий Петрович**, заведующий лабораторией БГТУ им. В.Г. Шухова. E-mail: wpdbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Траутвайн Анна Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: trautvain@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Яковлев Евгений Александрович**, кандидат технических наук, зав. кафедрой автомобильных и железных дорог. E-mail: jea2@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Денисов В.П., Траутвайн А.И., Яковлев Е.А., 2019

<sup>1,\*</sup>**Denisov V.P., <sup>1</sup>Traytvain A.I., <sup>1</sup>Yakovlev E.A.**

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

*Russia, 308012, Belgorod, st. Kostykova, 46.*

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

## DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL TOOL FOR THE CALCULATION OF THE TEMPERATURE OF MIXING AND SEALING OF ASPHALT CONCRETE

**Abstract.** *The emergence of new national standards for the design of asphalt concrete using Superpave technology creates the need to calculate the temperature of mixing and sealing of asphalt mixture. The method of determining these indicators is described in GOST R 58401.13-2019 "Automobile roads of the general usage. Asphalt concrete mixes and asphalt concrete. Method of preparing samples by a rotary compactor" and provides for the determination of two or more values of dynamic viscosity at different temperatures of the binder. The presented method of determining the necessary parameters depends on the ingenuity of the specialist, since it is not possible to obtain more accurate values. This problem can be solved by using a mathematically grounded function to obtain the required temperature indicators based on two viscosity measurements in accordance with GOST R 58401.13-2019 at various temperatures. A software product (application for Windows) "Viscosity" (deposit certificate No. 219.017.52AE) is developed to ensure the operation of the obtained mathematical tool. To obtain the mixing and sealing temperature ranges of the mixture, it is sufficient to enter the measured viscosity values at two points at known temperatures, and the program outputs the temperature range for mixing and sealing the asphalt concrete mixture. At the same time, there is no need to engage in graphical constructions to obtain only approximate results.*

**Keywords:** *asphalt concrete mix, design, mixing and sealing temperature, provisional national standards, Superpave technology.*

## REFERENCES

1. Kiryukhin G.N. Designing the composition of asphalt concrete and methods of testing it [Proyektirovaniye sostava asfal'tobetona i metody yego ispytaniy]. Auto. Roads and Bridges: Overview. Inform. FSUE "Informavtodor, 2005. No. 6. 96 p. (rus)
2. Radovsky B.S. The current state of development of the American method of designing asphalt mixes Superpeyv [The current state of development

of the American method of designing asphalt mixes Superpave]. Road equipment: catalog-directory. SPb.: Slavutich, 2008. Pp. 42–52. (rus)

3. Rudenski A.V. Modern method of designing the composition of asphalt concrete on asphalt binder [Sovremennyy metod proyektirovaniya sostava asfal'tobetona po asfal'tovomu vyazhushchemu]. Roads and bridges. 2009. No. 21. Pp. 201–207. (rus)

4. Radovsky B.S. Designing the composition of asphalt mixes in the United States by the method of



Superpave [Proyektirovaniye sostava asfal'tobetonnykh smesey v SSHA po metodu Superpeyv]. Road equipment. 2007. No. 1. Pp. 86–99. (rus)

5. ODM 218.4.036-2017. Guidelines for the preparation of asphalt mixes, their installation, as well as acceptance of work performed, based on the methodology "Superpave" [Metodicheskiye rekomendatsii po prigotovleniyu asfal'tobetonnykh smesey, ikh ukladke, a takzhe priyemke vypolnennykh rabot, osnovannyye na metodologii "Superpave"]. Enter 2017-05-15. M.: Rosstandart, 2017. 36 p. (rus)

6. Trautvain A.I., Akimov A.E., Denisov V.P., Lashin M.V. Features of the method of bulk design of asphalt concrete technology SUPERPAVE [Osobennosti metoda ob'yemnogo proyektirovaniya asfal'tobetona po tekhnologii SUPERPAVE]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 3. Pp. 8–14. (rus)

7. GOST R 58401.2. Automobile roads of general use. Road hot asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Tekhnicheskiye trebovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 20 p. (rus)

8. GOST R 58401.3. Automobile roads of general use. Road hot asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Design rules [Dorogi avtomobil'nyye obshchego

pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Pravila proyektirovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

9. GOST R 58401.2. Automobile roads of general use. Road stone-mastic asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnyye dorozhnyye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnyye. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Tekhnicheskiye trebovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

10. GOST R 58401.4. Automobile roads of general use. Road stone-mastic asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Design rules [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnyye dorozhnyye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnyye. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Pravila proyektirovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

11. GOST R 58401.13. Automobile roads of general use. Asphalt mixtures and asphalt concrete for road pavement. Method for preparation of specimens using gyratory compactor [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Metod prigotovleniya obraztsov vrashchatelnym uplotnitel'm]. Enter 2019-06-07. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Denisov, Vasily P.** Head of the laboratory. E-mail: wpdbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Trautvain, Anna I.** Ph.D., Assistant professor. E-mail: trautvain@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Yakovlev, Evgenij A.** Ph.D., Assistant professor. E-mail: jea2@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Денисов В.П., Траутвайн А.И., Яковлев Е.А. Разработка математического инструмента расчета температуры смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 8–13. DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681

#### **For citation:**

Denisov V.P., Trautvain A.I., Yakovlev E.A. Development of mathematical tool for the calculation of the temperature of mixing and sealing of asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 8–13. DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681

DOI: 10.34031/article\_5d4928f0f05119.79723700

<sup>1,\*</sup>Картушина Ю.Н., <sup>1</sup>Паринов С.В., <sup>1</sup>Себрякова Г.А.<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет

Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28

\*E-mail: kartysina@rambler.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ОСОБО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

**Аннотация.** В работе проведены исследования, направленные на анализ возможности вторичного использования переработанных отходов производства особо тяжелого бетона. В статье предлагается извлечение материала с применением технологии сухого магнитного обогащения руды. В результате лабораторных опытов, путём механической обработки, было произведено улучшение характеристик некондиционного материала до приемлемых значений в сравнении с исходным материалом. Проводились экспериментальные исследования с целью изучения свойств исходного, некондиционного и получаемого в результате переработки материала на основе методов испытаний государственных стандартов. Выявлено сохранение сравнительно высоких прочностных и гарантийных характеристик полученного вторичного материала, что позволяет повторно использовать его в качестве добавки при производстве особо тяжелого бетона.

**Ключевые слова:** отходы, особо тяжелый бетон, технология, вторичное сырьё, ресурсосбережение.

**Введение.** В настоящий момент времени имеются разработки по переработке бетона, обеспечивающие рециклинг бетонной смеси, образующейся в процессе производства [1–4]. Однако в существующих схемах не рассматривается извлечение металоосодержащей части бетонной смеси, которая в случае с особо тяжелыми бетонами, может достигать половины всего состава [5–8]. Они ориентированы скорее на пофракционное разделение на крупный и мелкий заполнитель. Предлагаемое решение состоит в разделении и предварительной очистке отходов производства особо тяжелого бетона (далее – ОПОТБ) для применения непосредственно в производстве. Спроектированная технологическая схема процесса переработки особо тяжелого бетона представлена на рис. 1 [8].

Основным оборудованием участка переработки ОПОТБ является магнитный сепаратор шкивного типа, объём выработки составляет 8,19 м<sup>3</sup>/ч. Скорость конвейерной ленты составляет – 1 м/с. Ширина ленты – 800 мм. Средняя высота слоя материала при скорости 1 м/ч равна 30 мм, что позволяет улавливать ферромагнитные частицы при извлекающей способности 0,012 см×кг.

В качестве вспомогательного оборудования используются: валковая дробилка рифлёная, шаровая мельница, виброгрохот двухдековый. Используется ряд ленточных конвейеров и бункеров для приёма и разгрузки. Технологическое оборудование располагается в цеху переработки ОПОТБ, в пределах досягаемости смесительной установки. Процесс поступления материала на

переработку является периодическим и возобновляется по мере накопления некондиционного материала.

Линия переработки особо тяжелого бетона предполагает получение вторичных ресурсов из трех основных источников: из остатков просроченной или не использованной бетонной смеси; из скопления бетона на стенках смесителей и емкостей, загрязненной инородными компонентами бетонной смеси; из смеси изготовленной с нарушением рецептуры. Во всех случаях материал признаётся некондиционным, объём таких отходов может достигать до 100 кг на 1 м<sup>3</sup>. С технологией по комплексной переработке они могут быть вовлечены в производство вторично в качестве обновленного исходного сырья для бетона. Критериями для внесения выступают качественные характеристики материала, как заполнителя бетонной смеси, определяемые в лабораторных условиях.

Основное преимущество проектируемой технологической схемы состоит в применении магнитной сепарации в области переработки отходов бетона. Намагниченная часть классифицируется по крупности и отсеивается в отдельные бункеры. Для разрушения цементной оболочки вокруг гранул заполнителя предложено применение шаровой мельницы. При соударении металлических шаров ввиду разности прочностных характеристик, незакрепленный слой цемента на гранулах отслаивается, что в конечном итоге может повысить прочность готового изделия из переработанного бетона. Реализация подобного решения позволит повысить безотходность производства бетона.

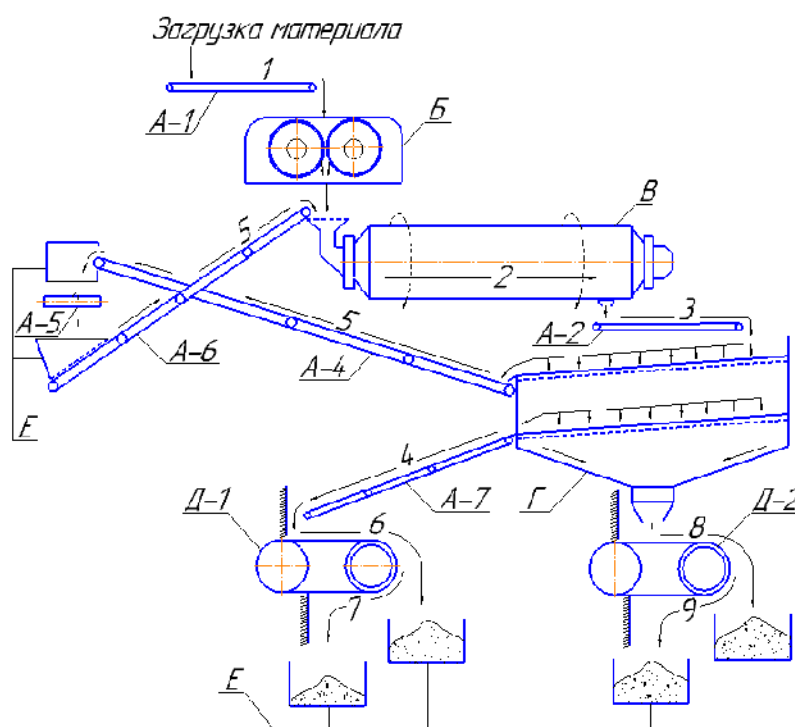


Рис. 1. Технологическая схема процесса переработки бетона:

А – конвейер ленточный, Б – дробилка валковая рифлёная, В – мельница шаровая,

Г – виброгрохот двухдековый, Д – железоотделитель шкивной, Е – бункер загрузки/выгрузки.

Потоки: 1 – отходы бетона непереработанные, 2 – дроблёный бетон, 3 – измельчённый бетон, 4 – переработанный бетон фракции 0,16–8 мм, 5 – возвратный материал, 6 – щебеночно-песчанная смесь фракция 0,16–8, 7 – железная руда фракция 0,16-8, 8 – отсев пыль фракция <0,16, 9 –отсев металлическая пыль фракция <0,16

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить получение отдельных компонентов вторсырья из ОПОТБ;
- изучить свойства исходного, некондиционного (ОПОТБ) и получаемого в результате переработки материала на основе методов испытаний государственных стандартов;
- провести испытания бетонной смеси и отвердевших образцов на основе методов государственных стандартов с использованием получаемого материала и сравнить с результатами испытаний контрольной смеси и образцов;
- оценить возможность дозированного введения и возврата переработанных материалов в технологическую схему производства особо тяжелого бетона.

**Методология.** Лабораторные испытания всех видов материалов проводились в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», ГОСТ 25114-82 «Руды железные. Метод магнитного анализа», ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» и бетонных образцов-кубов на основе методов ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным

образцам», ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения», ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

После загрузки некондиционного материала на линию переработки, получили видоизмененный материал с фракционным разделением и классификацией на виды материала по четырём отдельным бункерам: щебеночно-песчаная смесь фракцией 0,16–8 мм; железная руда фракцией 0,16–8 мм; отсев пыли фракцией <0,16 мм; отсев металлической пыли фракцией <0,16 мм.

В качестве испытуемого сухого материала  
выступают:

- исходная смесь, содержащая заполнители бетона (щебень, железная руда);
- ОПОТБ без обработки;
- смесь после обработки с разделёнными компонентами ОПОТБ.

С целью анализа возможности замены части природных ресурсов отходами (ОПОТБ) без потери свойств конечного продукта в работе в качестве опытного материала использовалась исходная смесь, в которую в определенных процентных соотношениях были сделаны добавки:

- материал ОПОТЬ без обработки;
- обработанные разделённые компоненты ОПОТЬ.

По результатам испытаний проведено сравнение полученных результатов и сделаны выводы относительно пользы предлагаемой технологии переработки.

**Основная часть.** Наличие цементной оболочки снижает качество получаемого вторичного материала, поэтому важным этапом обработки было придание чистоты заполнителям бетона [9, 10]. Усредненный состав бетонной смеси, используемой на предприятии: железная руда – 55 %; щебень – 23 %; цемент 17 %; вода 5 %. Мелкий заполнитель представлен железной рудой. На основе данных, можно сделать вывод о концентрации железа в руде и возможность проведения магнитной сепарации сухим методом, без применения дополнительных стадий.

**Зерновой состав материала.** По результатам испытания получены три вида отсева: исходная смесь; материал ОПОТЬ без обработки; обработанные компоненты ОПОТЬ в пропорциях сходных с исходной смесью (смесь после обработки). Сравнительный анализ результатов просеивания испытуемых материалов представлен на рис. 2. Вес каждой пробы составлял 1000 грамм.

**Определение насыпной плотности и пустотности.** Испытания обработанного материала ОПОТЬ, проводимые по параметрам насыпной и истинной плотности, пустотности, а также плотности и размеру зерен, показали результаты с наиболее близкими по отношению к исходной сухой смеси заполнителей бетона (табл. 1).

**Магнитный анализ.** Метод основан на разделении навески материала на магнитную и немагнитную фракции для определения процента извлечения железа и его потерь (уход в немагнитную фракцию). Навеску для анализа помещали в емкость вместимостью 250 г. Для оценки компонентного соотношения извлекаемых материалов, дробленый бетон был испытан на наличие магнитных свойств неодимовым магнитом размером 50×20 мм (извлекающая способность 0,012 см·кг), аналогом электромагнитного анализатора, применяемого в методике. Взвешивалась немагнитная фракция и, по разности её массы с исходной навеской анализируемого материала, определялся вес магнитной фракции. Для установления более точных значений в работе проведены пятикратные повторы с пробами, выборочно взятыми из общей массы дробленого бетона (табл. 2).

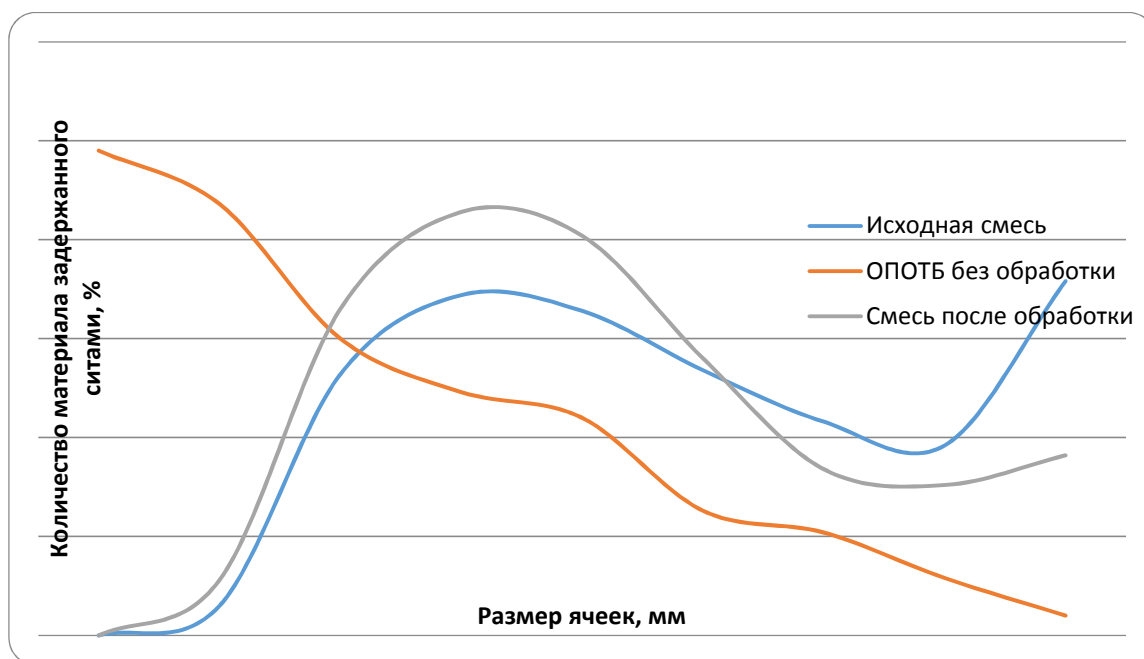


Рис. 2. Сравнительный анализ результатов просеивания испытуемых материалов

Таблица 1

Показатели плотности исследуемых смесей

| Виды испытаний                                  | Вид материала  |                     |                       |
|-------------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------------|
|                                                 | Исходная смесь | ОПОТЬ без обработки | Смесь после обработки |
| Средняя плотность материала, кг/м <sup>3</sup>  | 3500           | 3000                | 3400                  |
| Насыпная плотность материала, кг/м <sup>3</sup> | 3100           | 2700                | 2900                  |
| Истинная плотность материала, кг/м <sup>3</sup> | 4150           | 4470                | 4210                  |
| Пустотность материала, %                        | 15,66          | 32,89               | 19,24                 |
| Диаметр наибольшего куса материала, мм          | 8,50           | 25,00               | 8,10                  |

Таблица 2

**Магнитное разделение дробы бетона**

| № повтора        | Опытный материал, г |         | Процентное содержание, % |         |
|------------------|---------------------|---------|--------------------------|---------|
|                  | Железо              | Остаток | Железо                   | Остаток |
| Повтор № 1       | 72,81               | 77,19   | 48,54                    | 51,46   |
| Повтор № 2       | 85,11               | 64,89   | 56,74                    | 43,26   |
| Повтор № 3       | 91,845              | 58,155  | 61,23                    | 38,77   |
| Повтор № 4       | 78,3                | 71,7    | 52,20                    | 47,8    |
| Повтор № 5       | 70,32               | 79,68   | 46,88                    | 53,12   |
| Среднее значение | 79,68               | 70,32   | 53,12                    | 46,88   |

*Определение подвижности бетонной смеси.*

Основным показателем удобоукладываемости бетонной смеси является подвижность бетонной смеси. Подвижность бетонной смеси оценивают по осадке конуса, отформованного из бетонной смеси. Для особо тяжелого бетона в исходной смеси характерна малая подвижность (табл. 3).

*Определение прочности бетона по образцам-кубам.*

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Таблица 3

**Сводная таблица испытаний бетона**

| Содержание заменённого заполнителя, %                                  | Исходная смесь | Смесь с добавлением ОПОТЬ без обработки | Смесь с добавлением ОПОТЬ после обработки |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Подвижность бетонной смеси, см                                         |                |                                         |                                           |
| 0                                                                      | 2,5            | -                                       | -                                         |
| 25                                                                     | -              | 5                                       | 2,5                                       |
| 50                                                                     | -              | 8                                       | 3                                         |
| 75                                                                     | -              | 10                                      | 4                                         |
| 100                                                                    | -              | 12,5                                    | 5,5                                       |
| Фактическая прочность на сжатие, МПа                                   |                |                                         |                                           |
| 0                                                                      | 63,5           | -                                       | -                                         |
| 25                                                                     | -              | 46,2                                    | 61,4                                      |
| 50                                                                     | -              | 35,6                                    | 58,6                                      |
| 75                                                                     | -              | 30,4                                    | 56,5                                      |
| 100                                                                    | -              | 25,8                                    | 55,0                                      |
| Водопоглощение по массе, %                                             |                |                                         |                                           |
| 0                                                                      | 2,1            | -                                       | -                                         |
| 25                                                                     | -              | 3,5                                     | 2,2                                       |
| 50                                                                     | -              | 4,4                                     | 2,7                                       |
| 75                                                                     | -              | 5,2                                     | 3,0                                       |
| 100                                                                    | -              | 6,0                                     | 3,3                                       |
| Фактическая прочность на сжатие, МПа / Марка бетона по морозостойкости |                |                                         |                                           |
| 0                                                                      | 59,7 / F300    | -                                       | -                                         |
| 25                                                                     | -              | 43,8 / F300                             | 58,9 / F300                               |
| 50                                                                     | -              | 24,4 / не соответствует                 | 55,8 / F300                               |
| 75                                                                     | -              | не допущен                              | 53,7 / F300                               |
| 100                                                                    | -              | не допущен                              | 52,4 / F300                               |

Для определения прочности бетонной смеси, показателей водопоглощения и морозостойкости, в лабораторных условиях изготовили образцы-кубы со следующими типами бетона:

- с содержанием ОПОТЬ после обработки 25 %, 50 %, 75 %, 100 %;
- с примесью ОПОТЬ без обработки 25 %, 50 %, 75 %, 100 %;
- серия образцов-кубов с исходной смесью.

В работе представлено несколько серий кубов на каждый тип замеса по 3 шт. Размер ребра

образцов равен 10 см. Все образцы одной серий изготавливали из одной пробы бетонной смеси и уплотняли их в одинаковых условиях. Разница средних значений плотности бетона образцов одной серий не превышала 50 г/дм<sup>3</sup>. Уплотнение бетонной смеси проводили с использованием виброплощадки. После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживали мастерком. Через сутки, после схватывания и набора первоначальной прочности, образцы-кубы расплублили из



металлических форм, подписали и уложили в камеру для твердения в нормальных условиях с температурой воздуха  $20 \pm 2$  °C и относительной влажностью воздуха  $95 \pm 5$  %.

По прошествии 28 суток (срок набора марочной прочности бетона) перед испытанием образцы визуально осматривались, устанавливались на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса). Верхнюю и нижнюю стальные плиты пресса совмещали с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки ( $0,6 \pm 0,2$  МПа/с) до разрушения образца по одной из удовлетворительных или неудовлетворительных схем в соответствии с ГОСТ 10180-2012.

*Определение водопоглощения бетона по образцам-кубам.* По прошествии 28 суток, образцы-кубы помещали в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. Образцы укладывали на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной. Температура воды в емкости была  $20 \pm 2$  °C. Образцы взвешивали через каждые 24 часа водопоглощения на электронных весах с погрешностью не более 0,1 %. При взвешивании образцы, вынутые из воды, предварительно вытирали отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, также включали в массу насыщенного образца. Испытание проводили до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний не отличались более чем на 0,1 % (табл. 3).

Таблица 4

**Сравнение способов обращения с отходами производства особо тяжелого бетона**

| Тип использования, технологический процесс | ОПОТБ без переработки                                                                                                                                                         | Механическая переработка ОПОТБ                                                                                                                                                                                                                                       | Переработка ОПОТБ с использованием магнитной сепарации                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | Использование в качестве материала для заполнения карт полигона, для подсыпки дорог.<br>Не предусматривается переработка                                                      | Использование в качестве вторичного сырья для бетонных смесей.<br>Предусматривается механическая переработка, включающая стадии дробления, возможно промывки и классификации                                                                                         | Использование в качестве вторичного сырья для бетонных смесей особо тяжелого бетона. Возможно использование железной руды как сырья для металлургии.<br>Предусматривается механическая переработка, включающая стадии дробления, измельчения, классификации и магнитной сепарации |
| Экономическая стоимость                    | Стоимость равная доставке материала до места использования. Стоимость материала оценивается по среднерыночной стоимости вторичного щебня (30 % от стоимости первичного сырья) | Зависит от ряда применяемых аппаратов. Как правило равна стоимости получаемого вторичного щебня. Стоимость материала оценивается по среднерыночной стоимости вторичного щебня (от 30 % до 80 % от стоимости первичного сырья). Технология окупается за несколько лет | Оборудование имеет приемлемую стоимость. Технология окупается за сравнительно небольшое время, ввиду высокой стоимости первичного сырья (железной руды). Переработка осуществляется на территории предприятия-производителя особо тяжелого бетона                                 |
| Достоинства                                | Дешевый материал для подсыпки дорожного покрытия                                                                                                                              | Возможно использование как заполнителя бетона для декоративного строительства (заборы, памятники, бордюры, тротуарная плитка)                                                                                                                                        | Возможна замена части первичного сырья, сравнительно более высокие прочностные характеристики бетона, водопоглощение и морозостойкость ниже, ввиду удаления части цементного налёта на гранулах заполнителя (щебень, железная руда)                                               |
| Недостатки                                 | В качестве подсыпки недостатки не имеет                                                                                                                                       | Низкие прочностные характеристики бетона, повышенный параметр водопоглощения, низкая морозостойкость. Исходя из этого – низкий срок службы                                                                                                                           | Необходимо получение большей практической базы                                                                                                                                                                                                                                    |

*Определение морозостойкости бетона по образцам-кубам.* Метод определения морозостойкости оценивает максимальное число циклов замораживания и оттаивания бетона, при которых характеристики бетона остаются в нормированных пределах, а также отсутствуют трещины,

сколы, шелушение ребер образцов. Лабораторные испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10060-2012, по первому базовому методу. За марку бетона по морозостойкости принимали наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании

выдерживали образцы, без снижения прочности на сжатие более 5 % по сравнению с прочностью контрольных образцов (табл. 3).

В таблице 4 приведены сравнительные характеристики предлагаемого способа и существующих способов переработки особо тяжелого бетона. Способ использования без переработки (в качестве насыпей для дорог, применение в низкосортных бетонах) принимаем за исходный способ, с которым сравниваем способ переработки без магнитной сепарации и способ с применением магнитной сепарации.

Из приведенных в таблице данных видно, что наиболее обоснованным с экономической и ресурсосберегающей точки зрения является применение способа переработки особо тяжелого бетона с применением ряда рекомендованных аппаратов и стадий.

**Выводы.** Реализация предлагаемого решения по применению технологии по переработке особо тяжелого бетона позволит организовать энерго- и ресурсоэффективное производство в соответствии с современными требованиями экологической безопасности на предприятии. С экономической точки зрения отходы особо тяжелого бетона нецелесообразно захоронять, так как основной компонент (железная руда) имеет значительную стоимость. В рамках предлагаемой технологии, основным направлением деятельности является извлечение и дальнейшее использование металлосодержащих компонентов.

В результате лабораторных испытаний был определен зерновой состав исходного материала, а также до и после переработки, выявлено соотношение железной руды и щебня, определено содержание пылевидных и глинистых частиц, определена плотность и пустотность. Проведено сравнение результатов испытания исходного, некондиционного и получаемого в результате переработки материала, испытания бетонной смеси и бетонных образцов-кубов на подвижность, прочность бетона по контрольным образцам, водопоглощение и морозостойкость.

Бетон с использованием переработанного материала показал сравнительно более высокие прочностные характеристики, свойства водопоглощения и морозостойкости, чем с использованием некондиционного материала за счёт удаления части цементного налёта на гранулах заполнителя. Испытания показали возможность замены до 75 % исходного сырья на производстве, без потери качественных характеристик бетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванова А.П., Труфанова О.И. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона // Наука та прогрес транспорту. 2014. № 5 (53). С. 150–156. DOI 10.15802/stp2014/30453
2. Перцев В.Т., Леденев А.А., Рудаков О.Б., Загоруйко Т.В. Состав и технология получения бетона повышенной термостойкости для огнестойких железобетонных изделий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 2 (11). С. 39–45.
3. Смолий В.А., Косарев А.С., Яценко Е.А. Разработка технологии легких бетонов с пористым золошлаковым заполнителем // Научный альманах. 2016. № 11-2 (25). С. 233–236. DOI: 10.17117/na.2016.11.02.233
4. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В. Применение композиционных вяжущих в технологии ячеистого бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №2. С. 10–16. DOI: 10.12737/article\_5a816bda646a22.41029804
5. Батаршин В.О., Федюк Р.С., Струк К.В., Бутенко Ю.В. Особо тяжелые бетоны специального назначения // В сборнике: Фундаментальные основы строительного материаловедения Международного онлайн-конгресса. 2017. С. 258–267.
6. Демьянова В.С., Гусев А.Д. Получение дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения с использованием вторичных материальных ресурсов // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 56–60.
7. Жаров М.А. Перспективы применения техногенных отходов в составах бетонных смесей // В сборнике «Актуальные проблемы современной науки» Всероссийская научно-практическая конференция. Ставрополь. 2012. С. 57–60.
8. Паринов С.В., Картушина Ю.Н. Технологическая схема полной переработки отходов производства особо тяжёлого бетона // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 63.
9. Фархатов М.А. Организация переработки отходов бетона и вторичное использование бетонов в строительстве // Системные технологии. 2018. № 26. С. 100–103.
10. Леденев А.А., Перцев В.Т., Калач А.В., Загоруйко Т.В., Донец С.А., Калач Е.В. Управление огнестойкостью железобетонных конструкций вариативной структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 16–22.

## Информация об авторах

**Картушина Юлия Николаевна**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности. E-mail: kartysina@rambler.ru. Волгоградский государственный технический университет. Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28.

**Паринов Сергей Вадимович**, магистрант. E-mail: ser\_p94@mail.ru. Волгоградский государственный технический университет. Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28.

**Севрюкова Галина Александровна**, доктор биологических наук, профессор кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности. E-mail: sevryukova2012@yandex.ru. Волгоградский государственный технический университет. Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28.

Поступила в марте 2019 г.

© Картушина Ю.Н., Паринов С.В., Севрюкова Г.А., 2019

<sup>1,\*</sup>Kartushina Yu.N., <sup>1</sup>Parinov S.V., <sup>1</sup>Sevriukova G.A.

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University

Russia, 400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28

\*E-mail: kartysina@rambler.ru

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MATERIALS PROPERTIES OBTAINED IN RECYCLING WASTE OF HEAVY CONCRETE

**Abstract.** The research is aimed at analyzing the possibility of secondary use of recycled production waste of heavy concrete. The article proposes the extraction of material using the technology of dry magnetic enrichment of ore. As a result of laboratory experiments, the characteristics of the substandard material are improved to acceptable values in comparison with the raw material by mechanical treatment. In the course of the work, experimental studies are performed to examine the properties of the initial, substandard and resulting material processing based on test methods of state standards. The preservation of relatively high strength and guarantee characteristics of the obtained secondary material is revealed that allows reusing it in the production of heavy concrete without loss of quality, as an additive to the initial mixture.

**Keywords:** waste, concrete, technology, secondary raw materials, resource-saving.

### REFERENCES

1. Ivanova A.P., Trufanova O.I. Analysis and application prospects of effective resources-saving technologies in concrete manufacture. Science and Transport Progress [Analiz i perspektivy primeneniya effektivnykh resursosberegayushchih tekhnologij v proizvodstve betona]. 2014. No. 5 (53). Pp. 150–156. DOI: 10.15802/stp2014/30453 (rus)
2. Pertsev V.T., Rudakov O.B., Ledenev A.A., Zagoruiko T.V. Structure and technology of reception of concrete the raised thermal stability for the fire-resistant ferro-concrete products [Sostav i tekhnologiya polucheniya betona povyshennoj termostojkosti dlya ognestojkih zhelezobetonnyh izdelij]. Scientific Bulletin of Voronezh state University of architecture and construction. Series: Physical and chemical problems and high technologies of building materials science. 2015. No. 2 (11). Pp. 39–45. (rus)
3. Smolii V.A., Kosarev A.S., Yatsenko E.A. Development of technology of light concrete with porous slag filler [Razrabotka tekhnologii legkih betonov s poristym zoloshlakovym zapolnitelem]. Science Almanac. 2016. No. 11-2 (25). Pp. 233–236. DOI: 10.17117/na.2016.11.02.233 (rus)
4. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Use of polydisperse composite binders in technology of aerated concrete [Primenenie kompozicionnyh vyazhushchih v tekhnologii yacheistogo betona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 2. Pp. 10–16. DOI: 10.12737/article\_5a816bda646a22.41029804(rus)
5. Batarshin V.O., Fedyuk R.S., Struk V.K., Butenko Yu.V. Especially heavy concretes of special purpose [Osobo tyazhelye betony special'nogo naznacheniya]. V sbornike: Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa. 2017. Pp. 258–267. (rus)
6. Demyanova V.S., Gusev A.D. Production of fibre-reinforced concrete for various applications using secondary material resources. Regional architecture and engineering [Poluchenie dispersno-armirovannyh betonov razlichnogo funktsional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem vtorichnyh material'nyh resursov]. 2012. No. 1. Pp. 56–60. (rus)
7. Zharov M.A. Prospects of application of technogenic waste in concrete mixtures [Perspektivy primeneniya tekhnogennyh othodov v sostavah betonnyh smesey] V sbornike «Aktual'nye problemy

sovremennoj nauki» Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Stavropol. 2012. Pp. 57–60. (rus)

8. Parinov S.V., Kartushina Yu.N. Complete-recycling flowchart in the manufacture of heavy-aggregate concrete [Tekhnologicheskaya skhema polnoj pererabotki othodov proizvodstva osobo tyazhyologo betona]. Bulletin of the Technological University. 2018. Vol. 21(2). Pp. 63. (rus)

9. Fahratov M.A. Organization of recycling of concrete waste and secondary use of concrete in con-

struction. System technologies [Organizaciya pererabotki othodov betona i vtorichnoe ispol'zovanie betonov v stroitel'stve]. 2018. No 26. Pp. 100–103. (rus)

10. Ledenev A.A., Pertsev V.T., Kalach A.V., Zagoruiko T.V., Donets S.A., Kalach E.V. Management of fire resistance of ferro-concrete designs variational of structure [Upravlenie ognestojkost'yu zhelezobetonnyh konstrukcij variatropnoj struktury]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 16–22. (rus)

#### *Information about the authors*

**Kartushina, Julia N.** PhD, Assistant professor. E-mail: kartysina@rambler.ru. Volgograd State Technical University. Russia, 400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28.

**Parinov, Sergey V.** Master student. E-mail: ser\_p94@mail.ru. Volgograd State Technical University. Russia, 400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28.

**Sevriukova, Galina A.** DSc, Professor. E-mail: sevrykova2012@yandex.ru. Volgograd State Technical University. Russia, 400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28.

---

*Received in March 2019*

#### **Для цитирования:**

Картушина Ю.Н., Паринов С.В., Севрюкова Г.А Сравнительный анализ свойств материалов, полученных при переработке отходов производства особо тяжелого бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 14–21. DOI: 10.34031/article\_5d4928f0f05119.79723700

#### **For citation:**

Kartushina Yu.N., Parinov S.V., Sevriukova G.A. Comparative analysis of materials properties obtained in recycling waste of heavy concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 14–21. DOI: 10.34031/article\_5d4928f0f05119.79723700

DOI: 10.34031/article\_5d493d2bc70fd6.95554532

<sup>1,\*</sup>Оноприенко Н.Н., <sup>1</sup>Сальникова О.Н.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: dstt\_80@mail.ru

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Приведены используемые в составах сухих строительных смесей добавки полимеров отечественного и зарубежного производства. Доказана необходимость расширения ассортимента выпускаемых в России добавок полимеров для производства конкурентоспособной продукции. Показано, что использование кладочных растворов с добавками отечественных водорастворимых полимеров (метилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза) в количестве 0,5–1 % предотвращает разупрочнение и трещинообразование кладки на стыке кирпича, обеспечивает высокую адгезию к каменному стеновому материалу, повышает монолитность кладки. Несущая способность кладки на цементно-песчаном растворе с добавкой 0,5 % метилцеллюлозы возрастает на 20 % выше по сравнению с кирпичной кладкой на традиционном растворе, без добавки полимера. Появление магистральных трещин при центральном сжатии кладки на цементно-полимерном растворе происходит при более высоких интенсивностях разрушающей нагрузки. Добавки исследованных отечественных водорастворимых полимеров являются экологически чистыми продуктами отечественного производства. Низкий процент полимера положительно сказывается на водостойкости и стоимости кладки. Разработанные кладочные растворы могут быть рекомендованы для зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям.

**Ключевые слова:** цементно-полимерные композиции, модификация строительных растворов, водорастворимые полимеры.

**Введение.** В связи с ростом объемов производства стеновых материалов актуальна проблема повышения надежности и прочности зданий и сооружений, в том числе из штучных каменных материалов [1–3].

Вопрос усиления конструкций в условиях динамических воздействий природного и техногенного характера имеет особое значение в настоящее время, когда сейсмическая опасность растет во всем мире, даже там, где её прежде не было. Землетрясения влекут за собой огромные разрушения не только в очагах стихии, но и в сопредельных сейсмически тихих регионах. Разрушительное землетрясение может стать источником серьёзных социально-экономических потрясений, в том числе за счет реализации вторичных рисков от промышленных предприятий. Довольно значительное количество потерь как социального, так и экономического характера связано с разрушением и деформациями строений в силу недостаточной защиты от землетрясений и вторичных процессов. Международное и межрегиональное сотрудничество в области предупреждения и ликвидации последствий землетрясений становится в современных условиях одним из важных направлений государственной политики.

Одним из путей решения поставленных задач является повышение надежности, прочности и безопасности зданий и сооружений из штучных

стеновых материалов за счет использования качественных строительных, в том числе, кладочных растворов.

Анализ научно-технической литературы и исследования, проведенные в БГТУ им. В.Г. Шухова [4–6], показали, что монолитность и несущая способность кирпичной кладки с использованием традиционных цементно-песчаных растворов недостаточна не только в случае динамических воздействий различного характера, но и в статических условиях работы сооружения.

Низкая прочность сцепления кирпича и раствора, значительные усадочные деформации кладочного раствора, различные деформационные характеристики составляющих элементов кладки, приводят к снижению прочности и трещиностойкости кирпичной кладки.

Поэтому возникает необходимость в принятии мер по усилению возводимых зданий и сооружений их кирпича, которые имеют особо важное значение при динамических воздействиях различного вида.

**Методология.** В исследованиях использовали цемент ЦЕМ I 42,5 по ГОСТ 31108-2003 Белгородского цементного завода, песок (модуль крупности 1,3), добавки водорастворимых полимеров отечественного производства: карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), оксиэтилцеллюлоза (ОЭЦ) и поливинилацетатная эмульсия (ПВА). Испытания были проведены на обычных и модифицированных полимерами цементно-песчаных

растворах. Соотношение «цемент : песок» для растворов составляло 1:2,5 (по массе).

Для оценки технологических свойств растворных смесей и растворов в работе были использованы стандартные и усовершенствованные методы исследований и приборы. Исследования проводились по оценке подвижности растворной смеси (ГОСТ 28013-98), прочности сцепления раствора с силикатным кирпичом (ГОСТ 24992-2014), водостойкости кладочных растворов.

## Основная часть.

Известные конструктивные меры усиления кладки с использованием стальных профилей, армоцементных покрытий существенно способствуют повышению нижнего предела трещинообразования и растяжимости сечения. Вместе с тем, следует учесть, что происходит возрастание трудоемкости и материалоемкости производства в данном процессе.

На современном этапе развития в сфере, направленной на повышение несущих способностей каменной кладки с использованием высокопрочного материала отмечены определенные достижения. Несмотря на данное обстоятельство, процент использования прочности каменного материала в кладке продолжает оставаться невысоким по своим значениям (прочность кладки составляет всего лишь 30 % от предела прочности кирпича). Важно подчеркнуть, что это обусловлено действием растворных швов, которые, занимают примерно 25 % объема кладки, способствуют снижению ее прочности и увеличению деформативности и неоднородности в силу значительной толщины слоя раствора (до 15 мм) и низкого сцепления раствора с каменным материалом. Отмеченная особенность имеет отношение к кладке из силикатного кирпича.

Отечественные и зарубежные исследователи утверждают, что добавки водорастворимых полимеров и эмульсий способствуют существенному улучшению технологических характеристик растворных смесей, физико-механических показателей растворов, а также и конструкций на их основе, повышению эффективности работ каменной кладки и проценту использования прочности кирпича [5–9].

В современной практике строительства, в том числе и кладочных работ, все чаще применяются сухие строительные смеси. Превосходство сухих смесей по отношению к традиционным растворам обусловлено значительным повышением качества и уровня строительных работ, снижением материало- и трудоемкости производства. Основа сухих строительных смесей представлена цементно-полимерными

композициями. Модификация строительных растворов производится водорастворимыми эфирами целлюлозы и редиспергируемыми порошками латексов полимеров. Содержание полимера в строительном растворе колеблется в пределах 0,01...5 % от массы сухой смеси, соответственно назначению раствора.

Обеспечение необходимых физико-механических и технологических свойств раствора [1–13], водоудерживающей способности, удобоукладываемости, пластичности, высокой клеящей способности, времени корректировки, устойчивости раствора к сползанию происходит за счет модифицирующих добавок, которые входят в состав сухих смесей. Растворы, модифицированные добавками полимеров, в данный момент, нашли свое применение в довольно перспективных тонкослойных технологиях, отличающихся своими высокими эстетическими характеристиками.

Для того, чтобы выявить наиболее широко используемые добавки полимеров и их фирм-производителей было произведено исследование научно-технической литературы. В ходе данного исследования было выявлено, что, наибольшее применение в составах сухих строительных смесей различного назначения находят следующие полимеры [11–13]:

1. Простые и сложные эфиры целлюлозы и их производные анионной и неионогенной природы с различной молекулярной массой и степенью этерификации: метилцеллюлоза, метилгидроксизтил- и метилгидроксипропилцеллюлоза, ацетилфталилцеллюлоза, гидроксизтил- и оксизтилцеллюлоза, оксипропилметилцеллюлоза, оксизбутилметилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза.
2. Полимеры окиси этилена и пропилена и их сополимеры с амидами неионогенной природы; полиэтиленоксид, полиоксипропилен, полиоксиэтиленалкиламид, полиэтиленгликоль, полиоксиэтиленстеаратамид.
3. Полимеры акриловой кислоты и акриламида ионогенной и амфолитной природы: полиакриловая кислота, полиакриламид.
4. Поливиниловый спирт низко- и высокомолекулярный.
5. Поливинилацетат и сополимерные латексы.
6. Природные полисахариды и протеины неионогенной и амфолитной природы: белки, протеины, эфиры крахмала, декстрин, казеин, костный клей.

Современный этап развития представлен широким спектром порошкообразных дисперсий дисперсионных порошков: 1) на основе ПВА и сополимеров его с виниловым эфиром, этиленом,



винилхлоридом, акрилами, малеинами; 2) гомополимеры полиакриловых эфиров; 3) стирол-акрилатные латексы; 4) стирол-бутадиенные сополимеры; 5) различные комбинации. Одним из высококачественных видов выступают латексы сополимеров акрилатов.

Помимо рассмотренных полимерных добавок также применяются химические добавки специального назначения: загустители (эфиры крахмала), антивспениватели, гидрофобизаторы, целлюлозные волокна.

Первичная модификация строительных растворов производится путем введения эфиров целлюлозы и их производных в количестве 0,01–1 % массы сухой смеси. Она применяется для кладочных и плиточных составов, работающих в сухих помещениях. Для тех материалов, которые эксплуатируются в более сложных условиях, требуется более высокий уровень модификации, достигающийся посредством введения в состав растворов смесей редиспергируемых полимерных порошков в количестве до 5 % массы сухой смеси как в отдельности, так и совместно с эфирами целлюлозы.

В целях поддержания экономии строительства, для производства сухих смесей рекомендуется применение материалов отечественного производства минимальной себестоимости [14]. Прежде всего, это имеет отношение к полимерным добавкам, которые представляют собой один из дорогостоящих компонентов в цементно-полимерных композициях. Отсюда следует очевидная необходимость по расширению ассортимента тех добавок полимеров, которые выпускаются в России. Данное положение преследует цель производства конкурентоспособных сухих строительных смесей разного предназначения.

В отечественной практике строительных работ наибольшее применение находит добавка ПВА эмульсии. Экспериментальные исследования, проведенные автором, показали, что для обеспечения необходимых технологических и физико-механических характеристик цементно-полимерных составов для кладочных растворов (удобоукладываемость, когезионная и адгезионная прочность и т. д.) расход эмульсии должен составлять 15...20 % [15].

Однако при такой высокой дозировке полимера кладочные растворы имеют следующие недостатки: низкая водостойкость, повышенная деформативность, значительные деформации усадки, высокая стоимость.

Учитывая то, что в научно-технической литературе отсутствуют данные о взаимозаменяемости одних полимерных добавок другими в каком-либо процентном соотношении, были проведены исследования в этом направлении.

Установлено, что использование водорастворимых неионогенных полимеров (метилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза) в качестве компонентов цементно-полимерных растворов взамен эмульсии ПВА позволяет добиться значительного сокращения расхода дорогостоящего полимера (до 1 %) при сопоставимых физико-механических и технологических характеристиках кладочных растворов.

Это объясняется тем, что добавки неионогенных водорастворимых полимеров являются стабильными в щелочной среде цемента [16]. Полимеры, содержащие в своем составе карбоксилатные группы, например, ПВА, несовместимы с портландцементом, т.к. они создают с ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , которые выделяются в процессе гидратации вяжущего, малорастворимые в воде соли, выпадающие в осадок и вызывающие коагуляцию всей системы. В результате таких процессов цементно-полимерная смесь теряет подвижность, обладает повышенным водоотделением, что делает ее мало пригодной для применения. Для стабилизации таких систем необходимо существенно повышать дозировку полимера, как в случае использования эмульсии ПВА.

В таблице 1 приведены сравнительные физико-механические характеристики кладочных растворов без добавок и с добавками метилцеллюлозы (МЦ) в количестве 1 % и поливинилацетатной эмульсии (ПВА) 30 %-ной концентрации в количестве 20 % (расход собственно полимера ПВА составляет 7 % от массы цемента). Для проведения экспериментов использовался портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ЗАО «Белгородский цемент», песок Нижнее-Ольшанского месторождения. Соотношение «цемент : песок» для растворов составляло 1:3.

Таблица 1

**Физико-механические характеристики цементно-полимерных кладочных растворов**

| Добавка | R <sub>сц</sub> , МПа | Прочность раствора (28 сут), МПа |                  | Коеф. водостойк. |
|---------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
|         |                       | R <sub>сж</sub>                  | R <sub>изг</sub> |                  |
| -       | 0,09                  | 26,7                             | 6,4              | 0,87             |
| МЦ 1%   | 1,19                  | 22,4                             | 7,5              | 0,82             |
| ПВА 7%  | 1,15                  | 20,9                             | 9,0              | 0,37             |

Анализ полученных результатов (таблица 1) позволяет утверждать, что для достижения прочности сцепления раствора с кирпичом примерно в 1 МПа, расход добавки ПВА должен достигать 7 % (или 20 % эмульсии ПВА). Для получения аналогичной прочности сцепления раствора с кирпичом расход добавки метилцеллюлозы (МЦ) составил всего 1 %, что в 7 раз меньше, чем ПВА.

При этом исследуемые цементно-полимерные растворы имеют сопоставимые характеристики прочности на сжатие и на изгиб. Составы с добавкой 1 % МЦ являются достаточно водостойкими, что выгодно отличает их от растворов с добавкой 7 % ПВА.

Проведенные исследования показали, что цементно-песчаные растворы с добавками 1 % метилцеллюлозы и 7 % поливинилацетата способны к самовыравниванию толщины растворного шва при возведении кирпичной кладки на уровне 3...5 мм. Это указывает на возможность использования таких растворов в тонкослойной технологии кладки, отличающейся высокими эстетическими показателями и гораздо меньшей материалоемкостью.

С этой целью производили сравнительную оценку экономических эффективностей цементно-песчаных растворов без добавок и с добавками полимеров (метилцеллюлозы и поливинилацетатной эмульсии) в дозировках, обеспечивающих близкие технологические и эксплуатационные характеристики кладочных растворов [17].

Изменение стоимости кладки рассчитывали, учитывая, что, расход раствора с добавками полимеров при тонкослойной кладки и толщине растворного шва 4 мм был снижен в 3 раза в сравнении с количеством, необходимым для кладки при традиционной высоте шва 12 мм.

Расчеты показали, что стоимость кладки на цементно-полимерном растворе с добавкой 1% метилцеллюлозы, при толщине горизонтального шва 4 мм в среднем на 30 % ниже, чем стоимость кладки с традиционным цементно-песчаным раствором, без добавки полимера, при толщине растворного шва 12 мм.

Стоимость кладки с применением добавки ПВА в количестве 7 % (или 20 % эмульсии ПВА) при толщине шва 4 мм оказывается в среднем на 10 % выше стоимости кладки на традиционном растворе с толщиной шва 12 мм.

Таким образом, стоимость тонкослойной кладки при толщине шва 4 мм на растворе с добавкой 1 % метилцеллюлозы в 1,5 раза меньше, чем на растворе с добавкой 7 % поливинилацетата (20 % эмульсии ПВА), что определяет эффективность использования добавки метилцеллюлозы в составе тонкослойных кладочных растворов взамен эмульсии ПВА. В данном случае был обеспечен целый ряд необходимых технологических, эксплуатационных и экологических характеристик цементно-полимерных растворов, что способствовало повышению несущей способности, монолитности, а также долговечности кладки.

В [5, 6] исследованы цементно-полимерные кладочные растворы с добавками отечественных

водорастворимых полимеров, которые способствуют повышению монолитности и прочности каменной кладки без весомых изменений технологии производства кладочных работ.

Применение кладочных растворов с добавками водорастворимых полимеров отечественного производства (метилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза) в количестве 0,5–1 % предотвращает разупрочнение и трещинообразование кладки на стыке кирпича и раствора за счет хорошей пластичности и низкого водоотделения таких растворов, высокой их адгезии к кирпичу [5, 6].

Несущая способность кладки на цементно-песчаном растворе с добавкой 0,5 % метилцеллюлозы, оказалась на 20 % выше, чем на традиционном растворе, без добавки полимера. Также отмечено, что появление магистральных трещин при центральном сжатии кладки на цементно-полимерном растворе происходит при интенсивности 0,75 от разрушающей нагрузки, в то время как на традиционном растворе – 0,55. Это свидетельствует о повышенной монолитности и трещиностойкости кладки на разработанных растворах [5–7].

Таким образом, использование в составах цементно-полимерных композиций добавок водорастворимых полимеров отечественного производства эффективно и целесообразно с технологической и экономической точек зрения.

Кроме определения физико-механических характеристик кладочных растворов и оценки их экономической эффективности были проведены исследования по усовершенствованию определения подвижности растворной смеси. Этот показатель обеспечивает требуемые технологические характеристики строительных растворов и зависит от степени стабилизации структуры строительного раствора. Ниже приведены некоторые модернизированные методы исследований и приборы для оценки этого показателя, используемые в ходе выполнения экспериментальной части работы.

Как известно, применение стандартного метода определения подвижности при использовании конуса СтройЦНИЛа (согласно ГОСТ 5802-86) предполагает гораздо больший расход растворной смеси – не менее 3 л. В целях экономии применяемых материалов, и прежде всего, полимерных добавок, чтобы оценить подвижность растворной смеси можно применять методы № 2 и 3, описанные ниже.

С целью получить сравнительные данные по выявлению подвижности растворных смесей использовался стандартный подход (метод №1) и усовершенствованные методы (метод №2, 3),

позволяющие значительно сократить расход растворной смеси (до 0,3 л), что особенно важно для модифицированных полимерами составов.

Подвижность в методе №1 определяется по глубине погружения стандартного конуса Строй-ЦНИЛ (ГОСТ 5802-86) массой 300 г в растворную смесь, расход которой в данном случае составляет не менее 3 л.

Метод №2 предполагает определение подвижности с использованием прибора Вика с облегченным штоком и конусом высотой 4 см (угол при вершине 30°). Вес подвижной части прибора составлял 60 г, что позволяет снизить расход растворной смеси до 0,3 л.

В методе №3 была использована форма-конус, которая рекомендована ГОСТ 310.4-81 с целью выявить консистенцию цементно-песчаной растворной смеси. Был определен диаметр расплыва конуса из растворной смеси, по нижнему основанию, при встряхивании ее на столике с периодом 1 удар/сек.

Итоги сравнительных испытаний приведены в таблице 2. Согласно методов №1-3 можно определить марку по подвижности согласно ГОСТ 28013-98 «Растворы общестроительные. Общие технические условия».

Таблица 2

#### Сравнительные показатели подвижности растворных смесей

| Метод №1<br>(конус<br>Стой-<br>ЦНИЛ) | Метод №2<br>(малый<br>конус, при-<br>бор Вика) | Метод №3<br>(форма-конус,<br>встряхивающий<br>столик) |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ОК, см                               | Глубина<br>погружения<br>конуса, см            | Диаметр расплыва,<br>см                               |
| 1                                    | 0,5                                            | 10...11                                               |
| 2                                    | 1,2                                            | 11...13                                               |
| 3                                    | 2,3                                            | 13...18                                               |
| 4                                    | 2,4                                            | 18,5...20                                             |
| 5                                    | 2,5                                            | 20...20,5                                             |
| 6                                    | 2,6                                            | 20,5...21                                             |
| 7                                    | 2,7                                            | 21...21,5                                             |
| 8                                    | 2,8                                            | 21,5...22                                             |
| 9                                    | 3,0                                            | 22...22,5                                             |
| 10                                   | 3,2                                            | 22,5...24,5                                           |
| 11                                   | 3,4                                            | 24,5...26,0                                           |
| 12                                   | 3,6                                            | 26,0...27,5                                           |
| 13                                   | -                                              | 30,0                                                  |
| 14                                   | -                                              | -                                                     |

Испытания производились на обычных и модифицированных полимерами цементно-песчаных растворах состава Ц:П=1:2,5 (по массе).

В процессе определения подвижности установлено, что метод №3 целесообразно применять в случае растворов без добавки полимера и систем с коагулированной структурой. Данный метод не годится для стабилизированных систем,

поскольку они оказывают довольно слабую реакцию на ударные воздействия. Как итог, появляются трудности в процессе определения подвижности. В связи с этим марку по подвижности стабилизированных неионогенными полимерами растворов рекомендуется определять, используя метод №2.

Таким образом, предлагаемые методики определения подвижности растворной смеси необходимо выбирать с учетом типа структуры модифицированных цементных систем.

**Выводы.** Современные полимерные добавки представлены в основном дорогостоящими импортными продуктами. Следовательно, существует необходимость в расширении ассортимента добавок полимеров, которые выпускаются в России для производства конкурентоспособных сухих строительных смесей разного предназначения.

Исследования в направлении увеличения эффективности цементно-полимерных композиций с использованием отечественных полимерных добавок показали следующее.

Добавки исследованных отечественных водорастворимых полимеров являются экологически чистыми продуктами отечественного производства. Их расход в составе кладочного раствора для обеспечения необходимых технологических и физико-механических характеристик в 10–20 раз меньше, чем других традиционно используемых полимерных добавок, например, поливинилацетатной эмульсии. Низкий процент полимера положительно сказывается на водостойкости и стоимости кладки.

Кроме того, разработанные кладочные растворы соответствуют требованиям СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*»: временное сопротивление осевому растяжению кладки (нормальное сцепление раствора и кирпича) составляет не менее 180 кПа (0,18 МПа). Учитывая то, что вибрационные колебания возникают вблизи железнодорожных путей, метрополитенов мелкого заложения, а также при террористических и эксплуатационных взрывах, разработанные кладочные растворы могут быть рекомендованы для зданий и сооружений, подвергаемых аналогичным воздействиям.

Поэтому необходимо использовать разработанные цементно-полимерные композиции для того, чтобы увеличить степень надежности зданий и сооружений, в том числе в условиях динамических воздействий различного происхождения. Особо следует указать на эффективность их использования для того, чтобы повысить сейсмостойкость зданий и сооружений.

**Благодарность.** Автор выражает благодарность и глубокую признательность научному консультанту д.т.н., проф. Ш.М. Рахимбаеву за помощь и содействие в проведении исследований.

**Источник финансирования.** Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегтев И.А., Донченко О.М., Тарасенко В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки при силовом сжатии: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 174 с.
2. Жариков И.С., Лакетич А., Лакетич Н. Влияние качества бетонных работ на прочность бетона монолитных конструкций // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1, №1. С. 51–58.
3. Оноприенко Н.Н., Калачук Т.Г. Перспективы развития инженерных изысканий для индивидуального жилищного строительства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 5. С. 11–15.
4. Дегтев И.А., Донченко О.М., Ежеченко Д.А. и др. Исследование прочности нормального сцепления стеновых материалов с раствором // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. № 1. С. 77–80.
5. Оноприенко Н.Н., Дегтев И.А., Рахимбаев Ш.М. Повышение прочности кирпичной кладки с использованием добавок водорастворимых полимеров // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 22–23.
6. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Оноприенко Н.Н. Композиционные материалы с добавками водорастворимых полимеров // Приложение №9. «Строительные материалы» 2004. №4. С. 15–16.
7. Оноприенко Н.Н., Дегтев И.А., Донченко О.М. Использование цементно-полимерных растворов для повышения эффективности каменной кладки // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7710>.
8. Zhu M., Chung D.D.L. Improving brick-to-mortar bond strength by the addition of carbon fibers to the mortar. Cement and Concrete Research: 1997 T. 27. № 12. Pp. 1829–1839.
9. Pascal S., Alliche A., Pilvin Ph. Mechanical behaviour of polymer modified mortars. Materials Science and Engineering: 2004. T. 380. №1. Pp. 1–8.
10. The influence of moisture on the deformability of cement-polymer adhesive mortar. Construction and Building Materials: 2011. T. 25. № 6. Pp. 2948–2954.
11. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Сумской Д.А. Теплоизоляционные растворы пониженной плотности // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 40–50.
12. Елистраткин М.Ю., Кожухова М.И. Анализ повышения прочности неавтоклавного газобетона // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 59–68.
13. Демьянова В.С., Калашников В.И. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов. М.: Изд-во АСВ, 2001. 209 с.
14. Оноприенко Н.Н. Экономическая эффективность цементно-полимерных композиций с добавками водорастворимых полимеров отечественного производства // Социально-гуманитарные знания. 2012. № 8. С. 261–264.
15. Оноприенко Н.Н., Рахимбаев Ш.М. Строительные растворы и сухие смеси с добавками водорастворимых полимеров отечественного производства: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 155 с.
16. Onoprienko N.N., Rahimbaev Sh.M. Influence of composition of functional additives and deformation modes on flow behavior of polymer composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 11. Ser. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Material Science in Mechanical Engineering». 2018. С. 032043.
17. Djandullaeva M.S., Turabdjanyov S.M., Atakuziev T.A.U., Xusnitdinov A.M. Enhancement of adhesiveness of silicate brick on the basis of tuffit addition with masonry mortar // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. № 9–10. P. 55–57.

## Информация об авторах

**Оноприенко Наталья Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: [dstt80@mail.ru](mailto:dstt80@mail.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сальникова Ольга Николаевна**, кандидат философских наук, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: [olsalnickowa@yandex.ru](mailto:olsalnickowa@yandex.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н., 2019

<sup>1,\*</sup>**Onoprienko N.N., <sup>1</sup>Salnikova O.N.**<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

\*E-mail: dstt\_80@mail.ru

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF MORTARS OF DOMESTIC PRODUCTION**

**Abstract.** The additives of polymers of domestic and foreign production used in compositions of dry construction mixes are given. The need of expansion the range of polymer additives produced in Russia for competitive production is proved. It is shown that use of masonry mortars with additives of domestic water-soluble polymers (methyl cellulose, oxyethylcellulose) in amount of 0.5–1 % prevents softening and cracking of masonry at the junction of bricks, provides high adhesion to stone wall material, increases solidity of masonry. Masonry earing capacity on cement and sand solution with additive of 0.5 % of methyl cellulose increases by 20 % above in comparison with a bricklaying on traditional solution, without polymer additive. The appearance of main cracks in the central compression of the masonry on cement-polymer solution occurs at higher intensities of the breaking load. Studied domestic additives of water-soluble polymers are environmentally friendly products of domestic production. The low percentage of polymer has a positive effect on the water resistance and cost of masonry. The developed masonry mortars can be recommended for buildings and constructions subjected to dynamic effects.

**Keywords:** cement-polymer compositions, modification of mortars, water-soluble polymers.

**REFERENCES**

1. Degtev I.A., Donchenko O.M., Tarasenko V.N. Strength and deformability of masonry under force compression: monograph [Prochnost i deformativnost kamennoy kladki pri silovom szhatii: monografiya]. Belgorod: BSTU publishing house, 2015. 174 p. (rus)
2. Zharikov I.S., Laketic A., Laketic N. The influence of the quality of concrete works on the strength of concrete of monolithic structures [Vliyaniye kachestva betonnykh rabot na prochnost betona monolitnykh konstruktsiy]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1, No. 1. Pp. 51–58. (rus)
3. Onoprienko N.N., Kalachuk T.G. Prospects for the development of engineering surveys for individual housing construction. [Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskaniy dlya individualnogo zhilishchnogo stroitelstva]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 5. Pp. 11–15. (rus)
4. Degtev I.A., Donchenko O.M., Ezhechenko, D.A. et al. Study of the strength of normal adhesion of wall materials with a solution. [Issledovaniye prochnosti normalnogo stsepleniya stenovykh materialov s rastvorom] Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No. 1. P. 77–80. (rus)
5. Onoprienko N.N., Degtev I.A., Rakhimbaev Sh.M. Strengthening the strength of brickwork with the use of additives of water-soluble polymers. [Povysheniye prochnosti kirpichnoy kladki s ispolzovaniyem dobavok vodorastvorimyykh polimerov]. Industrial and civil engineering. [Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo]. 2007. No. 8. P. 22–23. (rus)
6. Rakhimbaev Sh.M., Degtev I.A., Onoprienko N.N. Composite materials with additives of water-soluble polymers. [Kompozitsionnyye materialy s dobavkami vodorastvorimyykh polimerov]. Appendix No. 9. "Building materials" [Prilozheniye No. 9. «Stroitelnyye materialy»]. 2004. No. 4. Pp. 15–16. (rus)
7. Onoprienko N.N., Degtev I.A., Donchenko O.M. The use of cement-polymer solutions to improve the efficiency of masonry. [Ispolzovaniye tsementno-polimernyykh rastvorov dlya povysheniya effektivnosti kamennoy kladki] Modern problems of science and education [Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya]. 2012. No. 6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7710>. (rus)
8. Zhu M., Chung D.D.L. It is not necessary to make mortar. Cement and Concrete Research: 1997 T. 27. No. 12. Pp. 1829–1839.
9. Pascal S., Alliche A., Pilvin Ph. Mechanical behavior of modified mortars. Materials Science and Engineering: 2004. T. 380. №1. Pp. 1–8.
10. Influence of cement-polymer adhesive mortar. Construction Materials and Products. 2011. V. 25. No. 6. Pp. 2948–2954.
11. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Sumskoy D.A. Thermal insulation solutions of low density. [Teploizolyatsionnyye rastvory ponizhennoy plotnosti] Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No.1. Pp. 40–50. (rus)
12. Elistratkin M.Yu., Kozhukhova M.I. Analysis of increasing the strength of non-autoclaved aerated concrete. [Analiz povysheniya prochnosti neavtoklavnoy gazobetonu] Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. No.1. P. 59–68. (rus)
13. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Effective dry mixes based on local materials. [Effektivnyye sukhiye stroitelnyye smesi na osnove mestnykh materialov]. M.: Publishing house DIA, 2001. 209 p. (rus)

14. Onoprienko N.N. Economic efficiency of cement-polymer compositions with additives of water-soluble polymers of domestic production. [Ekonomicheskaya effektivnost tsementno-polimernykh kompozitsiy s dobavkami vodorastvorimykh polimerov otechestvennogo proizvodstva]. Social and humanitarian knowledge [Sotsialno-gumanitarnyye znaniya]. 2012. No. 8. Pp. 261–264. (rus)

15. Onoprienko N.N., Rakhimbaev Sh.M. Construction solutions and dry mixtures with additives of water-soluble polymers of domestic production: monograph [Stroitelnyye rastvory i sukhiye smesi s

dobavkami(rus) vodorastvorimykh polimerov otechestvennogo proizvodstva: monografiya]. Belgorod: BSTU publishing house. 2016, 155 p. (rus)

16. Onoprienko N.N., Rahimbaev Sh.M. The composition of the polymer composite materials // The IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Material Science in Mechanical Engineering". 2018. 032043.

17. Djandullaeva M.S., Turabdjanyov S.M., Atakuziev T.A.U., Xusnitdinov A.M. Enhancement of adhesiveness with the masonry mortar. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. No. 9–10. Pp. 55–57.

#### *Information about the authors*

**Onoprienko, Natalia N.** PhD, Assistant professor. E-mail: dstt\_80@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Salnikova, Olga N.** PhD, Senior lecturer. E-mail: olsalnickowa@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н. Повышение эффективности строительных растворов отечественного производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 22–29. DOI: 10.34031/article\_5d493d2bc70fd6.95554532

#### **For citation:**

Onoprienko N.N., Salnikova O.N. Improving the efficiency of mortars of domestic production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 22–29. DOI: 10.34031/article\_5d493d2bc70fd6.95554532

DOI: 10.34031/article\_5d49408e0e0b61.97206550

<sup>1,\*</sup>Макеева А.В., <sup>1</sup>Семенов К.В., <sup>1</sup>Макеев А.А., <sup>1</sup>Амелина А.В.<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

\*E-mail: nicealexa@mail.ru

## ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МАССИВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**Аннотация.** Бетон – основополагающий материал современного строительства вследствие его надежности, способности твердеть на воздухе и под водой, возможности возводить конструкции любой формы и размеров. В частности, его используют при возведении ответственных сооружений и их частей: атомных станций, крупных гидротехнических сооружений, мостов, массивных фундаментов многоэтажных зданий и т.д. Данная работа посвящена актуальной задаче в области строительства зданий и сооружений, имеющих высокий уровень ответственности, исследованию термической трещиностойкости массивных бетонных конструкций с учетом температурных воздействий в строительный период. Проведены расчеты термической трещиностойкости фундаментной плиты реакторного отделения ЛАЭС-2 при непрерывном бетонировании одним блоком на всю высоту. Выявлено, что использование наиболее простой и получившей широкое распространение расчетной модели, не учитывающей колебания температуры воздуха в строительный период, приводит к существенному занижению толщины поверхностной теплоизоляции, оптимальной с точки зрения обеспечения термической трещиностойкости массивной бетонной конструкции.

**Ключевые слова:** термическая трещиностойкость, массивные бетонные конструкции, термонапряженное состояние, строительный период, регулирование температурного режима, колебания температуры воздуха.

**Введение.** Массивные бетонные конструкции наибольшее распространение имеют в гидротехническом строительстве, но достаточно часто находят применение и в других строительных отраслях. Из опыта строительства первых массивных бетонных и железобетонных конструкций обнаружили многочисленные образования трещин. Например, плотина «Сент-Френсис» (США) разрушилась в 1928 году, и считается одним из самых известных случаев разрушения плотин. Причиной разрушения стало образование большого количества трещин и подвижки грунтов в основании. Параметры температурного трещинообразования явным образом были связаны с воздействием температуры в виде колебаний температуры наружного воздуха и с экзотермическими разогревами бетона [1].

При бетонировании, по причине экзотермической реакции твердения цементного теста, возрастает эффект саморазогрева [2]. В массивных конструкциях, в отличие от тонкостенных, охлаждаются только поверхностные слои, в то время как в центре блока бетонирования происходит существенный нагрев и расширение. В итоге, в поверхностных слоях конструкции возникают растягивающие напряжения, которые приводят к образованию температурных трещин [3–5]. Чем больше разница температур между блоком и окружающей средой, тем больший температурный перепад возникает между ядром массива и

его гранями. Трещины опасны, поскольку способствуют потере прочности и жесткости конструкции, ускорению коррозии арматуры и нарушению герметичности, что недопустимо в гидротехнических сооружениях и в ответственных частях сооружений, таких как фундаменты [4]. Без назначения специальных мероприятий по регулированию температурного режима твердения бетонной смеси, трещинообразования избежать не удастся [6]. Температурные воздействия строительного периода определяются с учетом экзотермии и других условий твердения бетона, включая конструктивные и технологические мероприятия по регулированию температурного режима конструкции, температуры наружного воздуха и т.д.

Моделированию изменения окружающей температуры в течение некоторого периода (сутки, год, месяц) и оценке влияния данного колебания посвящены работы как отечественных, так и зарубежных авторов. Например, в статье [7] на основе полученных экспериментальных результатов исследования впервые можно было сделать прямые заявления об условиях деформации, возникающих в асфальтовом базовом слое из-за температуры.

В расчетах термонапряженного состояния и термической трещиностойкости массивных бетонных конструкций в строительный период температура воздуха наравне с исходными данными о геометрической форме и характеристиками бетона является основополагающим фактором [1]:



- чем больше разница температур между блоком бетонирования и окружающей средой, тем больший температурный перепад возникает между ядром блока и его гранями, что приводит к развитию напряжений в конструкции.

- влияние температуры воздуха на процесс *тепловыделения бетона*: лабораторные и натурные исследования показали, что чем выше температура твердения, тем более интенсивно происходит процесс тепловыделения.

- влияние температуры воздуха на рост *модуля деформации бетона*: при повышении температуры увеличивается скорость нарастания модуля деформаций, т. е. процесс старения происходит более интенсивно.

- влияние температуры воздуха на *ползучесть бетона*: повышение температуры влияет на скорость деформаций ползучести и ее предельные значения.

Ранее в исследованиях распределения температурных полей и термонапряженного состояния задавалась некоторая постоянная, среднемесячная, температура воздуха [8–12]. Однако существует суточный ход. Учет влияния переменной температуры воздуха затруднителен, т.к. представляет собой сложный динамический процесс, содержащий как явные, описываемые математическими формулами, так и случайные составляющие [13].

Поскольку большинство используемых в настоящее время методик и программных комплексов этого не учитывают, актуальной задачей является усовершенствование методики расчета термической трещиностойкости массивных бетонных конструкций зданий и сооружений с целью повышения их надежности.

*Цель исследования* – оценка влияния колебаний температуры окружающего воздуха в расчетах термической трещиностойкости массивных бетонных конструкций в строительный период и обоснование необходимости подобного учета.

*Гипотеза*: нестационарные температурные поля в расчетах конструкций при расчете по постоянной температуре воздуха и при учете ее изменений в течение суток различны, что сказывается на трещиностойкости и подлежит учету при обосновании бетонных конструкций и технологии бетонирования.

**Методология.** Теоретической основой работы послужили исследования Г.Н. Маслова, Н.Х. Арутюняна, И.Д. Запорожца, А.В. Белова, П.И. Васильева, Л.П. Трапезникова, С.М. Гиндзбурга, Н.А. Малинина, Ю.И. Коконова, Ю.Г. Барабанщикова, К.В. Семенова и других в области математического моделирования температурного режима и термонапряженного состояния массивных бетонных конструкций.

Практическая часть работы выполнялась на модели реально существующего объекта. Параметры тепловыделения, теплофизические и деформативные характеристики бетона приняты на основании результатов экспериментальных исследований, полученных в лаборатории "Политех-СКИМ-Тест".

Решение одномерной задачи было реализовано в программе «TERM» (алгоритмический язык Basic 6.0), предназначенной для расчетов термонапряженного состояния бетонных массивов в процессе их возведения. Программа разработана на кафедре «Строительная механика и строительные конструкции» СПбПУ Петра Великого. В программе можно варьировать исходные данные: характеристики бетона, граничные условия и т.д.

Процесс тепловыделения описывается уравнением согласно теории И.Д. Запорожца, с учетом переменных температур, имеющим вид [14]:

$$Q(\tau) = Q_{max} \left\{ 1 - \left[ 1 + A_{20} \int_0^t F_Q[T(\tau) d\tau] \right]^{-\frac{1}{m-1}} \right\}, \quad (1)$$

где  $Q_{max}$  – максимально возможное тепловыделение на 1 м<sup>3</sup> бетона, Дж;  $A_{20}$  – коэффициент темпа роста тепловыделения при  $T=20$  °C;  $t$  – продолжительность процесса тепловыделения, ч;  $m$  – порядок реакции.

Порядок процесса тепловыделения,  $Q_{max}$  и  $A_{20}$  определяются экспериментально.

Учет влияния температуры твердения на тепловыделение бетона осуществляется с помощью *гипотезы приведенного времени*, учитывающей всю «температурную» предысторию и позволяющей определить тепловыделение к любому моменту времени и любом температурном режиме по известной кривой экзотермического тепловыделения бетона при температуре 20 °C [14]:

$$t_{пр} = \int_0^t F_Q[T(\tau)] d\tau, \quad (2)$$

где  $T(\tau)$  – температура твердения бетона, °C;  $F_Q$  – температурная функция.

Учет влияния переменной температуры твердения на модуль деформаций может быть произведен по зависимости, предложенной П.И. Васильевым и Ю.И. Кононовым [1]:

$$E(t) = E_{пред} \left( 1 - 0.5\alpha_1 t_{пр} - 0.5\alpha_2 t_{пр}^p \right), \quad (3)$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $p$  – эмпирические коэффициенты,  $t_{пр}$  – «приведенное» время.

Влияние температурных условий на величину деформаций ползучести можно учесть, заменяя действительное время «приведенным» [15]:

$$t_{пр} = \int_0^t F_E[T(\tau)] d\tau, \quad (4)$$

Температурную функцию  $F_E$  предлагается принимать в виде:

$$F_E[T(\tau)] = \left[ \frac{T(\tau)+30}{50} \right]^{3.2}, \quad (5)$$

*Объект исследования* – фундаментная плита реакторного отделения Ленинградской атомной



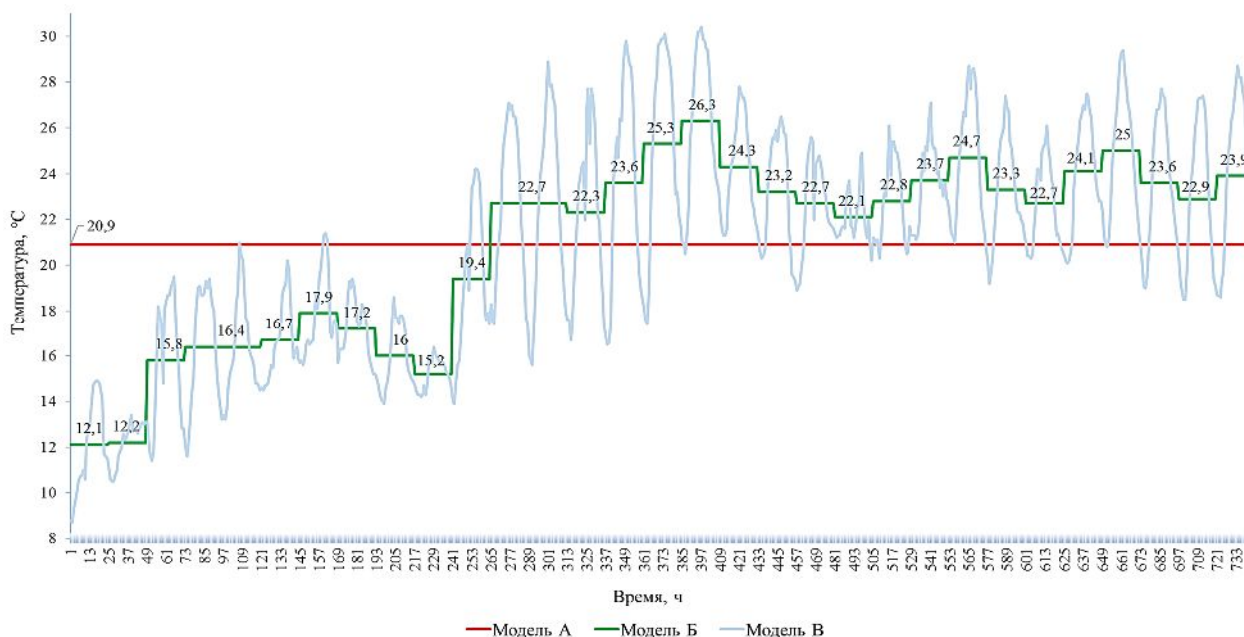


Рис. 2. Расчетные модели

### Температурные поля

Сравнение основных характеристик температурных полей, полученных для моделей, показывает:

1. Расчеты с учетом колебаний температуры воздуха (по среднесуточной и почасовой температурам) дают отличную картину распределения температур на верхней поверхности плиты по сравнению с расчетом при постоянной температуре воздуха (среднемесячной).

2. Изменение температуры в центре плиты для всех расчетных моделей носит одинаковый характер: существенный нагрев (свыше 60 °C для плиты толщиной 2 метра) в первые несколько суток (трое для плиты толщиной 2 метра) и затем медленный спад.

График изменения температур для плиты высотой 2 метра приведен на рис. 3–5.

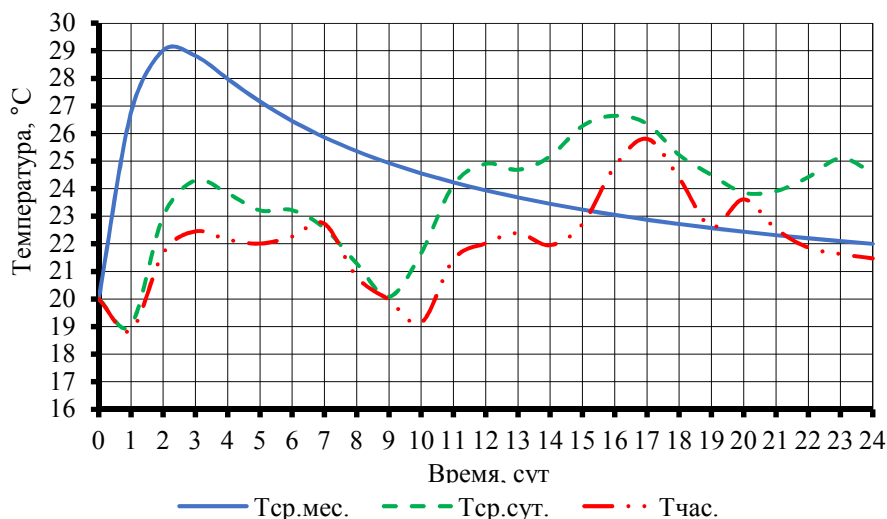


Рис. 3. Изменение температуры на верхней поверхности плиты высотой 2 метра

3. Для всех расчетных моделей, в зависимости от высоты плиты, максимальная температура в центре массива наблюдается в один и тот же момент времени. Разность температур при расчете по среднемесячной температуре несколько

ниже, чем при расчетах по среднесуточной и почасовой: расхождение в среднем составляет 8,2 % и 13,3 % соответственно. График изменения разности температур (центр-верх) в зависимости от высоты плиты приведён на рис. 6.

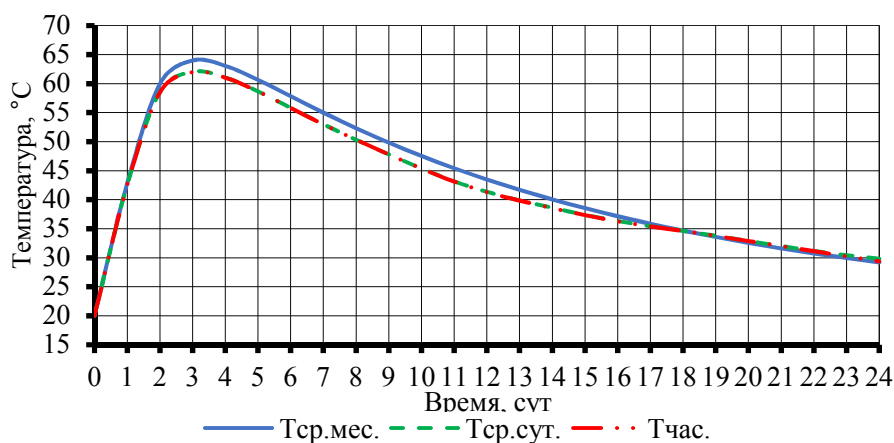


Рис. 4. Изменение температуры в центре плиты высотой 2 метра

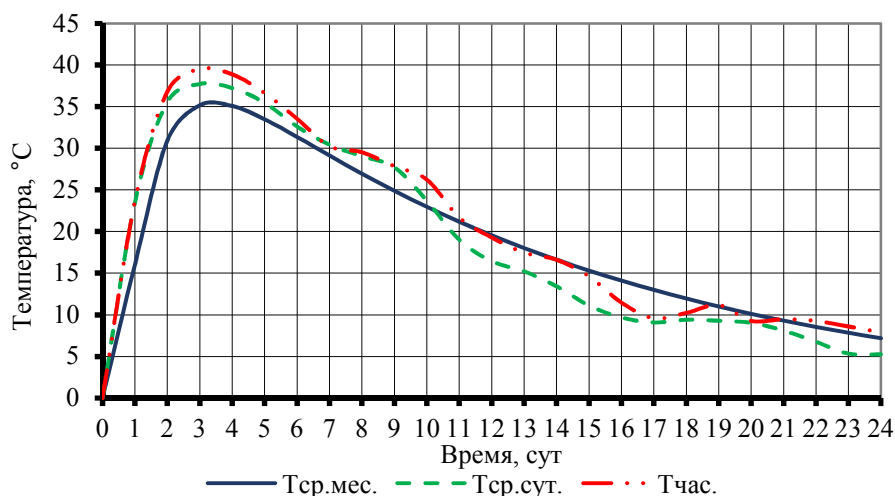


Рис. 5. График изменения разности температур (центр-верх) для плиты высотой 2 м

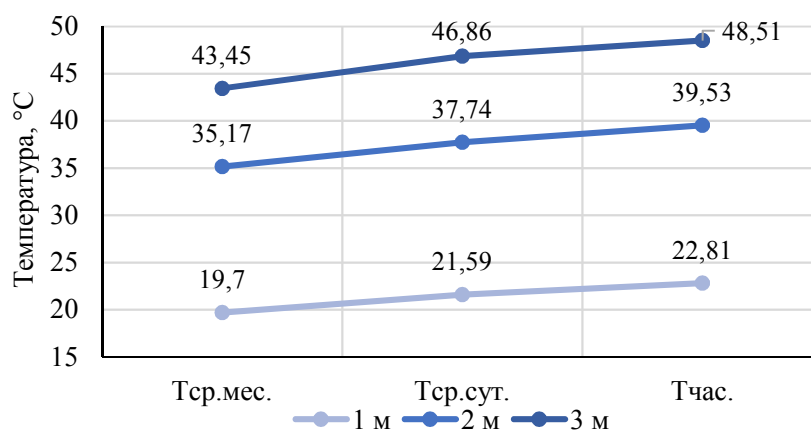


Рис. 6. График изменения разности температур (центр-верх) в зависимости от высоты плиты

#### Термическая трещиностойкость

Результаты расчета температурной трещиностойкости показывают, что на первые сутки после укладки бетонной смеси критерий трещиностойкости не выполняется для всех рассмотренных случаев. В общем случае, невыполнение критерия наблюдается с 1-е по 5-е сутки на поверхности для плиты толщиной 2 метра, с 1-е по 3 сутки – для плиты толщиной 1 метр, с 1-е по 7-е сутки – для плиты толщиной 3 метра. Процент

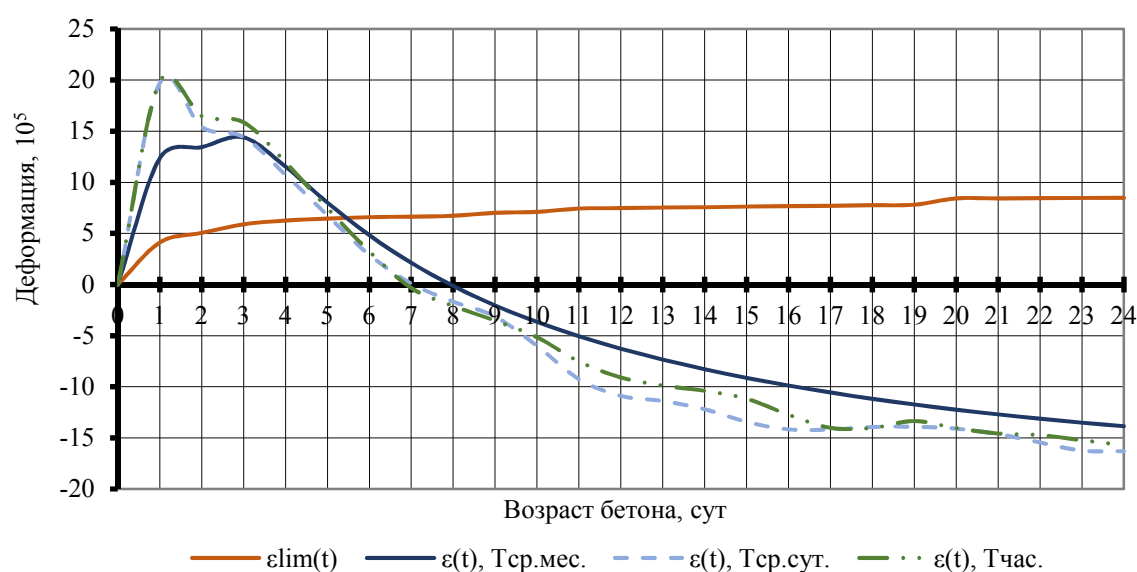
невыполнения (дельта) зависит от времени и при расчете по среднемесячной температуре воздуха значительно занижен по сравнению с расчетами с учетом колебаний температуры воздуха (см. табл. 1).

Наглядно сопоставление моделей видно на графике изменения деформаций (рис. 7): значения относительных деформаций в расчетах при почасовой температуре воздуха наибольшие.

Таблица 1

## Результаты расчета термической трещиностойкости

| Толщина плиты, м | Расчет при среднемесячной температуре воздуха $T_{\text{ср.мес}}$ |              |        | Расчет при среднесуточной температуре воздуха $T_{\text{ср.сут}}$ |              |        | Расчет при почасовой температуре воздуха $T_{\text{час}}$ |              |        |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------|--------|-------------------------------------------------------------------|--------------|--------|-----------------------------------------------------------|--------------|--------|
|                  | Узел                                                              | $\Delta$ , % | t, сут | Узел                                                              | $\Delta$ , % | t, сут | Узел                                                      | $\Delta$ , % | t, сут |
| 1                | 6                                                                 | 49,9         | 1      | 6                                                                 | 67,4         | 1      | 6                                                         | 67,6         | 1      |
|                  | 6                                                                 | 29,4         | 2      | 6                                                                 | 27,4         | 2      | 6                                                         | 35,2         | 2      |
|                  | 6                                                                 | 1,3          | 3      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |
| 2                | 10                                                                | 12,3         | 1      | 10                                                                | 40,3         | 1      | 10                                                        | 38,8         | 1      |
|                  | 11                                                                | 66,3         | 1      | 11                                                                | 78,8         | 1      | 11                                                        | 79,0         | 1      |
|                  | 10                                                                | 18,4         | 2      | 10                                                                | 30,6         | 2      | 10                                                        | 29,7         | 2      |
|                  | 11                                                                | 61,9         | 2      | 11                                                                | 66,8         | 2      | 11                                                        | 69,0         | 2      |
|                  | 10                                                                | 21,8         | 3      | 10                                                                | 19,0         | 3      | 10                                                        | 18,0         | 3      |
|                  | 11                                                                | 58,5         | 3      | 11                                                                | 58,6         | 3      | 11                                                        | 62,4         | 3      |
|                  | 10                                                                | 10,5         | 4      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |
|                  | 11                                                                | 45,0         | 4      | 11                                                                | 40,9         | 4      | 11                                                        | 47,0         | 4      |
|                  | 11                                                                | 18,4         | 5      | 11                                                                | 3,4          | 5      | 11                                                        | 12,5         | 5      |
| 3                | 15                                                                | 27,9         | 1      | 15                                                                | 51,8         | 1      | 15                                                        | 51,0         | 1      |
|                  | 16                                                                | 68,8         | 1      | 16                                                                | 81,0         | 1      | 16                                                        | 81,2         | 1      |
|                  | 15                                                                | 38,2         | 2      | 15                                                                | 48,2         | 2      | 15                                                        | 47,9         | 2      |
|                  | 16                                                                | 67,8         | 2      | 16                                                                | 72,9         | 2      | 16                                                        | 74,5         | 2      |
|                  | 15                                                                | 44,4         | 3      | 15                                                                | 44,5         | 3      | 15                                                        | 44,2         | 3      |
|                  | 16                                                                | 67,4         | 3      | 16                                                                | 68,8         | 3      | 16                                                        | 71,1         | 3      |
|                  | 14                                                                | 1,6          | 4      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |
|                  | 15                                                                | 41,3         | 4      | 15                                                                | 35,2         | 4      | 15                                                        | 35,2         | 4      |
|                  | 16                                                                | 61,2         | 4      | 16                                                                | 60,3         | 4      | 16                                                        | 63,3         | 4      |
|                  | 14                                                                | 0,4          | 5      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |
|                  | 15                                                                | 34,3         | 5      | 15                                                                | 24,4         | 5      | 15                                                        | 25,5         | 5      |
|                  | 16                                                                | 50,9         | 5      | 16                                                                | 47,0         | 5      | 16                                                        | 50,1         | 5      |
|                  | 15                                                                | 24,0         | 6      | 15                                                                | 9,8          | 6      | 15                                                        | 10,6         | 6      |
|                  | 16                                                                | 35,9         | 6      | 16                                                                | 22,4         | 6      | 16                                                        | 25,6         | 6      |
|                  | 15                                                                | 11,2         | 7      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |
|                  | 16                                                                | 14,4         | 7      | -                                                                 | -            | -      | -                                                         | -            | -      |

Рис. 7. График изменения относительных деформаций  $\varepsilon$  и предельной растяжимости  $\varepsilon_{\text{lim}}$  для плиты высотой 2 м



Для предотвращения трещинообразования были подобраны минимальные безопасные толщины поверхностной теплоизоляции из пенополистирола. На рис. 8. представлено изменение

минимальных безопасных (в смысле образования трещин) толщин поверхностной теплоизоляции в зависимости от толщины фундаментной плиты для расчетных моделей «А» – «В».

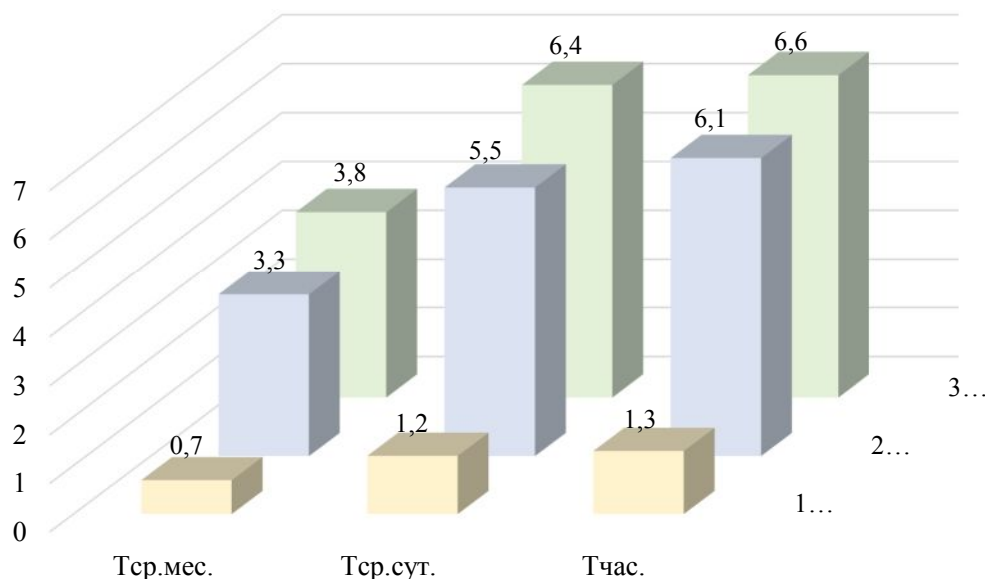


Рис. 8. Минимальная необходимая толщина теплоизоляции в зависимости от толщины плиты для расчетных моделей «А» – «В», см

Анализ гистограммы позволяет сделать вывод о том, что не учет колебаний температуры воздуха может привести к существенному занижению требуемой толщины теплоизоляции. Процент расхождения результатов не значительно зависит от изменения толщины плиты и в среднем составляет от 68,8% (при расчете по среднесуточной температуре) до 81,4% (при расчете по почасовой температуре).

Таким образом, требуемая толщина теплоизоляции при расчете по среднемесячной температуре воздуха может быть занижена в 1,8 раза и термическая трещностойкость может быть не обеспечена даже с учетом коэффициента запаса, вводящегося в расчеты.

**Выводы.** На основании анализа результатов расчетных исследований, выполненных в рамках численного эксперимента для одиночного блока, установлено, что процент невыполнения критерия трещностойкости при расчете по среднемесячной температуре воздуха значительно занижен по сравнению с расчетами с учетом колебаний температуры воздуха. Это может привести, в свою очередь, к неоправданному смягчению технологического режима бетонирования и проявлению вследствие этого непрогнозируемых температурных трещин. Таким образом, использование наиболее простой и получившей широкое распространение расчетной модели «А», не учитывающей колебания температуры воздуха в

строительный период, недопустимо при обосновании массивных бетонных конструкций.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стручкова А.Я. Термическая трещностойкость массивных фундаментных конструкций в строительный период: дис.... маг. СПбПУ. СПб., 2018. 92 с.
2. Adilson Schackowa, Carmeane Effting, Itamar R. Gomes, Isabeli Z. Patrui, Felipe Vicenzi, Camila Kramel. Temperature variation in concrete samples due to cement hydration // Applied Thermal Engineering. 25 June 2016. Pp. 1362–1369.
3. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. Fracture analysis of reinforced concrete bridge structures with account of concrete cracking under steel corrosion // Advanced Materials Research. 2014. vol. 831. Pp. 364–369.
4. Bennet Kuriakose, B. Nageswara Rao, Doda-goudar G.R. Early-age Temperature Distribution in a Massive Concrete Foundation // Procedia Technology. 2015. Vol. 25. Pp. 107–114.
5. Колосова Г.С., Лалин В.В., Колосова А.В. Влияние строительных швов и трещин на напряженно-деформированное состояние арочно-гравитационной плотины // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 76–85.
6. Орехов В.Г., Толстиков В.В. Напряженно-деформированное состояние бетонной плотины Канкунского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2012. №2. С. 34–42.

7. Otto F., Pengfei L., Zeyu Zhang, Wang D., Oeser M. Influence of temperature on the cracking behavior of asphalt base courses with structural weaknesses // International Journal of Transportation Science and Technology. 2018. Vol. 7, Iss. 3. Pp. 208-216.

8. Гинзбург С.М., Корсакова Л.В., Павленко Н.В. Температурный режим и термонапряженное состояние плотин из укатанного бетона в период их возведения // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 249. С. 17–24.

9. Стручкова А.Я., Семенов К.В. Термическая трещиностойкость массивных железобетонных конструкций в строительный период // Alfabuild. 2017. №2 (2). С. 31–33.

10. Семенов К.В., Константинов И.А., Савченко А.В., Кокорева К.А., Нестеров А.А. Эффект температурного воздействия в расчетах термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №5 (32). С. 18–28.

11. Shengxing W., Donghui H. Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis // Journal of Thermal Analysis

and Calorimetry. 2011. Vol. 105. Issue 1. Pp. 171–186.

12. Bushmanova A.V., Kharchenko D.K., Semenov K.S., Barabanshchikov Yu.G., Korovina V.K., Dernakova A.V. Thermal cracking resistance in massive steel-reinforced concrete structures // Magazine of Civil Engineering. 2018. №. 3. Pp. 45–53.

13. Бузунова М.У., Кузнецов Б.Ф., Дрянов О.А. Имитационная модель изменения температуры окружающей среды с восстановлением суточного хода // ВЕСТНИК ИРГСХА. 2015. № 69. С. 96–102.

14. Запорожец И.Д., Огороков С.Д., Парийский А.А. Тепловыделение бетона. М.: Стройиздат, 1966. 316 с.

15. Korotchenko I.A., Ivanov E.N., Manovitsky S.S., Borisova V.A., Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Deformation of concrete creep in the thermal stress state calculation of massive concrete and reinforced concrete structures // Magazine of Civil Engineering. 2017. №. 1. Pp. 56–63.

#### Информация об авторах

**Макеева Александра Васильевна**, магистрант. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Семенов Кирилл Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика и строительные конструкции» Инженерно-строительного института. E-mail: kvsemenov@bk.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Макеев Артём Андреевич**, магистрант. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Амелина Александра Вячеславовна**, магистрант. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Поступила в апреле 2019 г.

© Макеева А.В., Семенов К.В., Макеев А.А., Амелина А.В., 2019

<sup>1,\*</sup>Makeeva A.V., <sup>1</sup>Semenov K.V., <sup>1</sup>Makeev A.A., <sup>1</sup>Amelina A.V.

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.  
Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya 29

\*E-mail: nicealexa@mail.ru

## CRACK RESISTANCE OF MASSIVE CONCRETE STRUCTURES DURING THE BUILDING PERIOD TAKING INTO ACCOUNT TEMPERATURE EFFECTS

**Abstract.** Concrete is a fundamental material of modern construction due to its reliability, the ability to harden in air and under water, the ability to build structures of any shape and sizes. In particular, it is used in the construction of advanced structures and their parts: nuclear power plants, large hydraulic structures, bridges, massive foundations of multi-storey buildings, etc. This paper is devoted to relevant objective in the field of construction of buildings and structures with a high level of responsibility, the study of thermal crack resistance of massive concrete structures, taking into account the temperature effects during the building period. The calculations are given of the thermal crack resistance of the foundation plate of the reactor department of Leningrad NPP-2 under continuous concreting with one block at full height. It is highlighted that the use of the simplest calculation model, which does not consider fluctuations in air temperature during the



*building period, leads to a significant error of the surface insulation thickness that is optimal from the point of view of providing the thermal crack resistance of a massive concrete structure.*

**Keywords:** *thermal cracking resistance, massive concrete structures, thermal stressed state, building period, adjustment of the thermal regime, air temperature fluctuation.*

## REFERENCES

1. Struchkova A.Ya. Thermal crack resistance of massive foundation structures during the building period [Termicheskaya treschinostoykost' massivnykh fundamentnykh konstruktsiy v stroitel'nyy period]: dis.... Master SPbPU. SPb, 2018. 92 p. (rus)
2. Adilson Schackowa, Carmeane Effting, Itamar R. Gomes, Isabeli Z. Patrui, Felipe Vicenzi, Camila Kramel. Temperature variation in concrete samples due to cement hydration. *Applied Thermal Engineering*. 2016. 25 June. Pp. 1362–1369.
3. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. Fracture analysis of reinforced concrete bridge structures with account of concrete cracking under steel corrosion. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 831. Pp. 364–369.
4. Bennet Kuriakose, B. Nageswara Rao, Dodagoudar G.R. Early-age Temperature Distribution in a Massive Concrete Foundation. *Procedia Technology*. 2015. Vol. 25. Pp. 107–114.
5. Kolosova G.S., Lalin V.V., Kolosova A.V., Influence of construction joints and cracks on the stress-strain state of arch-gravity dam [Vliyaniye stroitel'nykh shvov i treschin na napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye arochno-gravitatsionnoy plotiny]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 5. Pp. 76–85. (rus)
6. Orekhov V.G., Tolstikov V.V. Stress-strain state of the concrete dam at the kankunskii hydroproject [Napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye betonnoy plotiny Kankunskogo gidrouzla]. *Power Technology and Engineering*. 2012. No. 2. Pp. 34–42. (rus)
7. Otto F., Pengfei L., Zeyu Zhang, Wang D., Oeser M. Influence of temperature on the cracking behavior of asphalt base courses with structural weaknesses. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2018. Vol. 7. Is. 3. Pp. 208–216.
8. Ginzburg S.M., Korsakova L.V., Pavlenko N.V. Thermal regime and thermo-stresses state of rolled concrete dams during construction [Temperaturnyy rezhim i termonapryazhennoe sostoyaniye plotin iz ukatannogo betona v period ih vozvedeniya]. *Bulletin of VNIIG named after B.E. Vedeneev*. 2007. Vol. 249. Pp. 17–24. (rus)
9. Struchkova A.Y., Semenov K.V., Thermal cracking resistance in massive concrete structures in the building period [Termicheskaya treschinostoykost' massivnykh zhelezobetonnykh konstruktsiy v stroitel'nyy period]. *Alfabuild*, 2017. No. 2 (2). Pp. 31–33. (rus)
10. Semenov K.V., Konstantinov I.A., Savchenko A.V., Kokoreva K.A., Nesterov A.A. The effect of temperature influence in calculations of a thermostressed state of discretely increased concrete bodies [Effekt temperaturnogo vozdeystviya v raschetah termonapryazhennogo sostoyaniya diskretno naraschivaemykh betonnykh tel]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. 5(32). Pp. 18–28. (rus)
11. Shengxing W., Donghui H. Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2011. Vol. 105. Is. 1. Pp. 171–186.
12. Bushmanova A.V., Kharchenko D.K., Semenov K.S., Barabanshchikov Yu.G., Korovina V.K., Dernakova A.V. Thermal cracking resistance in massive steel-reinforced concrete structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 3. Pp. 45–53.
13. Buzunova M.U., Kuznetsov B.F., Dryanov O.A. Simulation model of temperature changing of environment with recovery of diurnal course [Imitatsionnaya model' izmeneniya temperatury okruzhayushey sredy s vosstanovleniem sutochnogo hoda]. *Scientific-Practical journal Vestnik IrGSHA*. 2015. No. 69. Pp. 96–102. (rus)
14. Zaporozhets I.D., Okorokov S.D., Pariyskiy A.A. Heat Liberation by Concrete [Teplovyydeleniye betona]. Leningrad-Moscow: Stroyizdat. 1966, 316 p. (rus)
15. Korotchenko I.A., Ivanov E.N., Manovitsky S.S., Borisova V.A., Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. Deformation of concrete creep in the thermal stress state calculation of massive concrete and reinforced concrete structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 1. Pp. 56–63.

## Information about the authors

**Makeeva, Aleksandra V.** Master student. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, Polytechnicheskaya 29, 195251, Saint Petersburg.

**Semenov, Kirill V.** PhD, Assistant professor. E-mail: kvsemenov@bk.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, Polytechnicheskaya 29, 195251, Saint Petersburg.

**Makeev, Artem A.** Master student. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, Polytechnicheskaya 29, 195251, Saint Petersburg.

**Amelina, Aleksandra V.** Master student. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, Polytechnicheskaya 29, 195251, Saint Petersburg.

---

*Received in April 2019*

**Для цитирования:**

Макеева А.В., Семенов К.В., Макеев А.А., Амелина А.В. Трещиностойкость массивных бетонных конструкций в строительный период с учетом температурных воздействий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 30–39. DOI: 10.34031/article\_5d49408e0e0b61.97206550

**For citation:**

Makeeva A.V., Semenov K.V., Makeev A.A., Amelina A.V. Crack resistance of massive concrete structures during the building period taking into account temperature effects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 30–39. DOI: 10.34031/article\_5d49408e0e0b61.97206550

DOI: 10.34031/article\_5d4946a0401ca1.08904398

<sup>1,\*</sup>Назарова Я.А., <sup>1</sup>Барабаш М.В.<sup>1</sup>Южный федеральный университет. Академия архитектуры и искусств  
Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39

\*E-mail: Yana\_Nazarova94@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДЕТСКИХ ТЕХНОПАРКОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

**Аннотация.** Технопарки могут быть эффективной формой организации индустрии высоких технологий. Это подтверждает многолетний зарубежный и отечественный опыт проектирования. Необходимость развития наукоёмких технологий, создание высокотехнологичных производств, центров компетенций по приоритетным направлениям науки и техники – все это неоднократно отмечается в выступлениях Президента Российской Федерации, видных ученых и представителей бизнеса России. В современных условиях мотивации детей к научно-техническому творчеству приобретает актуальность задача по созданию особых архитектурных пространств и форм. В ходе работы были изучены мировые аналоги, технопарков, технополисов и детских технопарков, выявлены функциональные, типологические и объемно-планировочные особенности данных объектов. Рассмотрены факторы, влияющие на архитектурную организацию, а также особенности формирования планировочного и функционального зонирования объектов данного типа. Как показал анализ мирового опыта проектирования и функционирования технопарков, их модель формируется из широкого круга экономических, социокультурных и технических вопросов. Таким образом, каждый отдельный технопарк является выражением системы внешних и внутренних условий для каждой отдельной территории. Выявленные факторы, оказывающие влияние, и методологические основы проектирования могут помочь в строительстве, проектировании и эксплуатации детских технопарков.

**Ключевые слова:** архитектура, проектирование, детские технопарки, технология функционирования, модель технопарка, объемно-планировочное решение, образовательные комплексы.

**Введение.** Необходимость развития в России наукоёмких технологий, создания высокотехнологичных производств, восстановления и создания промышленных предприятий по приоритетным направлениям науки и техники неоднократно отмечается в выступлениях Президента Российской Федерации, Председателя Правительства и Министра образования и науки России, видных ученых и представителей бизнеса. С этой целью в рамках реализации стратегической инициативы «Новая модель системы дополнительного образования детей» в конце 2015 г. были созданы первые детские технопарки: Ханты–Мансийском автономном округе – Югре (в г. Ханты-Мансийске и г. Нефтеюганске) и Республике Татарстан (г. Набережные Челны) [1].

Основной целью детских технопарков, является развитие интереса детей к инженерным профессиям, ознакомление и получение опыта в работе с современным оборудованием, изучение технических наук, развитие навыков работы в команде и к нестандартному творческому подходу решения поставленных задач [1].

Развитие проектирования и строительства детских технопарков в России набирает широкие обороты. Есть ряд знаковых функционирующих детских технопарков, позволяющих выявить особенности функционирования и архитектурную мощность обслуживания.

Так например, **детский технопарк Кванториум** – это управляемый региональным оператором имущественный комплекс, оснащенный высокотехнологичным оборудованием, созданный на базе одной или нескольких организаций с участием негосударственного сектора и организаций реального сектора экономики, на базе которого образовательной организацией, имеющей соответствующую лицензию, осуществляется обучение по дополнительным общеобразовательным программам естественнонаучной и технической направленности, соответствующим приоритетным направлениям технологического развития Российской Федерации [1] (рис. 1).

**Модель «Мини»:** дополнение действующих кружков новыми образовательными естественнонаучными и техническими направлениями, (в общей сложности не менее 3), общей площадью до 500 кв. метров, охват детей не менее 400 человек в год за счет средств бюджета [1] (рис. 2).

Другой вариант функционирования можно рассмотреть на примере модели «Стандарт» – размещение на обособленной площади от 500 до 800 кв. метров, реализация не менее 5 образовательных естественнонаучных и технических направлений, охват детей не менее 800 человек в год за счет средств бюджета [1] (рис. 3).

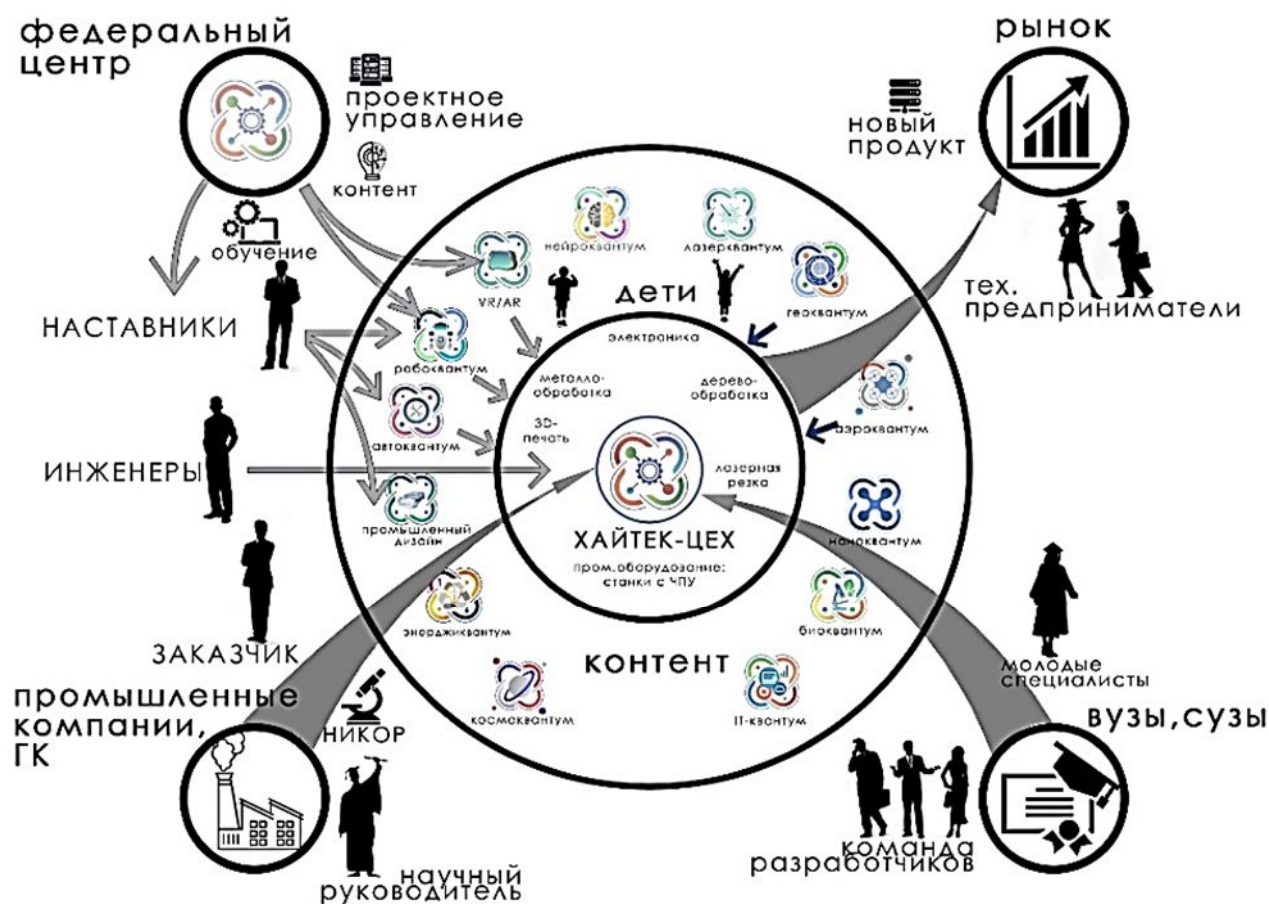


Рис. 1. Структура детского технопарка «Кванториум» [1]



Рис. 2. Модели детского технопарка «Кванториум» «МИНИ»

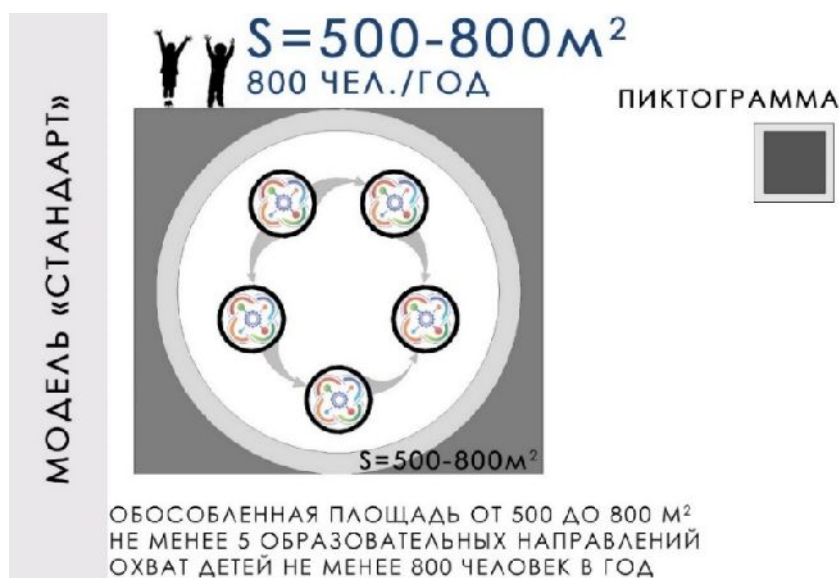


Рис. 3. Модель детского технопарка «Кванториум» «СТАНДАРТ»

Еще одну модель можно рассмотреть на примере детского технопарка «Кванториум» «МАКСИМУМ» (формат высокого оснащения): размещение на обособленной площади свыше 800 кв. метров, реализация более 5 образовательных естественнонаучных и технических направле-

ний, соответствующих приоритетным направлениям технологического развития Российской Федерации, охват детей свыше 1000 человек в год за счет средств бюджета, наличие интерактивного музея науки и коворкинга для технологических стартапов [1] (рис.4).

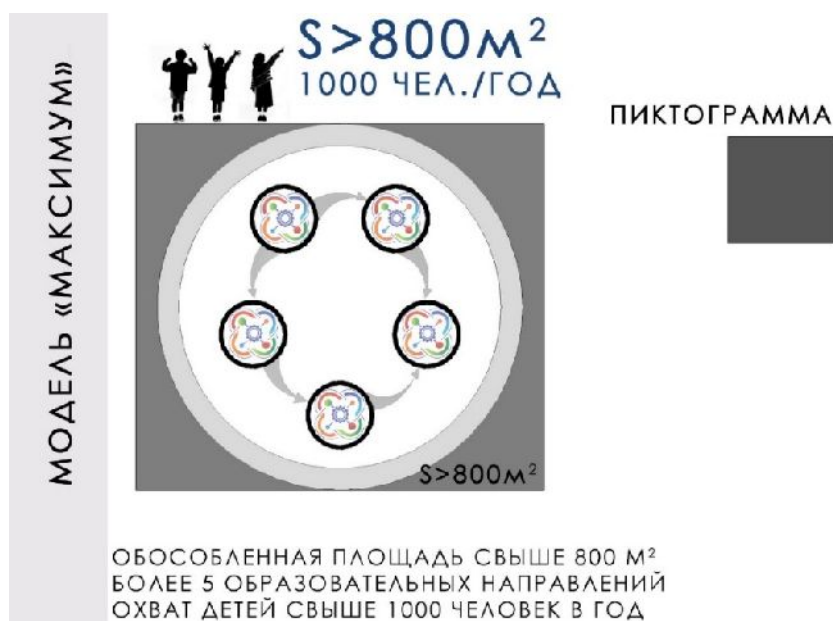


Рис. 4. Модель детского технопарка «Кванториум» «МАКСИМУМ»

Дальнейшее развитие российских детских технопарков зависит от их конкурентоспособности, в связи с чем актуально рассмотреть зарубежные аналоги.

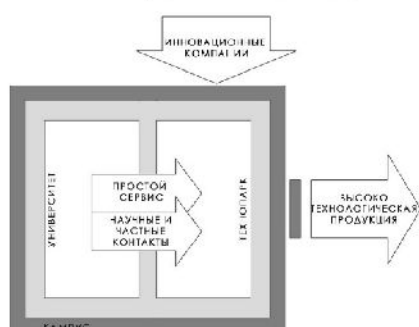
На сегодняшний день в США самый большой процент функционирующих детских технопарков. Существует две крупные организации, которые специализируются в данной области: «American Society for Engineering Education» и «Engineering For Kids».

В «American Society for Engineering Education» довузовское образование базируется через проект «Science and Engineering Apprenticeship Program», который направлен на подготовку детей старших классов. Данная программа предоставляет возможность ученикам старших классов принимать участие в научной и исследовательской деятельности в университетских лабораториях в период летних каникул. Ее

основная цель – поддержка и развитие школьников, заинтересованных в научной и инженерной областях, путем обучения и помощи в проведении исследований [2].

«Engineering For Kids» направлен на подготовку детей от 4 до 14 лет. Основная цель данной программы заключается в обучении науке, технологиям, инженерным специальностям и математике. Она реализуется в виде игр, занятий в группе, выездных лагерей и клубов. По данным на 2016 год функционируют 145 таких центров в Северной и Южной Америке, в Африке, Европе и Азии. Из них 119 центров находятся в Северной Америке [3].

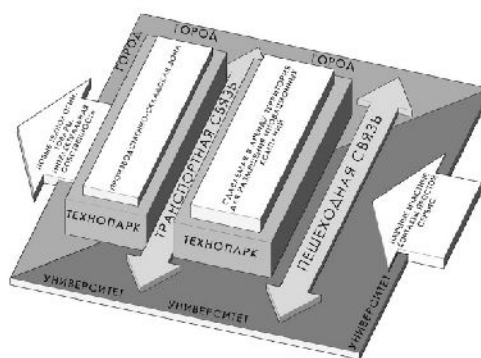
#### ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СХЕМА



Исследование объемно-планировочного формирования технопарков за рубежом позволило выявить ряд следующих основных архитектурных моделей:

Объемно-планировочное решение технопарков в США ориентировано на экономическую целесообразность, в связи с чем определены два типа архитектуры: малые фирмы которые, располагаются в простых промышленных объемах; крупные корпорации проектируют уникальную, знаковую архитектуру. Суть американской модели состоит, в том, что институт зачастую сдает в аренду свои пустующие площади [4–6] (рис. 5).

#### УНИВЕРСАЛЬНАЯ СХЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ

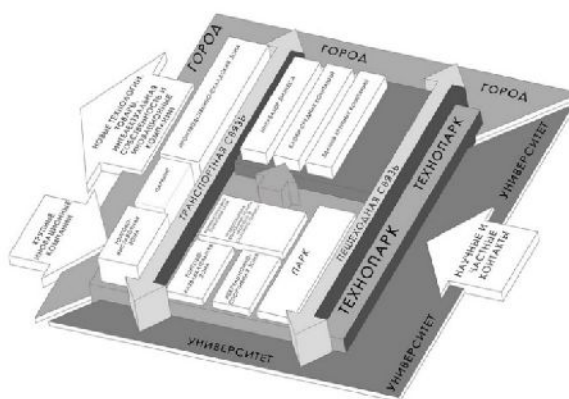
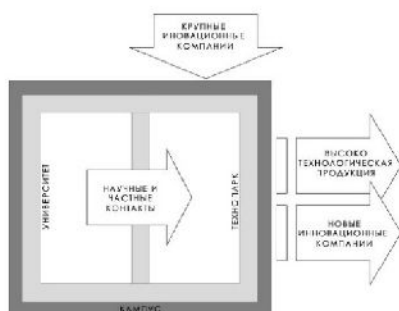


**ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АМЕРИКАНСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОПАРКОВ:**  
СУТЬ АМЕРИКАНСКОЙ МОДЕЛИ СОСТОИТ, В ОСНОВНОМ, В ТОМ, ЧТО УНИВЕРСИТЕТ СДАЁТ В АРЕНДУ СВОИ ПУСТУЮЩИЕ ПЛОЩАДИ

Рис. 5. Американская модель технопарка

**Европейская модель технопарков** формировалась в особых пространственно-территориальных условиях. Главным фактором, влияющим

на объемно-планировочную организацию технопарков, стала сложившаяся за столетия среда кампусов европейских университетов (рис. 6).



**ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОПАРКОВ:**  
ОГРАНИЧЕННАЯ ТЕРРИТОРИЯ > 5 ГА, ВЫСОКАЯ СТЕПЕНЬ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ  
ОСОБО ЦЕННАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА, РАЗВИТАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Рис. 6. Европейская модель технопарка

Характерными особенностями европейской модели технопарков являются: ограниченная территория менее пяти гектаров площади. Высокая степень озеленения и благоустройство

участка, особо ценная архитектурная среда, развитая инфраструктура (рис. 6).



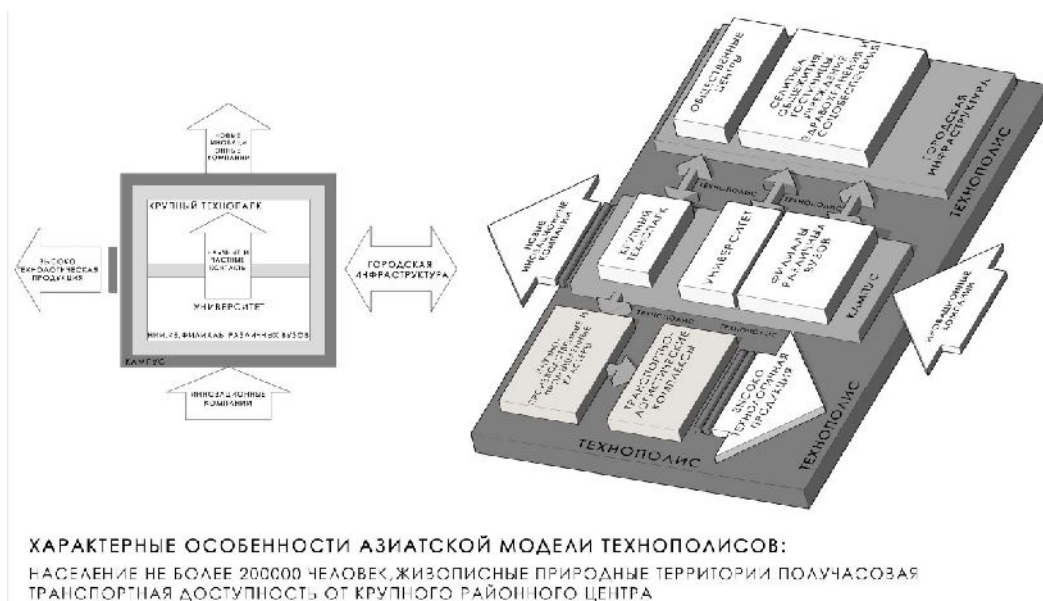


Рис. 7. Азиатская модель технополиса

**Азиатская модель** предполагает строительство совершенно новых городов «технополисов». Обязательными требованиями к данным проектам и к городам – претендентам, являются: численность населения не более 200000 тыс. человек, живописные природные территории, получасовая транспортная доступность от крупного районного центра.

Технопарки разных стран имеют и ряд общих архитектурных особенностей, требований по проектированию, строительству и эксплуатации, которые можно обозначить как основные. К ним относятся – градостроительные условия; требования к генплану технопарка; функционально-планировочные решения [4] (рис. 7).

**Градостроительные условия.** Требования к месту размещения технопарков тесно взаимосвязано с условиями эффективной работы и зависит от: численности и состава населения; близости расположения к ВУЗу или НИИ; уровня развития

инфраструктуры (транспортные магистрали); «престижа» территории и возможности дальнейшего развития, наличия разнообразных рекреационных объектов и обширных озеленённых пространств.

В результате анализа и опыта градостроительного размещения технопарков можно выявить три основные модели: **точечная; комплексная; самодостаточная** [7–9].

**Точечная модель технопарка** базируется на размещении в структуре плотной городской застройки, на относительно небольшом или крайне малом участке. Инфраструктура окружающей городской ситуации, как правило, хорошо развита. Состав функционально-планировочной структуры технопарка может ограничиться минимальным набором функциональных зон: административно-сервисной и офисно-деловой. В объемно-планировочном отношении это как правило компактная структура (рис. 8).

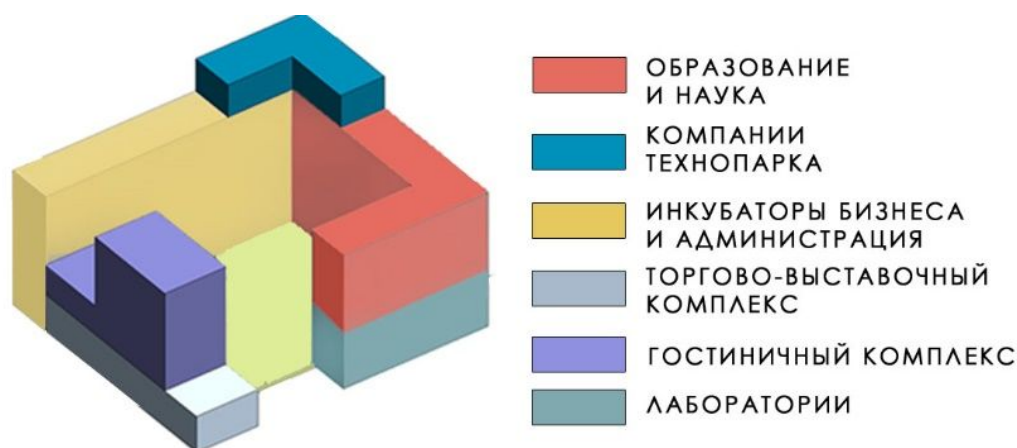


Рис. 8. Точечная модель технопарка



**Комплексная модель технопарка** располагается на достаточно свободной территории в структуре города и имеет с ним тесную взаимосвязь. В отличие от точечной модели технопарков, комплексная модель вмещает расширенный

набор функциональных зон, может состоять из нескольких блоков, а также иметь полноценную рекреационную зону (рис. 9).

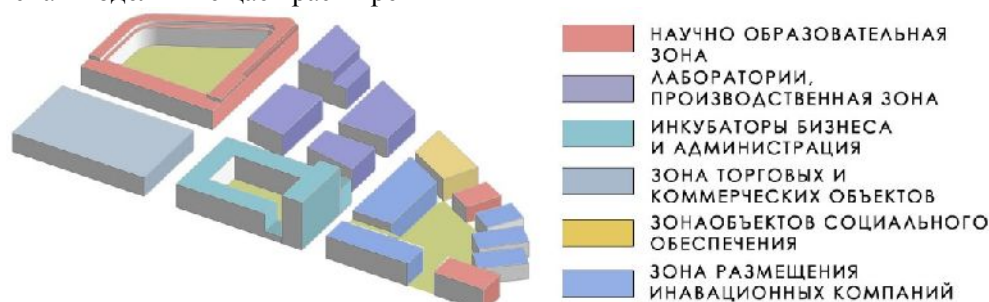


Рис. 9. Комплексная модель технопарка

**Самодостаточная модель технопарка** расположена на определенном удалении от города вне зон обслуживания общегородских центров.

Как правило имеет полный набор функциональных зон. В объемно-планировочном отношении может представлять собой мини-город с хорошо развитой инфраструктурой [4] (рис. 10).



Рис. 10. Самодостаточная модель технопарка

**Требования к генплану технопарка.** Зачастую строительство и научное направление технопарков тесно связано с существующими объектами на прилегающих участках. Например, наличие учреждений высшей школы и НИИ, (их научный профиль, материальная база); производственные ресурсы (состав промышленности, отраслевая ориентация); наличие мощных транспортных коридоров, международных аэропортов, логистических центров.

Технопарки являются мощными центрами общественной и социальной жизни общества, поэтому следует учитывать возможность рационального использования территории, внедрения разнообразных функциональных зон [5].

**Функционально-планировочные аспекты.** Набор функций технопарка и состав помещений может варьироваться в зависимости от необходимости и научного направления, но в целом можно выделить следующие основные функциональные зоны: административно-сервисные; офисно-деловые; научно-образовательные; экспериментально-исследовательские; природно-парковые; спортивные – территории и объекты

спортивного назначения; торгово-выставочные; коммунально-складские; жилые; производственные.

**Административно-сервисные** – зоны составляющие основу ядра технопарка, в архитектурно-планировочном отношении могут выделяться в отдельную зону или размещаться в отдельном крыле или здании. В состав как правило входят: кабинеты, переговорные, санитарно-гигиенические помещения и служебные.

**Офисно-деловые** – зоны, сформированные концентрацией деловых объектов. Данные пространства, в большей степени, образуют малые, средние и крупные компании технопарка. Сюда могут входить: помещения доготовки пищи, залы размещения оргтехники коллективного пользования, операционные залы, кабинеты, переговорные помещения, санитарно-гигиенические помещения, служебные помещения [5].

**Научно-образовательные** – зоны образовательных процессов, наук, лабораторий, вычислительных кластеров, дата центров. К ним относятся: аудитории, лабораторные залы, кабинеты,

гардероб, санитарно-гигиенические помещения, служебные помещения.

**Экспериментально-исследовательские,** специализированные – зоны по своим функциям родственные научно-образовательным, но обладающие специфическими требованиями к среде и методам организации процесса. Состоят из универсальных, зальных помещений.

**Природно-парковые** – наиболее важные из рекреационных пространств технопарка, могут занимать 30–60 % от всей площади. Именно благодаря большой значимости природных пространств, технопарк получил своё название. Озелененные и рекреационные зоны могут включать в себя зимние сады и оранжереи, небольшие кафе.

**Спортивные – территории и объекты спортивного назначения,** крытые и на открытом воздухе. Входящие в систему рекреационного обслуживания технопарка. В их состав могут входить: спортзалы, душевые, массажные помещения, санитарно-гигиенические помещения, служебные помещения.

**Торгово-выставочные** – зоны, входящие в общественно-деловое ядро технопарка. Важная для компаний технопарка составляющая, так как даёт возможность представить и реализовать свою продукцию. В свою очередь данная зона состоит из торговых помещений, выставочных павильонов, складских помещений, помещений общественного питания, санитарно-гигиенических, служебных и гардероба.

**Коммунально-складские** – зоны, отведённые под обслуживающую инфраструктуру. К ним относятся: автостоянки, стоянки спецтранспорта, размещение объектов инженерной инфраструктуры, технические коллекторы для инженерных коммуникаций, залы размещения инженерного оборудования, складские и служебные помещения.

**Жилые зоны** с сопутствующей, необходимой социальной инфраструктурой – характерны для крупных по территории технопарков, способных вместить полный набор функций и объектов на территории.

Жилые объекты необходимы для технопарков со значительным присутствием учреждений высшего образования, и временного (сезонного) пребывания посетителей, сотрудников и молодых исследователей. Допустимо строительство на территории технопарка общежитий, блокированной застройки, гостиниц [11–15].

**Производственные** – зоны производственных объектов. Высокотехнологическое производство зачастую предъявляет высокие требования к внешней среде, это связано с производ-

ством высокоточных приборов, микроэлектроники, биоинженерных продуктов. В состав производственной зоны могут входить: залы коллективного пользования, служебные помещения, производственные залы, лабораторные залы, кабинеты, санитарно-гигиенические помещения, залы размещения инженерного оборудования.

Включение различных функциональных зон в структуру технопарков напрямую зависит от социально-экономического вектора развития региона. В связи с чем, архитектура технопарков – это каждый раз уникальный образ с индивидуальным архитектурно-планировочным решением. Выявленные модели функционирования, градостроительные и функционально-планировочные особенности могут помочь в проектировании, строительстве и эксплуатации детских технопарков. Создание детских технопарков в России даёт возможность повысить интерес детей к инженерным профессиям, а также, обеспечить доступ к современным технологиям и программам. На сегодняшний день в России уже функционирует 89 площадок в 62 регионах. Научный подход в изучении архитектуры технопарков является важным развивающим аспектом, способствует выбору наиболее точных, оптимальных проектных решений. Это особенно актуально, в связи с планами, озвученными «Агентством стратегических инициатив» на 2024 год, открыть более 245 «детских технопарков Кванториум».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кванториум // Федеральная сеть детских технопарков. URL: <https://www.roskvantorium.ru/> (дата обращения: 20.03.2019).
2. American Society for Engineering Education // Американское сообщество инженерного образования. URL: <https://www.asee.org/about-us/the-organization/our-history/> (дата обращения: 15.03.2019).
3. Engineering for Kids // Инженерия для детей. URL: <https://engineeringforkids.com/> (дата обращения: 15.03.2019).
4. Максимов Р.С. Модели организации технопарков // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов 2006-2019. URL: <http://jurnal.org/articles/2017/archi1.html> (дата обращения: 10.04.2019).
5. Трухачева Г.А., Рыков К.Н. Технопарки на базе высших учебных заведений. [https://www.academia.edu/7029676/Архитектура\\_технопарков](https://www.academia.edu/7029676/Архитектура_технопарков) (дата обращения 10.04.2019).
6. Агентство стратегических инициатив // Новая модель системы дополнительного образования детей. URL: <https://asi.ru/social/education/> (дата обращения: 10.04.2019).

7. Лавров А.А. Особенности функционирования высокотехнологических кластеров в Китае и Японии. Систем. требования: AdobeAcrobatReader URL: <https://sun.tsu.ru/mminfo000063105/image/329182.pdf> (дата обращения: 12.04.2019).

8. Шилкин Н.В. Здание высоких технологий // Энергоэффективные здания, технологии АВОК. 2003. № 7. С. 18–27.

9. Аллен Д. Научный парк: организация и управление / Д. Аллен, Д. Берр, Т. Бродхерст и др.; пер. с англ. под науч. ред. В.Е. Шукшунова; Ассоц. науч. парков Великобритании Ассоц. "Технопарк" (Россия). М.: Изд-во МЭИ, 1997. 162 с.

10. Лазарева М.В. Многофункциональные пространства крупных общественных комплексов: дис. ... канд. арх. М., 2007. №2. С. 54–60.

11. Хотунцев Ю.Л., Насипов А.Ж. Технологическое образование школьников: первый этап

подготовки ИТР и рабочих кадров // Знание. Понимание. Умение. 2008. № 2. С. 84–87.

12. Жилина Ю.Н. Влияние потребностей человека на организацию архитектурной среды: дис. ... кан. арх. Екатеринбург, 2003. С. 206–201.

13. Боков А.В. Многофункциональные комплексы и сооружения: обзор по гражданскому строительству и архитектуре. М.: ЦНТИ, 1973. 54с.

14. Чистякова О.В. Роль технопарков в развитии инновационной инфраструктуры регионов. Систем. Требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tehnoparkov-v-razvitii-innovatsionnoy-infrastruktury-regionov> (дата обращения: 21.04.2019)

15. Volkonitskaia K. Business models of technoparks in Russia. Систем. Требования: AdobeAcrobatReader. URL:

<https://www.hse.ru/data/2015/12/08/1133981332/55STI2015.pdf> (дата обращения: 19.04.2019)

#### Информация об авторах

**Назарова Яна Алексеевна**, магистр кафедры архитектуры. E-mail: Yana\_Nazarova94@mail.ru. Академия архитектуры и искусств, Южный федеральный университет. Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский 39.

**Барабаш Мария Витальевна**, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: mary.mazurik@yandex.ru. Академия архитектуры и искусств, Южный федеральный университет. Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский 39.

Поступила в апреле 2019 г.

© Назарова Я.А., Барабаш М.В., 2019

<sup>1,\*</sup>Nazarova Y.A., <sup>1</sup>Barabash M.V.

<sup>1</sup>South Federal University. Academy of Architecture and Arts  
Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovsky Prospect, 39

\*E-mail: Yana\_Nazarova94@mail.ru

## FEATURES OF FUNCTIONING AND THE ARCHITECTURAL FORMING OF CHILDREN'S TECHNOLOGY PARKS IN RUSSIA AND ABROAD

**Abstract.** Technoparks can be an effective form of organizing the high-tech industry. This confirms many years of foreign and domestic design experience. The need to develop science-based technologies, the creation of high-tech industries, centers of competence on priority areas of science and technology – all this is repeatedly noted in the speeches of the President of the Russian Federation, prominent scientists and business representatives of Russia. In modern conditions of motivating children to scientific and technical creativity, the task of creating special architectural spaces and forms is becoming actual. In the course of the work, world analogues, technoparks, technopolises and children's technology parks are studied. Functional, typological and volume-planning features of these objects are identified. The factors affecting the architectural organization and features of formation of planning and functional zoning of objects of this type are considered. An analysis of world experience in the design and operation of technology parks shows that their model is formed from a wide range of economic, socio-cultural and technical issues. Thus, each individual technopark is an expression of external and internal conditions for each individual territory. The identified influencing factors and the methodological foundations of design can help in the construction, design and operation of children's technology parks.

**Keywords:** architecture, design, children's technoparks, technology of functioning, technopark model, space planning of decision, educational complexes.

## REFERENCES

1. Kvantorium [Kvantorium]. Federal network of children's technology parks [Federal'naya set' detskikh tekhnoparkov] URL: <https://www.roskvantorium.ru/> (accessed: 20.03.2019). (rus)
2. American Society for Engineering Education [Amerikanskoe soobshchestvo inzhenernogo obrazovaniya]. URL: <https://www.asee.org/about-us/the-organization/our-history/> (accessed: 15.03.2019). (rus)
3. Engineering for Kids [Inzheneriya dlya detej]. URL: <https://engineeringforkids.com/> (accessed: 15.03.2019). (rus)
4. Maksimov R.S., Models of the organization of technology parks [Modeli organizatsii tekhnoparkov] <http://jurnal.org: Journal of scientific publications of graduate and doctoral students 2006-2019. URL: http://jurnal.org/articles/2017/archi1.html> (accessed: 10.04.2019) (rus)
5. Trukhacheva G.A., Rykov K.N. Technoparks based on higher educational institutions [Tekhnoparki na baze vysshikh uchebnykh zavedeniy]. <https://www.academia.edu/7029676/> (accessed: 10.04.2019) (rus)
6. Agency of strategic initiatives [Agentstvo strategicheskikh iniciativ]. New model of the system of additional education of children [Novaya model' sistemy dopolnitel'nogo obrazovaniya detej]. URL: <https://asi.ru/social/education/> (accessed: 10.04.2019).
7. Lavrov A.A. Features of the functioning of high-tech clusters in China and Japan. [Osobennosti funktsionirovaniya vysokotekhnologichnykh klasterov v Kitaye i Yaponii]. Systems requirements: AdobeAcrobatReader URL: <https://sun.tsu.ru/mminfo000063105/image/329182.pdf> (accessed: 12.04.2019). (rus)
8. Shilkin N.V. High-tech building [Zdanie vysokih tekhnologij]. Energy efficient buildings, technology AVOK. 2003. No.7. Pp. 18–27. (rus)
9. Allen D., Burr D., Broadhurst T. Nauchnyy park: organizatsiya i upravleniye Association of Scientific Parks of Great Britain Association "Technopark" (Russia), 1997. 162 p. (Russ. ed.: Shukshunova V.E., Moscow, MEI Publ., 1997. 162 p. (rus)
10. Lazareva M.V., Multifunctional spaces of large public complexes [Mnogofunktsional'nyye prostranstva krupnykh obshchestvennykh kompleksov]. Diss, PhD. Diss., kan. arkh. M.: 2007. No. 2. Pp. 54–60. (rus)
11. Hotuntsev Yu.L., Nasipov A.Zh. Technological education of schoolchildren: the first stage preparation ITR and working personnel [Tekhnologicheskoe obrazovanie shkol'nikov: pervyj etap podgotovki ITR i rabochih kadrov]. Journal Knowledge. Understanding. Skill. 2008. No. 2. Pp. 84–87. (rus)
12. Zhilina Yu.N. The influence of human needs on the organization of the architectural environment. Diss, PhD [Zhilina YU. N. Vliyaniye potrebnostey cheloveka na organizatsiyu arkhitekturnoy sredy. Diss., kan. Arkh.]: Yekaterinburg, 2003. Pp. 206–201. (rus)
13. Bokov A.V. Multifunctional complexes and buildings: an overview of civil engineering and architecture [Mnogofunktsional'nyye komplekсы i sooruzheniya: obzor po grazhdanskomu stroitel'stvu i arkhitekture]. M.: CNTI. 1973. 54 p. (rus)
14. Chistyakova O.V. The Role of technoparks in the development of innovative infrastructure of the regions [Rol' tekhnoparkov v razvitii innovatsionnoy infrastruktury regionov] AdobeAcrobatReader. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tehnoparkov-v-razvitii-innovatsionnoy-infrastruktury-regionov> (accessed: 21.04.2019) (rus)
15. Volkonitskaia K. Business models of technoparks in Russia. Systems requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.hse.ru/data/2015/12/08/1133981332/55STI2015.pdf> (accessed: 21.04.2019)

*Information about the authors*

**Barabash, Maria V.** PhD, Assistant professor. E-mail: [mary.mazurik@yandex.ru](mailto:mary.mazurik@yandex.ru). Academy of Architecture and Arts, South Federal University. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovsky Prospect, 39.

**Nazarova, Yana A.** Master student. E-mail: [Yana\\_Nazarova94@mail.ru](mailto:Yana_Nazarova94@mail.ru). Academy of Architecture and Arts, South Federal University. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovsky Prospect, 39.

*Received in April 2019*

**Для цитирования:**

Назарова Я.А., Барабаш М.В. Особенности функционирования и архитектурного формирования детских технопарков в России и за рубежом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 40–48. DOI: 10.34031/article\_5d4946a0401ca1.08904398

**For citation:**

Nazarova Y.A., Barabash M.V. Features of functioning and the architectural forming of children's technology parks in Russia and abroad. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 40–48. DOI: 10.34031/article\_5d4946a0401ca1.08904398

DOI: 10.34031/article\_5d495b588ca947.56019464

<sup>1,\*</sup>Воробьева Ю.А., <sup>1</sup>Шукина Т.В., <sup>1</sup>Кармазин Ю.И., <sup>1</sup>Ходунов А.М.<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет

Россия, 394000, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84

\*E-mail: cccp38@yandex.ru

## ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ПРИНЦИПОВ «УМНОГО ГОРОДА»

**Аннотация.** В статье поднимается актуальный вопрос организации и развития инновационных центров в субъектах Российской Федерации. Для российских городов в последнее время характерно сокращение доли промышленного производства и появление инновационной инфраструктуры, ставшей основной составляющей развития экономики меняющихся регионов. Воронежская область также относится к технологически развивающейся территории. Как и другие субъекты Российской Федерации, регион заинтересован в повышении скорости, качества и охвата оказания услуг, в повышении скорости изменений, вносимых в процессы оказания услуг, а также в снижении государственных расходов. Точкой роста региональной экономики Воронежской области может стать создание и развитие в регионе инновационного кластера. В статье обосновывается необходимость создания и описывается проектная концепция инновационного центра в Воронежской области. Приведены результаты анализа внедрения инновационных технологий и технологий «умного города» в различных регионах России. Выделены основные направления в создании инновационного центра в Воронежской области. Рассмотрены необходимые мероприятия для включения в проект по цифровизации отраслей городского хозяйства новой технологичной территории. В работе предусмотрено комплексное планирование застройки и использования территории в соответствии с концепцией «умный город». Приводятся ожидаемые эффекты и результаты от размещения и развития инновационного центра в регионе.

**Ключевые слова:** инновационная экономика, концепция «умный город», «умный регион», технопарк, технополис, инновационный центр.

**Введение.** Воронеж – развивающийся крупный город-миллионник, столица Центрального Черноземья. В городе функционируют 15 образовательных организаций высшего образования с общим числом студентов около 87 тыс. На территории Воронежской области создана особая экономическая зона промышленно-производственного типа для реализации российскими и иностранными компаниями инвестиционных промышленных проектов, создания новых рабочих мест. В регионе развита промышленность и сельское хозяйство. Несмотря на это, в Воронежской области существует необходимость создания инновационно-технологического центра, основными направлениями деятельности которого станут наука и предпринимательство в сфере развития Smart City, IT-технологий, а также центры культуры и искусства, теле-мультимедиа и анимации. Целью данной работы является анализ опыта создания технопарков и инновационных центров, стимулирующих диверсификацию экономики в европейских и российских городах, а также выявление особенностей их пространственной организации в инфраструктуре города.

**Методология.** Анализ проектов по созданию инновационного кластера в регионах Российской Федерации показал, что инвестиции в

строительство высокотехнологичных производств в городах могут быть не только выгодными для бизнеса, но также дают мощный импульс развития территории [1]. Исследованию темы о существенности связи инновационной экономики и территории посвящены работы Кулешовой Г.И. [2, 3, 4]. В основу ее исследований положены критерии выявления инновационных центров в рамках иерархической системы территорий инноваций «технопарк – технополис – регион науки» с описанием их функциональных типов и градостроительных форм. Невозможность решения градостроительных проблем в отрыве от социально-экономических вопросов прослеживается в работах Герцберг Л.Я. [5]. Для превращения территории в инновационный центр необходимо синхронно решать вопросы развития нового технологичного производства и кардинального улучшения качества среды проживания населения, в том числе экологической ситуации.

Белова А.В. [6] отмечает роль и значения инновационных центров для развития окружающей территории вне крупных городов, том числе окружающей сельской местности и развития муниципалитетов. В России на данный момент функционирует множество подобных современных учебных инновационных центров и технопо-

лисов таких как «Сколково» в Москве, «Иннополис» в Казани, «Южный» в Санкт-Петербурге, «Технополис GS» в Калининградской области и др.

Анализируя отечественный и зарубежный опыт формирования территорий инновационных центров [7, 8], можно выделить два подхода, используемых для их создания в городах. В первом варианте предполагается возведение застройки по greenfield-проекту т.е. «проекту в чистом поле» с комплексным планированием городской среды, делая планируемую территорию полигоном апробации различных решений «smart city». Примерами подобных городов являются Сонгдо (Южная Корея), Масдар (ОАЭ), Иннополис (Россия). Инструментами для реализации данного метода могут быть: создание объектов различного значения, выделение пространств, различных по функциональному наполнению, возможность использования альтернативных видов транспорта, организация общедоступной транспортной сети, создание внутрирайонной специализированной транспортной системы, формирование точек смены транспортного средства передвижения.

Между тем к настоящему моменту все с большей очевидностью проявляется целесообразность развития инновационных центров на основе уже состоявшихся крупных научных центров с длительной историей [9]. Основными инструментами метода сохранения истории места являются: сохранение исторической застройки, новое назначение неиспользуемых старых зданий, реорганизация промышленных площадок, использование природного существующего потенциала, создание зеленых «лучей» связующих застройку, организацию площадей, улиц, набережных [10].

Для создания устойчивого развития территории и формирования градостроительной концепции создания инновационных центров необходимо использовать совокупность методов организации и системный подход в проектировании.

Расположение в единой зоне первых в регионе технопарков IT-технологий и креативных индустрий - стратегически важный для Воронежской области проект. Инженерная, транспортная, социальная и инновационная инфраструктура, создаваемые в ходе реализации проекта, будут способствовать кластеризации других крупных инвестиционных проектов, в том числе – инновационного характера. Технополис – это комплексная система взаимодействия бизнеса, образования, науки и творчества, площадка для коллаборации с целью создания инновационных проектов – двигателей экономического развития, в первую очередь, экономики региона.

**Основная часть.** Размещение технополиса нового поколения и города-спутника «Солнечный» предполагается в Рамонском районе Воронежской области, рядом с территорией Сити-парка «Град» (рис.). Планировочным ядром данной территории является базовый социальный ориентир с большой развитой досуговой составляющей – торгово-развлекательный комплекс Сити-парк «Град», нуждающийся на данный момент времени в развитии дополнительной инфраструктуры. Для комфортного функционирования технополиса необходимо построить современные объекты для проживания, как временного, так и постоянного людей, создать самостоятельное современное пространство городской среды, позволяющее воплотить идею – «в одном месте живем, учимся и лечимся, работаем и проводим досуг (культурно обогащаемся, занимаемся спортом, развлекаемся и т.д.)». Проект предусматривает комплексное планирование застройки и использования территории в соответствии с концепцией "умный город" [11, 12].

Согласно Методическим рекомендациям по формированию региональных проектов «Умные города субъекта Российской Федерации» в региональные проекты следует включать мероприятия по цифровизации отраслей городского хозяйства [13, 14] по направлениям:

1. Жилищно-коммунальное хозяйство:
  - электроснабжение, теплоснабжение, газоснабжение, водоснабжение и водоотведение, в том числе мероприятия, направленные на реализацию концепции «умный водоканал», учет коммунальных ресурсов и снижение затрат на них, упрощение процедур оплаты и так далее;
  - управление жилым фондом и содержание (ремонт, уборка) многоквартирных домов, общественных зданий, придомовых территорий, включая капитальный ремонт.
2. Сбор, транспортирование, обработка, утилизация, обезвреживание, захоронение твердых коммунальных отходов;
3. Мониторинг и охрана окружающей среды;
4. Улицы и общественные пространства (в том числе, уличное освещение, поддержание доступности среды – уборка, ремонт, модернизация);
5. Общественная безопасность;
6. Транспорт, улично-дорожная сеть и перевозки;
7. Городское управление:
  - развитие платформ управления городскими ресурсами и сервисами «Умный город»
  - жилищные инспекции;
  - управление земельно-имущественными отношениями;



– участие жителей в процессах городского управления: мониторинга, контроля и выбора решений;

8. Иное (социальная сфера):

- культура, спорт, отдых, туризм;
- социальная защита населения;

– обеспечение занятости и поддержка малого сервисного бизнеса: предоставление данных и аналитики;

- здравоохранение;
- образование.

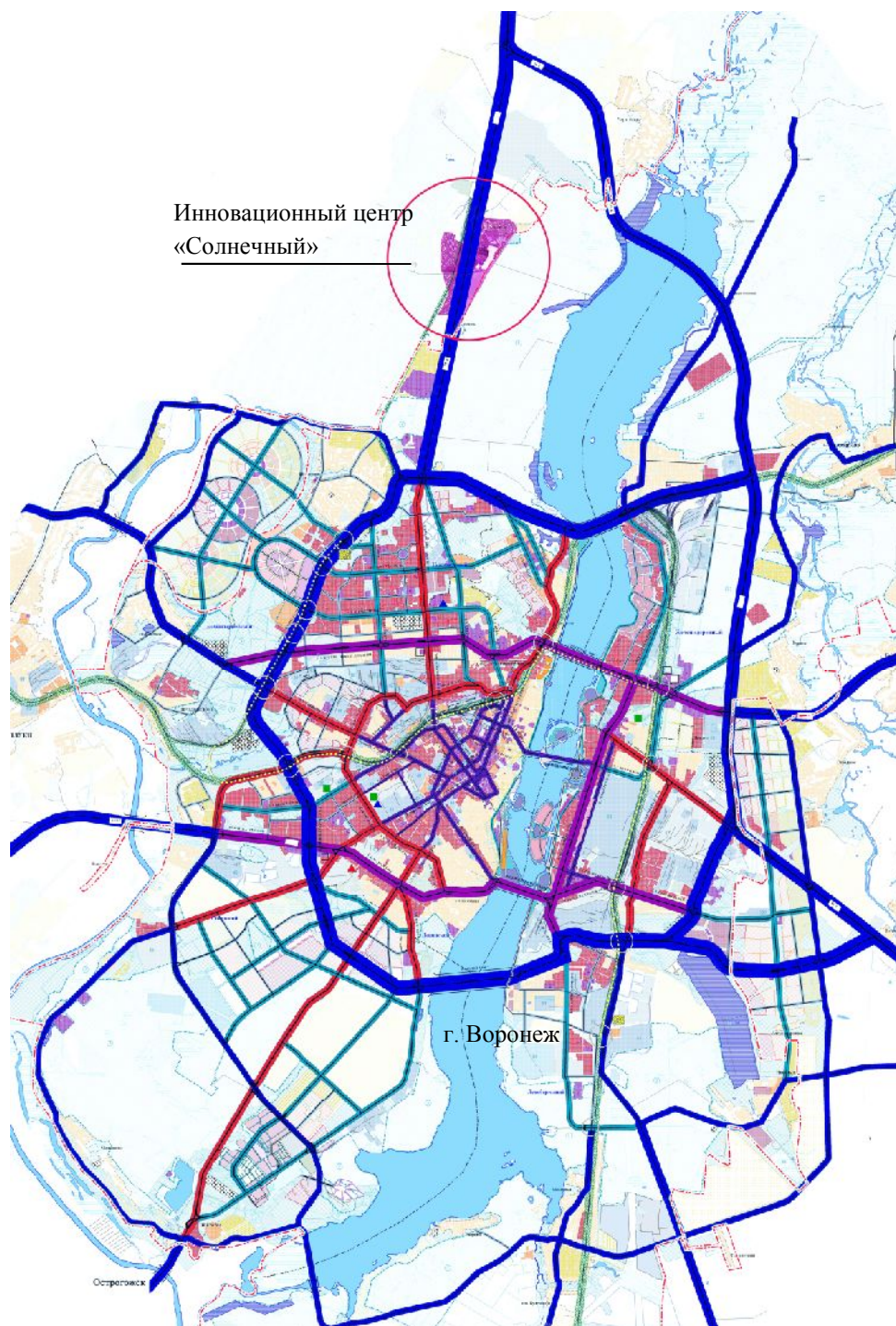


Рис. 1. Перспективное размещение инновационного центра «Солнечный» в Воронежской области

Функционально можно выделить следующие объекты проектируемой территории: жилая недвижимость (разных сегментов и этажности), объекты социальной инфраструктуры (в т.ч. музеи, детские сады, детская школа), торговая недвижимость, рекреационная зона, технополис,

культурополис и бизнесполис с соответствующими потребностями для инновационных и высокотехнологичных компаний инфраструктурой: технопарки, университет, резиденция, конференц-холл для проведения масштабных деловых

мероприятий, офисные здания, гостиница и ресторация. Общая площадь объектов технополиса составит 11,1 га, культурополиса – 48,7 га и бизнесополиса – 9,5 га.

Расположение участков жилой застройки по разным сторонам относительно дороги М4-Дон предполагает решение транспортной задачи сообщения функциональных объектов между собой, а также предусматривает ряд экологических и шумозащитных мероприятий. Начало строительства технополиса планируется в 2020 году. В инновационный центр планируется привлечь высококлассных профессионалов, а на базе Воронежского государственного технического университета запущено обучение востребованным в высокотехнологичном секторе специальностям по программам, адаптированным к актуальным потребностям бизнеса.

Независимо от мероприятий, заложенных в основе создания умной территории, результирующие решения и внедренные процессы направления «Умный город» будут обеспечивать выполнение пяти ключевых принципов технополиса [15, 16, 17]:

- ориентация на человека;
- технологичность городской инфраструктуры;
- повышение качества управления городскими ресурсами;
- комфортная и безопасная среда;
- акцент на экономической эффективности, в том числе, сервисной составляющей городской среды.

Для успешной реализации подобного проекта необходимо применить комплексный подход к развитию территории, размещению муниципальных объектов социальной инфраструктуры (образовательных, медицинских, спортивных), а также решить целый ряд важных вопросов, связанных с дорогами, транспортом [18, 19, 20]. Для повышения эффективности цифровизации процессов управления объектами Воронежской области, развития технологической экосистемы предлагается создание единой платформы цифрового управления, замыкающей все сферы городской жизни вместе [21, 22].

Первым этапом в создании технополиса является цифровизация реальности, создание огромных массивов в геоинформационных системах и BIM форматах [23]. Все они входят в решение умного города на условиях взаимной кооперации, обмена данными, ориентации на пользователя и решений по конкретному месту и группам клиентов, в том числе в системы связи и обеспечения безопасности.

Проектируемый инновационный центр – полигон для внедрения новых технологий, позволяющий решать городские проблемы разного уровня в увязке со стратегией развития и территориального планирования города посредством внедрения новых технологий, что является важной задачей, как для планируемой территории, так и для Воронежской области в целом.

**Выводы.** Общие ожидаемые эффекты и результаты от развития инновационного кластера в регионе:

- расширение прав и возможностей участников городского управления;
- повышение качества образования, качества жизни, здоровья, развитие человеческого потенциала, возможность процветания, социальное обеспечение, безопасность;
- интеллектуальная инфраструктура сообщества, информационное взаимодействие населения и власти, предоставление государственных сервисов для работы с городскими данными, учета мнения горожан при планировании развития города, а также реагирование на обращения граждан;
- развитие новых форм экономической деятельности, включая цифровую экономику, экономику знаний, сетевую экономику
- улучшение экологических показателей, включая воздействие изменения климата, защиты, восстановления и улучшения местной и глобальной окружающей среды, защита разнообразия и миграции растений и животных, борьба с загрязнением
- культура и общественная идентичность;
- обеспечение мобильности перемещения людей по территории города, включая новые виды транспорта, организация парковочного пространства и снижения интенсивности трафика.

Достижение указанных эффектов имеет главную цель: повышение качества жизни в городах за счет внедрения инновационных информационных технологий в процессы развития городской среды, управления городом и взаимодействия человека с городской средой обитания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иншакова Е.И. Развитие российской наноиндустрии: кластеризация в контексте умной специализации регионов // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2017. № 7 (25). С. 56–61.
2. Кулешова Г.И. Технополисы в системе территориально-пространственной организации научно-инновационной деятельности // Градостроительство. 2015. № 3 (37). С. 20–35.

3. Кулешова Г.И. Территориально-пространственные аспекты организации научно-инновационной деятельности в США // Градостроительство. 2018. № 4 (56). С. 57–63.
4. Кулешова Г.И. Градостроительные условия и функциональные параметры формирования городов – инновационных центров // Муниципальная экономика. Портал ЭМС. 2015. №3 (63). С. 89–94.
5. Герцберг Л.Я. Градостроительное обеспечение инновационного развития экономики – важнейшая задача технологической платформы «Строительство и архитектура» // Academia. Architecture and construction. 2016. №2. С. 58–64.
6. Белова А.В., Левченков А.В. Инновационные центры как точки роста для малых городов и сельской местности // Балтийский регион. 2012. №3 (13). С. 116–127.
7. Сергеев К.И., Кулешова Г.И. Территориально-градостроительные аспекты организации технопарковых структур // Вестник Российской академии наук. 2007. Т. 77. № 12. С. 1100–1106.
8. Солодилов М.В. Социально-градостроительные трансформации занятости населения крупных постиндустриальных городов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 2-1 (32-1). С. 126–132.
9. Зверев Ю.М., Баторшина И.А., Мегем М.Е. Научно-технологическое развитие Литвы и перспективы сотрудничества в инновационной сфере между Литвой и Российской Федерацией // Балтийский регион. 2011. Вып. 2(8). С. 55–63.
10. Амосова Е.В., Виленский М.Ю., Западноевропейский опыт формирования центров деловой активности // Творчество и современность. 2017. № 3(4). С. 46–51.
11. «Конкуренция в цифровую эпоху: стратегические вызовы для Российской Федерации» // Доклад о развитии цифровой экономики в России [Электронный ресурс] // Всемирный банк. 2018. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/848071539115489168/pdf/AUS0000158-RUSSIAN-WP-REVISED-P160805-PUBLIC-Disclosed-10-15-2018.pdf> (19.03.19)
12. Максимчук О.В. Концепт «умный регион» как образ будущего регионов России // Российская экономика в условиях новых вызовов современной эпохи: материалы Всероссийской научнопрактической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения М. А. Валюгина – первого декана экономического факультета Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева. 2017. С. 18–25.
13. Методические рекомендации по подготовке регионального проекта «Умные города» программ цифрового развития экономики субъекта Российской Федерации. Москва: Минстрой. 2018. 28с.
14. Куприяновский В.П., Карасев О.И., Намиот Д.Е., Уткин Н.А., Ярцев Д.И. Стандарты для создания дорожных карт умных городов на примере BSI // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. No. 8.
15. Смотрицкая И.И., Черных С.И. Современные тенденции цифровой трансформации государственного управления // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2018. №5. С. 22–36.
16. Chuang S.H., Lin H.N. Performance implications of information-value offering in e-service systems: Examining the resource-based perspective and innovation strategy // The Journal of Strategic Information Systems. 2017. 26 (1). Pp. 22–38.
17. Barrett M. et al. Service innovation in the digital age: key contributions and future directions // MIS quarterly. 39(1). 2015. Pp. 135–154.
18. Бурак Е.Э., Воробьева Ю.А., Егорова С.П. Анализ соответствия проектов планировки застроенных территорий градостроительным регламентам // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 1(4). С. 72–78.
19. Кононова М.С. Варианты размещения нормируемого количества парковочных мест при проектировании жилой застройки // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 1-2(1). С. 42–47.
20. Смольянинов В.В., Сазонов Э.В., Гундарева А.О. Концептуальные основы пространственного развития Воронежской городской агломерации // Градостроительство. 2014. № 5(33). С. 65–72.
21. Kenneally Jim, Prendergast David, Maccani Giovanni, Donnellan Brian, Helfert, Markus. Sustainable Connected Cities: Vision and Blueprint towards Managing IT for City Prosperity and Sustainability // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 447. Pp. 88–98. DOI: 10.1007/978-3-319-13936-4\_8
22. Князева В.А., Титова В.Н. Развитие концепции "умный город" в условиях цифровой экономики // Менеджмент современных технологий в интегрированных структурах: материалы XIV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 292–297.
23. Воробьева Ю.А., Лопатина Е.С. Применение информационных систем при эксплуатации жилищного фонда Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6. № 6 (42). С. 66–68.

## Информация об авторах

**Воробьева Юлия Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

**Щукина Татьяна Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: schukina.niki@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

**Кармазин Юрий Иванович**, доктор архитектуры, профессор кафедры теории и практики архитектурного проектирования, E-mail: cccp38@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

**Ходунов Антон Михайлович**, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: u00715@ygasu.vrn.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84.

Поступила в мае 2019 г.

© Воробьева Ю.А., Щукина Т.В., Кармазин Ю.И., Ходунов А. М., 2019

*<sup>1,\*</sup>Vorobyeva Yu.A., <sup>1</sup>Shchukina T.V., <sup>1</sup>Karmazin Yu.I., <sup>1</sup>Hodunov A.M.*

*<sup>1</sup> Voronezh State Technical University*

*Russia, 394000, Voronezh Region, Voronezh, st. 20 years of October, 84*

*\* E-mail: cccp38@yandex.ru*

## URBAN DEVELOPMENT CONCEPT OF CREATING AN INNOVATIVE CENTER IN THE VORONEZH AREA BASED ON THE PRINCIPLES OF "SMART CITY"

**Abstract.** *The article raises the urgent question of the organization and development of innovation centers in the subjects of the Russian Federation. Recently, a reduction in the share of industrial production and the emergence of an innovation infrastructure is characteristic of Russian cities, and has become a major component of the development of the economy of changing regions. Voronezh region is also the technologically developing territory. Like other Russian regions, Voronezh is interested in improving the speed, quality and coverage of service provision, in increasing the rate of change in service delivery processes, and in reducing public expenditures. The creation and development of an innovation cluster in the region can become a growth point for the economy of the Voronezh region. The article substantiates and describes the need for the creation and design concept of an innovation center in the Voronezh region. The results of the analysis of the introduction of innovative technologies and technologies of the "smart city" in various regions of Russia are presented. The main directions in creating an innovation center in the Voronezh region are highlighted. The necessary measures for inclusion in the project on digitalization of urban sectors of the new technological territory are considered. The work provides a comprehensive planning of development and use of the territory in accordance with the concept of "smart city". The expected effects and results from the placement and development of the innovation center in the region are given.*

**Keywords:** *innovative economy, concept of "smart city", "smart region", technopark, technopolis, innovation center.*

## REFERENCES

1. Inshakova E.I. The development of Russian nanoindustry: clustering in the context of regional clever specialization [Razvitiye rossiyskoy nanoindustrii: klasterizatsiya v kontekste umnoy spetsializatsii regionov]. Innovative economy: prospects for development and improvement. 2017. No. 7 (25). Pp. 56–61. (rus)
2. Kuleshov G.I. Technopolises in the system of spatial organization of research and innovation [Ekhnopolisy v sisteme territorial'no-prostranstvennoy organizatsii nauchno-innovatsionnoy

deyatelnosti]. Urban planning. 2015. No. 3 (37). Pp. 20–35. (rus)

3. Kuleshov G.I. Territorial-spatial aspects of the organization of research and innovation activities in the United States [Territorial'no-prostranstvennyye aspekty organizatsii nauchno-innovatsionnoy deyatelnosti v SSHA]. Urban Planning. 2018. No. 4 (56). Pp. 57–63. (rus)

4. Kuleshov G.I. Urban conditions and functional parameters of the formation of cities - innovation centers [Gradostroitel'nyye usloviya i funktsion-

al'nyye parametry formirovaniya gorodov – innovatsionnykh tsentrov]. Municipal economy. 2015. No. 3 (63), EMC Portal, Pp. 89–94. (rus)

5. Herzberg L.Ya. Urban planning for the innovative development of the economy is the most important task of the technological platform “Construction and Architecture” [Gradostroitel'noye obespecheniye innovatsionnogo razvitiya ekonomiki – vazhneyshaya zadacha tekhnologicheskoy platformy «Stroitel'stvo i arkhitektura»]. Academia. Architecture and construction. 2016. No. 2. Pp. 58–64. (rus)

6. Belova A.V., Levchenkov A.V. Innovation centers as growth points for small cities and rural areas [Innovatsionnyye tsentry kak tochi rosta dlya mal'nykh gorodov i sel'skoy mestnosti]. Baltic region. 2012. No. 3 (13). Pp. 116–127. (rus)

7. Sergeev KI, Kuleshova G.I. Territorial-town planning aspects of the organization of technopark structures [Territorial'no-gradostroitel'nyye aspekty organizatsii tekhnoparkovykh struktur]. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2007. T. 77. No. 12. Pp. 1100–1106. (rus)

8. Solodilov M.V. Socio-urban planning transformation of employment of the population of large post-industrial [otsial'no-gradostroitel'nyye transformatsii zanyatosti naseleniya krupnykh postindustrial'nykh gorodov]. Vector science of Togliatti State University. 2015. No. 2-1 (32-1). Pp. 126–132. (rus)

9. Zverev Yu.M., Batorshina I.A., Megem M.E. Scientific and technological development of Lithuania and the prospects for cooperation in the innovation sphere between Lithuania and the Russian Federation [Nauchno-tekhnologicheskoye razvitiye Litvy i perspektivy sotrudnichestva v innovatsionnoy sfere mezhdru Litvoy i Rossiyskoy Federatsiyey]. Baltic region. 2011. Vol. 2 (8). Pp. 55–63. (rus)

10. Amosova EV, Vilensky M.Yu., Western European experience in the formation of business activity centers [Zapadnoyevropeyskiy opyt formirovaniya tsentrov delovoy aktivnosti]. Creativity and Modernity. 2017. No. 3 (4). Pp. 46–51. (rus)

11. “Competition in the digital era: strategic challenges for the Russian Federation” [Konkurentsiya v tsifrovuyu epokhu: strategicheskiye vyzovy dlya Rossiyskoy Federatsii]. Report on the development of the digital economy in Russia. World Bank. 2018. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/848071539115489168/pdf/AUS0000158-RUSSIAN-WP-REVISED-P160805-PUBLIC-Disclosed-10-15-2018.pdf> (03/19/19) (rus)

12. Maksimchuk O.V. The concept of “smart region” as an image of the future of Russian regions [Kontsept «umnyy region» kak obraz budushchego regionov Rossii]. Russian economy in the context of new challenges of the modern era: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of M.A. Valiugin - the first dean of the economic faculty of

the National Research Mordovia State University. N.P. Ogareva. 2017. Pp. 18–25. (rus)

13. Guidelines for the preparation of a regional project “Smart Cities” of digital development programs for the economy of a constituent entity of the Russian Federation [Metodicheskiye rekomendatsii po podgotovke regional'nogo proyekta «Umnyye goroda» programm tsifrovogo razvitiya ekonomiki sub'yekta Rossiyskoy Federatsii]. Moscow: Minstroy. 2018. 28 p. (rus)

14. Kupriyanovskiy V.P., Karasev O.I., Namiot D.E., Utkin N.A., Yartsev D.I. Standards for creating smart city road maps on the example of BSI [Standarty dlya sozdaniya dorozhnykh kart umnykh gorodov na primere BSI]. International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. No. 8. (rus)

15. Smotritskaya I.I., Chernykh S.I. Modern trends of digital transformation of public administration [Sovremennyye tendentsii tsifrovoy transformatsii gosudarstvennogo upravleniya]. Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2018. No. 5. Pp. 22–36. (rus)

16. Chuang S.H., Lin H.N. Performance Implications of Information-Value-for-Evaluation Services: Examining the Resource-Based Innovation and Innovation Strategies. The Journal of Strategic Information Systems. 2017. 26 (1). Pp. 22–38.

17. Barrett M. et al. Service innovation in the digital age: key directions and future directions. MIS quarterly. 2015. 39 (1). Pp. 135–154

18. Burak E.E. Vorobieva Yu.A., Egorova S.P. Analysis of the compliance of planning projects of built-up areas with city-planning regulations [Analiz sootvetstviya proyektov planirovki zastroyennykh territoriy gradostroitel'nym reglamentam]. Housing and Communal Infrastructure. 2018. No. 1 (4). Pp. 72–78. (rus)

19. Kononova M.S. Variants of placement of the standardized number of parking spaces in the design of residential buildings [Varianty razmeshcheniya normiruyemogo kolichestva parkovochnykh mest pri proyektirovanii zhiloy zastroyki]. Housing and communal infrastructure. 2017. No. 1-2 (1). Pp. 42–47. (rus)

20. Smolyaninov V.V., Sazonov E.V., Gundareva A.O. Conceptual foundations of the spatial development of the Voronezh urban agglomeration [Kontseptual'nyye osnovy prostranstvennogo razvitiya Voronezhskoy gorodskoy aglomeratsii]. Urban planning. 2014. № 5 (33). Pp. 65–72. (rus)

21. Kenneally Jim, Prendergast David, Maccani Giovanni, Donnellan Brian, Helfert, Markus. Sustainable Connected Cities: Vision and Blueprint for Prosperity and Sustainability. Prosperity and Sustainability. Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 447. Pp. 88–98. DOI: 10.1007/978-3-319-13936-4\_8

22. Knyazeva V.A., Titova V.N. Development of the concept of "smart city" in the digital economy [Razvitiye kontseptsii "umnyy gorod" v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki]. Management of modern technologies in integrated structures: materials of the XIV International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 292–297. (rus)

23. Vorobieva Yu.A., Lopatina E.S. The use of information systems in the operation of the housing stock [Primeneniye informatsionnykh sistem pri ekspluatatsii zhilishchnogo fonda]. Actual areas of research of the XXI century: theory and practice. 2018. Vol. 6. No. 6 (42). Pp. 66–68. (rus)

*Information about the authors*

**Vorobeva, Yuliya A.** PhD, Associate Professor. E-mail: [cccp38@yandex.ru](mailto:cccp38@yandex.ru). Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, ul. 20 years of October, 84.

**Shchukina, Tatyana V.** PhD, Associate Professor. E-mail: [schukina.niki@yandex.ru](mailto:schukina.niki@yandex.ru) Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, ul. 20 years of October, 84.

**Karmazin, Yuri I.** DSc, Professor. E-mail: [cccp38@yandex.ru](mailto:cccp38@yandex.ru). Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, ul. 20 years of October, 84.

**Hodunov, Anton M.** Senior teacher. E-mail: [u00715@vgasu.vrn.ru](mailto:u00715@vgasu.vrn.ru). Voronezh State Technical University. Russia, 394000, Voronezh, ul. 20 years of October, 84.

---

*Received in May 2019*

**Для цитирования:**

Воробьева Ю.А., Щукина Т.В., Кармазин Ю.И., Ходунов А.М. Градостроительная концепция создания инновационного центра в Воронежской области с учетом принципов «умного города» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 49–56. DOI: [10.34031/article\\_5d495b588ca947.56019464](https://doi.org/10.34031/article_5d495b588ca947.56019464)

**For citation:**

Vorobyeva Yu.A., Shchukina T.V., Karmazin Yu.I., Hodunov A.M. Urban development concept of creating an innovative center in the Voronezh area based on the principles of «smart city». Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 49–56. DOI: [10.34031/article\\_5d495b588ca947.56019464](https://doi.org/10.34031/article_5d495b588ca947.56019464)



DOI: 10.34031/article\_5d495e26aa0d32.51936754

<sup>1,\*</sup>Костина Е.К., <sup>1</sup>Попов А.Д.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: Elizaveta.K.K@mail.ru

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭСТЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

**Аннотация.** В процессе проектирования дизайнер создаёт проект, прообраз планируемого объекта. Дизайн – творческий процесс. Эстетика является одним из наиболее интересных принципов дизайна и играет значимую роль, она определяет суть, содержимое. Это, своего рода, наука о прекрасном в технике. В процессе проектирования с целью повышения эстетической ценности, главным образом, нужно понять, что красота не только универсальна и объективна, она ещё имеет и субъективную сторону. Культурное происхождение потребителя, его образование, среда жизни, могут оказать влияние на его эстетические оценки. Дизайнер должен учитывать этот фактор. Потребитель первым делом смотрит на визуальную картинку, «обёртку» товара, считая, что хорошо выглядящий предмет более качественный и ценный. Однако, эстетический дизайн состоит из большего количества элементов, чем просто внешний вид. Очень большое значение занимает функциональность. Эстетика в настоящее время изучена не до конца. Дизайнеры, в большинстве случаев, используют эстетические принципы интуитивно, основываясь на собственных чувствах. В данной статье мы хотим выделить существующие эстетические принципы и показать их влияние на процесс проектирования.

**Ключевые слова:** эстетика, функциональность, форма, формообразование, эстетические принципы, проектирование.

**Введение.** На заре становления дизайна пользовалось популярностью мнение «полезное должно быть прекрасным», которое, в последствии, приняло вид утверждения: «прекрасное и есть полезное». Дизайн создаётся человеком для человека и должен быть практичен и высокообразован. Объектами дизайнерского проектирования являются не изделия, а потребности и наличие спроса [1]. Любой проект создаётся тогда, когда в нём есть нужда. Для достижения поставленной задачи, и создания того или иного предмета, учитываются различные внешние и внутренние факторы, а эстетика – способствует их объединению в единое целое.

В девятнадцатом веке были заложены основы методологического подхода к связи эстетического и утилитарного через выявление характера общественно-практической деятельности человека [2]. Эстетическая деятельность взаимодействовала с трудом, а также оказывала влияние на общественное производство, влияла не только на природу, но и на общественную жизнь человека. Человек не просто преобразовывает и совершенствует природу, он приспособливает её к своим потребностям.

**Основная часть.** С древнейших времён при изготовлении различного рода предметов использовались определённые принципы и приёмы формообразования. Поиск формы осуществлялся инстинктивно, а изменения вносились уже в ходе использования предмета. Современный дизайнер и сейчас не всегда задумывается, по какой при-

чине он делает предмет именно таким, что его подвигло к созданию той или иной формы. Для раскрытия темы «Методика проектирования на основе принципов эстетического формообразования» нужно начать с рассмотрения понятий эстетика, форма и формообразование.

Термин эстетика происходит от греческого «*aisthetikos*» – имеющий отношение к чувственному восприятию. Эстетика – это наука, изучающая природу, основные законы развития и функционирования эстетического в природе, обществе, в материальном и духовном производстве, в образе жизни, общении людей, формы эстетического сознания (чувство, восприятие, потребность, вкусы, оценки, идеалы, категории), основные закономерности возникновения, развития и места в жизни общества искусства как высшей формы проявления эстетического [3].

Концепция эстетики в дизайне связана с красивой формой изделия, модной для данного времени цветовой гаммой и текстурой поверхности. Взаимодействие человека с продуктом дизайна приводит к процессу влияния потребителя на предмет и наоборот. Эстетика должна охватывать это взаимодействие [4]. Существует четыре категории, которые могут повлиять на эстетику проекта, то благодаря чему человек может воспринимать проект. 1. Зрение. Это чувство доминанта в процессе оценки. Если вещь красива, то человек будет на неё смотреть, ему будет интересно. Визуальная эстетика включает в себя: цвет, форму, текстуру, баланс. Правильное ис-



пользование этих элементов может помочь в достижении визуальной эстетичности. 2. Слух. Способность слышать помогает оценить эстетику звука, это может быть работа двигателя или какой-либо техники. Звуковая эстетика включает в себя: громкость, ритм, мелодию, шум, высоту звука. 3. Кожа. Это самый большой орган человека. Кожа помогает испытывать эстетику материала. Текстура, форма, вес, комфорт, температура – это ключевые элементы эстетики материала. 4. Вкус и запах. Эти чувства больше относятся к эстетике в пищевой промышленности. Ключевые элементы: сладость, кислота, вкусовая текстура. Все эти чувства помогают человеку в процессе эстетического восприятия предметов. [5]. В современном мире человеку недостаточно того, что вещь будет удобной, люди хотят, чтобы используемые продукты вызвали положительные эмоции. Эстетичный дизайн играет решающую роль в удовлетворении этих потребностей. Красивые объекты воспринимаются человеком как более ценные и простые в использовании, чем некрасивые. Даже если на самом деле это не так. Это явление называется – эстетичность и удобство использования. Особо наглядно его можно наблюдать при сравнении объектов с одинаковой функциональностью и простотой в использовании. Тот объект, который будет внешне более эстетичен и привлекателен, понравится пользователю больше. Эстетически приятный дизайн делает людей более лояльными и терпимыми к огрехам бренда.

Форма – это слово латинского происхождения, обозначающее наружный вид, внешнее очертание какого-либо предмета, его объёмно-пространственную структуру. Внешний вид предмета и его качественные характеристики несут в себе форма, размер, цвет, и фактура. Форму имеет любой предмет, будь то камень или станок, однако станок создаётся целенаправленно и осмысленно, и в этом случае мы можем говорить о его композиции. Композиция – это организованная форма учитывающая технологические, функционально-конструктивные факторы, а также закономерности, продиктованные требованиями гармонизации формы [6]. Важными критериям при создании любого объекта является его эффективность и нужность для потребителя, а также соответствие эстетическим требованиям. Разработка формы главным образом представляет собой поиск и установление основных качеств и свойств в объекте. Форму нужно рассматривать в неразрывной связи с содержанием. Даже более того, содержание (сущность объекта) доминирует над формой (внешним видом). Изучением вопроса связи формы и содержания занима-

лись уже в античные времена. Аристотель считал, что каждая вещь является единством материи и формы [7]. В двадцатом веке постулатом архитектуры стало выражение американского архитектора Луиса Салливана «форма следует за функцией», согласно этой мысли, назначение здания является основным фактором, который определяет его дизайн [8]. В настоящее время, в процессе проектирования, дизайнеры стараются привязывать формы к конкретной ситуации, будь то вписанные в среду здания, или организация функционального пространства кухни, или создание рекламного объекта, везде прослеживается рационализм. Всё должно быть понятно потребителю. Дизайнер не должен допускать создания «искусственных» и выдуманных форм, объектов, чуждых окружающей среде и оторванных от жизненной реальности.

При создании чего-то нового нужно учитывать три жизненно важные аспекта дизайна. Это – функциональность, эстетика и опыт. Функциональность – это главная цель, то для чего создаётся продукт. Эстетическое качество продукта дизайнерской деятельности является неотъемлемой частью его полезности. Только качественно выполненные предметы могут быть красивы. Опыт – это знания, накопленные предшественниками в той или иной области. Нельзя создать что-то новое, несмотря на то, что создавалось ранее. Все три аспекта дополняют друг друга и в идеале они должны быть согласованы друг с другом.

Формообразование – является одной из важнейших стадий дизайнерского творчества и представляет собой действия, совершаемые дизайнерами и архитекторами, в ходе которых по определённым эстетическим стандартам, обращая внимание на культурные установки, создаётся форма. В процессе формообразования закрепляются как образные решения, так и функциональные характеристики объектов проектирования. Формообразование – это процесс, зависящий и подчинённый назначению, комфортности, эстетичности и целесообразности. А в дизайне процесс формообразование носит главным образом эстетический характер. Поэтому принято выделять четыре фундаментальных, неизменных и универсальных эстетических принципа формообразования (рис. 1) [9].

**1. Принцип эстетической целостности** (рис. 2). В соответствии с этим принципом любая деталь, составляющая нечто целое, должна подчиняться общему содержанию и отражать в себе это целое. Целое является главным и должно быть понятно раньше, чем его части. При этом абсолютно каждая часть должна быть индивидуальна и самодостаточна сама по себе. Для того

что бы достичь общей целостности, нужно акцентировать своё внимание на доминанте – духовном, смысловом центре. Эстетической доминантой может служить идея, или образ, или другая

важная составляющая. Для достижения целостности объекта проектирования дизайнеру нужно суммировать форму, трансформировать и стилизовать её, обращая внимание на эстетические тенденции характерные времени.

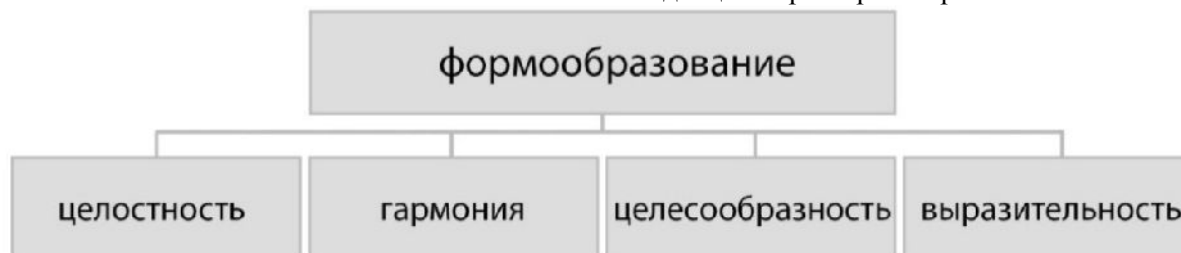


Рис. 1. Эстетические принципы формообразования.



Рис. 2. Музей Соломона Гуггенхайма, Нью-Йорк

**2. Принцип эстетической гармонизации** (рис. 3) Гармония – является одной из основных категорий эстетики. Гармонизация в дизайне – это связь отдельных частей, формальных элементов, это соподчинение смысла и формы, внутреннего и внешнего. Гармонизация находится в подчинении общекультурных понятий и ценностей. Она наделяет изделие признаками, которые отвечают мере, пропорциональности, симметрии. Изделие становится частью мира и окружающей среды, гармонично вписывается в действительность.



Рис. 3. Дом над водопадом, архитектор Ф.Л. Райт

**3. Принцип эстетической целесообразности** (рис. 4) Вся деятельность человека целесообразна. Каждый компонент целого, как и само целое, должен быть всегда оправдан какой-либо целью, должен иметь назначение. Когда человек начинает какое-то дело, он изначально представляет себе конечную цель, результат к которому идёт. Поэтому в самом начале, при зарождении идеи, человек рассматривает предстоящую деятельность с точки зрения целесообразности. Однако если подчиниться лишь целесообразности, формообразование лишается своей креативной стороны, становится предсказуемым и банальным. Полезное не должно исключать красоты и совершенства, это необходимые условия эстетической целесообразности. Мировое наследие свидетельствует, что большое количество прекрасных изделий было создано по принципу эстетической целесообразности, то есть предметы, наделённые полезными свойствами, были ещё и красивы, доставляли человеку своим внешним видом эстетическое удовольствие, обращались к внутреннему миру потребителя, расширяя свои грани узко-утилитарного назначения [10].



Рис. 4. Венский стул, Михаэль Тонет

**4. Принцип эстетической выразительности** (рис. 5). Выразительность в дизайне связана с чувствами и эмоциями человека, с формирующимися на основе культурных традиций стереотипами. Выразительность формы вызывает в человеческом сознании некие чувства, символы, образы. Отсутствие чувств и эмоций к форме свидетельствует о невыразительности этой формы. Выразительность не относится к качествам пред-

мета. Она определяется не объективными, а субъективными причинами. Для производителя важной задачей становится – вызвать у потребителя определённые эмоции. Существует набор выразительных средств, который дизайнер использует для достижения этой цели – это фактура, пластика, цвет, тектоника. Принцип эстетической выразительности – это выражение гармонии и целостности.



Рис. 5. Свадебная часовня Ribbon Chapel (часовня-«лента») Хиросиме, Хироси Накамура

**Заключение.** В своих работах нынешние специалисты нередко используют образы в качестве прототипа и к ним привязывают форму. Зная принципы формообразования, и используя их в своей практике, проектировщики, производители, дизайнеры и архитекторы могут в разы улучшить свою работу, мысленно пересмотреть, переосмыслить форму, поскольку именно форма является первичным и основополагающим фактором восприятия вещи в целом. Форма – начальный этап в освоении и узнавании объекта, только после восприятия формы потребитель обращает внимание на цвет, фактуру и прочие качества объекта. Если цвет в культурах разных народов может иметь совершенно различный смысл, то форма несёт в себе конкретную эмоцию. Важным аспектом в процессе проектирования являются принципы и законы формообразования, поэтому нужно учиться грамотно их использовать.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рунге В.Ф., Сеньковский В.В. Основы теории методологии дизайна. М.: Изд-во МЗ-Пресс, 2003. 253 с.
2. Эстетическая организация формы в дизайне архитектурной среды [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arhplan.ru/buildings/objects/aesthetic-forms-organization-in-design> (дата обращения: 25.02.2019)
3. Апресян Г.З. Краткий словарь по эстетике. М.: Изд-во Политиздат, 1963. 543 с.
4. Ross P.R., Wensveen S.A.G. Designing aesthetics of behavior in interaction: Using aesthetic experience as a mechanism for design // International Journal of Design. 2010. Vol. 4. Pp. 3–13.
5. Nikolov A. Design principle: Aesthetics. The power of beauty in design. [Электронный ресурс] URL: <https://uxdesign.cc/design-principle-aesthetics-af926f8f86fe> (дата обращения: 28.03.2019)
6. Сомов Ю.С. Композиция в технике; 3-е изд. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
7. Лугина Я.А. Изучение студентами-дизайнерами основ формообразования в рамках дисциплины «академический рисунок» // Омский научный вестник 2013. № 1 (115). С. 170–173.
8. Энтик Д., Бич Н., Коллетти М., Денисон Э. Архитектура за 30 секунд. М.: Изд-во Рипол-Классик, 2013. 160 с.
9. Мартынов Ф.Т. Основные законы и принципы эстетического формообразования и их проявление в архитектуре и дизайне. Екатеринбург: Изд-во УралАрХИ, 1992. 108 с.
10. Глебова Е.А. Принципы эстетического формообразования (по работам Ф.Т. Мартынова). 2007. 6 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://taby27.ru/studentam\\_aspirantam/philos\\_design/referaty\\_philos\\_disain/524/283.html](http://taby27.ru/studentam_aspirantam/philos_design/referaty_philos_disain/524/283.html) (дата обращения: 07.03.2019)

## Информация об авторах

**Костина Елизавета Константиновна**, магистрант кафедры дизайна архитектурной среды.  
E-mail: Elizaveta.K.K@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Попов Александр Дмитриевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры дизайна архитектурной среды.  
E-mail: design\_bstu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Костина Е.К., Попов А.Д., 2019

<sup>1,\*</sup>**Kostina E.K., <sup>1</sup>Popov A.D.**

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

\*E-mail: Elizaveta.K.K@mail.ru

## DESIGN TECHNIQUE BASED ON AESTHETIC PRINCIPLES OF FORMATION

**Annotation.** In the design process, the designer creates a project, a prototype of the planned object. Design is a creative process. Aesthetics is one of the most interesting principles of design and plays a significant role, it defines the essence, the content. This is a kind of science of beauty in technology. In the process of designing in order to increase aesthetic value, it is necessary to understand that beauty is not only universal and objective; it also has a subjective side. The cultural background of the consumer, his education and living environment may influence aesthetic values. The designer should take this factor into account. First of all the consumer looks at the visual image, the "wrapper" of the product, considering that a good-looking object is better and more valuable. However, aesthetic design consists of more elements than just appearance. The functionality is important. Aesthetics is currently not fully understood. Designers use aesthetic principles intuitively based on their own feelings. This article highlights the existing aesthetic principles and shows their influence on the design process.

**Keywords:** aesthetics, functionality, form, shaping, aesthetic principles, design.

## REFERENCES

1. Runge V.F., Senkovsky V.V. Fundamentals of the Theory of Design Methodology. [Osnovy teorii metodologii dizajna]. M.: MH-Press, 2003. 253 p. (rus)
2. The aesthetic organization of the form in the design of the architectural environment. [Esteticheskaya organizatsiya formy v dizajne arhitekturnoj sredy]. Available at: <http://www.arhplan.ru/buildings/objects/aesthetic-forms-organization-in-design> (accessed: 02.25.2019) (rus)
3. Apresyan G.Z. A concise aesthetic dictionary. [Kratkij slovar' po estetike]. M.: Politizdat, 1963. 543 p. (rus)
4. Ross P. R., Wensveen S.A.G. Designing aesthetics of behavior in interaction: Using aesthetic experience as a mechanism for design. International Journal of Design. 2010. Vol. 4. Pp. 3–13.
5. Nikolov A. Design principle: Aesthetics. The power of beauty in design. Available at: <https://uxdesign.cc/design-principle-aesthetics-af926f8f86fe> (accessed: 28.03.2019)
6. Somov Yu.S. Composition in engineering. [Kompozitsiya v tekhnike]. 3rd ed. M.: Engineering, 1987. 288 p. (rus)
7. Lugina Ya.A. Studying by students-designers of the basics of shaping within the framework of the discipline "academic drawing". [Izuchenie studentami-dizajnerami osnov formoobrazovaniya v ramkah discipliny «akademicheskij risunok»]. Omsk Scientific Herald. 2013. No. 1 (115). Pp. 170–173. (rus)
8. Entik D., Beach N., Colletti M., Denison E. Architecture in 30 seconds. [Arhitektura za 30 sekund]. M.: Ripol-Classic, 2013. 160 p. (rus)
9. Martynov, F. T. Basic laws and principles of aesthetic shaping and their manifestation in architecture and design: studies. [Osnovnye zakony i principy esteticheskogo formoobrazovaniya i ih proyavlenie v arhitekture i dizajne]. Ekaterinburg: UralArHI, 1992. 108 p. (rus)
10. Glebova E.A. Principles of aesthetic shaping (according to the works of F. Martynov). [Principy esteticheskogo formoobrazovaniya (po rabotam F.T. Martynova)]. 2007, 6 p. Available at: [http://taby27.ru/studentam\\_aspirantam/philos\\_design/referaty\\_philos\\_design/524/283.html](http://taby27.ru/studentam_aspirantam/philos_design/referaty_philos_design/524/283.html) (accessed: 07.03.2019)(rus)

*Information about the authors*

**Kostina, Elizaveta K.** Master student. E-mail: Elizaveta.K.K@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Popov, Alexander D.** PhD, Assistant professor. E-mail: design bstu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in April 2019*

**Для цитирования:**

Костина Е.К., Попов А.Д. Методика проектирования на основе эстетических принципов формообразования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 57–62. DOI: 10.34031/article\_5d495e26aa0d32.51936754

**For citation:**

Kostina E.K., Popov A.D. Design technique based on aesthetic principles of formation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 57–62. DOI: 10.34031/article\_5d495e26aa0d32.51936754

DOI: 10.34031/article\_5d4961131d20d6.18825124

<sup>1,\*</sup>Абуали А.М.А., <sup>1</sup>Перькова М.В.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: aaljalj6@gmail.com

## СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАНОВ И ПРОГРАММ ДЛЯ ИРАКА

**Аннотация.** Взаимодействие архитектурно-градостроительной деятельности и природной среды проявляется на всех иерархических уровнях и нуждается в предвидении его результатов. Роль стратегической экологической оценки при этом велика, тесно связана с концепцией устойчивости, поскольку она является инструментом, выявляющим воздействие реализуемых на территории планов и программ на окружающую среду. Исследование посвящено изучению роли стратегической экологической оценки в достижении устойчивости планов и программ на примере ряда стран и Ближнего Востока. Стратегическая экологическая оценка представляет собой комплексный процесс оценки воздействия планов и программ на окружающую среду. Выявлено, что предыдущие исследования показали эффективность использования методов стратегической экологической оценки в содействии всестороннему развитию территории, возможность общественности участвовать в оценке экологических и социальных аспектов политики, планов и программ. Цель стратегической экологической оценки состоит в том, чтобы устранить диспропорции развития территорий. Проведено сравнение стратегической экологической оценки (СЭО) и оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Затронуты проблемы стратегического экологического планирования в Ираке. Установлено, что в Ираке стратегическая экологическая оценка является относительно новым явлением. Ожидается, что ее применение в стратегическом планировании территории будет способствовать повышению устойчивости развития как страны в том, так и ее провинций, а также обеспечит участие общественности в этом процессе.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, стратегическая экологическая оценка (СЭО), окружающая среда, архитектурно-градостроительная деятельность.

**Введение.** Многие виды деятельности человека связаны с непосредственным вторжением в окружающую среду, нарушением и преобразованием структуры ландшафтов, изменением процессов, протекающих в них. К таким видам деятельности относятся архитектура и градостроительство [1]. Взаимодействие архитектурно-градостроительной деятельности и природной среды проявляется на всех иерархических уровнях и нуждается в предвидении его результатов. Однако до сегодняшнего дня еще не произошло осознания в полной мере необратимости преобразования природной среды. Выделяется всего пять основных компонентов ландшафта: земля, воздух, вода, растительность и животный мир, которые исторически расположены именно в этом порядке по силе воздействия друг на друга (Н. А. Солнцев). Таким образом, изменив форму земной поверхности, человек изменяет состояние всех остальных компонентов. На сегодняшний день сложилась ситуация, при которой необходимо не сохранять, а восстанавливать природную среду. В сложившихся современных условиях глобального экологического кризиса региональное территориальное планирование должно основываться, прежде всего, на сохранении и укреплении природного каркаса, преимущенно-

сти развития территории и обеспечивать благоприятную среду жизнедеятельности соответственно особенностям места проживания [2].

В последнее время достаточно остро стоят вопросы экологической устойчивости и более эффективного управления развитием территорий. Новое законодательство стран Ближнего Востока (в частности, Ирака), Организации Объединенных Наций, а также Европейского Союза связано с повышением требований по экологическим вопросам. В Ираке Министерство окружающей среды стремится к созданию областей регионального и международного сотрудничества на основе программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), посредством своего законодательства, программ и директив, влияющих в настоящее время на взаимосвязь между окружающей средой и развитием [3]. Стратегическая экологическая оценка (СЭО) относится к области программы Организации Объединенных Наций, включая Европейский Союз, и является важной попыткой оценить степень воздействия народнохозяйственной деятельности на природный каркас. СЭО оказывает помощь в достижении целей развития территории следующих международных финансовых институтов и организаций сотрудничества, которые



разрабатывали инструменты и требования в целях повышения экологически безопасного кредитования и развития.

1. Агентство помощи окружающей среде в сотрудничестве с нидерландской организацией развития, которое использует стратегический экологический анализ [4], и занимается интеграцией экологических проблем в политику и стратегические планы.

2. Комитет содействия развитию (КСР) [5].

3. Европейская комиссия (ЕК) [6], которая направлена на содействие развитию и структурной перестройке регионов. Включает: оценку существующих экологических ситуаций; определение целей, задач и приоритетов; разработку проектов предложения по развитию и определение альтернатив развития; экологическую оценку проектного предложения; установление экологических показателей, интеграцию результатов оценки в окончательное решение по планам и программам.

4. Министерство иностранных дел и международной торговли Канады предполагает обзор стратегических экологических оценок. При этом каждая страна ответственна за осуществление процесса оценивание по критериям. Включает ретроспективный анализ, который призван помочь сформулировать методологию для оценки периода планирования, формулировку методологии и непосредственно оценка [7].

5. Департамент международного развития Великобритании (DFID). Имеет руководство разработки для регионального развития применительно к сельскохозяйственной реформе, торговой политике или экономической реформе, а также отраслевых инвестиционных программ поддержки (водные ресурсы и управление отходами, туризм, транспортное планирование, энергетический сектор и добыча полезных ископаемых). Региональное стратегическое планирование и политика включает в целом региональные планы по развитию управление, а также прибрежной зоной, промышленной, управление водосбором и т.д. [8].

6. Национальная программа развития ООН (UNDP): экологический обзор программ/проектов включает определение исходных условий для программ/проектов (биофизическая среда, социальная среда, действующие экономические программы, методы управления), интегрированное программирование и руководство по охране окружающей среды (ЭМГ).

7. Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) включает стратегическую комплексную оценку торговой политики, экологический обзор программ/ проектов [4, 9,

10], получение базовой информации об экологических, социальных и экономических аспектах.

8. Агентство развития США (USAID) экологический обзор программ/проектов [11, 12] фокусирует управление территорией от уровня политики развития территории до уровня конкретного проекта и контролирует прогресс, достигнутый на всех уровнях. Требуется, чтобы все стратегические планы представляли собой комплексную деятельность в области устойчивого развития, используя, где это возможно, синергизм. Участвуют партнеры из принимающей страны и США.

9. В Российской Федерации имеется подписанная в 1997 г. Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (Конвенция Эспо) [13] «Комплексной программы социально-экономического развития Новокузнецкого муниципального района» – одна из первых в России СЭО для муниципального уровня. СЭО позволяет выявить значимые экологические проблемы и оценить, насколько оцениваемый стратегический документ влияет на их остроту (решает или усугубляет проблемы). Такой инструмент как СЭО полезен именно на местном уровне.

Таким образом, анализируя прошлый опыт, стратегическая экологическая оценка способствует принятию обоснованные решений по развитию территории, предоставляет экологические, экономические и социальные характеристики территории, повышает уровень экологической оценки проекта, а также способствует защите окружающей среды и устойчивому развитию.

**Основная часть.** Необходимость стратегической экологической оценки планов и программ. Стратегическая экологическая оценка (СЭО) – это оценка и регулирование воздействия деятельности человека на окружающую среду. В Европе появилась на свет в 80-х. СЭО – это попытка включить экологические вопросы в планы и программы развития. По словам Therivel R., Wilson E., Thompson S., Heaney D.P.D. [14], СЭО представляет собой формализованную, систематическую и всеобъемлющую попытку оценки воздействия программ, планов и политики на окружающую среду с письменным докладом, в котором содержатся ссылки на результаты оценки и выводы, касающиеся участия общественности. Несмотря на то, что определение, которое ввел Therival, пользуется большой популярностью у большинства оценщиков, следует отметить, что на сегодняшний день появились новые определения СЭО [15]. Верхим и Тонк [16] определяют СЭО как структуру, процесс ex-ante для расширения роли экологических вопросов в

принятии стратегических решений. Кроме того, СЭО характеризуется как систематическая попытка поддержать решение об оценке возможных важных экологических последствий, которые предлагаются в процессе развития.

Роль СЭО тесно связана с концепцией устойчивого развития [14], поскольку она была признана в качестве механизма эффективного и успешного установления устойчивого развития [17]. Дополнительная ценность СЭО для окружающей среды заключается в том, что она может оценивать экономические и социальные последствия планов и программ с тем, чтобы специальный план или программа стали устойчивыми. Все эти требования СЭО направлены на обеспечение устойчивости планов и программ [18]. Поэтому для применения принципов устойчивого развития экологическая оценка должна быть ориентирована не только на природные факторы, но и распространяться на вопросы социального благополучия и экономического развития [19], то есть всесторонне рассматривать ресурсный потенциал территории.

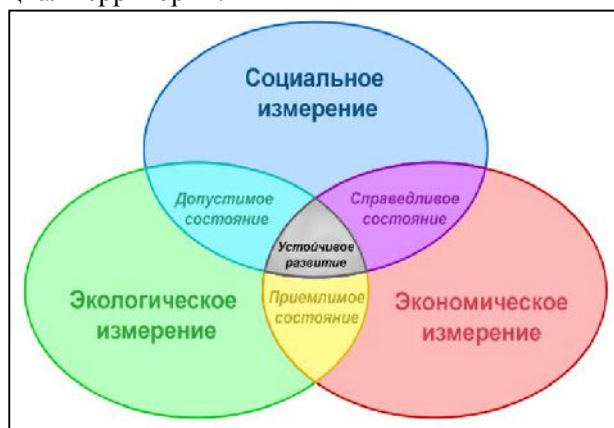


Рис. 1. СЭО как инструмент обеспечения устойчивого развития

СЭО является процедурным инструментом, позволяющим решать неоднозначные нормативные задачи в области устойчивого развития. В соответствии с критериями экологической справедливости "хорошее" СЭО учитывает последствия процесса развития, всегда руководствуясь признанием того факта, что территории "теряют" от распределения экологических выгод и затрат, усугубляют и затягивают экологические проблемы [20].

Преимущества СЭО заключается в обеспечении ответственными органами ответственности за оценку воздействия планов и программ на окружающую среду [21] на различных уровнях иерархии в планировании. Таким образом, СЭО положительно влияет на процесс планирования [21]. СЭО представляет экологические вопросы вовремя, в процессе принятия решений, задолго до принятия решений о масштабе и местоположении. Кроме того, СЭО позволяет директивным

органам определять приоритетность экологических последствий стратегических решений до того, как они станут комплексными проектами. По сравнению с оценкой воздействия на окружающую среду (ОВОС) СЭО может учитывать более широкий спектр альтернатив и переговорных мер. При этом, СЭО может повысить эффективность ОВОС, если она оценивает конкретное предложение по объекту проектирования.

**Сравнение стратегической экологической оценки (СЭО) и оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС)** Важно отметить, что СЭО вводится не для замены или отмены ОВОС, а в дополнение к ОВОС и для поддержки ОВОС. Кроме того, важно подчеркнуть тот факт, что СЭО следует рассматривать не только как решение, которое, как представляется, занимает пустое пространство, оставшееся после ОВОС, но и преодолеть трудности, связанные с применением ОВОС в проектах [22].

СЭО включает предварительные операции, такие как выявление и сопоставление альтернатив, оценки, основанные на технических и общественные известные критерии, отчеты, участие общественности, а также после операций, такие как механизмы управления качеством и последующей оценки [19]. Действие в области развития может быть нацелено на проект, программу, план или политику [3]. До сегодняшнего дня ОВОС использовалась в основном для частных проектов. Тем не менее, программы, планы и политика ОВОС вызывают большой интерес у сообщества и остального мира. Сопоставление в данном исследовании проводится на различных уровнях с целью выявления соответствующих показателей эффективности в каждой оценке (табл. 1) [10].

В приведенной выше таблице (1) показано различие между ОВОС и СЭО с точки зрения уровня принятия решений, характера работы, временных масштабов и ожидаемых результатов и основана на подходе стратегической экологической оценки к достижению устойчивости в планах и программах.

Обратимся также к опыту пространственного планирования в рамках концепции Нового урбанизма [23]. Инструментами территориального планирования в рамках концепции Нового урбанизма являются: формирование проектной команды; проведение семинаров Charrette; вовлечение широкого круга местного сообщества в разработку проекта; комплексная оценка «GreenPrint»; издание Инструкций для власти; публичность (выставки, конференции и СМИ). Проектная команда формируется из представителей местной администрации; разработчиков генерального плана; местных планировщиков;

местных студентов; специалистов по социологии; представителей местных СМИ и местных активистов.

Таблица 1

## Сравнение СЭО и ОВОС

| Элементы оценки                | СЭО                                                                                     | ОВОС                                                                                |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень принятия решения       | План/программа в рамках соответствующей политики                                        | Проект                                                                              |
| Характер действий              | стратегический, концептуальный                                                          | оперативный                                                                         |
| Результаты                     | Общие                                                                                   | Детализированные                                                                    |
| Масштабы воздействия           | макроуровень, кумулятивные неопределенные                                               | микроуровень, локализованные                                                        |
| Шкала времени                  | долгосрочные- среднесрочные                                                             | Среднесрочные/краткосрочные                                                         |
| Основные источники данных проб | стратегии устойчивого развития, отчеты о состоянии окружающей среды, обзоры             | исследования на местности, анализ                                                   |
| Вид данных                     | больше качественные                                                                     | больше количественные                                                               |
| Альтернативы                   | по всему участку, политические, регулятивные, технологические, налоговые, экономические | конкретные места, проектирование, строительство, эксплуатация                       |
| Строгость и анализ             | больше неопределенности                                                                 | больше строгости                                                                    |
| Критерии оценки практика       | Критерии устойчивости (критерии и цели)                                                 | юридические ограничения                                                             |
| Роль практикующего специалиста | посредник для переговоров                                                               | защитник ценностей и норм специалист, использующий ценности заинтересованных сторон |
| Общественное восприятие        | Более нечеткое, отдаленное                                                              | более реагирующее                                                                   |

Термин «design Charrette» означает "интенсивная деятельность в период городского планирования и проектирования". Charrette представляет собой серию встреч, презентаций и семинаров, в ходе которых проектная команда представляет стратегию устойчивого развития поселения, а также получает предложения от всех заинтересованных сторон и местной общественности о путях достижения целей стратегии. Проектная команда эффективно обобщает предложения в план стратегии, который интегрирует мнения и предложения различных групп людей. В начале проекта на обсуждение Charrette представляется концепция общесистемного генерального плана поселения. В связи с этим появляется возможность рассмотреть различные варианты планировки поселения и создать реально осуществимые планы, которые удовлетворят потребности всех сторон. Charrette стал неотъемлемой частью местного и регионального территориального планирования и все шире используется в Европе и Америке.

Charrette (NCI) – программа в Школе планирования, дизайна и строительства в Мичиганском государственном университете (National Charrette Institute at Michigan State University), которая создает возможности для сотрудничества, обучает и поддерживает профессионалов и лиде-

ров сообщества в системе NCI Charrette. Совместное принятие решений, основанное на общих значимых ценностях, создает целостные решения. Работа Национального института Чарретта основана на четырех фундаментальных ценностях:

- 1) целостности процесса, в котором представлены все точки зрения;
- 2) открытости предположений, процессов и данных, повышающей доверие и участие;
- 3) присутствии всех заинтересованных сторон в ключевых точках принятия решений (совместное обучение ведет к новому пониманию и изменениям в восприятии и позициях людей);
- 4) конструировании общего решения в деталях (лучший инструмент для разрешения конфликтов и достижения общего видения) [24]. Для обсуждения конкретных аспектов развития поселения создаются восемь рабочих групп по специальным направлениям для участия в Charrette:

1. Местные планировщики, которые обсуждают существующую практику планирования поселения с учетом градостроительной политики на районных, окружных и федеральном уровнях.

2. Профессионалы-экологи и активисты-защитники, которые обсуждают преимущества экологической стратегии проекта.

3. Советники, которые обсуждают генеральные направления развития региона и нынешний политический климат.

4. Местные инженеры, представители сферы транспорта и дорожного движения, которые обсуждают реальные проблемы транспортной сети, а также пути решения облегчения трафика и уменьшения заторов, приоритеты развития уличной сети и общественного транспорта.

5. Лидеры бизнеса и представители Торгово-промышленной палаты, обсуждают местную экономику и средства поощрения розничной и деловой активности, возможности увеличения рабочих мест.

6. Владельцы местных земельных участков, а также девелоперы, работающие в регионе, обсуждают текущую практику рынка недвижимости региона и планы развития этого рынка.

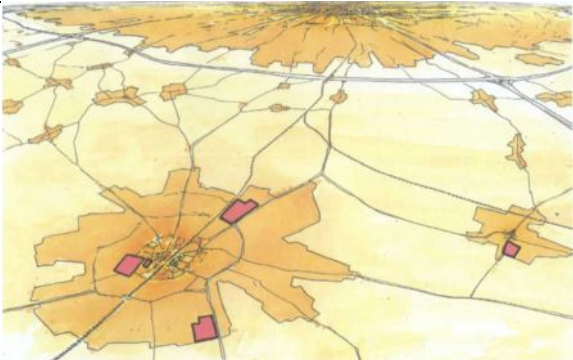
7. Социальные и общественные правозащитники, которые обсуждают потребности местного населения в необходимых ресурсах и эффективные средства обеспечения ресурсами.

8. Местные и региональные профессионалы проектирования, которые обсуждают конкретные варианты проекта генерального плана развития поселения и возможности проектных решений.

Команда Charrette обобщает все предложения в своих материалах и в дальнейшем публикует их в виде руководства. Далее осуществляется процесс оценки проектных решений GreenPrint, предложенный BRE (Building research Establishment) – научно-исследовательским строительным институтом, который используется во время Charrette и помогает проектной команде оценивать и принимать решения, касающиеся вариантов планирования на основе устойчивого развития поселения. Методика оценки проектных решений проста, прозрачна и наглядна. Она также помогает проектной команде аргументировать принимаемые проектные решения и показать властям результаты принимаемых решений и их последствий (табл. 1).

Таблица 1

### Сценарии пространственного развития г. Хартфордшир (вариантное проектирование генерального плана)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>Сценарий №2.</b> Освоение пустырей и автостоянок.</p> <p><i>Недостатки</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слишком мало доступных участков;</li> <li>2. Влечет за собой дополнительные расходы по сносу и очистке участка;</li> <li>3. Редко на оптимальных участках;</li> <li>4. Выводит промышленные и торговые площади, уменьшает количество рабочих мест.</li> </ol> <p><i>Проектное предложение</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1. Повышение плотности застройки и эффективности использования городской земли;</li> <li>• 2. Реструктуризация рабочих мест, уменьшение производственных рабочих мест и возникновение новых торговых мест;</li> <li>• 3. Выход жилья слишком маленький и оно более дорогое. Нет доступного жилья.</li> <li>• 4. Повторное использование инфраструктур и транспортной сети.</li> <li>• Обновление имиджа места.</li> </ul> | <p><b>Сценарий №1.</b> Сохранение существующих тенденций.</p> <p><i>Недостатки</i></p> <p>Дома емкостью меньше, чем требуется;</p> <p>Поэтапное развитие</p> <p>Более дорогое жилье</p> <p>Нескоординированное развитие инфраструктуры</p> <p>Относительно неэффективный процесс</p> <p><i>Проектное предложение</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Жилья получилось крайне мало. Дома емкостью меньше, чем требуется</li> <li>2. Крайне стесненные условия и слишком много различных ограничений;</li> <li>3. Развитие происходит поэтапно.</li> <li>4. Развитие инфраструктур не подается координации.</li> <li>5. Новое строительство редко размещается на оптимальных участках</li> </ol> |

Таким образом, Charrette и GreenPrint позволяет выявить приоритеты развития поселения. Несколько разработанных различных вариантов развития поселения позволяют сопоставить решаемость поставленных задач и потенциально

возможные противоречия градостроительного развития территории и градостроительные конфликты, так как с помощью инструмента «GreenPrint» возможно выявить эффективность



проектных решений, провести оценку достижений или провалов результатов планирования. В результате формируется Руководство по росту поселения – публичный документ, где в доступной форме изложены основные проектные решения, ожидаемые результаты и возможные негативные последствия. Он готовится для местной власти и для публичных слушаний.

В качестве дополнительного инструмента используется также анкетирование. Анкеты для участников слушаний – это инструмент мониторинга общественного мнения местного сообщества поселения о степени публичности местной власти, депутатов и общественных защитников. Работа общественных групп по развитию городской среды и территориальному планированию осуществляется по методологии «Нового урбанизма» [по презентации С.В. Володина «Современные технологии градостроительного планирования на курсах повышения квалификации в НОЦ «Урбанистика», МАРХИ].

Таким образом, динамичное планирование генерального плана Британского института строительных исследований – это подход, который работает с полным пониманием территории и её контекста. Он создает инновационный дизайн и проектные решения, подкрепленные тестами на основе солидного набора целей, поддающихся количественной оценке. Он способствует совместному успешному разрешению типичных конфликтов между разработчиками, заинтересованными сторонами и представителями местного сообщества. В связи с этим ускоряются процессы разработки проекта и последующего согласования. После разработки генеральный план обеспечивает устойчивое развитие, поскольку в его основе лежат новейшие разработки, повышенные требования экологических стандартов для строительной индустрии (рис. 1).

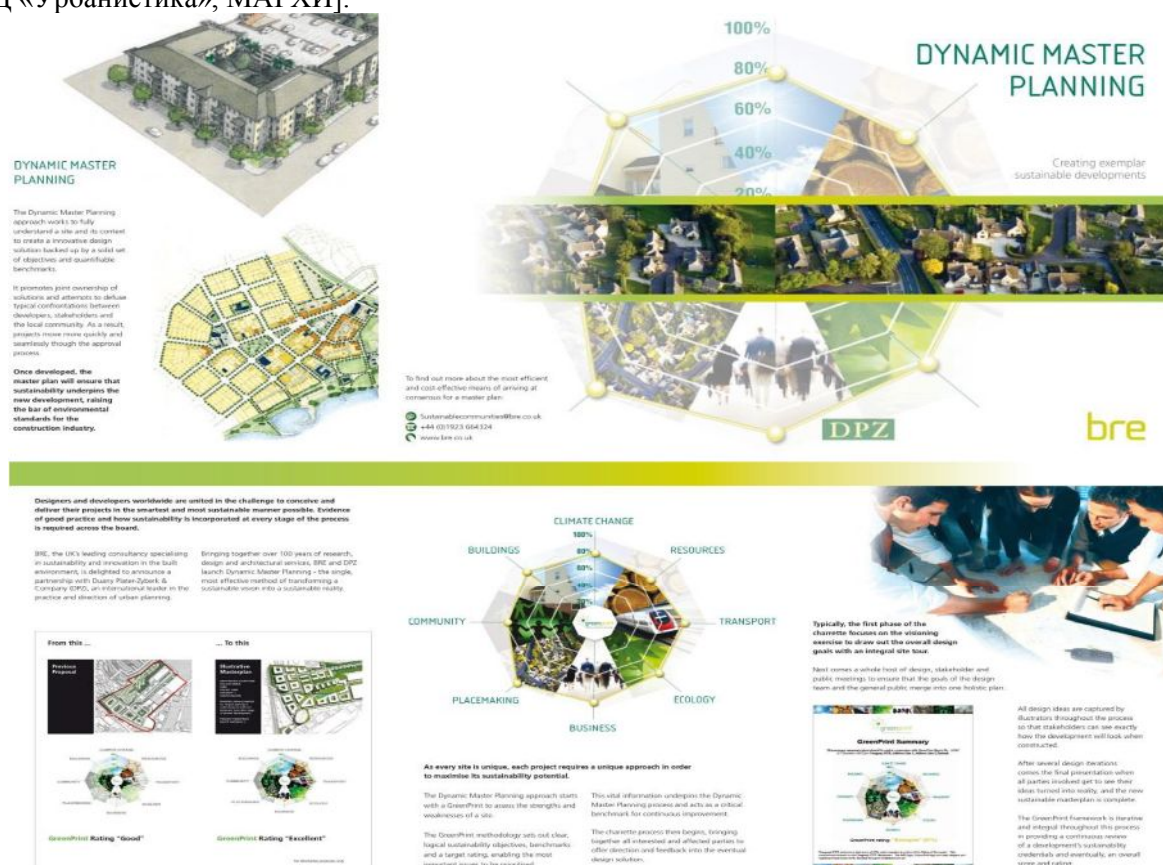


Рис. 1. Динамичное планирование мастер-плана. Британский институт строительных исследований (по презентации С.В. Володина)

Рассмотрим особенности экологической оценки и ее роль в территориально-пространственном планировании в Ираке. До настоящего времени законодательные документы, касающиеся охраны окружающей среды в Ираке, особенно в том, что касается процесса стратегической экологической оценки, по-прежнему не соответствуют современным требованиям. И это требует большого количества поправок, так как

отсутствует закон о необходимости применения стратегической экологической оценки при разработке стратегий, политик, планов и программ развития статьи 8 Закона Об охране и улучшении состояния окружающей среды. 27 начиная с 2009 года, "органы планирования в государстве работают над реализацией соображений охраны окружающей среды и улучшения и контроля за за-

грязнением и рациональным потреблением природных ресурсов и устойчивого развития в планах проектов развития", где он не изложен [25].

Во многих случаях в Ираке методология оценки воздействия на окружающую среду не всегда функционировала удовлетворительно и эффективно. Таким образом, реальное воздействие на окружающую среду не преследовалось или смещалось из-за бюрократии, недостаточной информации о государственных услугах, проектов по обеспечению качества законодательства для разработчиков проектов, отсутствия или недостаточной функции контроля и мониторинга.

Во-первых, есть много случаев, когда законодательная процедура получения экологического разрешения обходится стороной после вмешательства государства. В конкретных случаях проектов, распределение проектов и разрешение на строительство были утверждены специальными законами, которые вычитают право на участие и вмешательство в процесс. Очень репрезентативным примером является расположение жилых проектов в провинции Наджаф в 2016 году, где в целях устранения реакции участия общественности и вмешательства были выпущены специальные местные законодательные документы [25].

В то же время разработчики проектов, проводящие ОВОС, придерживаются общей практики копирования. Во многих случаях создатели проекта копируют целые части предыдущей ОВОС, которые уже были представлены префектуре или региональным властям, безразличные к качеству их ОВОС. В большинстве случаев большая часть исследования представляет собой подробное описание более широкого физического пространства, в котором будет располагаться проект, без тщательного и глубокого анализа особых воздействий на окружающую среду. Проблемы, связанные с применением стратегической экологической оценки в Ираке

До сегодняшнего дня в Ираке было разработано, утверждено и реализовано большое количество планов и программ в таких секторах, как промышленность, энергетика, сельское хозяйство, транспорт, туризм, землепользование, управление водными ресурсами, управление отходами и городское планирование. Тем не менее в Ираке отсутствует процесс СЭО на окружающую среду в ходе подготовки, а также в ходе разработки и контроля за осуществлением этих планов и программ. Несомненно, в прошлом предпринималось много попыток оценить воздействие некоторых крупномасштабных проектов на окружающую среду. Такие проекты, как экологическая оценка рек Тигр и Евфрат [25].

Ирак никогда прежде не сталкивался с процессом оценки планов и программ. Однако использование этих видов оценок позволяет проводить оценку планов и программ, таких, как региональные, территориальные и градостроительские программы. Это поможет разработчикам, планировщикам, органам власти и общественности распознать возможные прямые или косвенные воздействия на окружающую среду и устойчивость. В настоящее время ожидается, что в некоторых секторах будут организованы форумы.

Однако, поскольку СЭО является новым этапом в планировании и практике Ирака, у него есть некоторые проблемы и неясные моменты. Во-первых, СЭО не воплощается в существующих пространственных и градостроительных процессах. Это приводит, с одной стороны, к увеличению расходов, а с другой - к нехватке времени и людских ресурсов. Кроме того, необходимо дифференцировать степень точности каждого плана или программы, что, к сожалению, не обеспечивается иракским законодательством. Кроме того, процесс переговоров одинаков для всех случаев, независимо от того, касается ли он планов и программ, касающихся всей национальной территории, или тех, которые касаются регионального или местного уровня.

#### **Вывод:**

Стратегическая экологическая оценка представляет собой комплексный процесс оценки воздействия планов и программ на окружающую среду. Благодаря мониторингу и участию общественности в выявлении, прогнозировании и оценке последствий, СЭО будет способствовать повышению устойчивости планов и программ. Кроме того, СЭО дает возможность проводить консультации между различными правительственными организациями и органами. Предыдущие исследования показали эффективность использования методов стратегической экологической оценки и ее роль в содействии всестороннему развитию и повышению его ценности для развития. а также дает возможность общественности участвовать в оценке экологических и социальных аспектов политики, планов и программ. Роль хорошего СЭО состоит в том, чтобы устранить эти диспропорции или, по крайней мере, урегулировать "справедливые" процедуры, которые не будут усугублять и устранять экологическую несправедливость. В Ираке стратегическая экологическая оценка является относительно новым вопросом применения и, следовательно, область для подготовки выводов ограничена до сегодняшнего дня, однако ожидается, что она будет способствовать повышению устойчивости страны в том, что касается планирования,



переговоров, принятия решений и участия общест-  
венности.

Динамичное планирование генерального  
плана на примере подхода Британского инсти-  
тута будет способствовать совместному успеш-  
ному разрешению типичных конфликтов между  
разработчиками, заинтересованными сторонами  
и представителями местного сообщества. В  
связи с этим ускоряются процессы разработки  
проекта и последующего согласования. При ре-  
ализации такой генеральный план обеспечит  
устойчивое развитие, поскольку в его основе ле-  
жат новейшие разработки и повышенные требо-  
вания экологических стандартов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А. Подход к организации градостроительного планирования территории угольного бассейна // *Архитектура и строительство России*. 2015. № 8 (212). С. 30–39.
2. Перькова М.В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области) дисс. ...д-ра архитектуры: 05.23.22/ М.В. Перькова. М. С324, 2019.
3. Glasson J., Therivel R. *Introduction to Environmental Impact Assessment*. Routledge, 2013.
4. Kjørven O., Lindhjem H. Strategic environmental assessment in World Bank operations // *Environment Strategy Paper*. 2002. Vol. 4.
5. *Integration Of Environment In Policy Formulation, Implementation And Evaluation: Training, Procedures, Instruments And Funding Mechanisms*. OECD (Organisation for Economic Cooperation & Development). 2001. OECD (Organisation for Economic Cooperation & Development).
6. Partidario M. SEA: Legal, Institutional and Procedural Models—A Global View // *Book SEA: Legal, Institutional and Procedural Models—A Global View*. Editor. Thailand, 2003.
7. Nierynck E. Strategic Environmental Assessment // *Proceedings of the First workshop on training in environmental impact assessment*. 1997. Vol. 6.
8. Chaker A., El-Fadl K., Chamas L., Hatjian B. A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries // *Environmental Impact Assessment Review*. 2006. Vol. 26. № 1. Pp. 15–56.
9. Brown A. The environmental overview in development project formulation // *Impact assessment*. 1997. Vol. 15, № 1. Pp. 73–88.
10. Dalal-Clayton B., Sadler B. *Strategic Environmental Assessment: A rapidly evolving approach*. Environmental Planning. Development I. i. f. e. a., 1999. Vol. 18.
11. Dalal-Clayton B., Sadler B. The status and potential of strategic environmental assessment // *International Institute for Environment and Development*, London. 2003.
12. Abaza H., Hamwey R. Integrated assessment as a tool for achieving sustainable trade policies // *Environmental Impact Assessment Review*. 2001. Vol. 21, № 6. Pp. 481–510.
13. Артов А.М., Долинина Ю.Л., Заика Е.А. *Практическое пособие по организации и проведению стратегической экологической оценки в Российской Федерации*. М., 2017. 133 с.
14. Therivel R., Wilson E., Heaney D., Thompson S. *Strategic environmental assessment*. Routledge, 2013.
15. Sadler B., Brooke C. *Strategic Environmental Appraisal*, 1998. Pp. 27–29.
16. Sadler B. *Strategic environmental assessment: status, challenges and future directions*. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of the Netherlands, 1996.
17. Fischer T.B. *Strategic environmental assessment in transport and land use planning*. 2002.
18. Scraue J., Sheate W. R. Strategic Environmental Assessment (SEA): will sustainability be weak enough to dilute it? // *Conference on the Human Dimension of Global Environmental Change*, 2004. Pp. 3–4.
19. Partidário M.R. Elements of an SEA framework-improving the added-value of SEA // *Environmental impact assessment review*. 2000. Vol. 20, № 6. Pp. 647–663.
20. Connelly S., Richardson T. Value-driven SEA: time for an environmental justice perspective? // *Environmental Impact Assessment Review*. 2005. Vol. 25, № 4. Pp. 391–409.
21. Zagorianakos E. Back in the future. The Brussels' plans for extending the Environmental Impact Assessment. 2001.
22. Fischer T.B. Strategic environmental assessment in post-modern times // *Environmental impact assessment review*. 2003. Vol. 23, № 2. Pp. 155–170.
23. Иванькина Н.А., Перькова М.В. Концепции нового урбанизма: предпосылки развития и основные положения // *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2018. № 8. С. 75–85.
24. Levy J.P. The population make-up of residential areas: structure and changes (Douai, France) // *Journal of housing and the built environment*. 2002. № 17. Pp. 293–319.
25. *Agreements and Decisions*. (Ministry of Environment Republic of Iraq). 2009. (Ministry of Environment Republic of Iraq).

## Информация об авторах

**Абуали Али Маджид Абуали**, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: aaljalj6@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

**Перькова Маргарита Викторовна**, доктор архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Поступила в апреле 2019 г.

© Абуали А.М.А., Перькова М.В., 2019

<sup>1,\*</sup>*Abuali A.M.A., <sup>1</sup>Perkova M.V.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

*\*E-mail: aaljalj6@gmail.com*

## STRATEGIC ENVIRONMENTAL EVALUATION OF IRAQ PLANS AND PROGRAMS

**Abstract.** *The interaction of architectural, urban planning activities and the natural environment is manifested at all hierarchical levels and its results need to be foreseen. The role of strategic environmental assessment is closely related to the concept of sustainability, since it is a tool that identifies the environmental impact of plans and programs implemented in the territory. The study examines the role of strategic environmental assessment in achieving sustainability of plans and programs at the international level, and concentrates on the problems of strategic environmental planning in Iraq. Strategic environmental assessment is a comprehensive process for assessing the impact of plans and programs on the environment. The previous studies have shown the effectiveness of using methods of strategic environmental assessment in promoting the comprehensive development of the territory; the ability of the public to participate in the assessment of environmental and social aspects of policies, plans, and programs. The purpose of the strategic environmental assessment (SEA) is to eliminate disproportions in the development of territories. A comparison of SEA and environmental impact assessment (EIA) has been carried out. In Iraq, strategic environmental assessment has been found to be a relatively new phenomenon. Its use in strategic planning of the territory will contribute to increasing the sustainability of development in Iraq, its application will be efficient in the country and its regions, and will ensure public participation in this process.*

**Keywords:** *sustainable development, strategic environmental assessment (SEA), environment, architectural and town planning activity.*

## REFERENCES

1. Alekseev Yu.V., Samoilova N.A. Approach to the organization of urban planning of the coal basin [Podkhod k organizatsii gradstroitel'noy planirovaniya teritorii ogol'noy basayna]. Architecture and construction of Russia. 2015. No. 8 (212). Pp. 30–39. (rus)
2. Perkova M.V. Urban development of the regional system of settlement and its elements (on the example of the Belgorod region) [Gradstratil'naya razvitiya regionalnoi sistemi rassdeleniya i yeyo ilimentov (na primere Belgorodskoi oblasti)] Diss. Dr. architecture: 05.23.22/ mV Perikova. M. 2019. Pp. 324. (rus)
3. Glasson J., Therivel R. Introduction to Environmental Impact Assessment. Routledge, 2013.
4. Kjørven O., Lindhjem H. Strategic environmental assessment in World Bank operations. Environment Strategy Paper. 2002. Vol. 4.
5. Integration Of Environment In Policy Formulation, Implementation And Evaluation: Training, Procedures, Instruments And Funding Mechanisms. OECD (Organisation for Economic Cooperation & Development). 2001. OECD (Organisation for Economic Cooperation & Development).
6. Partidario M. SEA: Legal, Institutional and Procedural Models—A Global View. Book SEA: Legal, Institutional and Procedural Models—A Global View. Editor. Thailand, 2003.
7. Nierynck E. Strategic Environmental Assessment. Proceedings of the First workshop on training in environmental impact assessment. 1997. Vol. 6.
8. Chaker A., El-Fadl K., Chamas L., Hatjian B. A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries. Environmental Impact Assessment Review. 2006. Vol. 26. No. 1. Pp. 15–56.
9. Brown A. The environmental overview in development project formulation. Impact assessment. 1997. Vol. 15. No. 1. Pp. 73–88.
10. Dalal-Clayton B., Sadler B. Strategic Environmental Assessment: A rapidly evolving approach.

Environmental Planning. Development I. i. f. e. a., 1999. Vol. 18.

11. Dalal-Clayton B., Sadler B. The status and potential of strategic environmental assessment // International Institute for Environment and Development, London. 2003.

12. Abaza H., Hamwey R. Integrated assessment as a tool for achieving sustainable trade policies. Environmental Impact Assessment Review. 2001. Vol. 21. No. 6. Pp. 481–510.

13. Artov A. M., Dolinina, Yu L., Zaika E. A. Practical guide to the organization and conduct of strategic environmental assessment in the Russian Federation. [Praktichiskaoya posobie po organizatsii e provedniyo strategicheskoi ikologicheskoi atsenka v rasiskoi federatsii]. M., 2017. 133 p. (rus)

14. Therivel R., Wilson E., Heaney D., Thompson S. Strategic environmental assessment. Routledge, 2013.

15. Sadler B., Brooke C. Strategic Environmental Appraisal, 1998. Pp. 27–29.

16. Sadler B. Strategic environmental assessment: status, challenges and future directions. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of the Netherlands, 1996.

17. Fischer T.B. Strategic environmental assessment in transport and land use planning. 2002.

18. Scrase J., Sheate W.R. Strategic Environmental Assessment (SEA): will sustainability be weak enough to dilute it? Conference on the Human

Dimension of Global Environmental Change, 2004. Pp. 3–4.

19. Partidário M.R. Elements of an SEA framework—improving the added-value of SEA. Environmental impact assessment review. 2000. Vol. 20. No. 6. Pp. 647–663.

20. Connelly S., Richardson T. Value-driven SEA: time for an environmental justice perspective? Environmental Impact Assessment Review. 2005. Vol. 25. No. 4. Pp. 391–409.

21. Zagorianakos E. Back in the future. The Brussels' plans for extending the Environmental Impact Assessment. 2001.

22. Fischer T.B. Strategic environmental assessment in post-modern times. Environmental impact assessment review. 2003. Vol. 23. No. 2. Pp. 155–170.

23. Ivankina N.A., Perkova M.V. Concepts of new urbanism: prerequisites of development and basic provisions. [Kontsepsi novova orbanizam: predposilki razvitiya i acnovnie polojenia]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 8. Pp. 75–85. (rus)

24. Levy J.P. The population make-up of residential areas: structure and changes (Douai, France). Journal of housing and the built environment. 2002. No. 17. Pp. 293–319.

25. Agreements and Decisions. (Ministry of Environment Republic of Iraq). 2009. (Ministry of Environment Republic of Iraq).

#### *Information about the authors*

**Abuali Ali Majeed Abuali**, Postgraduate of architecture. E-mail: aaljalj6@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Perkova, Margarita V.** Ph.D., Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in April 2019*

#### **Для цитирования:**

Абуали А.М.А., Перькова М.В. Стратегическая экологическая оценка планов и программ для Ирака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 63–72. DOI: 10.34031/article\_5d4961131d20d6.18825124

#### **For citation:**

Abuali A.M.A., Perkova M.V. Strategic environmental evaluation of Iraq plans and programs. Bulletin of BSTU named after V.G.Shukhov. 2019. No.8. Pp. 63–72. DOI: 10.34031/article\_5d4961131d20d6.18825124

DOI: 10.34031/article\_5d4969dbea51e1.94144488

<sup>1,\*</sup>Петрусенко Ю.В<sup>1</sup>Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств  
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

\*E-mail: miss.smiyukha21@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ «ЗОДЧИХ-НАСТАВНИКОВ» НА ТВОРЧЕСТВО АРХИТЕКТОРА НИКОЛАЯ МАТВЕЕВИЧА СОКОЛОВА

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние мастеров, преподавателей Института Гражданских инженеров – И.С. Китнера, В.А. Шретера на деятельность ростовского городского архитектора конца XIX – начала XX века Николая Матвеевича Соколова, раскрываются неизвестные факты раннего этапа его творческой деятельности. Выявлены особенности его творческого метода, формировавшегося под влиянием «зодчих-наставников». Постановка проблемы исследования заключается в выявлении характерных особенностей архитектурной деятельности наставников, повлиявших на дальнейшую жизнь и творческую деятельность Николая Матвеевича на посту городского архитектора г. Ростова-на-Дону, объекты которого формируют историческую часть города, многие из которых являются объектами культурного наследия. Цель данного исследования состоит в выявлении особенностей архитектуры «кирпичного стиля» в творчестве ростовского архитектора Николая Матвеевича Соколова, сформированных под влиянием преподавателей Института Гражданских инженеров – И.С. Китнера, В.А. Шретера – приверженцев рационального направления архитектуры XIX века. В статье вводятся в научный обиход новые фактологические данные, производится сравнительный анализ объектов-аналогов И.С. Китнера, В.А. Шретера с объектами Н.М. Соколова, систематизирована информация о жизни архитектора Н.М. Соколова, его творческом наследии.

**Ключевые слова:** архитектура конца XIX – начала XX века, творческий метод архитектора, преподаватели, Н.М. Соколов, И.С. Китнер, В.А. Шретер, Институт Гражданских инженеров.

**Введение.** Данная статья посвящена влиянию преподавателей Института Гражданских инженеров И.С. Китнера и В.А. Шретера на формирование творческого метода ростовского городского архитектора Николая Матвеевича Соколова, обучавшегося в ИГИ между 1880 и 1885 годами. Н.М. Соколов – наиболее яркий и последовательный приверженец рационального направления архитектуры конца XIX – начала XX вв. в архитектуре Юга России. Проблема исследования заключается в выявлении условий, повлиявших на становление творческого языка архитектора. Постановка проблемы заключается в выявлении характерных особенностей в архитектурной деятельности «зодчих-наставников», что отложило большой отпечаток на его дальнейшую жизнь и творческую деятельность Николая Матвеевича на посту городского архитектора г. Ростова-на-Дону. Целью является рассмотрение творческой деятельности двух основных «зодчих-наставников», представителей рационального направления архитектуры XIX века – Шретера В.А. и Китнера И.С., оказавших большое влияние на Н.М. Соколова своей практической деятельностью и теоретическими трудами, будучи его учителями в Институте Гражданских инженеров.

**Методология.** Метод исследования основан на архивных поисках, фотофиксации существующих построек, их натурном исследовании, изуче-

ние с помощью сравнительно-исторического метода, обобщение уже известных материалов, выявление новых документов в разных проектных организациях, архивах и музейных фондах, изучение общей и специальной литературы.

**Основная часть.** Первыми учебными заведениями для подготовки специалистов по гражданско-строительной части были: архитектурское училище [1], учрежденное 26 августа 1830 при Академии художеств, и училище гражданских инженеров, учрежденное 27 апреля 1832 г. В архитектурском училище на первый план выдвигался художественный элемент образования, в училище гражданских инженеров преобладали науки математические и инженерные. Но ни одно из данных учреждений не готовило специалистов, которые обладали бы как техническим, так и художественным образованием одновременно, что необходимо для создания проектов и производства работ при строительстве зданий. В связи с этим 27 апреля (9 мая) 1832 г. было учреждено Училище гражданских инженеров (УГИ) при Главном управлении путей сообщения и публичных зданий для подготовки специалистов более широкого профиля. УГИ создавалось как инженерно-строительное учебное заведение, выпускники которого могли решать и архитектурно-строительные задачи. 10 декабря 1882 г. строительное училище было переименовано в Институт гражданских инженеров (ИГИ), а 17 де-

кабря 1892 г. Институту присвоено имя императора Николая I (к 50-летию образования Строительного училища). По окончании института выпускникам присваивалось звание гражданского инженера в чине XI-X классов. Первым директором института стал Р. Б. Бернгард [1]. Выпускники Института Гражданских инженеров обладали универсальностью и разносторонностью, совмещая во едино архитектурные и строительные науки. Воспитанники ИГИ получали глубокую инженерную подготовку и обширные знания по художественным, графическим и архитектурно-строительным дисциплинам, что вполне могли выполнять работу архитектора, инженера-конструктора, производителя строительных работ и инженера по санитарной технике. «В 1869 году было учреждено общество бывших воспитанников строительного училища и Института, которое на свои средства ежегодно посылало кого-либо из окончивших курс Института с учебной целью в командировку за границу или внутрь России» [2].

Сведения о Николае Матвеевиче Соколове содержащиеся в юбилейном сборнике Института гражданских инженеров: «Родился в 1859 г., учился в Пинском, а затем в Виленском реальном училище, в 1880 г. поступил в Институт гражданских инженеров, откуда выпущен по первому разряду с настоящим званием в 1885г. ...В скором времени (1886г.) перешёл в Ростов н/Д на место городского техника с правами государственной службы...» [6].

В рациональной архитектуре России последней трети XIX века получает распространение так называемый «кирпичный стиль». На смену недолговечной и непрочной штукатурке приходит на смену простой и практичный способ отделки фасадов. При возведении зданий поверхность кладки стали оставлять открытой либо облицовывали ее качественным кирпичом или керамическими плитками. Использование полихромного кирпича, изразцов, терракотовых вставок, природного камня обогащало художественные возможности зодчества. Рациональность форм, их связь со свойствами материалов определяли характер построек кирпичного стиля. Выразительность построек достигалась использованием рельефной кладки, узор которой выделялся пластикой и цветом [4, с.77].

Расцвет творчества **Виктора Александровича Шретера** (1839–1901) и **Иеронима Севастьяновича Китнера** (1839–1929) приходится на последнюю треть XIX начала XX века – периода поздней эклектики. Оба зодчих были лидерами «кирпичной архитектуры», являющейся основой идеи рациональной архитектуры. Они усматри-

вали целесообразность использования в строительстве такого прочного, дешевого материала как кирпич, обладающего эстетическими качествами. Зодчие использовали различные сочетания кирпичной кладки с декоративными деталями из керамики и природного камня для усиления художественной выразительности кирпичной архитектуры, создавая при этом множество вариаций приемов этого стиля [4, с.7].

Шретер и Китнер были не только выдающимися архитекторами-практиками, но и авторитетными преподавателями. Оба преподавали в Строительном училище, преобразованном позднее в Институт гражданских инженеров. Неизменный интерес вызывали лекции Китнера в Институте инженеров путей сообщения. Ученическая «робкая рука всегда встречала опору и поддержку в смелых линиях и контурах Иеронима Севастьяновича» [3]. Шретер и Китнер воспитали несколько поколений строителей конца прошлого века и внесли крупный вклад в развитие русской архитектуры, строительного дела, художественной промышленности и охраны памятников зодчества [4, с.9].

В.А. Шретер и И.С. Китнер продолжали линию, намеченную в творчестве таких архитекторов, как А.П. Брюллов, А.И. Штакеншнейдер, К.А. Тон, Г. Э.Боссе, Л.Л. Бонштедт, положивших начало формированию «рациональной архитектуры». Основы рационалистических принципов были изложены в 1851 году А.К. Красовским в книге «Гражданская архитектура». Он полагал, что основная цель для которой строится здание, являются потребности человека, а свойства материалов диктуют способы достижения этой цели. При соблюдении экономии возникает возможность больше удовлетворить потребности человека. Красовский выделяет такие свойства материалов как: удобства, прочность, безвредность для здоровья и дешевизну. Архитекторы должны, по мнению Красовского, руководствоваться одним правилом – «преобразовывать полезное в изящное» [4, с.7]. Учителем Иеронима Китнера был известный теоретик зодчества инженер А.К. Красовский [4, с.8]. «Теоретические взгляды Красовского стали пророческим манифестом развития архитектуры XIX века» [4, с. 218]. Помощник Шретера, опубликовавший в одиннадцатом номере журнала «Зодчий» за 1901 год высоко оценивал педагогические способности Виктора Александровича, «умевшего незаметно для ученика вкладывать в него то, что не поддается прямому определению, то неуловимое, необязательное, то духовное содержание в чувственной форме, то “чуть-чуть”, которое называется вкуче – искусством» [5]. До конца своих дней

Виктор Александрович не оставлял преподавательской кафедры в институте. И.С. Китнер начал преподавать в 1868 году по рекомендации В.А. Шретера, он взялся читать лекции в Строительном училище. Иероним Севастьянович вел на первых двух курсах занятия по архитектурному черчению и ордерам. С 1876 года он руководил архитектурным проектированием (по выражению трех времен, «при составлении проектов по строительному искусству») на третьем курсе училища [6].

В статье, опубликованной в «Зодчем» в 1872 году, И.С. Китнер выступал с призывом к обновлению гражданского кирпичного зодчества, убеждая, что использование кирпича представляет собой немалую выгоду. Он приводил веские доводы, что кирпичная облицовка рациональнее штукатурной отделки, она обладает большой прочностью, что необходимо для петербургского климата; на возведение здания требуется меньший срок. О декоре кирпичных фасадов Китнер

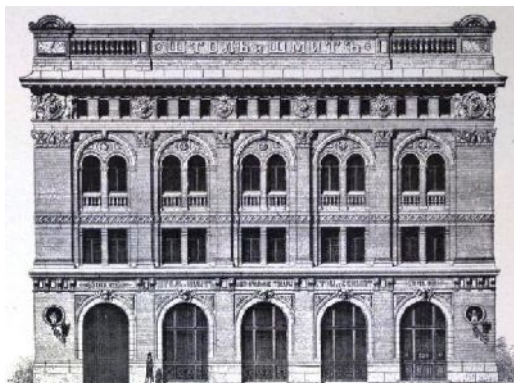


Рис.1. Дом фирмы «Штоль и Шмит», г.Санкт-Петербург Арх. В.А. Шретер [4]

От ренессансных прототипов произведения Шретера отличает большая насыщенность декором и некоторая дробность фасада [1, с 55–57]. Произведения В.А. Шретера отличало то, что он создавал планировочные композиции, отличавшиеся свободным распределением объемов, использовал также рациональные приемы. В декоративной отделке фасадов акцентировал в основном ренессансные мотивы, влияющие на представительность облика постройки. При возведении доходных домов, особняков, где сказывалось стремление к удобству и комфортабельности, обращался к мотивам ренессанса и классики. «Русский стиль» также нашел отражение в его творчестве, Шретер решал также сложные многофункциональные задачи при проектировании зданий, где могли совмещаться торговые и жилые помещения, а также воплощаться в жизнь социально-бытовые интересы владельцев. Особняк

говорил, что делая карнизы, наличники и другие украшения из терракоты или натурального камня, можно достичь богатства формы и цвета, не уступающее архитектуре оштукатуренных зданий. И по его словам, стоимость фасада из кирпича гораздо ниже, чем издержки по фасаду со штукатуркой [4, с.78].

### Особенности практической деятельности В.А. Шретера

В.А. Шретер был одним из первых архитекторов, кому удалось решить сложную задачу соединения в одном здании общественных и жилых функций (Дом фирмы «Штоль и Шмит»). Шретер обращался к архитектуре Возрождения (Дом фирмы «Штоль и Шмит» (рис. 1)). В творчестве архитектора Н.М. Соколова на примере Народного училища им. Н.А. Токарева. (рис. 2), мы видим влияние архитектурных мотивов В.А.Шретера, выявленное в применении подобных деталей в пластике фасада.



Рис.2. Народное училище им. Н.А. Токарева, г. Ростов-на-Дону. Арх. Н.М.Соколов [14]

В. А. Шретера (рис. 3) запроектирован в кирпичном стиле, он сумел придать облику особняка романтический силуэт. В объем выступающих частей вписаны лестницы, этот прием получит свое продолжение при проектировании домов XX века. Фасады содержат элементы «готичности», подчеркнутые высоким остроугольным фронтоном, зрительно продолжающим вертикаль фасада. Эффектным приемом является объединение двух фасадов выделением доминанты, которой служит введенный эркер с башенкой в композицию угловой усеченной части здания [4]. В творчестве Н.М. Соколова на примере Особняка «Дом братьев Мартын» (рис. 4), мы видим влияние преподавателя ИГИ. Здание выполнено также в кирпичном стиле, в романтическом направлении – псевдоготика. Два фасада также объединены угловой башней-эркером, являющейся доминантой особняка, в районе второго этажа шиповые завершения – остроугольные



фронтоны, также видно влияние в использовании архитектурных деталей, подчеркивающих пластику фасадов.

Выбор художественных и технических средств был продиктован социальным заказом. Создание новых типов зданий было связано с ис-

пользованием совершенных конструкций большого пролета, ограждений с остекленными поверхностями и материалов, применяемых впервые, Шретер использовал формы каркасных конструкций в качестве выразительного элемента [1, с. 76].



Рис. 3. Особняк В.А. Шретера, г. Санкт-Петербург  
Арх. В.А. Шретер [4]



Рис. 4. Дом братьев Мартынов, г. Ростов-на-Дону.  
Арх. Н.М. Соколов. Фото Петрусенко Ю.В, 2017

В храмовых и других типах сооружений Шретер реализовал принцип, ставший главным в русской архитектуре XX века, согласно которому форма построек определялась назначением зданий и их местоположением. Во втором конкурсном проекте храма в память императора Александра II (рис. 5) Шретер использует за основу образцы памятников московского зодчества, также выразительные черты самобытности ярославских храмов. В плане храм представлен в виде квадрата с выступающими частями апсиды и придела. Слева к пятиглавному собору примыкала колокольня, завершенная шатром с главкой,

окна с фигурным обрамлением, колонки, кокошники придавали храму узорчатый нарядный вид [4]. В проекте Новопокровской церкви Н.М. Соколова (рис. 6) и конкурсного проекта храма архитектора Шретера, заметно большое сходство по образу, расположению, что подтверждает влияние творческого метода и опыта преподавателя на своего ученика, еще в годы обучения в ИГИ. Облик храма по проекту Соколова был сформирован также пятиглавием завершения крыши, к нему примыкала звонница с шатровым завершением. Новопокровский храм был построен в русском стиле, богато украшенный кирпичным узором, словно окутанный кружевом [10].



Рис. 5. Второй конкурсный проект храма в память императора Александра II, г. Санкт-Петербург  
Арх. В.А. Шретер [4]



Рис. 6. Новопокровская церковь, г. Ростов-на-Дону.  
Арх. Н.М. Соколов [11]

В.А. Шретер разрабатывал различные виды удобств в системе современного жилья [1, с. 197]. Во второй половине XIX века было выработано несколько схем планировки участка доходного дома. В их основе лежала ориентация на разумное расположение корпусов. Наибольшее распространение получила застройка по периметру со световыми дворами, позволяющая наиболее рационально использовать отведенную площадь [1, с. 45]. Шретер сыграл выдающуюся роль в объединении творческих усилий петербургских архитекторов. Он был среди тех, кто практически способствовал профессиональному росту молодежи. Немало труда вложил Шретер в дело организации архитектурных конкурсов при Обществе архитекторов [1, с.180]. И. Китнер справедливо отмечал, что не было ни одной задачи в области архитектуры, которая оказалась бы для Шретера неразрешимой или трудной. «...С кажущейся легкостью он преодолевал все препятствия и разрешал задачи всегда умно и практично» [7]. Путь, по которому шел Шретер, осваивая архитектурное наследие и создавая новое, подготовил практические основы следующего этапа зодчества, сближая функцию, формы и рационалистические приемы построения зданий. В этом и есть историческое значение его деятельности [1, с. 197].

#### **Особенности практической деятельности И.С. Китнера**

Проекты И.С. Китнера несут отпечатки черт западноевропейского историзма. В творчестве

Китнера особенности развития эклектики проявились под знаком глубокого осмысления происходящих изменений [8]. Сказалось на его творчестве пребывание за границей, отпечатки французского историзма и венского неоренессанса прослеживаются в его проектах. В Париже он убедился в возможности применения открытых металлических конструкций в качестве выразительных элементов. «Камень железо и стекло», внутренние конструкции архитектор выявил на фасадах Павильонов на Сенном рынке (рис. 7) [1, с. 253]. Образцом рыночных сооружений того времени были постройки французского архитектора В. Бальтара, в котором внутренне пространство было разделено обнаженным каркасом. Китнер использовал традиционный прием, замаскировав железные конструкции кирпичной кладкой. Для продольной устойчивости каркаса Китнер применил парные фермы, которые представляли собой рамы без затяжных струн. Первые рамные конструкции были применены в России в 1881 году [0]. Корпуса рынков имели структуру однопролетных павильонов. Павильоны крытого рынка на Старом базаре в г. Ростове-на-Дону (рис.8) по проекту Н.М. Соколова построены по такому же принципу, с применением безопорных большепролетных металлических ферм. В плане корпус крытого рынка представляет собой прямоугольную конфигурацию с двухсветным центральным объемом торгового зала [11].



Рис. 7. Павильоны на Сенном рынке, г. Санкт-Петербург. Арх. И.С. Китнер [4]

В творчестве И.С. Китнера Киевский политехнический институт (рис. 9) является примером функционального совершенства планировочного решения и учета градостроительных требований.

К средней части главного корпуса примыкали надворные корпуса и флигели с аудиториями. Вынос аудиторий и учебных кабинетов в надворные флигели был обусловлен и связан с



Рис. 8. Павильоны крытого рынка на Старом базаре, г. Ростов-на-Дону. Арх. Н.М. Соколов [12]

требованиями по обеспечению светом помещений и оптимальной организации учебного процесса. Здание Киевского политехнического института выполнено в кирпичном стиле, без выраженных стилевых признаков, характерным архитектурным элементом было большое окно [1]. Здание коммерческого училища в г. Ростове-на-Дону (рис.10) по проекту Н.М. Соколова имеет схожее планировочное решение и организацию.

При строительстве здания, изначально предназначенного для организации учебного процесса, особое внимание уделялось планировке, инсоляции и акустике учебных помещений. В основу планировки здания легла коридорная система с

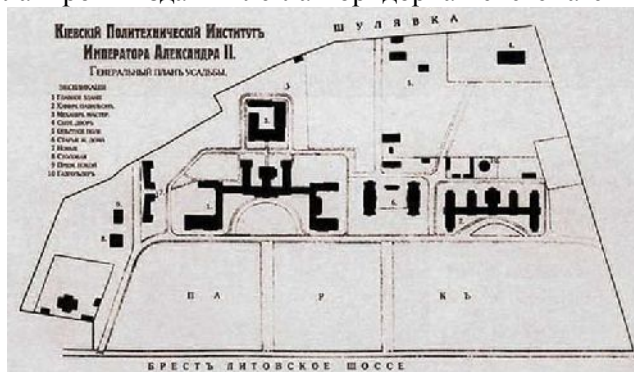


Рис.9. Киевский политехнический институт.  
Арх. И.С. Китнер [4]

Древнерусское зодчество также нашло отражение в творчестве И.С. Китнера (часовня на станции Лозовая) [1, с. 291]. Свободное построение объемов, связанное с внутренним планировочным решением хорошо выражено на примере Особняка К.Б. Зигеля (рис. 11). Архитектурно-художественная композиция здания выражается в формах французского неоренессанса. Силуэтность здания, характерная древнерусскому



Рис. 11. Особняк К.Б.Зигеля,г.Санкт-Петербург  
Арх. В.А. Шпретер [14]

Важнейшее условие при проектировании жилых домов для И.С. Китнера – полезность, он тяготел к благородной простоте форм в своих постройках. Целостные архитектурные образы, созданных им сооружений сохраняли единство с окружающей застройкой. Продуманное использование участков умело сочетал с ясным конструктивным построением и функциональной планировкой, как зданий, так и комплексов. Широко использовал новые средства строительной техники, применяя эстетичные и рациональные способы отделки фасадов. Большое внимание уделял устройству отопления, вентиляции и санитарной техники [1, с.350].

одно и двусторонним расположением классов, аудиторий и служебных помещений. Помещения здания имеют высокие потолки и хорошую освещенность.

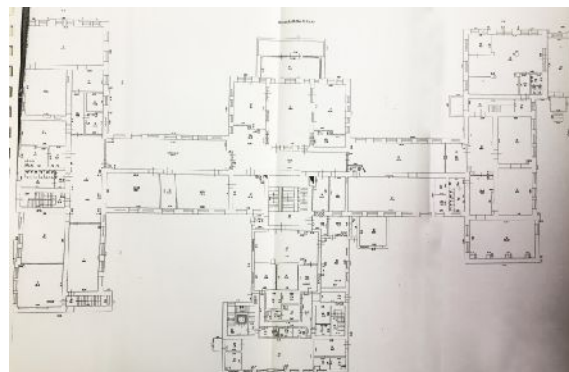


Рис.10. Коммерческое училище, г. Ростов-на-Дону.  
Арх. Н.М. Соколов [13]

стилю, подчеркивается абрисом крыши, башней и фигурными фронтонами [1, с. 314]. В доме братьев Мартын (рис. 12) по проекту Н.М. Соколова прослеживается очевидное сходство архитектурных деталей фасадов и построение композиционных объемов, силуэтность, что обусловлено влиянием творчества педагога.



Рис. 12. Дом братьев Мартын, г. Ростов-на-Дону.  
Арх. Н.М. Соколов. Фото Петрусенко Ю.В, 2017

**Выводы.** В результате исследования влияние мастеров, преподавателей Института Гражданских инженеров – И.С. Китнера, В.А. Шпретера на деятельность ростовского городского архитектора конца XIX – начала XX века Николая Матвеевича Соколова были выявлены характерные, значимые объекты для каждого из «зодчих-наставников» и проведен сравнительный анализ с проектами Н.М. Соколова. В ходе которого, были найдены и выявлены схожие черты архитектурно-художественных и объемно-планировочных решений. На основании этого можно сделать вывод, что на творчество городского архитектора Н.М. Соколова оказали большое влияние

его преподаватели наставники, которые в ходе обучения Соколова в Институте Гражданских инженеров заложили ему основы «рациональной архитектуры», линию которой продолжали сами в ходе своей практической и теоретической деятельности. Результаты воплощения которой, мы можем видеть на улицах города Ростова-на-Дону в постройках архитектора Н.М. Соколова, многие из объектов которого являются памятниками культурного наследия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Историческая справка. Институт гражданских инженеров. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.citywalls.ru/house12611.html>. (дата обращения 12.11.2019)
2. Институт гражданских инженеров императора Николая I // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). СПб., 1890–1907.
3. Неделя строителя. 1901. №18. 120 с.
4. Николаева Т.И. Виктор Шретер. Иероним Китнер. Санкт-Петербург: Изд.дом «Коло», 2007. 400 с.
5. Зодчий. 1901. №11. 166 с.
6. Барановский Г.В. Юбилейный сборник сведений о деятельности бывших воспитанников

Института гражданских инженеров (Строительного училища) 1842–1892 г.г. Санкт-Петербург, 1893. С.148–152.

7. Зодчий. 1901. №11. 162 с.

8. Зодчий. 1873. № 3–4. С. 37–40.

9. Охранное обязательство № 37-16 объекта культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации: «Дом братьев Мартын, XIX в.» от 26.02.2016.

10. Малаховский Е.И. Храмы и культовые сооружения Ростова-на-Дону, утраченные и существующие. Р н/Д.: NB, 2006. 240 с.

11. Охранное обязательство № 186-14 от 29 августа 2014 г. на объект культурного наследия Закрытое акционерное общество «Центральный рынок».

12. Охранное обязательство № 41-11 на объект культурного наследия регионального значения: «Здание городского коммерческого училища» от 18.03.2011.

13. Особняк К.Б. Зигеля, фото. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.citywalls.ru/house396.html>. (дата обращения 19.01.2019)

14. Есаулов Г.В., Черницына В.А. Архитектурная летопись Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону, «Малыш», 2002. С. 304.

#### Информация об авторах

**Петрусенко Юлия Викторовна**, аспирант кафедры Истории Архитектуры Искусств и Архитектурной Реставрации, ассистент кафедры Основ Архитектурно-Художественного Проектирования. E-mail: [miss.smilyukha21@yandex.ru](mailto:miss.smilyukha21@yandex.ru). Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств. Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Поступила в апреле 2019 г.

© Петрусенко Ю.В., 2019

<sup>1,\*</sup>*Petrusenko Y.V.*

<sup>1</sup>*Southern Federal University. Academy of Architecture and Arts  
Russia, 344006, Rostov-on-Don, BolshayaSadovaya street, 105/42*

<sup>\*</sup>*E-mail: miss.smilyukha21@yandex.ru*

### THE INFLUENCE OF «ARCHITECTS-MENTORS» ON THE CREATIVITY OF ARCHITECT NIKOLAI MATVEEVICH SOKOLOV

**Abstract.** The article considers the influence of masters, teachers in the Institute of Civil engineers – I.S. Kitner, V.A. Schroter on the activity of Rostov city architect N.M. Sokolov in the late XIX – early XX century Sokolov. Unknown facts of an early stage of his creative activity are revealed. The features of his creative method formed under the influence of «architects-mentors» are presented. The problem of the study is to identify the characteristic of the architectural activity of the mentors who influenced the future life and creative activity of Nikolai Matveevich as the city architect of Rostov-on-don, whose objects form the historical part of the city, many of which are objects of cultural heritage. The study is aimed at revealing the features of the architecture of the «brick style» in the works of Sokolov, formed under the influence of teachers of the Institute of Civil engineers – Kitner, Schroter – adherents of the rational direction of architecture of the XIX

century. The article introduces the new factual data, the comparative analysis of Kitner and Schroter analogues with objects of Sokolov, the systematic information about the life of Sokolov, his creative legacy.

**Keywords:** architecture of the late XIX – early XX century, creative method of architect, teachers, N.M. Sokolov, I.S. Kitner, V.A. Schroter, Institute of Civil engineers.

## REFERENCES

1. Historical information. Institute of civil engineers. [Istoricheskaya spravka. Institut grazhdanskih inzhenerov]. Systems'. requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.citywalls.ru/house12611.html>. (accessed 12.11.2019) (rus)
2. Institute of civil engineers of Emperor Nicholas I [Institut grazhdanskih inzhenerov imperatora Nikolaya I]. Encyclopedic dictionary of Brockhaus and Efron : 86 t. (82 t. and 4 additional). SPb., 1890–1907. (rus)
3. Builder's week. [Nedelya stroitelya]. 1901. No. 18. 120 p. (rus)
4. Nikolaeva T.I. Viktor Schroter. Jerome Kitner. [Viktor SHreter. Ieronim Kitner]. St. Petersburg: Ed.home «Kolo» in 2007. 400 p. (rus)
5. Architect. [Zodchij]. 1901. No. 11. 166 p. (rus)
6. Baranovskiy G. V. Commemorative collection of information about the activities of former pupils of the Institute of civil engineers (Building schools) 1842–1892. [Yubilejnyj sbornik svedenij o deyatelnosti byvshih vospitannikov Instituta grazhdanskih inzhenerov (Stroitel'nogo uchilishcha) 1842–1892g.]. Saint-Petersburg, 1893. Pp. 148–152. (rus)
7. Architect. [Zodchij]. 1901. No. 11. 162 p. (rus)
8. Architect. [Zodchij]. 1873. No. 3–4. Pp. 37–40. (rus)
9. Security obligation No. 37–16 object of cultural heritage (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation: «House of brothers Martin, XIX century» from 26.02.2016. [Ohrannoe obyazatel'stvo No. 37–16 ob"ekta kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii: «Dom brat'ev Martyn, XIX v.» ot 26.02.2016]. (rus)
10. Malakhovsky E.I. Temples and religious buildings of Rostov-on-don, lost and existing. [Hramy i kul'tovye sooruzheniya Rostova-na-Donu, utrachennyye i sushchestvuyushchie]. P n/A: NB, 2006. 240 p. (rus)
11. Security obligation № 186-14 from August 29, 2014. the object of cultural heritage closed joint stock company «Central market». [Ohrannoe obyazatel'stvo No. 186-14 ot 29 avgusta 2014g. na ob"ekt kul'turnogo naslediya Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «Central'nyj rynek»]. (rus)
12. Security obligation № 41-11 on the object of cultural heritage of regional significance: «the Building of the city commercial school» from 18.03.2011. [Ohrannoe obyazatel'stvo No. 41-11 na ob"ekt kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya: «Zdanie gorodskogo kommercheskogo uchilishcha» ot 18.03.2011]. (rus)
13. Osobnyak K.B. Siegel's mansion, photo. [Zigelya, foto]. Systems'. requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.citywalls.ru/house396.html>. (accessed 19.01.2019). (rus)
14. Esaulov G.V., Chernitsyna V.A. Architectural chronicle of Rostov-on-don. [Arhitekturnaya letopis' Rostova-na-Donu]. Rostov-on-Don, «the Kid», 2002. 304 p. (rus)

## Information about the authors

**Petrusenko, Yulia V.** Postgraduate student. E-mail: miss.smilyukha21@yandex.ru. Southern Federal University. Academy of Architecture and Arts. Russia, 344006, Rostov-on-don, Bolshaya Sadovaya street, 105/42.

*Received in April 2019*

## Для цитирования:

Петрусенко Ю.В. Влияние «зодчих-наставников» на творчество архитектора Николая Матвеевича Соколова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 73–80. DOI: 10.34031/article\_5d4969dbea51e1.94144488

## For citation:

Petrusenko Y.V. The influence of «architects-mentors» on the creativity of architect Nikolai Matveevich Sokolov. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 73–80. DOI: 10.34031/article\_5d4969dbea51e1.94144488

DOI: 10.34031/article\_5d496fa71f0e94.99678248

<sup>1,\*</sup> Абасс Х.С., <sup>1</sup>Иванова-Ильичева А.М.<sup>1</sup>Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств  
Россия, 344006, Ростов-на-Дону, Большая Садовая ул., 105/42

\*E-mail: arch.hebaabbas@hotmail.com

## ВЛИЯНИЕ ЕВРОПЕЙСКИХ АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ НА АРХИТЕКТУРУ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ СТРАН ПОД КОНТРОЛЕМ ФРАНЦУЗСКОГО МАНДАТА В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВВ.

**Аннотация.** Статья посвящена влиянию европейских архитектурных традиций и методов проектирования на традиционную архитектуру в странах Средиземноморья во время Французского Мандата и изучению функциональных и архитектурно-художественных особенностей жилых и общественных зданий, построенных в соответствии с критериями французской архитектуры в период Французского Мандата. Особое внимание уделено административным аспектам организации архитектурно-строительной деятельности и изменению законодательства в странах Алжир, Бейрут, Марокко, Тунис периода Французского Мандата. Рассмотрены основные мероприятия в области архитектуры и строительства, осуществленные французскими мандатными властями, от ремонта дорог, создания школ и институтов общественного здравоохранения до строительства соответствующих общественных зданий. Вместе с административными и управленческими преобразованиями, отмечается серьезное культурное влияние Франции на страны Мандата, в первую очередь отчетливо выявленные в области архитектуры. Наиболее отчетливо проявились мероприятия в области градостроительства, связанные с изменением планировочной системы исторических городов на основе подражания европейским принципам градостроительства. Новые архитектурные формы возникают благодаря синтезу местных традиций и тенденций французской архитектуры. Цель данной статьи – выявление европейского влияния и особенностей архитектуры Алжира, Бейрута, Марокко, Туниса периода Французского Мандата.

**Ключевые слова:** европейская архитектура XX в, Алжир, Бейрут, Марокко, Тунис, Французский Мандат.

**Введение.** Вследствие завершения первой мировой войны обширные территории Азии были отделены от Османской империи и переданы под управление Франции и Великобритании на основании Мандата Лиги Наций. На арабских территориях были образованы следующие государства: Марокко, Алжир, Тунис, Ливан, Ливия, Мавритания, Египет, Судан, Сомали, Палестина, Иордания, Сирия, Ирак, Арабские государства персидского залива, Йемен" [1]. Мандатная система сыграла решающую роль в формировании послевоенной карты Ближнего Востока, получившей очертания, весьма близкие к современным. Именно она заложила основы государственности современных стран региона [2].

Наряду с политическими, экономическими и административными преобразованиями, в период Французского Мандата арабские страны под контролем Французского Мандата получили мощный импульс европейской культуры. Благодаря синтезу местных архитектурных традиций и тенденций французской архитектуры второй половины XIX – начала XX вв. города средиземноморских стран Французского Мандата отличаются своеобразием архитектурно-градостроительной организации [3].

Французская колониальная империя – совокупность колониальных владений Франции в период между 1534–1980 годами. Франция имела колониальные территории во всех регионах мира. В эпоху великих открытий Франция стала третьей по счёту европейской страной (после Португалии и Испании), К странам Французского мандата были отнесены: Марокко, Алжир, Тунис, Ливан, Мавритания, Сирия. В соответствии с решением Совета союзников, выпущенным в Сан-Ремо в 1920 году, предоставившим Франции право делегации в этих странах в соответствии со статьей 22 Лиги Наций [4].

Франция немедленно начала организовывать администрацию для реабилитации портов, восстановления дорог, создания школ и создания института общественного здравоохранения и строительства. Важную роль в этом процессе сыграл авторитет Мандата, с которым было связано принятие законов и правил. В 1922 году был принят закон о замене османских законов. Этот закон был посвящен созданию административного аппарата и политического плана, который бы гарантировал стабильность государства и его интересы в странах [5].

Данная статья посвящена выявлению европейского влияния и особенностей архитектуры





Архитектура зданий и даже планировка квартир повторяют приемы, принятые в архитектуре Франции: прямоугольные окна, белые ставни, балконные решетки, контрастирующие



Рис. 2. Арабская улица

со светлыми фасадными стенами (рис. 4). Аналогично решен бульвар Республики в Quartier de la Marine со зданиями, похожими на парижские [2].



Рис. 3. Улица Тимбукту



Рис. 4. улица Мишле



Рис. 5. «Лестница Печери и бульвара Республики» в районе ВМФ

Период французского Мандата в Алжире также характеризуется изменением функционального назначения существующих зданий. Первыми генеральными планами городов, включая столицу город Алжир, предполагалось превратить все мечети в больницы или церкви, в том числе большую мечеть "Джамаа-аль-Джадид"

(рис. 6–7). Это действие символизировало не только переход власти от мусульманского правительства (Османская империя) к католическому правительству (Франция), но и вытеснение алжирской культуры в пользу французской культуры с точки зрения религии [2].



Рис. 6. Джамаа-аль-Джадид, Алжир, 1895 г.

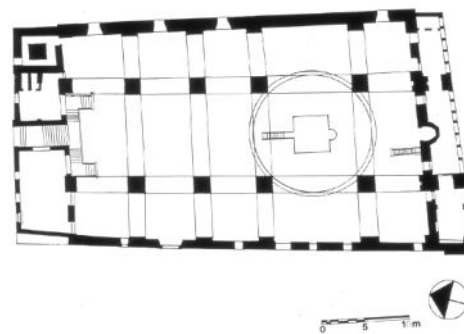


Рис. 7. Схема Джамаа-аль-Джадид



В период Французского Мандата в архитектуру арабских стран приходят новые технические решения, строительные материалы и конструкции. Административные здания и жилые дома, построенные для приехавших в Алжир французов в период Французского Мандата, были выполнены с использованием новых технологий и привезенных материалов. Большие бульвары и архитектура зданий в новом городе, по сравнению с застройкой в Медине, демонстрировали достижения современной архитектуры и градостроительства [2].

С 1865 года архитектурный стиль Франции изменился со «стиля завоевателя» на «стиль защитника» после визита Наполеона III, где он решил, что французская архитектура слишком угнетает алжирскую культуру. Чтобы улучшить отношения с алжирцами и французами на родине, колониальная администрация решила построить здания в соответствии с их идеей об алжирской эстетике. На рис. 6 мы видим Государственное министерство, созданное французским архитектором Анри Пети в 1904 году в неомавританском стиле с белым фасадом, солнечными зонтами, аркадами, куполами и традиционной арабской формой окон.



Рис. 8. Государственное министерство (аль-Вилайя) Архитектор: Анри Петит, 1904 г.



Рис. 9. Центральный почтовый музей Алжира, архитекторы: Мариус Тудуар и Жюль Войно, 1910 г.

С правой стороны Государственного министерства самое большое окно — это «машрабия», которое является типом окна, обычно встречающегося в жилых домах, чтобы женщины могли смотреть наружу, а люди на улице их не видели. Окна такого типа защищают женщин дома от посторонних взглядов и, следовательно, неуместны в правительственном здании. Применение таких окон в здании Государственного министерства демонстрирует как колониальная администрация делала вид, что хочет защитить алжирскую культуру, не изучая ее по-настоящему.

Другим примером архитектурных усилий, предпринятых французами для сохранения своего представления об алжирском стиле, является Центральный почтовый музей Алжира, изображенный на рис. 9. Это здание, как и государственное министерство, выполнено в белом цвете с навесами, крытыми арками, куполами и арочными окнами. Французские архитекторы Мариус Тудуар и Жюль Войно использовали «неомавританский» стиль как снаружи, так и внутри здания (рис. 10). Это красивое романтическое здание, но не совсем алжирское [3].

Стиль «модернизм» приходит в страны Французского Мандата в 1930–40-х годах. Градостроитель и архитектор, классик модернизма Ле Корбюзье попытался внедрить его в Алжире с помощью своего «плана Обуса».

Это подробный план, который мы видим на (рис. 11), включал поднятый и извилистый виадук, по которому будет шоссе и в котором будут квартиры для алжирского рабочего класса. Этот виадук связал бы новый город с новым бизнес-центром, не касаясь Медины. Эта структура была создана с целью превращения города Алжира в торговый центр, не нарушая алжирскую культуру. В любом случае, этот план так и не был построен [3].



Рис. 10. Центральный почтовый музей Алжира, архитекторы: Мариус Тудуар и Жюль Войно (Интерьер), 1910 г.

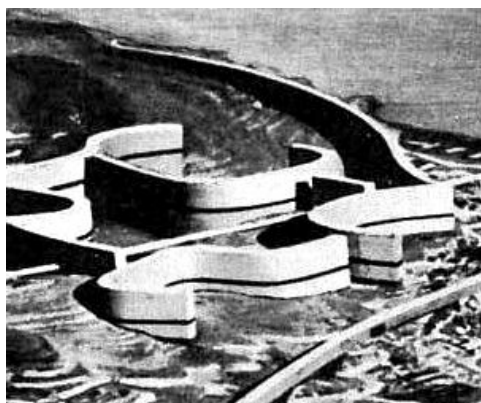


Рис. 11. План Обуса. Архи. Ле Корбюзье, 1931–1935 гг.

**Бейрут.** рассматривается французами как главная столица в колониях, в странах Французского Мандата. В архитектуре Бейрута, в большей степени должны были быть выражены французские идеалы. Центром новой столицы должно стать общественное пространство на площади Этуаль в Париже. Строительство началось в 1930 году к югу от Площади мучеников. Другой причиной организации общественного пространства был военный контроль над населением, потому что форма и организация старых арабских городов с узкими извилистыми улочками, которые позволяют мятежникам прятаться, не соответствует требованиям государственной безопасности [3].

Общественный центр в Бейруте был образован аналогично площади Звезды в Париже. Это один из лучших примеров французского городского планирования в Бейруте. Согласно теории французского урбанизма, место должно соединить два важных общественных пространства или памятника, в данном случае это главное общественное здание администрации города – Муниципальный дворец, а также здание парламента, отсылающего к древней архитектуре исламского Востока. Двери парламента выполнены в стиле мамлюков. Кроме того, на площади Звезды (Этуаль) расположены два собора, музей и несколько кафе и ресторанов [3].

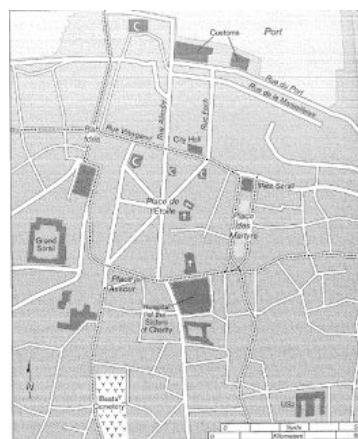


Рис. 12. Площадь Звезды. Бейрут. 1930 г.

Архитектура зданий площади в основном относится к стилю ар-деко. Высотная доминанта, расположенная на площади, сохранившиеся здания, фасады и башня с часами сделали это место знаковым местом в Бейруте. Четырехсторонние часы Rolex, установленные на башне, были подарены ибано-бразильцем по имени Мишель Абед. Выбор формы звезды для важнейшей площади в Бейруте связан с влиянием парижской архитектуры и в частности с деятельностью барона Османа. Однако полный радиальный план для

площади Этуаль никогда не был полностью выполнен, потому что это потребовало бы сноса двух церквей: греческой православной и греко-католической.[4]

Площадь Мучеников считается одним из основных пространств города Бейрута. До периода Французского Мандата Площадь Мучеников использовалась как место, где караваны останавливались перед въездом в город.



Рис. 13. Центр Бейрута, сложившийся в период Французского Мандата

Он был расположен на поляне за стенами Бейрута. На арабском языке это слово обозначается как майдан (ميدان). Это было также место, которое защищало от захватчиков. Город начал расти, и майдан стал общественной площадью. Затем он стал центром бизнеса и транспорта в городе.



Рис. 14. Площадь мучеников

При османском правлении была добавлена дорога, связывающая Бейрут с Дамаском. Османы также построили сад в центре и добавили здание Сераи (Serai) – административные районы Османской империи. Площадь Мучеников получила свое название после того, как Османская армия убила арабских националистов на площади во время Первой мировой войны [4]. Когда французские колонизаторы получили контроль над Ливаном и Сирией, площадь Мучеников играла различную роль в городской среде. Там был общественный сад для граждан, если они хотели прогуляться, правительственное здание для османских и местных чиновников, кафе для интеллектуалов и политиков, гостиницы для посетителей, и это служило местом транспорта для людей. Во время Французского Мандата это место использовалось для международной коммерческой выставки. Братья Дейнджер предложили создать различные городские центры и дорогу, соединяющую эти центры с площадью мучеников [5].

Французский архитектор Делахалле также предложил убрать здание Сераи и превратить площадь в порт: источник экономической жизне-способности города. Делахалле также хотел,

чтобы здания на площади имели фасады в финикийском стиле и мавританские и египетские мотивы. Тем не менее, ни братья Дейнджер, ни Делахалле так и не смогли воплотить в жизнь свои предложения [5].



Рис. 15. Карта Делахалле

Французский градостроитель Мишель Эко-чард осуществил исследование, в котором он предложил развитие сетей на месте. Он подчеркнул необходимость создания открытой сети перевозок между аэропортом и портом города. Эти планы стали реальностью, и место потеряло свою транспортную функцию. Площадь также потеряла свою административную роль, когда правительство переехало на площадь Этюаль. Мишель Экочард предложил создать новый бизнес-центр к югу от площади Мучеников. Новый центр был построен в районе Хамра после американского университета в Бейруте. Таким образом, место также потеряло свою коммерческую функцию. Когда французские колонизаторы похитили Серайю, Бейруты воздвигли статую в память о мучениках.

После окончания периода Французского Мандата среди бейрутцев возникла идея к восстановления места как части города. В 60-х и 70-х годах на Площади Мучеников проходили демонстрации студентов и рабочих. В 1977 году французское агентство по планированию APUR предложило заполнить Площадь Мучеников деревьями и тротуарами, чтобы предоставить гражданам пространство, чтобы положить конец их разногласиям и враждебности. В настоящее время Площадь Мучеников вернулась к своей первоначальной роли пространства за пределами города – Майдана. Она используется как место для выставок и концертов, а также для парковки [5].

**Марокко.** Новые города не были построены в Марокко одинаково. Некоторые уже были частично построены до какого-либо планирования, это случай Касабланки, другие могли быть построены на свободной земле, как Рабат, Фес или Марракеш.



В Касабланке, даже до создания французского протектората в 1912 году, многие европейцы, стремящиеся заниматься бизнесом, обосновались в Медине, возле традиционного города, в котором тогда проживало около 25 000 жителей. За пределами Медины частные строители, которые действовали в величайшем беспорядке, покупали и продавали землю без местных властей.

С момента создания протектората французская администрация принимает меры по устранению "беспорядка" анархического роста города. Так, в апреле 1913 года была создана муниципальная комиссия, а в августе 1914 года был принят первый дахир (указ), касающийся выравнивания, планов развития и расширения городов, сервитутов и налогов на дороги; в том же месяце применяется второй указ, касающийся экспроприации в целях общественной полезности и временного занятия.

Одним из принципов проектирования новых городов в Марокко является разработка и реализация четкого генерального плана развития города с выделенными специализированными зонами. Новый марокканский город в основном функционалистский, вдохновленный междуна-

родной деятельностью архитекторов-модернистов. В городе должны развиваться зоны, которые объединяют его различные функции: промышленность, администрация, жилье, дорожное движение, зоны отдыха. Такое разделение на зоны [6].

Таким образом, генеральные планы, планы участков, планы выравнивания с аркадными сервитутами, ограничение пола, землепользование, правила дорожного движения, содержащие точные предписания по ширине улиц, предписания в отношении строительства зданий, связанных с их прочностью, пожароопасностью, санитарными условиями и т.д. применяются с 1912 года. Местоположение общественных зданий определяется точно в зависимости от будущего развития города: станций, постов, администраций. Строительство этих различных зданий, которые являются наиболее мощными очагами привлекательности города, было в центре интересов не только текущих, но и рассчитанных на перспективу. Планы развития призваны «обеспечить будущее». Специально набранные и обученные сотрудники несут ответственность за соблюдение этих планов и проведение переговоров по освобождению прав на общественные дороги в случае необходимости.



Рис. 16. Французская колониальная архитектура, Касабланка, Марокко

Таким образом, новый марокканский город предоставил архитекторам и градостроителям прекрасную возможность для реализации научно обоснованных принципов, процедур и практических экспериментальных методов, которые они считали современными и инновационными.

Принципы создания и строительства нового колониального города в Марокко связаны с желанием градостроителей упорядочить марокканскую территорию в соответствии с новыми парадигмами и максимально вводить новшества для достижения городского идеала [7].

Новый марокканский город быстро стал образцом современного городского планирования



на мировом уровне; приемы, используемые в его проектировании, а также их логика, распространились среди градостроителей.

**Тунис** – претерпел трансформацию, начиная от традиционной Медины до современного города с османским стилем.

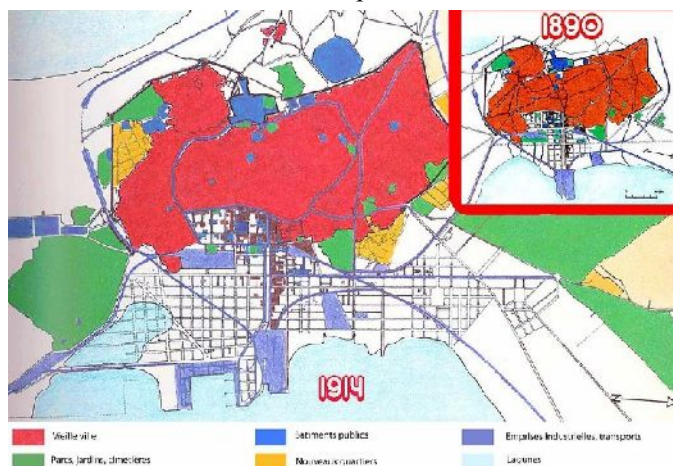


Рис. 17. Карта трансформации Туниса под протекторатом

Спроектированный в конце девятнадцатого века вокруг Медины, европейский и современный город Тунис является одним из лучших примеров слияния архитектурных стилей. Этот союз является свидетельством «гармонии противоположностей», в сочетании западных и восточных стилей, неопровержимым свидетельством космополитической цивилизации, которая процветала между концом 19 века и серединой 20 века.

1881 год – год создания французского протектората в Тунисе – стал переломным моментом в истории Туниса. Затем город вступает в эпоху быстрых метаморфоз, продлившийся в течение двух-трех десятилетий. На восточной стороне Медины Порт-де-Франс (Баб-эль-Бахр) ведет к колониальному городу, построенному французами (Фото, Порт-де-Франс) [8].



Рис. 18. Построенный в 1890 году, бывший католический собор Сен-Луи находится в Карфагене



Рис. 19. Консульство Англии в Тунисе. 1914 г



Рис. 20. Итальянская школа – улица Бенабдалла, район Эль-Сабегин, Тунис.

Станьте сегодня руинами

Одним из интересных аспектов, характеризующих колониальную архитектуру Туниса, является создание французами современного города, прилегающего к арабской Медине. Самобытность Туниса состоит из брака и сожительства этих двух форм архитектуры; современный и традиционный. Я приглашаю вас прогуляться в прошлое по городам Бизерта и Тунис. Колониальная архитектура знает неоспоримый упадок, и крайне важно сохранить эту культурную жемчужину Туниса [9].

**Выводы.** в заключение можно отметить, что европейская, особенно французская, архитектура оказала значительное влияние на архитектуру стран Средиземноморья периода Французского Мандата – Алжира, Бейрута, Марокко, Туниса. Это выразилось в расширении территории и изменении планировки городов, создании новых

градостроительных ансамблей, композиционно-планировочное решение которых было навеяно градостроительными решениями Парижа и других крупных европейских городов. Развитие городской культуры сопровождалось миграцией и ростом численности городского населения, развитием системы транспорта, систем водоснабжения. Отмечается производство и внедрение новых строительных материалов и конструкций.

Французский мандат стал новым политическим этапом, который принес с собой множество изменений, которые привело к появлению новой архитектуры – архитектуры тридцатых годов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Malverti K., Picard A. Villes coloniales fondées entre 1830 et 1870 en Algérie (II). Itinéraires de ville et connaissances d'ingénieurs. M.: Maison des sciences humaines. Algérie, 2018. Pp. 21–35.
2. Icherbudene L. La Kasbah algérienne, protection et thèmes, patrimoine et développement dans les villes historiques du Maghreb moderne: problèmes, diagnostics et recommandations M.: UNESCO. Algérie, 2004. 210 p.
3. Sehnaui Nada. Occidentalisation de la vie quotidienne à Beyrouth: 1860-1914. M.: Université Paris X - Nanterre. Paris, 1981. 120 p.
4. Davy Mae., Levon Nordiguian. Habitat urbain à Beyrouth al-Kadimat au XIXe siècle. M.: Université américaine de Beyrouth. Beyrouth, 1987. Pp. 165–197.

## Информация об авторах

**Абасс Хиба Саад**, аспирант кафедры Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. E-mail: arch.hebbaabbas@hotmail.com. Южный федеральный университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42.

**Иванова-Ильичева Анна Михайловна**, кандидат технических наук, доцент кафедры Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. E-mail: ami0202@yandex.ru. Южный федеральный университет. Россия, 344006, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42.

Поступила в апреле 2019 г.

© Абасс Х.С., Иванова-Ильичева А.М., 2019

<sup>1,\*</sup>Abass H.S., <sup>1</sup>Ivanova-Ilyicheva A.M.

<sup>1</sup>Southern Federal University Academy. Architecture and Arts  
Russia, BolshayaSadovayast., 105/42, Rostov-on-Don

\*E-mail: arch.hebaabbas@hotmail.com

## INFLUENCE OF EUROPEAN ARCHITECTURAL TRADITIONS ON THE MEDITERRANEAN COUNTRIES UNDER CONTROL OF THE FRENCH MANDATE IN THE FIRST HALF OF THE XX CENTURY

**Abstract.** The article is devoted to the influence of European architectural traditions and design methods on traditional architecture in the Mediterranean countries during the French Mandate and the study of the functional, architectural and artistic features of residential and public buildings, built in accordance with the criteria of French architecture in the French Mandate period. Particular attention is paid to the administrative aspects of the organization of architectural and construction activities and changes in legislation in the countries of Algeria, Beirut, Morocco, and Tunisia during the French Mandate. The main activities in the field of architecture and construction, carried out by the French mandate authorities are considered: the repair of roads, the creation of schools and public health institutes, the construction of relevant public buildings. Together with the administrative and managerial changes, there is a serious cultural impact of France on the countries of Mandate, primarily identified in the field of architecture. Events in the field of urban development, associated with a change in the planning system of historical cities based on imitation of the European principles of urban planning are most clearly manifested. New architectural forms emerge due to the synthesis of local traditions and trends of French architecture. The purpose of this article is to identify the European influence and architectural features of Algeria, Beirut, Morocco and Tunisia during the French Mandate period.

**Keywords:** european architecture of XX century, Algeria, Beirut, Morocco, Tunisia, French Mandate.

## REFERENCES

1. Malverti K., Picard A. Villes coloniales fondées entre 1830 et 1870 en Algérie (II). Itinéraires de

5. Gael Gilles. Nouvelle ville coloniale au Maroc: moderne, saine, verte, étendue. M.: Maison des sciences humaines. Casablanca, 2014. Pp. 6–11.
6. Dunge Teresa. Enquêtes, hygiène et travail social dans la planification urbaine coloniale. Paris, 1935. Pp. 6–11.
7. Leslers Benedict., Salvador Tarrago. La figure gardienne de l'école française d'urbanisme. Paris, 1997. Pp. 17–43.
8. Liger Marcel. Logement médicalement colonial, urbanisme colonial et tropical. Paris, 1935. Pp. 39–46.
9. Lyavtey Hubert. Urbanisme dans les colonies et dans les pays tropicaux. Paris, 1932. Pp. 7–8.

ville et connaissances d'ingénieurs. M.: Maison des sciences humaines. Algérie, 2018. Pp. 21–35.

2. Icherbudene L. La Kasbah algérienne, protection et thèmes, patrimoine et développement dans les villes historiques du Maghreb moderne: problèmes, diagnostics et recommandations M.: UNESCO. Algérie, 2004. 210 p.

3. Sehnaui Nada. Occidentalisation de la vie quotidienne à Beyrouth: 1860-1914. M.: Université Paris X - Nanterre. Paris, 1981. 120 p.

4. Davy Mae., Levon Nordiguian. Habitat urbain à Beyrouth al-Kadimat au XIXe siècle. M.: Université américaine de Beyrouth. Beyrouth, 1987. Pp. 165–197.

5. Gael Gilles. Nouvelle ville coloniale au Maroc: moderne, saine, verte, étendue. M.: Maison des sciences humaines. Casablanca, 2014. Pp. 6–11.

6. Dunge Teresa. Enquêtes, hygiène et travail social dans la planification urbaine coloniale. Paris, 1935. Pp. 6–11.

7. Leslers Benedict., Salvador Tarrago. La figure gardienne de l'école française d'urbanisme. Paris, 1997. Pp. 17–43.

8. Liger Marcel. Logement médicalement colonial, urbanisme colonial et tropical. Paris, 1935. Pp. 39–46.

9. Lyavtey Hubert. Urbanisme dans les colonies et dans les pays tropicaux. Paris, 1932. Pp. 7–8.

#### *Information about the authors*

**Abass, Hiba S.** Postgraduate student. E-mail: olga.koalchenko@mail.ru. Southern Federal University. Russia, 34406, Rostov-on-Don, str. Bolshaya Sadovaya, 105/42.

**Ivanova-Ilyicheva, Anna M.** PhD, Assistant professor. E-mail: ami0202@yandex.ru. Southern Federal University. Russia, 34406, Rostov-on-Don, str. Bolshaya Sadovaya, 105/42.

---

*Received in April 2019*

#### **Для цитирования:**

Абасс Х.С., Иванова-Ильичева А.М. Влияние европейских архитектурных традиций на архитектуру средиземноморских стран под контролем французского мандата в первой половине XX вв. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 81–90. DOI: 10.34031/article\_5d496fa71f0e94.99678248

#### **For citation:**

Abass H.S., Ivanova-Ilyicheva A.M. Influence of european architectural traditions on the mediterranean countries under control of the french mandate in the first half of the XX century. Bulletin of BSTU named after V.G.Shukhov. 2019. No.8. Pp. 81–90. DOI: 10.34031/article\_5d496fa71f0e94.99678248

DOI: 10.34031/article\_5d553b252f2670.79382631

<sup>1,\*</sup>Акулова Н.А.<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

\*E-mail: naroma@list.ru

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО ЦАРСКОСЕЛЬСКОГО УЕЗДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ ГУБЕРНИИ В XVIII–НАЧАЛЕ XX ВЕКА

**Аннотация.** Традиционно при изучении особенностей формирования пригородного Царскосельского уезда внимание исследователей сконцентрировано на пригородных Императорских дворцово-парковых ансамблях (Царского Села, Павловска, Гатчины, Красного Села) и сопутствующих им усадьбам Высшей знати и рядового дворянства. Однако, выполненные в последние годы исследования показали, что с середины XVIII в. в зоне Царского Села начинала кристаллизоваться уникальная субагломерация (в рамках исторической регулярной Санкт-Петербургской агломерации), объединявшая ландшафты и ансамбли императорских, Великокняжеских и дворянских усадеб, полковые слободы лучших полков Императорской гвардии, комплексы промышленных объектов и нарождавшихся дачных поселений, объединенных системами сухопутных и водных путей сообщения. Изучению особенностей возникновения и становления промышленности как составной части развития Царскосельской субагломерации посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** регулярная Санкт-Петербургская агломерация, Царскосельская субагломерация, пригородный Царскосельский уезд, Санкт-Петербургская губерния, многофункциональность промышленной системы Царскосельского уезда и крупнейшие ее отрасли.

**Введение.** Царскосельский уезд воспринимался и воспринимается у градостроителей и архитекторов, знатоков, специалистов и любителей истории и культуры чаще всего лишь как ареал размещения известнейших Императорских дворцово-парковых ансамблей – Царского Села, Павловска, Гатчины, Красного Села. Но в процессе исследований было выявлено по многим архивным и опубликованным материалам, что за десятилетия XVIII – начала XX вв. уезд превратился в единый многофункциональный комплекс, в котором вокруг дворцово-парковых ансамблей (или во взаимодействии с ними) формировались и на протяжении десятилетий тесно сосуществовали разные по масштабам и пространственной мощности объекты, комплексы, слободы, городки и даже города других функций, в том числе в первую очередь – жилые комплексы и города (обслуживающего персонала, сановников и представителей высшей знати, выезжавших на летний отдых вместе с императрицами и императорами, а с середины XIX в. – и необозримой массы дачников), затем – крупные зоны (слободы и казармы) полков и слобод гвардии и армии (являвшихся в те времена неотъемлемой частью дворцовой и, одновременно, рядовой обывательской жизни), а также – промышленности, в значительной мере развивавшейся, как ни странно, в унисон с дворцово-парковыми ансамблями.

В этом едином ряду таких сопутствующих дворцовому существованию функций и объектов неизбежно упомянуть и объекты промышленно-

сти. Тем более, что многие мануфактуры и фабрики создавались и функционировали в непосредственном взаимодействии с дворцово-парковыми ансамблями. В качестве ярчайшего примера здесь можно упомянуть создание чуть западнее всемирно знаменитого Петергофа не менее знаменитой Гранильной фабрики. Причем и Петергоф и Гранильная фабрика «питались» из единого водного источника – системы Ропшинских водоводов, являясь неразрывной сетью взаимосвязанных объектов. Таким образом – и дворцово-парковый ансамбль мирного уровня и фабрика были неразрывно связаны не только территориально, но и многими другими функциональными, содержательными, концептуальными, культурными и т.д. связями.

Промышленные объекты возникали в разное время, как в единстве с дворцово-парковыми ансамблями, так автономно, но в рамках единой исторической системы расселения уезда. И такое разнообразие динамики жизни предприятий является еще одним из поводов для более глубокого рассмотрения проблем формирования промышленности в уезде.

Неизбежно рассматривая промышленность как элемент единой пространственной системы уезда можно отметить, что к 1916 г. в Царскосельском уезде сформировалась развитая система промышленных объектов, включавшая 165 известных к настоящему времени разнообразных по размерности, функциональности и масштабам капиталоемкости предприятий. В данной статье



рассматривается один из компонентов Санкт-Петербургской агломерации – промышленные объекты, как неотъемлемая часть территориального градостроительного формирования и структурирования целостной столичной агломерации. Промышленные объекты уезда, объединенные достаточно устоявшейся и постоянно развивавшейся пространственной транспортной системой сухопутных, железнодорожных магистралей постепенно сформировали единую пространственную систему. В данном случае рассматриваются этапные моменты формирования, кристаллизации и последующего развития, а также отраслевые особенности промышленности в целом и ее подструктур на территории бывшего Царскосельского уезда. Следует отметить, что ранее исследователями предпринимались попытки выявить закономерности развития губернской и уездной промышленной архитектуры, однако по большей части работы такого рода касались либо территории Санкт-Петербургской губернии в целом, сохраняя недостаточно точное обзорное изучение самих промышленных предприятий.

Данная статья локализована только в исторических границах пригородного Царскосельского уезда, касается только предприятий этого уезда с их достаточно разнообразной отраслевой кластеризацией и классификацией, с одновре-

менным выявлением промышленной локализации в условиях существовавшей ландшафтной структуры (ландшафтного каркаса), в естественной и совершенно обоснованной увязке промышленного зонирования с особенностями исторической транспортно-магистральной инфраструктуры, их расположения и развития.

**Общее рассмотрение.** Выявление промышленных объектов, изучение их отраслевой принадлежности, их локализация относительно существовавших в данный период транспортных магистралей и конкретных природно-ландшафтных зон осуществлялось по этапам, в хронологических границах 1710-х-1916 гг на основании архивных (неопубликованных) и опубликованных материалов.

В десятилетия правления Петра I вплоть до 1725 году на части территории существовавшего тогда Капорского (Копорского) уезда Санкт-Петербургской губернии (но в границах исследования соответствующей территории Царскосельского уезда на 1916 г.), выявлены семь промышленных объектов, которые были в то время размещены: 4 объекта – южнее Царского Села; 2 объекта – в зоне Красного Села 1 – в районе Ижоры (это было началом знаменитой в будущем системы Адмиралтейских Ижорских заводов на территории владений Светлейшего Князя А.Д. Меншикова) и 1 – в Гатчино (рис. 1).

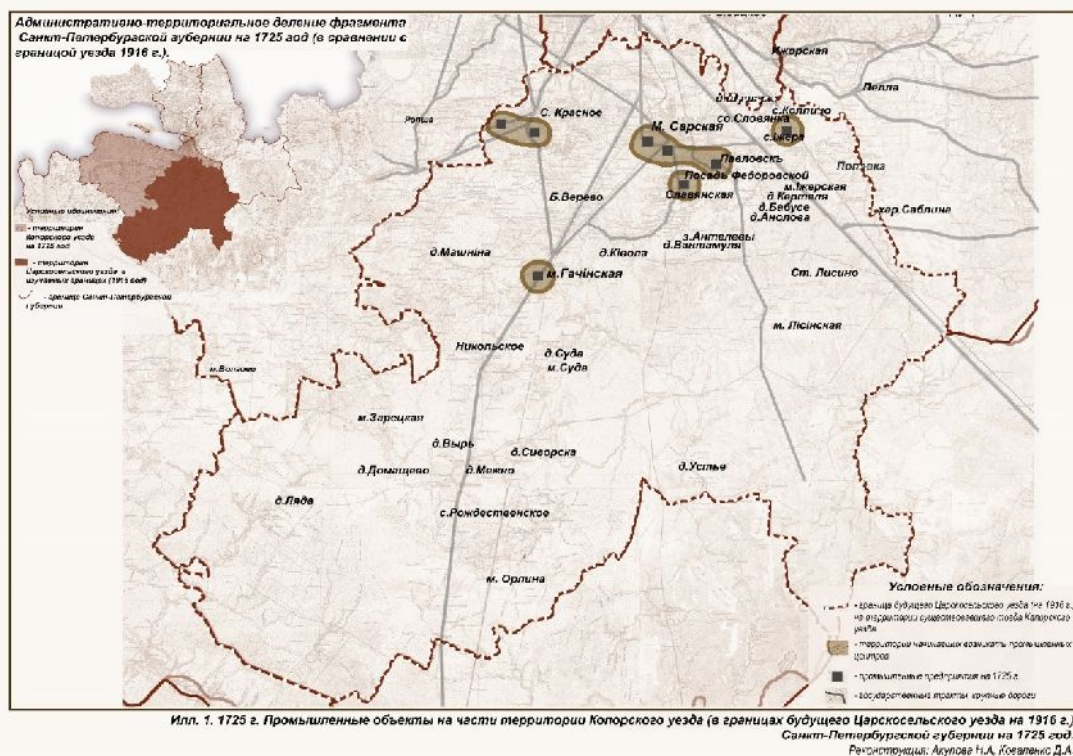


Рис. 1. 1725 г. Промышленные объекты на части территории Копорского Уезда (в границах будущего Царскосельского уезда на 1916 г.) Санкт-Петербургской губернии на 1725 год. Реконструкция Акулова Н.А.

Такое размещение формировавшихся тогда промышленных объектов может указывать еще

на дисперсный характер размещения, но одновременно отражает некоторую уже намечавшуюся концентрацию южнее Царского Села.

На 1800 год на территории уже Софийского уезда (соответствующей территории Царскосельского уезда в границах 1916 г.) отмечены уже 24

по-прежнему чаще всего дисперсно размещенных предприятия (рис. 2).

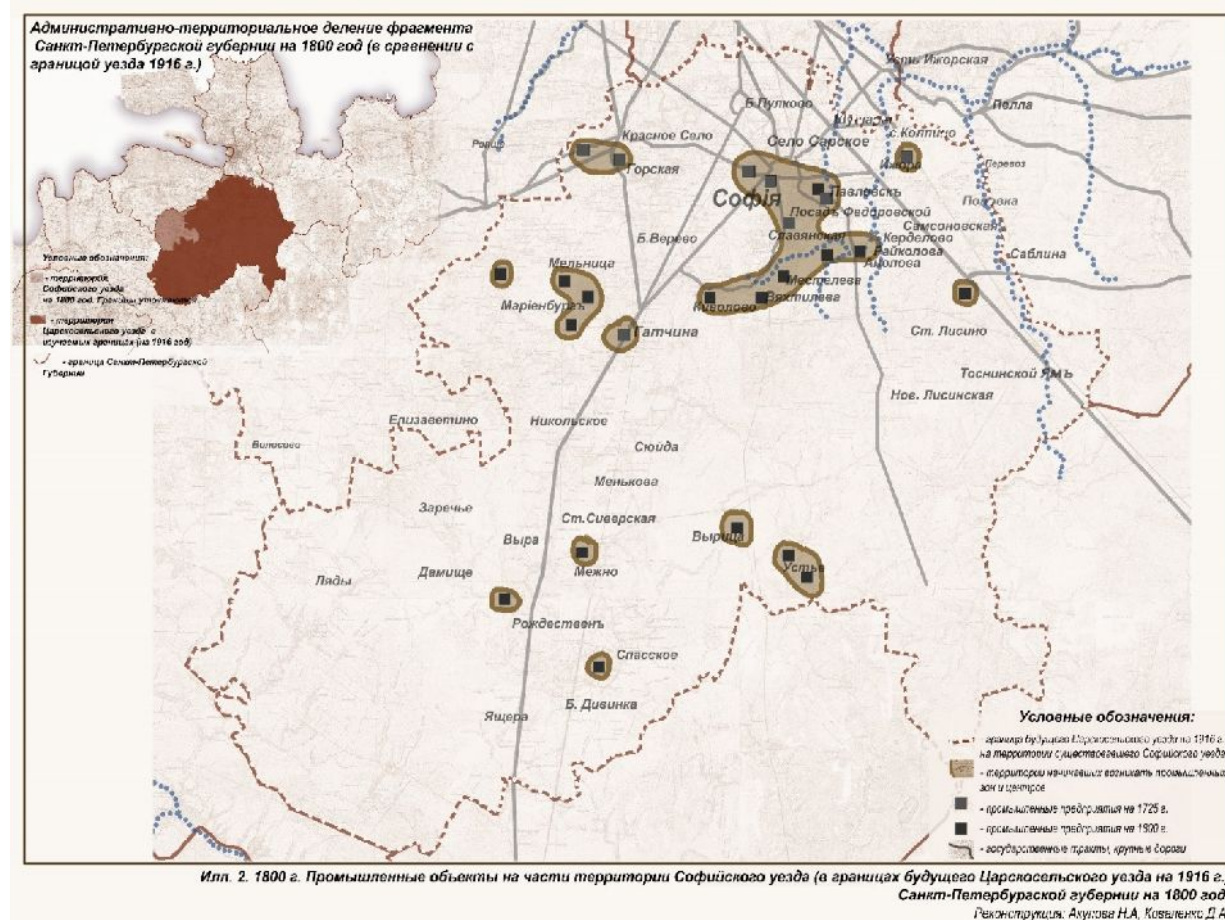


Рис. 2. 1916 г. Промышленные объекты на части территории Софийского уезда (в границах будущего Царскосельского уезда на 1916 г.) Санкт-Петербургской губернии на 1800 г.  
Реконструкция Акулова Н.А., Коваленко Д.А.

Но уже можно отметить полуконцентрические зоны с началом создания своеобразного пояса от г. Софии до с. Каволово (включившего 10 производственных объектов разной функциональности).

В 1801–1836 гг. в Царскосельском уезде стало заметно превалировать размещение промышленных предприятий разной функциональности вдоль берегов судоходной р. Ижоры (ставшей к тому времени главной транспортно-коммуникативной магистралью для развития промышленного каркаса в уезде), а также их концентрация вдоль сухопутного тракта Красное Село – Гатчина (Гатчино) – Малые Колпаны – Рождествено. Транспортно-коммуникативная ось Красное Село – Рождествено объединила не менее 20 разноразмерных и разнофункциональных промышленных объектов. По берегам р. Ижоры с петровских времен существовала «цепочка» пильных мельниц, к 1800 г. От которой сохранилось не менее 5 мельниц. И эта «цепочка» к тому времени стала объединительным элементом для

кристаллизации уже тогда «полукольца» от Царского Села и уездного города Софии до с. Карлово. Одновременно, многие предприятия были размещены южнее широты Гатчино-Лисино, среди них: предприятия в Лисино, Вырице, Устье, Сиворицах, Суйде, Спасском. В зоне Рождественно к 1836 г. отмечен второй крупный формировавшийся промышленный узел (из 5 промышленных объектов), а чуть западнее в районе Межно – два отдельных объекта.

В 1837–1900 гг. территория Царскосельского уезда включила 83 промышленных объекта, в том числе – 59 новых. Выявлено еще большее уплотнение зоны от Царского Села до с. Каволово, формирование «промышленного полукольца» по берегам р. Ижоры (от Колпино до Вяхтилева), значительное расширение промышленной зоны в районе Красного Села и Дудергофа, вокруг Гатчино, у Ямского и ж.д. поселения Тосно на сухопутной магистрали и железнодорожной линии Санкт-Петербург-Москва. Сформировался также пояс от Межно, через реки Оредеж и Лугу до Домище, образуя единую зону



Выра-Рождествено-Старая Сиверская. В это время весомую градоформирующую роль продолжали сохранять традиционные водные и сухопутные трассы, но развитие системы железнодорожных линий привело к существенному изменению всего «иероглифа» транспортно-коммуникационного каркаса «вылетных» магистралей, радиально выходящих из Санкт-Петербурга. По-

степенно, десятилетиями эти каркасообразующие процессы привели к значительным пространственным изменениям в размещении как промышленных объектов, так и нарождавшиеся системы дачных поселений.

К 1916 год можно отметить значительное изменение территориального размещения промышленных объектов в Царскосельском уезде (рис. 3).

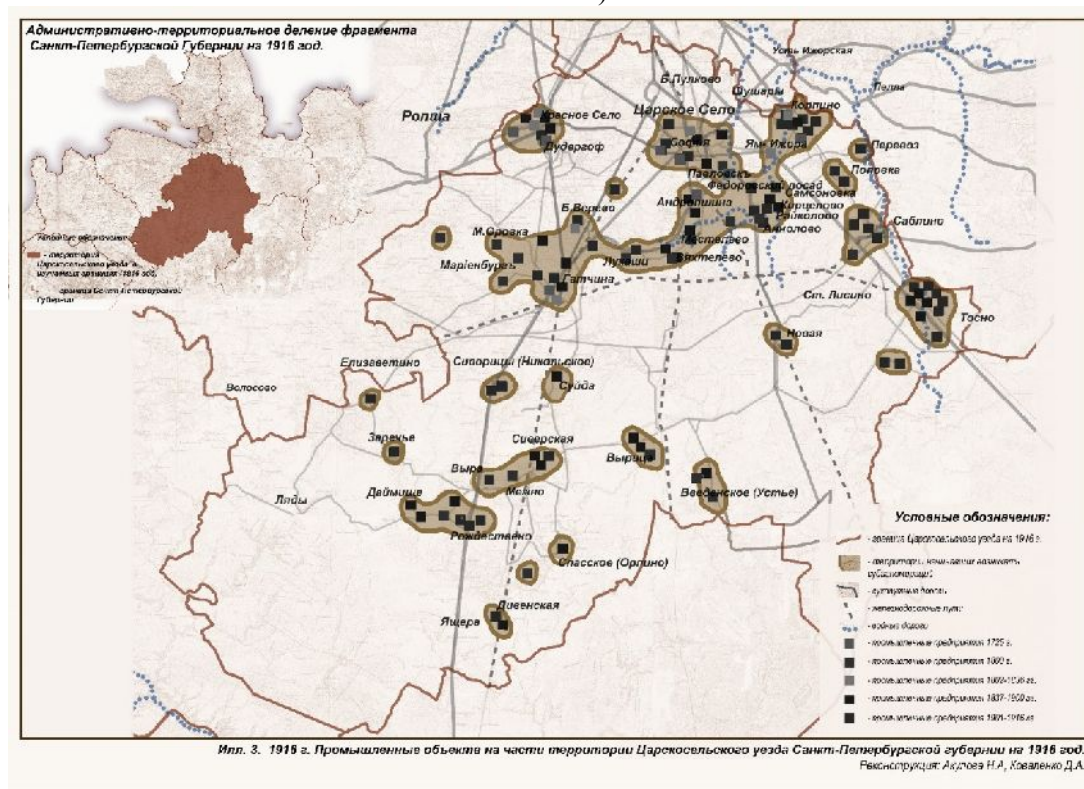


Рис. 3. 1800 г. Промышленные объекты на части территории Царскосельского уезда Санкт-Петербургской губернии на 1916 г.  
Реконструкция Акулова Н.А., Коваленко Д.А.

Это было обусловлено серьезным и параллельным объединением (слиянием) стремительным развитием сети железных дорог, расширением жилой пригородной среды обитания, создания крупных полос постоянного вокруг Санкт-Петербурга проживания и поясов сезонного дачного проживания. Промышленный каркас Царскосельского уезда развивался с учетом этих тенденций. К этому времени уже были сформированы плотные территориальные зоны (включающие по несколько промышленных предприятий), в том числе: Красное Село-Дудергоф, Саблино, Тосно, Выра. Одновременно продолжали интенсивно развиваться два пояса, объединивших по несколько десятков промышленных объектов с достаточно четкой структурой распределения промышленных предприятий. В восточной части уезда дальнейшее пространственное формирование промышленности шло по двум направлениям от Колпино – вдоль линии Николаевской железной дороги (до Тосно) и по берегам р. Ижоры

(включая «промышленное полукольцо» от Колпино до Лукашей, границы мызы Оровка). В западной части уезда развитие промышленных центров пошло по линии Варшавской железной дороги от Красного Села через Гатчину к узлу Сиверская-Выра-Рождествено. Вдоль сухопутных и водных трактов, по берегам водоемов, железнодорожных линий продолжали существовать отдельные дисперсно размещенные предприятия.

Анализ размещения выявленных на 1916 г. в границах Царскосельского уезда промышленных объектов показал последовательное, десятилетиями, формирование обширнейшего полифункционального плотного промышленного пояса от Колпино (на востоке) до с. Пудости (на западе) южнее Императорских дворцово-парковых ансамблей Царского Села и Павловска. А также четырех крупных (но локальных), также полифункциональных зон: Красное Село – Дудергоф, Суйда – Сиворицы, Сиверская-Рождествено, Тосно.

Явное, почти сплошное размещение промышленности в северной части Царскосельского уезда (пояс Колпино-Пудость, а также зона Красное Село-Дудергоф), наряду с объектами еще трех функциональных слоев, также имеющих особо высокую концентрацию именно в северной части уезда, в т.ч.:

- система Императорских дворцово-парковых ансамблей Царского Село, Павловск, Гатчина;
- система Летней Военной резиденции Гвардейского Корпуса в Красном Селе-Дудергофе, а также военных городков Лейб-Гвардии полков и подразделений;
- система Великокняжеских усадеб и усадеб Высшей знати.

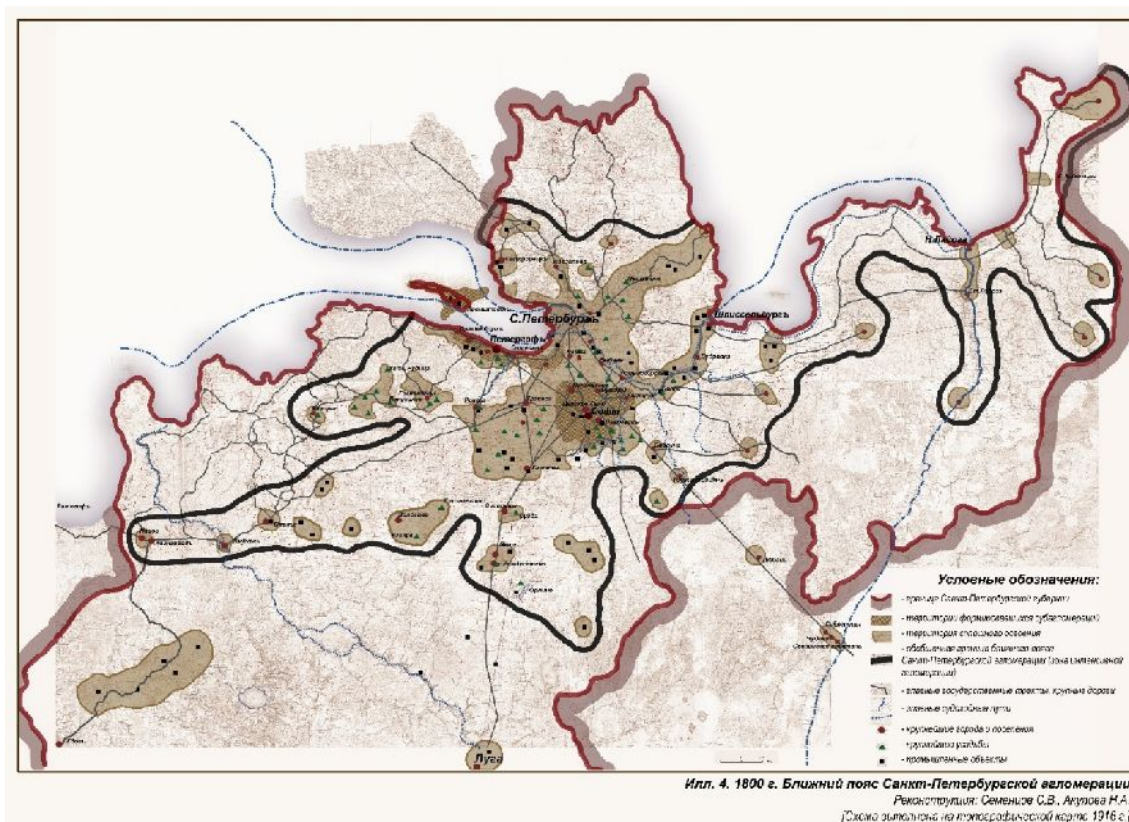


Рис. 4. 1800 г. Ближний пояс Санкт-Петербургской агломерации Реконструкция Семенцов С.В., Акулова Н.А. (Схема выполнена на топографической карте 1916 г.)

Ясно показывает сформировавшиеся к началу XX в. территориальные особенности данной зоны, как особой зоны развития всего уезда. А если рассматривать эту рукотворную и природно-ландшафтную территорию как элемент исторической Санкт-Петербургской агломерации – то как особую **Царскосельскую субагломерацию** (рис. 4), объединившую, как было сказано ранее – дворцовые ансамбли, жилые образования, армейские структуры, промышленность [1].

Одной из важных особенностей развития уездной промышленности в таких условиях является определение функциональности объектов, получивших столь явную положительную соотношенность с императорскими дворцово-парковыми комплексами. То есть, какие функции, в т.ч. в промышленной сфере в историческом срезе были совместимыми с парадной дворцовой жизнью. Для поиска ответа на этот нетривиальный вопрос нужно более внимательно проработать

тему отнесенности промышленных объектов к разным отраслевым группам.

Выявленные в результате исследований промышленные объекты Царскосельского уезда могут быть отнесены к нескольким функциональным группам. По данным на 1916 год в Царскосельском уезде действовало 165 промышленных объектов 9 отраслей [2]. Но предприятия всего четырех доминирующих отраслей в совокупности представляли 85 % от всех предприятий, располагавшихся в Царскосельском уезде в конце XIX – начале XX века в т.ч.:

- 31 предприятие (28 %) – производство строительных материалов (19 кирпичных заводов, 10 стекольных, хрустальных и зеркальных, 1 известковый, 1 гончарный);
- 23 предприятия (21 %) – механическая обработка дерева (21 лесопильный завод, по 1 паркетной и фанерной фабрике);

- 21 предприятие (19 %) – бумажное и полиграфическое производство (6 картонных фабрик, 15 писчебумажных);

- 19 предприятий (17 %) – пищевая промышленность (14 мельниц, 1 кондитерско-макаронная фабрика, 1 завод искусственных вод).

Предприятия остальных пяти отраслей объединяли лишь около 15 % от общего количества предприятий в т.ч.:

- 6 предприятий (6 %) – получение и обработка металлов (2 завода, перерабатывающих железо и сталь, в их числе одно из главных и крупнейших предприятий губернии – Ижорский завод в Колпино, 4 завода, перерабатывающих прочие металлы);

- 5 предприятий (5 %) – обработка животных продуктов (3 кожевенных завода, 2 шерстепрядильных и суконных фабрики);

- 2 предприятия (2 %) – химическая промышленность (спичечная и косметическая фабрика);

- 1 предприятие (1 %) – обработка волокнистых веществ (ватная фабрика);

- 1 предприятие (1 %) – смешанное производство (фабрика музыкальных инструментов).

Эти данные показывают, что на 1916 г. в Царскосельском уезде значительно выделялись предприятия по переработке древесины: отмечено 23 лесопильных предприятий [3], а также 21 завод, относящийся к отрасли по обработки древесины, что суммарно составляет 41 % от общего числа предприятий данного периода.

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Исторический пригородный Царскосельский уезд, традиционно во многих исследованиях и описаниях рассматриваемый как зона размещения Императорских дворцово-парковых ансамблей, сопутствующих им казарменных городков российской гвардии и многочисленных дворянских усадеб, в XVIII – начале XX вв. имел также развитую систему промышленных объектов, включающую к 1916 г 165 разнофункциональных предприятий, но с преобладанием предприятий дереводобычи и деревообработки а также системы производства строительных материалов. К этому времени был сформирован и четко структурирован промышленный каркас уезда.

2. На протяжении полутора веков развития Царскосельского уезда возникла развитая пространственная система (каркас), представленная разнофункциональными промышленными объектами. Основными элементами этой системы являлись с одной стороны огромный протяжный пояс от Колпино до м. Оровка, дополненный

крупными объектными ядрами промышленности, а также многие отдельные точки.

3. Размещение промышленных предприятий хорошо коррелируется с крупнейшими сухопутными, судоводными и железнодорожными линиями. На территории Царскосельского уезда предприятия распределялись неравномерно, концентрируясь вдоль крупнейших водных магистралей, сухопутных путей и, с середины XIX в. – сети железнодорожных линий.

4. Формировавшаяся в северной части уезда за десятилетия интенсивная промышленная зона стала одной из существенных составляющих возникновения и кристаллизации Царскосельской субагломерации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенцов С.В., Акулова Н.А. Формирование Санкт-Петербургской агломерации в XVIII веке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №11. С. 61–75.
2. Сведения о промыслах в Царскосельском уезде // ЦГИА СПб, Ф. 253. Оп. 3. Д. 2273.
3. О лесопромышленном промысле в Царскосельском уезде // ЦГИА СПб, Ф. 536. Оп. 9. Д. 4984.
4. Езиоранский Л.К. Фабрично-заводские предприятия Российской Империи (исключая Финляндию); ред. Ф.А. Шобер, 2-е изд. Петроград: издали инж. путей сообщ. Д.П. Кандауров и сын (Типография Т-ва под фирмой «Электро-Типография Н.Я. Стойковой»), 1914. 1612 с.
5. Варзар В.Е. Список фабрик и заводов Российской Империи. СПб. 1912. 718 с.
6. Заозерская Е.И. Мануфактура при Петре I. М.Л.: АН СССР, 1947. 190 с.
7. Мурашова Н.В. Сто дворянских усадеб Санкт-Петербургской губернии: Ист. Справочник. СПб. 2005.
8. Семенцов С.В., Акулова Н.А. Основание Санкт-Петербургской агломерации при Петре I в 1703-1724 гг. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Том 20. № 6. С. 46–65.
9. Список фабрик и заводов Российской Империи. СПб. 1912. 718 с.
10. Список фабрикантам и заводчикам Российской Империи на 1832 год. СПб. 2005.
11. Об устройстве при фабриках и заводах больничных помещений для рабочих // ЦГИА СПб, Ф. 254. Оп. 1. Д. 432.
12. Об освидетельствовании различных построек (О заключениях Строительного Отделения) // ЦГИА СПб, Ф. 256. Оп. 31. Д. 456.



13. Cole R. Inventing the Rural: A Brief History of Modern Architecture in the Countryside/Cole Roskam // *Designing the Rural: A Global Countryside in Flux*. 2016. № 4. Vol 86. Pp. 14–19.

14. U.N. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Urban Population, Development, and Environment. NY, UN Department of Economic and Social Affairs, 2007.

15. U.N. HABITAT, State of the World's Cities 2008/2009: Harmonious Cities. Sterling, VA: Earthscan, 2008. P. 15.

16. Seto K.C., Fragkias M., Güneralp B., Reilly M.K. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion // PLOS ONE Website. 2011. № 6 (8).

#### Информация об авторах

**Акулова Надежда Александровна**, ученый секретарь, доцент кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: naroma@list.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Поступила в июне 2019 г.

© Акулова Н.А., 2019

<sup>1,\*</sup> **Akulova N.A.**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Russia, 308012, Saint Petersburg, st. 2-I Krasnoarmeyskaya

\*E-mail: naroma@list.ru

## REGULARITIES OF INDUSTRIAL ARCHITECTURE DEVELOPMENT IN THE FORMER TSARSKOSEL'SKY UYEZD OF SAINT PETERSBURG PROVINCE IN THE XVIII – EARLY XX CENTURY

**Abstract.** Traditionally, when studying the formation of the suburban Tsarskoselsky Uyezd researchers focus on Imperial palace and park ensembles (Tsarskoye Selo, Pavlovsk, Gatchina, Krasnoye Selo) and on the estates of the Highest and ordinary nobility. However, performed studies show that from the middle of the XVIII century a unique sub-agglomeration crystallizes in the Tsarskoye Selo area (within the framework of the historical regular Saint Petersburg agglomeration). It unites the landscapes and ensembles of the Imperial, Grand-Ducal and noble estates, settlements of the best regiments of the Imperial Guard, complexes of industrial objects and emerging suburban settlements, united by the land and water transport system. This article is devoted to the study of the features of appearance and formation of industry as an integral part of the development of the Tsarskoye Selo sub-agglomeration.

**Keywords:** regular Saint Petersburg agglomeration, Tsarskoye Selo sub-agglomeration, suburban Tsarskoselsky Uyezd, Saint Petersburg province, multifunctional industrial system of the Tsarskoselsky Uyezd and its largest branches.

### REFERENCES

1. Semencov S.V., Akulova N.A. The formation of the St. Petersburg agglomeration in the XVIII century [Formirovanie Sankt-Peterburgskoj aglomeracii v XVIII veke]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 11. Pp. 61–75. (rus)

2. Information on crafts in Tsarskoye Selo [Svedeniya o promyslah v Carskosel'skom uezde]. CGIASPb, F. 253. Op. 3. D. 2273. (rus)

3. About timber industry in Tsarskoye Selo Uyezd [O lesopromyshlennom promysle v Carskosel'skom uezde]. TsGIASPb, F. 536. Op. 9. D. 4984. (rus)

4. Ezioranskij L.K. Factory enterprises of the Russian Empire (excluding Finland) [Fabrichno-zavodskie predpriyatiya Rossijskoj Imperii (isklyuchaya Finlyandiyu)]; red. F.A. Shober, 2-e

izd. Petrograd: izdali inzh. putej soobshch. D.P. Kandaurov i syn (Tipografiya T-va pod firmoj «Elektro-Tipografiya N.YA. Stojkovojev»), 1914. 1612 p. (rus)

5. Varzar V.E. List of factories and plants of the Russian Empire [Spisok fabrik i zavodov Rossijskoj Imperii]. Spb. 1912. 718 p. (rus)

6. Zaozerskaya E.I. Manufactory under Peter I. M.L. [Manufaktura pri Petre I. M.L.]: AN SSSR, 1947. 190 p. (rus)

7. Murashova N.V. One hundred noble estates of the St. Petersburg province [Sto dvoryanskih usadeb Sankt-Peterburgskoj gubernii]: Ist. Spravochnik. SPb. 2005. (rus)

8. Semencov S.V., Akulova N.A. The foundation of the St. Petersburg agglomeration under Peter I in 1703-1724 [Osnovanie Sankt-Peterburgskoj aglomeracii pri Petre I v 1703-1724 gg.]. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. Vol. 20. No. 6. Pp. 46–65. (rus)

9. List of factories and plants of the Russian Empire [Spisok fabrik i zavodov Rossijskoj Imperii. SPb]. 1912. 718 p. (rus)

10. List of manufacturers and breeders of the Russian Empire for 1832 [Spisok fabrikantam i zavodchikam Rossijskoj Imperii na 1832 god.] SPb. 2005. (rus)

11. About the device at factories and factories of hospital rooms for workers [Ob ustrojstve pri fabrikah i zavodah bol'nichnyh pomeshchenij dlya rabochih]. CGIASpb, F. 254. Op. 1. D. 432. (rus)

12. Ob osvidetel'stvovanii razlichnyh postroek [O zaklyucheniayah Stroitel'nogo Otdeleniya]. CGIASpb, F. 256. Op. 31. D. 456. (rus)

13. Cole R. Inventing the Rural: A Brief History of Modern Architecture in the Countryside/Cole Roskam. Designing the Rural: A Global Countryside in Flux. 2016. No. 4. Vol. 86. Pp. 14–19.

14. U.N. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Urban Population, Development, and Environment. NY, UN Department of Economic and Social Affairs, 2007.

15. U.N. HABITAT, State of the World's Cities 2008/2009: Harmonious Cities. Sterling, VA: Earthscan, 2008. P. 15.

16. Seto K.C., Fragkias M., Güneralp B., Reilly M.K. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. PLOS ONE Website. 2011. No. 6 (8).

#### *Information about the authors*

**Akulova, Nadezhda A.** Scientific Secretary, associate Professor. E-mail: naroma@list.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 308012, Saint Petersburg, st. 2-I Krasnoarmeyskaya.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Акулова Н.А. Закономерности развития промышленной архитектуры на территории бывшего царскосельского уезда Санкт-Петербургской губернии в XVIII – начале XX века // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 91–98. DOI: 10.34031/article\_5d553b252f2670.79382631

#### **For citation:**

Akulova N.A. Regularities of industrial architecture development in the former tsarskoselsky uyezd of Saint Petersburg province in the XVIII – early XX century. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 91–98. DOI: 10.34031/article\_5d553b252f2670.79382631



# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article\_5d4d30eadca666.64629058

<sup>1</sup>Борисов И.Н., <sup>1,\*</sup>Стронин А.А., <sup>1</sup>Классен В.К.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: alexanderstronin@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ ПУСТОТНОСТИ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ДИСПЕРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИНКЕРА

**Аннотация.** В настоящее время большинство цементных мельниц работает по замкнутому циклу, т.к. только установка сепаратора даже без существенной модернизации самой мельницы, позволяет увеличить ее производительность (примерно на 20 %) и значительно улучшить гранулометрический состав цемента, поэтому совершенствованию процесса сепарации отводится столь огромное значение, особенно за рубежом. Преимущество перевода мельницы на замкнутый цикл не ограничивается только лишь выше описанными положительными сторонами. Наличие сепаратора позволяет уменьшить средневзвешенный диаметр шара, снизить степень адгезии материала, предоставляет возможность регулирования тонкости помола цемента без изменения ассортимента мелющих тел. В результате усилия ученых направлены в сторону совершенствования конструкции сепараторов, при этом они, как правило, не уделяют должного внимания основным характеристикам мелющей загрузки, а корректируют их с учетом наличия системы сепарации. Многими учеными установлен тот факт, что оптимальная по составу и характеристикам мелющая загрузка, позволяет увеличить производительность шаровой мельницы на 10–20 % без снижения тонкости помола цемента. Перевод мельницы на замкнутый цикл при одновременном использовании рациональной мелющей загрузки, как в первой, так и во второй камере позволит добиться аддитивного эффекта увеличения энергоэффективности помольного агрегата. Авторами данной статьи уделяется особое внимание плотности упаковки мелющих тел во второй камере, т.к. увеличение значения данного показателя не всегда приводит к положительному эффекту. В статье на основании экспериментальных данных доказывается отсутствие однозначной зависимости между пустотностью мелющей загрузки при прочих равных условиях и величиной параметров, характеризующих тонкость помола.

**Ключевые слова:** шаровая мельница, измельчение клинкера, мелющая загрузка, гранулометрический состав, пустотность.

Основным помольным агрегатом для измельчения цемента является трубная шаровая мельница [1], получившая широкое распространение благодаря своим положительным качествам: высокой надежности работы, простоты конструкции и эксплуатации, высокой производительности [2]. Но наряду с этим мельница имеет и ряд существенных недостатков: значительный удельный расход электроэнергии, низкий КПД не более 5 % [3], невозможность регулирования тонкости помола цемента без изменения ассортимента мелющих тел, а также высокая степень агрегации материала во второй камере, не позволяющая получать цемент с удельной поверхностью 4000–5000 см<sup>2</sup>/г [4].

Измельчение материала в первой камере осуществляется в основном ударом, раздавливанием с частичным истиранием, а во второй наоборот – преимущественно истиранием [5]. В процессе истирания огромная доля работы измельчения преобразуется в другие формы энергии, не участвующие в процессе разрушения частиц размазываемого материала, это – тепло, звук, вибрация [6]. Наибольшая потеря полезной

энергии происходит во второй камере [7], поэтому здесь необходимо в большей степени, чем в первой камере создать энергоэффективную мелющую загрузку.

Одним из способов повышения эффективности работы шаровой мельницы является создание во второй камере двухшаровой загрузки, состоящей из мелкого и крупного шара (соотношение 1:3,5), эффективность использования которой представлена в ряде работ [8, 9]. Основное отличие такой компоновки шаров от традиционной заключается в увеличении плотности укладки, что в свою очередь способствует росту истирающего воздействия со стороны мелющих тел на частицы размазываемого материала. Чрезмерно плотная укладка шаров приведет к существенному снижению доли пустот, следовательно, уменьшится пропускная способность шаровой мельницы, поэтому необходимо перед началом проведения исследований определиться с оптимальным значением соотношения между массой мелющих тел и массой измельчаемого материала.

В настоящий момент не существует единого мнения о величине оптимального соотношения между массами мелющих тел и размалываемого материала. Ф. Дж. Мардулье в своей работе [10] рекомендует принимать значение этого соотношения в интервале 8,1 – 10,1, он считает, что при таком значении достигается максимальный выход поверхности цемента на единицу затрачиваемой энергии. В. Шерер считает, что  $m_{MT}/m_M$  должно равняться 8,75 [11]. В. Дерснах отмечает, что для получения рядового цемента с удельной поверхностью около 3200  $см^2/г$  (по Блейну) с минимальными энергетическими затратами указанное соотношение должно быть не менее 15 [12], к такому же выводу приходит и Р. Лавланд [13]. В. Д. Барбанягрэ в работах [14, 15] доказывает, что оптимальным значением  $m_{MT}/m_M$  является 13,75. При определении количества измельчаемого в мельнице материала исходили из этого значения.

Изучение роли пустотности мелющей загрузки второй камеры изучали на примере клинкера ЗАО «Осколцемент» фракции -5+1,25 мм, который измельчали в лабораторной мельнице ГИПРОЦЕМ 0,5×0,56 м, объемом 10 л в отсутствии гипса. В целях устранения влияния первой камеры мельницы на результаты исследований, необходимо было использовать мелющую загрузку (МЗ), отличающуюся высокой энергоэффективностью. В качестве подобной загрузки было решено использовать плотную шаровую упаковку (ПШУ) [16]. Ассортимент мелющих

тел ПШУ во всех испытаниях был постоянен: Ø74/Ø54=2:1. Материал вначале измельчался в течение 10 мин в первой камере, затем из нее извлекались мелющие тела и загружалась исследуемая загрузка. По окончании процесса измельчения у продукта помола определяли гранулометрический состав на приборе ANALYSETTE 22 NanoTec plus.

Изучение влияния доли пустот в мелющей загрузке второй камеры на тонкость помола готового продукта рассматривали на примере ассортимента размольных тел, представленных в таблице 1. При этом доля пустот в загрузке была математически рассчитана для неподвижного положения мелющей загрузки по формулам, приведенным в работе [17].

Целью исследования было установление характера влияния объема пустот в двухшаровой МЗ второй камеры на дисперсные характеристики готового продукта. Для достижения этой цели необходимо было решить несколько задач:

- установить зависимость пустотности выбранного типа мелющей загрузки, а также дисперсных характеристик порошка готового продукта от диаметра крупного шара;
- на основании полученных данных сделать вывод о характере влияния пустотности МЗ на такие дисперсные характеристики измельченного клинкера, как удельная поверхность, полный остаток на сите №008, гранулометрический состав.

Таблица 1

Пустотность исследованных мелющих загрузок

| Ассортимент мелющих тел второй камеры | Величина отношения массы мелющих тел к массе размалываемого материала $m_{MT}/m_M$ | Отношение по массе крупного шара к мелкому $D_{кр} : d_{мел}$ | Пустотность П, % |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|
| Ø74+ мелкий шар                       | 13,75                                                                              | 1 : 3,5                                                       | 36,9             |
| Ø60+ мелкий шар                       |                                                                                    |                                                               | 36,8             |
| Ø54+ мелкий шар                       |                                                                                    |                                                               | 36,7             |
| Ø40+ мелкий шар                       |                                                                                    |                                                               | 36,5             |
| Ø25+ мелкий шар                       |                                                                                    |                                                               | 30,0             |

Из таблицы 1 видно, что наиболее плотная укладка мелющих тел достигается путем добавления к мелким шарам крупных диаметром 25 мм (в данном случае П=30 %). Увеличение диаметра крупного шара до 40 мм сопровождается увеличением пустотности на 6,5 %. Наиболее рыхлая упаковка шаров наблюдается при использовании шаров размером 74 мм, в данном случае пустотность составляет примерно 37 %.

Влияние диаметра крупного шара на дисперсные характеристики размалываемого клинкера подробно изучено в работах [8, 9, 18], здесь же приводятся лишь экспериментальные данные, полученные в ходе проведения предыдущих

научных исследований (рис. 1 и 2, табл. 2). На основе данных табл. 2 были построены зависимости, характеризующие функциональную связь между содержанием основных фракций в порошке готового продукта и диаметром крупного шара, которые представлены на рис. 3. На этом рисунке в тех же координатах построен график, показывающий характер влияния диаметра крупного шара на пустотность мелющей загрузки.

Логично было предположить, что двухшаровая загрузка, содержащая крупные шары диаметром 25 мм и обладающая максимальной плотностью укладки шаров (табл. 1), должна иметь са-

мую высокую энергоэффективность, заключающуюся в высокой степени истирающего воздействия. Данное предположение было экспериментально подтверждено (рис. 1 и 2) высоким значением удельной поверхности  $4120 \text{ см}^2/\text{г}$  и низким  $\sum R_{008}=0,6 \%$ . Но помимо этого оказалось, что загрузка  $\varnothing 60+$  мелкий шар, почти идентична выше-рассмотренной, так  $S_{\text{уд}}=4190 \text{ см}^2/\text{г}$  и  $\sum R_{008}=0,7 \%$ . Различие заключается лишь во фракционном составе: фр.  $+30 \text{ мкм}$  содержится в большем количестве ( $24,8 \%$ ) в мелющей загрузке с  $D_{\text{кр}}=60 \text{ мм}$ , чем с  $D_{\text{кр}}=25 \text{ мм}$  ( $19,8 \%$ ), остальные фракции имеют приблизительно равное содержание.

Из рис. 3 также видно, что, начиная с диаметра крупного шара равного  $40 \text{ мм}$ , значение пустотности МЗ не зависит от величины его диаметра (при данном соотношении шаров) и остается постоянным на уровне  $36 \%$ . Тем не менее с

ростом  $D_{\text{кр}}$  дисперсные характеристики продолжают изменяться произвольным образом. Интересно отметить, что значения параметров, характеризующих тонкость помола клинкера на загрузке  $\varnothing 54+$  мелкий шар, сильно отличаются от значений тех же параметров у клинкеров, размолотых на других рассмотренных загрузках. В первом случае по завершению процесса помола клинкер имеет самое высокое значение полного остатка на контрольном сите  $3,4 \%$  и самую низкую удельную поверхность  $3600 \text{ см}^2/\text{г}$ . При рассмотрении гранулометрического состава наблюдается обратное соотношение. Наличие во второй камере мельницы наряду с мелкими шарами крупных диаметром  $54 \text{ мм}$ , позволяет получить продукт помола с малым содержанием фракции  $+30 \text{ мкм}$  около  $8 \%$  и высоким содержанием фракции  $-5+30 \text{ мкм}$  примерно  $72 \%$ .

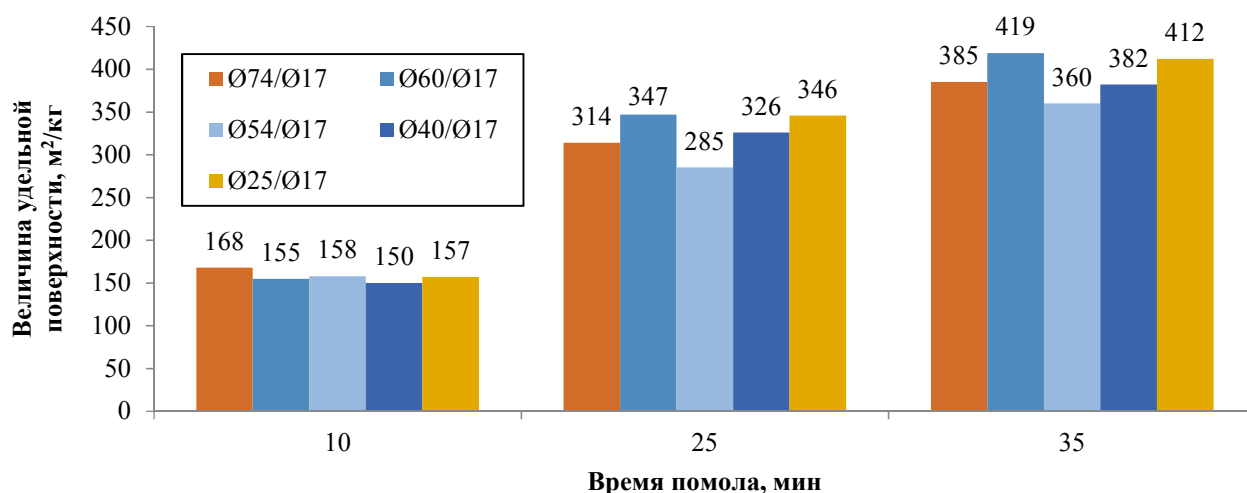


Рис. 1. Влияние диаметра крупного шара в мелющей загрузке на величину удельной поверхности

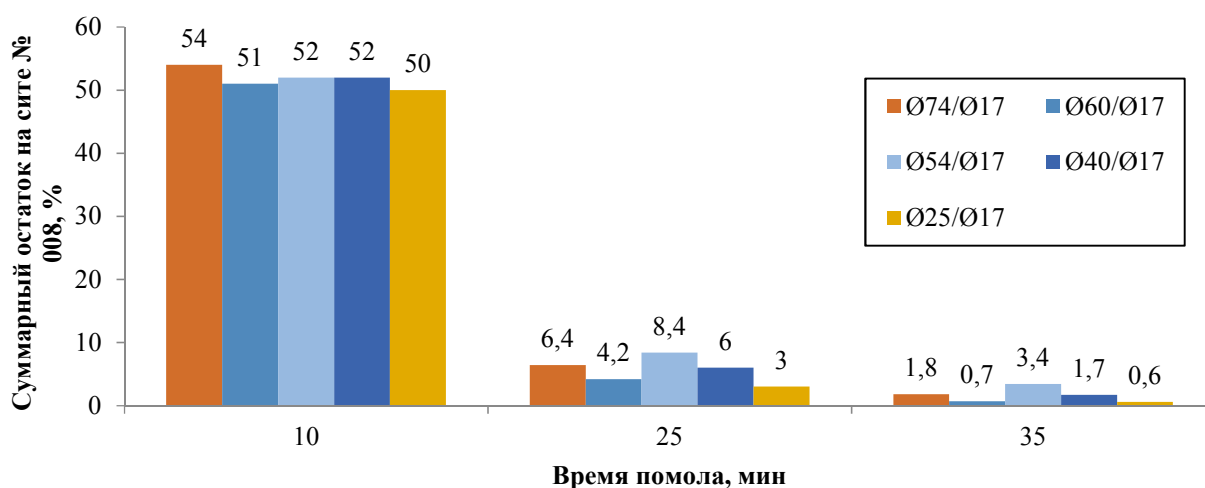


Рис. 2. Влияние диаметра крупного шара в мелющей загрузке на величину суммарного остатка на сите №008

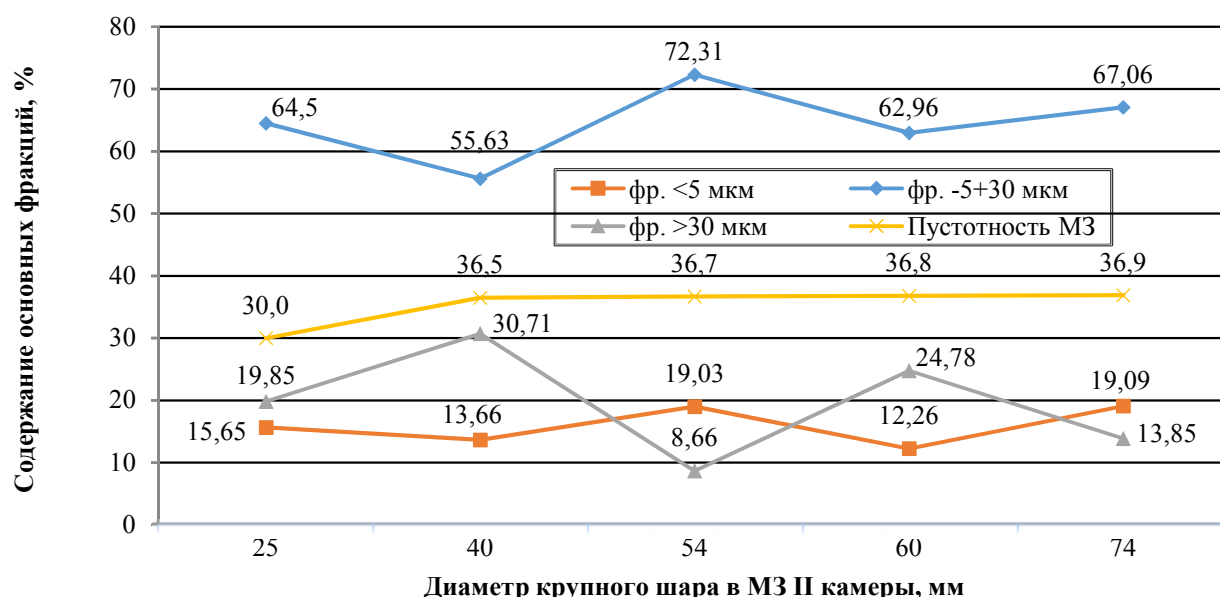


Рис. 3. Влияние диаметра крупного шара на пустотность МЗ и на содержание основных фракций в порошке готового продукта

Подобная зависимость наблюдается при рассмотрении такого параметра фракционного состава как характеристический размер частиц. В

данном случае загрузка Ø54+ мелкий шар позволяет получить продукт помола с минимальным значением характеристического размера равного 15 мкм.

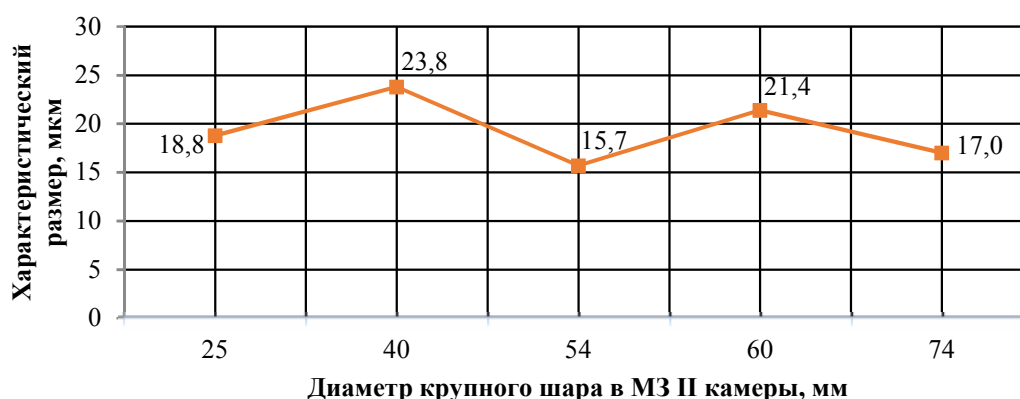


Рис. 3. Зависимость характеристического размера от величины диаметра крупного шара в МЗ

Таблица 2

#### Гранулометрический состав продукта измельчения после 35 мин помола

| Ассортимент мелющих тел II камеры | Содерж. фр. <5 мкм, % | Содерж. фр. 5 – 30 мкм, % | Содерж. фр. >30 мкм, % | Характеристический размер d', мкм |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Ø74 + мелкий шар                  | 19,09                 | 71,2                      | 9,71                   | 17,0                              |
| Ø60 + мелкий шар                  | 14,1                  | 66,15                     | 19,75                  | 21,4                              |
| Ø54 + мелкий шар                  | 21,4                  | 73,52                     | 5,08                   | 15,7                              |
| Ø40 + мелкий шар                  | 15,47                 | 58,35                     | 26,18                  | 23,8                              |
| Ø25 + мелкий шар                  | 18,16                 | 66,68                     | 15,16                  | 18,8                              |

По результатам фракционного анализа следует, что мелющая загрузка Ø40+ мелкий шар обладает наихудшей результативностью, т.к. содержание частиц, размер которых лежит в интервале 5–30 мкм составляет 55 %, а содержание частиц размером более 30 мкм – 30 %, при этом порошок измельченного клинкера имеет самое высокое значение показателя  $d=23$  мкм.

После проведенных научных исследований можно сформулировать следующие выводы:

– наиболее плотная укладка мелющих тел ( $\Pi=30\%$ ) во второй камере достигается путем добавления к мелким шарам крупных диаметром 25 мм, при замене их на мелющие тела диаметром 74 мм происходит увеличение пустотности на 7 %. Использование мелющих шаров оставшихся

размеров приводит к реализации мелющей загрузки с одинаковой пустотностью равной 36 %;

– установлено неоднозначное влияние величины пустот в мелющей загрузке на дисперсные характеристики. Все исследованные в рамках данной работы мелющие загрузки можно разбить на несколько пар: Ø25+ мелкий шар, Ø60+ мелкий шар и Ø54+ мелкий шар, Ø74+ мелкий шар. Каждая мелющая загрузка из пары способствует получению продукта помола, который в обоих случаях имеет примерно равные значения параметров, характеризующих тонкость помола и гранулометрический состав, несмотря на разницу в объеме пустот. В первом случае разница составляет 6,8 %, а во втором – 0,2 %;

– наименьшей результативностью обладает мелющая загрузка, содержащая крупные шары диаметром 40 мм и имеющая пустотность 36,5 %, в данном случае измельченный клинкер имеет самые худшие значения показателей дисперсных характеристик.

Таким образом, отсутствие однозначной зависимости между пустотностью двухшаровой мелющей загрузки и дисперсными характеристиками продукта помола, приводит к необходимости проведения дополнительных исследований с целью выяснения факторов, которые в совокупности с рассматриваемым параметром однозначно определяют значения этих показателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат, 1981. 484 с.
2. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 240 с.
3. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 258 с.
4. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 285 с.
5. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Физико-технические основы измельчения материалов в трубных мельницах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №4. С.1 82–185.
6. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1966. 270 с.
7. Несмеянов Н.П., Картыгин А.В. Внутримельничные устройства и их влияние на процесс измельчения цементного клинкера // В сб.: Научные технологии и инновации: сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ, 2016. С. 115–118.
8. Барбанягрэ В.Д., Стронин А.А. Влияние на гранулометрический состав клинкера ассортимента мелющих тел и интенсификатора помола // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №1. С. 71–75.
9. Барбанягрэ В.Д., Стронин А.А. Исследование влияния диаметра крупного шара в мелющей загрузке мельницы открытого цикла на дисперсные характеристики клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С.60–65.
10. Mardulier F.J. Balance – Key to Mill / Separator Operations, IV. Annual Cement Industry Operations, Seminar, Chicago, 1978. Pp. 66–78.
11. Scherer W. Antriebsprobleme bei Schwerkraftmühlen. Bulletin of Zement-Kalk-Gips Publ. 1984. No. 7. Pp. 394–396.
12. Dersnah W.R. Ball coating and grinding aids. Portland Cement Association, Report MP-80, Chicago Illinois Publ, 1986. Pp. 17–20.
13. Loveland R.A. Relation of ball load be clinker charge in grinding mills. Rock Products Publ, 1982. No. 10. Pp. 96–102.
14. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Интенсификация тонкого измельчения материалов в шаровых трубных мельницах // Научно-техническая конференция РФФИ: Сб. докл. регион. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 20–27.
15. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Интенсификация и моделирование процессов измельчения материала в шаровых трубных мельницах применительно к промышленным агрегатам // Цемент и его применение. 2016. №2. С. 94–100.
16. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Эффективная плотная шаровая загрузка и лифтерно-желобчатая бронефутеровка трубной мельницы // Труды юбилейной международной науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Научные технологии и инновации» (9 – 10 октября 2014 г.). Белгород: БГТУ, 2014. С. 30–35.
17. Шарапов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 270 с.
18. Стронин А.А., Барбанягрэ В.Д. Сравнение эффективности использования разных типов плотной шаровой загрузки при измельчении портландцементного клинкера // Труды II Международной науч.-техн. конф. «Энергетические системы» (23 – 24 ноября 2017 г.). Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 554–558.



## Информация об авторах

**Борисов Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Стронин Александр Анатольевич**, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Класен Виктор Корнеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Борисов И.Н., Стронин А.А., Класен В.К., 2019

<sup>1</sup>**BorISOV I.N., <sup>1</sup>\*StronIN A.A., <sup>1</sup>Klassen V.K.**

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

\*E-mail: alexanderstronin@yandex.ru

## INFLUENCE OF POROUSNESS OF GRINDING MEDIA OF A BALL DRUM ON DISPERSE CHARACTERISTICS OF CLINKER

**Abstract.** Currently, most cement mills operate in a closed circuit. Installing a separator without a significant modernization of the mill allows to increase its productivity (by about 20 %) and improve the grain size distribution of the cement; therefore the improvement of the separation process, especially abroad, is of great importance. The advantage of converting a mill to a closed circuit is not limited to the above described positive sides. The separator allows to reduce the weighted average diameter of the ball and the degree of adhesion of the material, provides the ability to control the fineness of cement without changing the range of grinding bodies. As a result, the efforts of scientists are directed towards improving the design of separators, while they usually do not pay enough attention to the main characteristics of the grinding load and adjust them considering the presence of separation system. Many scientists have established the fact that the optimal composition and characteristics of the grinding load can increase the productivity of the ball mill by 10–20 % without reducing the fineness of the cement grinding. Switching the mill to a closed circuit while using a rational grinding load, both in the first and in the second chamber will achieve an additive effect of increasing the energy efficiency of the grinding unit. The authors of this article pay special attention to the packing density of grinding media in the second chamber, because the increase in the value of this indicator does not always lead to a positive effect. On the basis of experimental data, the article proves the absence of an unambiguous relationship between the porousness of the grinding load under equal conditions and the value of the parameters characterizing the fineness of grinding.

**Keywords:** ball drum, clinker grinding, grinding media, particle size distribution, porousness.

### REFERENCES

1. Duda V. Cement [Cement]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 484 p. (rus)
2. Krykhtin G.S., Kuznetsov L.N. Intensification of work of mills [Intensifikatsiya raboty mel'nic]. Novosibirsk: «Science», 1993. 240 p. (rus)
3. Bogdanov V.S. Ball drum mills [Sharovye barabannye mel'nicy]. Belgorod: BelGTASM, 2002. 258 p. (rus)
4. Sergo E.E. Crushing, grinding and screening of minerals [Droblenie, izmel'chenie i grohochenie poleznykh iskopaemykh]. Moscow: «Nedra», 1985. 285 p. (rus)
5. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Physical and technical basis of grinding materials in tube mills [Fiziko-tekhnicheskie osnovy izmel'cheniya materialov v trubnykh mel'nicah]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 182–185. (rus)
6. Deshko Yu.I., Kreimer M.V., Krykhtin G.S. Grinding materials in the cement industry [Izmel'chenie materialov v cementnoj promyshlennosti]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 270 p. (rus)
7. Nesmeyanov N.P., Kartygin A.V. Intrabeling devices and their influence on the grinding process of cement clinker [Vnutrimel'nicnye ustrojstva i ih vliyanie na process izmel'chenie cementnogo klinkera]. Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj

tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova. 2016. Pp. 115–118. (rus)

8. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Influence on the particle size distribution of clinker in the assortment of grinding bodies and grinding intensifier [Vliyaniye na granulometricheskij sostav klinkera assortimenta melyushchih tel i intensifikatora pomola]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 1. Pp. 71–75. (rus)

9. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Study of the influence of the diameter of a large ball in the grinding load of an open-cycle mill on the dispersion characteristics of clinker [Issledovanie vliyaniya diametra krupnogo shara v melyushchej zagruzke mel'nicy otkrytogo cikla na dispersnye harakteristiki klinkera]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 5. Pp. 60–65. (rus)

10. Mardulier F.J. Balance – Key to Mill. Separator Operations, IV. Annual Cement Industry Operations, Seminar, Chicago, 1978. Pp. 66–78.

11. Scherer W. Antriebsprobleme bei Schwerkraftmühlen. Bulletin of Zement-Kalk-Gips Publ. 1984. No. 7. Pp. 394–396.

12. Dersnah W.R. Ball coating and grinding aids. Portland Cement Association, Report MP-80, Chicago Illinois Publ, 1986. Pp. 17–20.

13. Loveland R.A. Relation of ball load to clinker charge in grinding mills. Rock Products Publ, 1982. No. 10. Pp. 96–102.

14. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Intensification of fine grinding of materials in ball tube mills [Intensifikatsiya tonkogo izmel'cheniya materialov v sharovykh trubnykh mel'nicah]. Nauchno-tehnicheskaya konfer-

enciya Rossijskogo fonda fundamental'nyh issledovaniy. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2015. Pp. 20–27. (rus)

15. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Intensification and modeling of processes of material grinding in ball tube mills with reference to industrial aggregates [Intensifikatsiya i modelirovanie processov izmel'cheniya materiala v sharovykh trubnykh mel'nicah primenitel'no k promyshlennym agregatam]. Bulletin of Cement and its application. 2016. No. 2. Pp. 94–100. (rus)

16. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Effective dense ball loading and lift-grooved hunch plate tube mill [Effektivnaya plotnaya sharovaya zagruzka i liftno-zhelobchataya bronefuterovka trubnoj mel'nicy]. Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2014. Pp. 30–35. (rus)

17. Sharapov R.R. Ball mills of a closed cycle [Sharovye mel'nicy zamknutogo cikla]. Belgorod: BGTU, 2008. 270 p. (rus)

18. Stronin A.A., Barbanyagre V.D. Comparison of the efficiency of using different types of dense ball loading when grinding Portland cement clinker [Sravnenie effektivnosti ispol'zovaniya raznykh tipov plotnoj sharovoj zagruzki pri izmel'chenii portlandcementnogo klinkera]. II Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Energeticheskie sistemy». Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2017. Pp. 554–558. (rus)

#### Information about the authors

**Borisov, Ivan N.** DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Stronin, Alexandr A.** Postgraduate student. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Klassen, Viktor K.** DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in May 2019*

#### Для цитирования:

Борисов И.Н., Стронин А.А., Классен В.К. Влияние пустотности мелющей загрузки шаровой мельницы на дисперсные характеристики клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 99–105.

#### For citation:

Borisov I.N., Stronin A.A., Klassen V.K. Influence of porousness of grinding media of a ball drum on disperse characteristics of clinker. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 99–105.

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article\_5d4d674f73d7a2.60224643

<sup>1,\*</sup>Никитина И.П., <sup>1</sup>Поляков А.Н.<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет  
Россия, 430005, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13

\*E-mail: innanikitina@list.ru

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТЧИК ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ВНУТРЕННИХ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ РЕЗЬБ

**Аннотация.** В работе представлена оригинальная конструкция специального метчика для нарезания точных резьб. Отличительными конструктивными особенностями метчика являются: наличие задней резьбовой направляющей, которая совместно с копирной резьбовой втулкой приспособления воспринимает осевые силы и обеспечивает метчику осевую подачу строго соответствующую шагу нарезаемой резьбы, исключая ее разбивание под действием осевых сил; наличие гладкой передней направляющей частью с направлением по нарезаемому отверстию, для уменьшения влияния радиальных сил, приводящих к разбиванию резьбы из-за радиальных колебаний метчика; наличие заборной части, реализующей наиболее технологичную генераторную схему резания. Представлен прототип специального метчика, изготовленный на токарно-фрезерном станке, подтверждающий технологичность предлагаемой конструкции инструмента. Проведенные в САЕ-системе Ansys исследования в области инженерного анализа показали существенное увеличение жесткости конструкции, а также существенное увеличение собственных частот. Тепловые расчеты показали возможные риски в обеспечении точности нарезания точной резьбы.

**Ключевые слова:** резьбонарезной инструмент, нарезание резьб, метчик, САД-система, САЕ-система.

**Введение.** Обработка резьбовых поверхностей в настоящее время реализуется различными способами. Например, наружные резьбы формируют резцом, гребенкой, резьбонарезной головкой, резьбовыми гребенчатыми фрезами, накатыванием плоскими или круглыми плашками [1]. Сегодня традиционные способы нарезания резьбы вытесняются наиболее производительными и надежными [1–6].

Обработка внутренних резьб небольших размеров выполняется метчиками [2]. Например, согласно ГОСТ 1336-77, минимальный диаметр резьбовой гребенчатой фрезы составляет 10 мм. Согласно этому ГОСТу нарезать резьбу большого диаметра с самым мелким шагом тоже невозможно. Вместе с тем машинные метчики являются одним из наименее надежных инструментов для нарезания резьбы. Поэтому исследованиям возникающих при резании усилий и крутящих моментов при нарезании резьбы не только фрезами и резцами, но метчиками уделяется большое внимание [5–9].

Длительные производственные наблюдения показывают, что несмотря на кажущуюся простоту процессов резьбонарезания, получить ожидаемый эффект при обработке точных резьб удается не всегда [10]. Иногда после обработки на высокопроизводительном автоматизированном

станке производится «ручная» калибровка резьбы, так как без этого не удастся выполнить точное и качественное резьбовое отверстие, или очень часты поломки метчиков при однократном резьбонарезании. Нарезание точных резьб при работе на обычном оборудовании осуществляется в основном комплектом метчиков, причем последний чистовой проход обычно выполняется вручную.

Факторами, снижающими работоспособность метчиков, в основном являются: выкрашивание режущих кромок на заборном конусе метчика; поломки метчиков (в особенности размером до 18 мм); невыполнение размеров и технических требований, предъявляемых к резьбе в деталях [3, 9, 10].

Основными причинами неточности параметров нарезаемой резьбы являются осевые и радиальные силы, воздействующие на метчик [5–13]. Поэтому для повышения точности необходимо уменьшать разбивание резьбы прежде всего от воздействия осевых сил, а затем - радиальных.

Ориентировочно для разных резьб могут быть названы величины разбиваний, приведенных в табл. 1.

Если сравнить эти зоны разброса с полями допусков на резьбу, то точность резьбы колеб-

лется приблизительно от второй до девятой степени точности. Этим и обусловлено примечание к рекомендациям по назначению класса метчиков в зависимости от полей допусков нарезаемых метрических резьб по ГОСТ 16925-93 (табл. 2).

Таблица 1

**Величины разбиваний резьб**

| Метчики | Разбивание, мм |
|---------|----------------|
| M6-M12  | 0,04–0,16      |
| M14-M22 | 0,05–0,24      |
| M24-M36 | 0,05–0,4       |

Таблица 2

**Назначение класса точности метчика в зависимости от полей допусков нарезаемых метрических резьб**

| Класс точности метчика | Поле допуска нарезаемой резьбы |
|------------------------|--------------------------------|
| 1                      | 4H, 5H                         |
| 2                      | 6H, 4G, 5G                     |
| 3                      | 7H, 8H, 6G                     |
| 4                      | 7H, 8H                         |

Анализ конструктивных особенностей стандартных и специальных метчиков, а также рекомендации, представленные в научной и справочной литературе, определили конструкцию специального машинно-ручного метчика для однопроходного нарезания точной сквозной метрической резьбы. Конструкцию метчика отличает:

- наличие задней резьбовой направляющей, которая совместно с копирной резьбовой втулкой приспособления воспринимает осевые силы и обеспечивает метчику осевую подачу строго соответствующую шагу нарезаемой резьбы, исключая ее разбивание под действием осевых сил;

- наличие гладкой передней направляющей частью с направлением по нарезаемому отверстию, для уменьшения влияния радиальных сил, приводящих к разбиванию резьбы из-за радиальных колебаний метчика, при этом радиальные колебания метчика должны остаться в пределах зазора между направляющими поверхностями;

- наличие заборной части, реализующей стандартную генераторную схему резания, как наиболее технологичную.

При этом следует отметить, что:

- приведенные в табл. 2 поля допусков нарезаемых резьб могут быть получены метчиками только при эксплуатации их на станках, соответствующего класса точности и с применением патронов, обеспечивающих центрирование метчиков в отверстии;

- точность нарезания резьбы зависит от обрабатываемого материала, скорости резания и свойств смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), что может привести несколько к иным сочетаниям класса точности метчика и полей допусков нарезаемых метрических резьб, приведенных в табл. 2.

Направляющие части метчика проектируются за одно целое с рабочей частью метчика, т.к. это гарантирует их наиболее точное расположение. Инструментальный материал – быстрорежущая сталь P6M5 ГОСТ 19256-73, материал хвостовика сталь 40X ГОСТ 4543-71.

**Методика.** Расчет геометрических параметров метчика производился по методике, предложенной Шагуном В.И. [14]. Определение основных размеров нарезаемой резьбы наружного, внутреннего и среднего диаметров и шага производится по ГОСТ 9150-81. Технические требования приняты по ГОСТ 3449-84 для метчика первого класса точности.

Проектирование станочного установочного приспособления для нарезания сквозной резьбы специальным машинно-ручным метчиком M16x2-1кл. производилось для детали типа «Втулка» M16x2-4H, по конструкции соответствующей микрометрической втулке с внутренней резьбой мерительного инструмента.

При конструировании метчика использовались САД-система КОМПАС 3D и САЕ-система Ansys. С использованием САЕ-системы Ansys были выполнены расчеты статических и модальных характеристик двух конструктивных вариантов метчиков: стандартного и специального с двумя направляющими частями.

**Основная часть.** Рабочий чертеж метчика и его прототип [15], изготовленный на станке HAAS ST-10Y, представлены на рис. 1 и 2.

На рис. 3 представлено спроектированное приспособление для закрепления детали с направляющими втулками для метчика специальной конструкции.

Для проведения последующих исследований была разработана трехмерная модель метчика (рис. 4 а).

Результаты статических и модальных характеристик в САЕ-системе Ansys позволили внести уточнение в геометрические параметры проектируемого метчика.

При выполнении расчетов использовались два вида расчетных моделей: трехмерная твердотельная и одномерная стержневая. Твердотельная модель была построена с использованием типовых конечных элементов Solid185 (рис. 4 б), а одномерная – с использованием стержневых элементов Beam188.

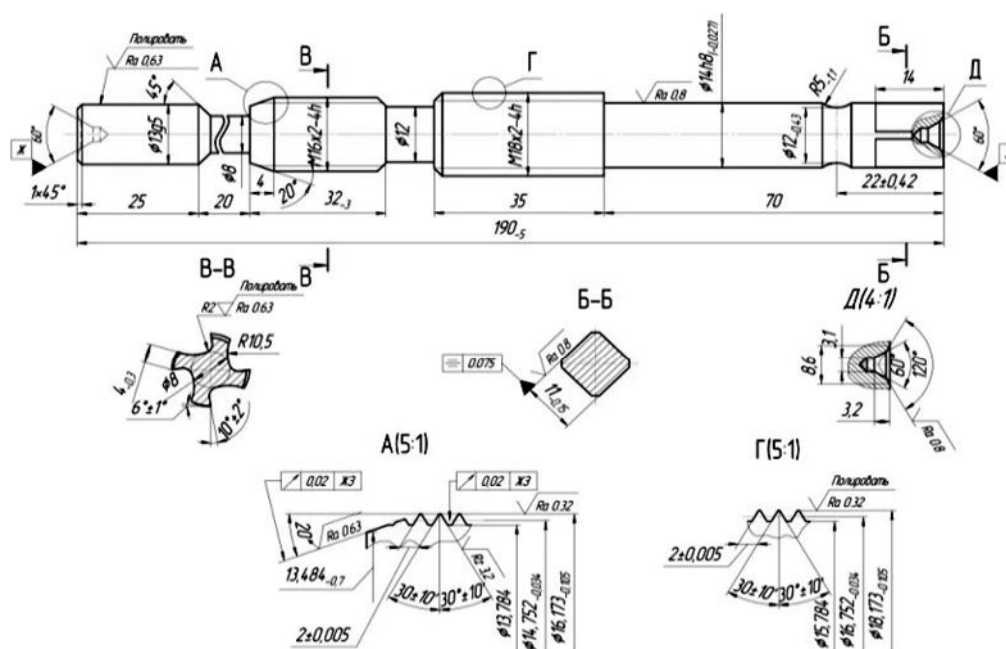
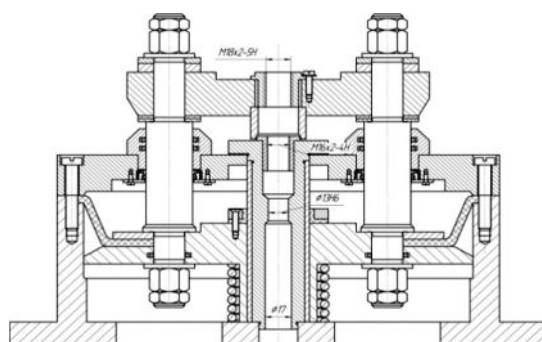


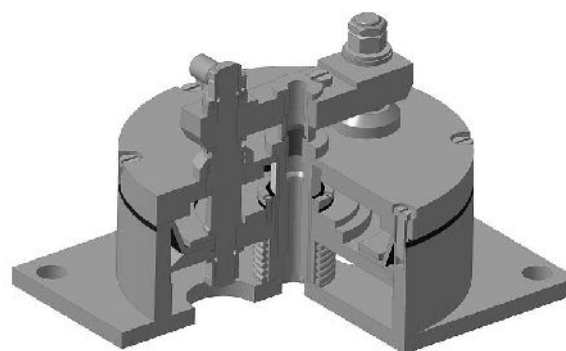
Рис. 1. Рабочий чертеж метчика



Рис. 2. Прототип метчика



а) 2D-чертеж

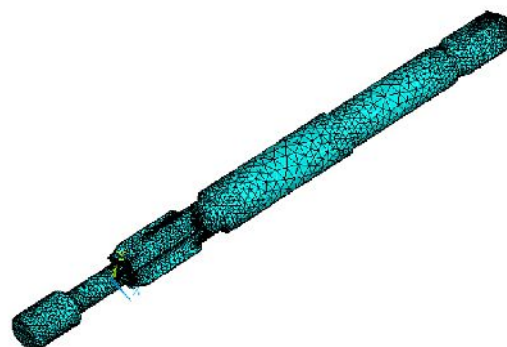


б) 3D-модель

Рис. 3. Приспособление для закрепления детали с направляющими втулками для метчика



а)



б)

Рис. 4. Трехмерная (а) и сеточная (б) модель метчика с использованием твердых элементов Solid 185



Достоинством стержневой модели является возможность наиболее точного воспроизведения геометрии инструмента в расчетной модели. Недостатком – сложность задания нагрузки, т.к. в этом случае сильно сказывается кромочный эффект, приводящий к искажению результатов решения статической задачи.

Несмотря на то, что стержневая модель имеет очевидные ограничения по точности представления геометрии метчика, для неё проще задать граничные условия: нагрузку и условия закрепления. Независимо от конструктивного исполнения метчиков, нагрузка от сил резания была

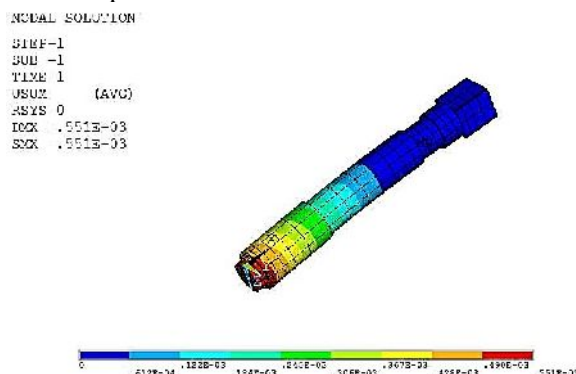


Рис. 5. Результаты статического расчета метчика стандартной конструкции

Для специального метчика максимальные перемещения не превысили 30 мкм (рис. 6). Если принять во внимание статические перемещения, вносимые несущей системой станка, а также перемещения, обусловленные контактной жесткостью соединения «метчик - шпиндель», то полученные расчетные значения очень хорошо согласовались с требуемыми параметрами точности.

На рис. 7 представлены результаты модального расчета для метчика специальной конструкции. Модальный расчет для метчика стандартной конструкции показал, что даже стандартная конструкция метчика обеспечивает его высокую виброустойчивость. Первая собственная частота составляет около 1500 Гц, а для специального метчика первая собственная частота составляет значение около 5000 Гц. Формы колебаний первых четырех мод приведены на рис. 7. Полученные результаты модального расчета позволили исключить необходимость выполнения динамического расчета, т.к. в настоящее время с такими скоростями резания метчики не работают. Хотя для реализации прорывных технологий высокую виброустойчивость метчиков следует учитывать.

Несмотря на невысокие скорости резания для метчика актуальны тепловые деформации, так как они оказывают влияние на накопленную ошибку шага резьбы и диаметральные размеры нарезаемой резьбы. При резании метчик, как и любой инструмент для обработки отверстий, ра-

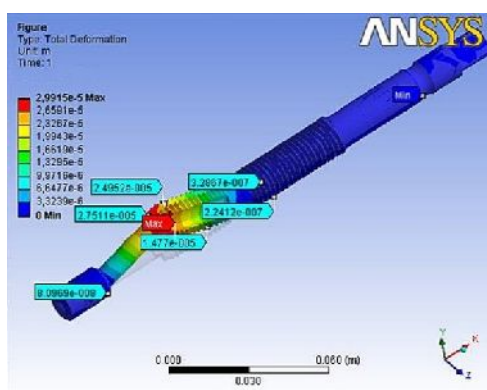
представлена одинаковыми составляющими: осевой и радиальной составляющими сил резания, а также крутящим моментом.

Наличие в специальном метчике направляющих частей позволили задать дополнительные ограничения по степеням свободы.

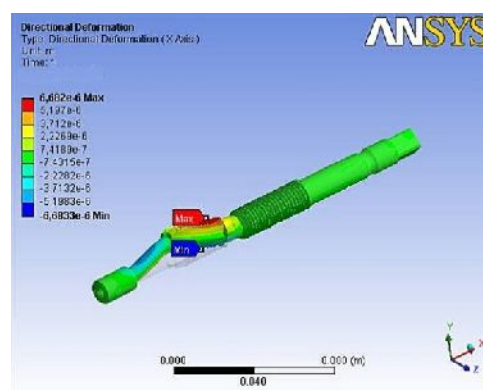
Анализ результатов статического расчета показал, что метчик стандартной конструкции под действием составляющих сил резания получает значительные перемещения, существенно превышающие требуемую величину – 34 мкм (рис. 5).

ботает в стесненных условиях с точки зрения тепловых процессов. Процессы трения в зоне резания вызывают генерацию тепла. Расчетная модель представлена на рис. 8 а, распределение температуры – на рис. 8 б.

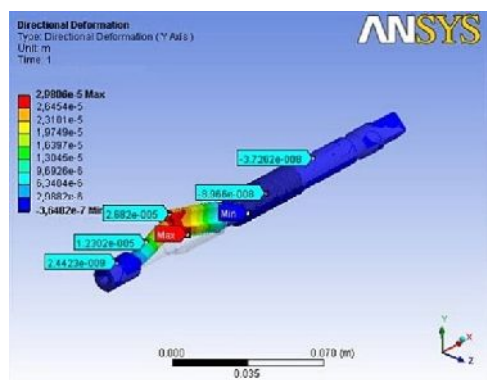
Для области конвективного теплообмена (область А) принят коэффициент теплоотдачи равный 80 Вт/(м<sup>2</sup>·К) из расчета коэффициентов теплоотдачи для вращающихся труб, подверженных принудительному охлаждению (в качестве принудительного охлаждения используется смазочно-охлаждающая жидкость). Величина мощности теплового источника определялась из условия, что до 10 % от мощности резания уходит в инструмент. Полученный результат стационарного теплового расчета показал, что максимальная температура составила около 150 °С (рис. 8 б). Решение связанной задачи термоупругости позволило построить поле суммарных температурных деформаций (рис. 9 а), так и по каждой из координатных осей (рис. 9 б, в, г). Анализ полученных результатов показал, что тепловые деформации приводят к искажению диаметральных размеров обрабатываемого отверстия в пределах 27 мкм, а в осевом направлении возможно удлинение рабочей части до 60 мкм. При этом наиболее критичными являются осевые деформации, так как их величина в зависимости от класса точности метчика составляет от 20 до 90 мкм для рассматриваемых параметров резьбы инструмента.



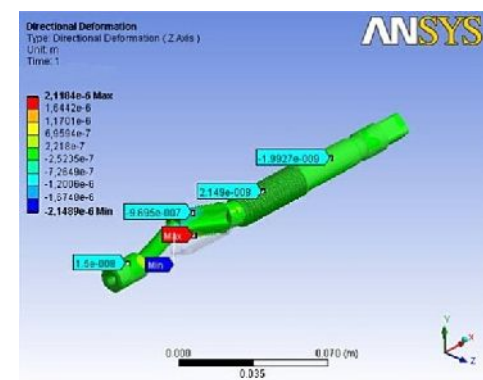
а) суммарные перемещения



б) перемещения вдоль оси X

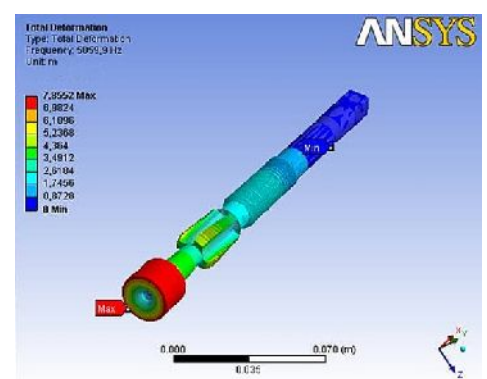


в) перемещения вдоль оси Y

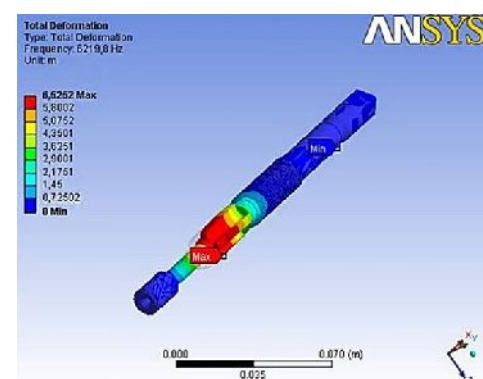


г) перемещения вдоль оси Z

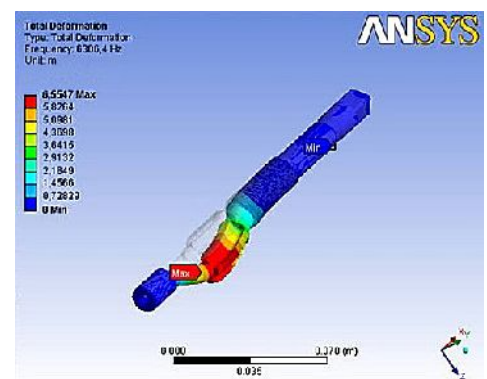
Рис. 6. Результаты статического расчета специального метчика



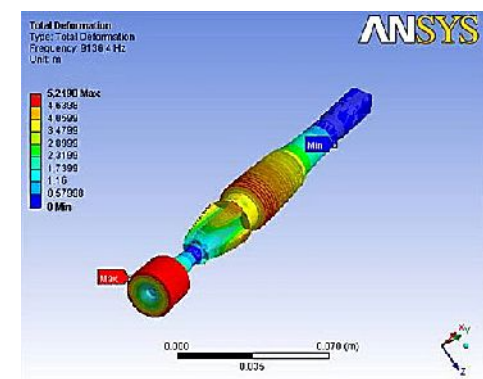
а) первая мода



б) вторая мода

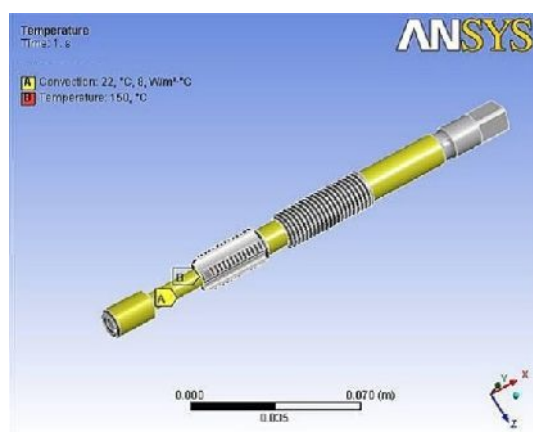


в) третья мода

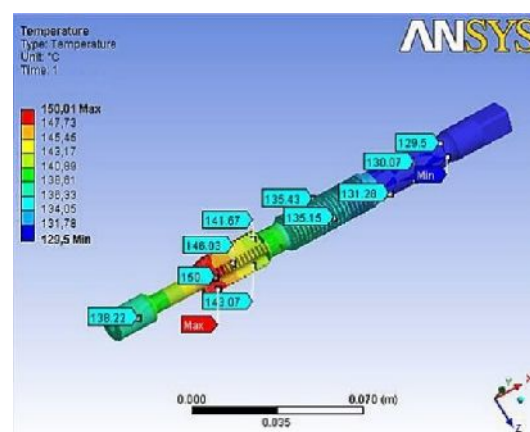


г) четвертая мода

Рис. 7. Результаты модального расчета специального метчика

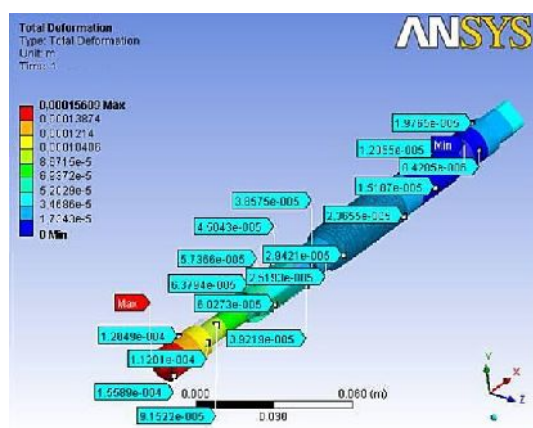


а) расчетная модель

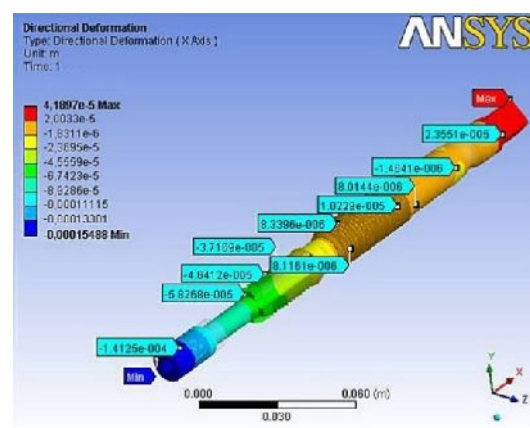


б) распределение температур

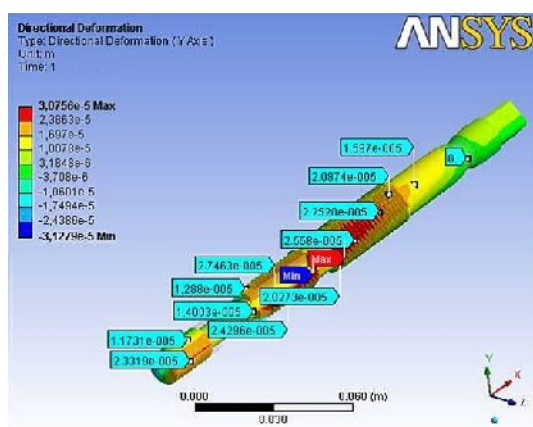
Рис. 8. Результат теплового анализа специального метчика



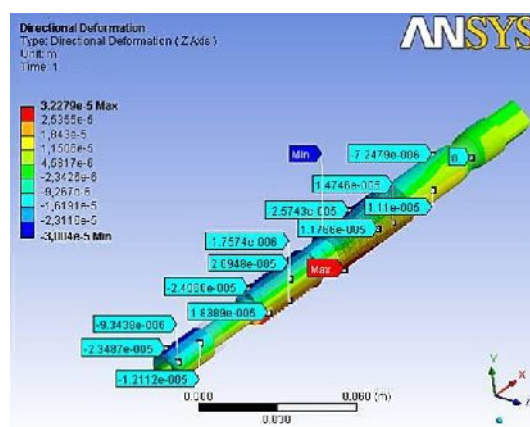
а)



б)



в)



г)

Рис. 9. Результат термодформационного анализа специального метчика

**Выводы.** Представлена оригинальная конструкция специального метчика для нарезания точных резьб. Изготовленный прототип на токарно-фрезерном станке показал технологичность конструкции. Проведенные в CAE-системе Ansys исследования показали существенное увеличение жесткости конструкции, а существенное увеличение собственных частот показывает новое направление исследовательских работ в обла-

сти нарезания резьб специальным метчиком. Расчет тепловых деформаций показал возможные риски в обеспечении точности нарезания резьбы метчиками первого, второго и третьего класса точности, так как для этих метчиков предельные отклонения шага резьбы не должны превышать  $\pm 10$  мкм.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований) и Оренбургской области в рамках научного проекта № 19-48-560001.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhang D.W., Zhao S.D., Wu S.B., Zhang Q., Fan S.Q., Li J. Phase characteristic between dies before rolling for thread and spline synchronous rolling process // Int J Adv Manuf Technol. 2015. Vol. 81. № 1-4. Pp. 513–528.
2. dos Santos Siqueira B., Freitas S.A., Pereira R.B.D., Lauro C.H., Brandão L.C. Influence of chip breaker and helix angle on cutting efforts in the internal threading process // Int J Adv Manuf Technol. 2019. Pp. 1–10.
3. Sales W.F., Becker M., Gurgel A.G., Júnior J.L. Dynamic behavior analysis of drill-threading process when machining AISI Al-Si-Cu4 alloy // Int J Adv Manuf Technol. 2009. Vol. 42. № 9-10. Pp. 873–882.
4. Kirichek A.V., Afonin A.N. Stress–Strain State of the Thread-Milling Tool and Blank // Russian Engineering Research. 2007. vol. 27. № 10. Pp. 715–718.
5. Akyildiz H.K. Evaluating of cutting forces in thread machining // Int J Adv Manuf Technol. 2013. Vol. 68. № 5-8. Pp. 1601–1612.
6. Akyildiz H.K., Livatyali H. Effect of cutting energy on fatigue behavior of threaded specimens // Int J Adv Manuf Technol. 2014. Vol. 70. № 1-4. Pp. 547–557.
7. Сирицын А.И., Широких Э.В. Получение мелких резьбовых отверстий в труднообрабатываемых сплавах // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы: сб. материалов конф. IV Междунар. науч.-практ. конф. / Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» (Коломна, 30 апреля 2017 г.), Коломна: Изд-во Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 2017. С. 33–43.
8. Pereira I.C., Da Silva M.B., Da Cunha D.F., Sales C.W. Analysis of tapping process in three types of cast iron // Int J Adv Manuf Technol. 2016. Vol. 82. № 5–8. Pp. 1041–1048.
9. Pereira I.C., da Silva M.B. Study of the internal thread process with cut and form taps according to secondary characteristics of the process // Int J Adv Manuf Technol. 2017. Vol. 93. № 5–8. Pp. 2357–2368.
10. Gil Del Val A., Fernández J., del Castillo E., Arizmendi M., Veiga F. Monitoring of thread quality when tapping nodular cast iron with TiN-coated HSS cutting taps // Int J Adv Manuf Technol. 2013. Vol. 69. Pp. 1273–1282.
11. Oezkaya E., Biermann D. Development of a geometrical torque prediction method (GTPM) to automatically determine the relative torque for different tapping tools and diameters // Int J Adv Manuf Technol. 2018. Vol. 97. Pp. 1465–1479.
12. Wang L., Chen Z.C. A new CAD/CAM/CAE integration approach to predicting tool deflection of end mills // Int J Adv Manuf Technol. 2014. Vol. 72. No. 9-12. Pp. 1677–1686.
13. Кургузов С.А. Влияние переднего угла и угла подъема режущей кромки рабочей части метчика на момент резания / Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. // Казань, 14 декабря 2017 г., Уфа: Изд-во ООО «Агентство международных исследований», 2017. С. 109–111.
14. Шагун В.И. Металлорежущие инструменты. М.: Высш. шк., 2007. 423 с.
15. Салтыков Р.А. Повышение точности и производительности обработки деталей машин за счет использования комбинированного инструмента // Студенческие научные общества - экономике регионов: сб. материалов конф. Междунар. молодежной науч. конф. / Оренбургский государственный университет (Оренбург, 31 октября – 02 ноября 2018 г.), Оренбург: Изд-во ОГУ, 2018. С. 409–412.

### Информация об авторах

**Никитина Инна Петровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: innanikitina@list.ru. Оренбургский государственный университет, Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

**Поляков Александр Николаевич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор. E-mail: anp\_temos@mail.ru. Оренбургский государственный университет, Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Поступила в июне 2019 г.

© Никитина И.П., Поляков А.Н., 2019

<sup>1,\*</sup>Nikitina I.P., <sup>1</sup>Polyakov A.N.<sup>1</sup>Orenburg State University

Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13

\*E-mail: innanikitina@list.ru

## SPECIAL TAP FOR CUTTING INTERNAL SMALL-SIZED THREADS

**Abstract.** The paper presents the original design of a special tap for cutting precise threads. Distinctive design features of the tap are: the presence of the rear threaded guide that together with the copier threaded sleeve device perceives the axial forces and provides the tap axial feed strictly corresponding to the step of the thread being cut, excluding its breaking under the action of axial forces; the presence of a smooth front guide part with the direction on the cut hole, to reduce the influence of radial forces leading to the breakdown of the thread due to radial vibrations of the tap; the presence of the chamfer that implements the most technological cutting scheme such as flank infeed. A prototype of a special tap made on a turning and milling machine tool is presented, confirming the manufacturability of the proposed tool design. Research conducted in the field of engineering analysis with the CAE system Ansys shows a significant increase in structural rigidity and in natural frequencies.

**Keywords:** thread-cutting tool, threading, tap, CAD system, CAE system.

## REFERENCES

1. Zhang D.W., Zhao S.D., Wu S.B., Zhang Q., Fan S.Q., Li J. Phase characteristic between dies before rolling for thread and spline synchronous rolling process. *Int J Adv Manuf Technol.* 2015. Vol. 81. No. 1-4. Pp. 513–528.
2. dos Santos Siqueira B., Freitas S.A., Pereira R.B.D., Lauro C.H., Brandão L.C. Influence of chip breaker and helix angle on cutting efforts in the internal threading process. *Int J Adv Manuf Technol.* 2019. Pp. 1–10.
3. Sales W.F., Becker M., Gurgel A.G., Júnior J.L. Dynamic behavior analysis of drill-threading process when machining AISI Al-Si-Cu4 alloy. *Int J Adv Manuf Technol.* 2009. Vol. 42. No. 9-10. Pp. 873–882.
4. Kirichek A.V., Afonin A.N. Stress-Strain State of the Thread-Milling Tool and Blank. *Russian Engineering Research.* 2007. Vol. 27. No. 10. Pp. 715–718.
5. Akyildiz H.K. Evaluating of cutting forces in thread machining. *Int J Adv Manuf Technol.* 2013. Vol. 68. No. 5-8. Pp. 1601–1612.
6. Akyildiz H.K., Livatyali H. Effect of cutting energy on fatigue behavior of threaded specimens. *Int J Adv Manuf Technol.* 2014. Vol. 70. No. 1-4. Pp. 547–557.
7. Siricyn A.I., SHirokih E.V. Getting small threaded holes in hard-to-machine alloys [Poluchenie melkih rez'bovyh otverstij v trudnoobrabatyvaemyh splavah]. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Tekhnika i tekhnologii, politika i ekonomika: problemy i perspektivy". Kolomenskij institut (filial) FGBOU VO «Moskovskij politekhnicheskij universitet», 2017. Pp. 33–43. (rus)
8. Pereira I.C., Da Silva M.B., Da Cunha D.F., Sales C.W. Analysis of tapping process in three types of cast iron. *Int J Adv Manuf Technol.* 2016. Vol. 82. No. 5–8. Pp. 1041–1048.
9. Pereira I.C., da Silva M.B. Study of the internal thread process with cut and form taps according to secondary characteristics of the process. *Int J Adv Manuf Technol.* 2017. Vol. 93. No. 5–8. Pp. 2357–2368.
10. Gil Del Val A., Fernández J., del Castillo E. et al., Monitoring of thread quality when tapping nodular cast iron with TiN-coated HSS cutting taps. *Int J Adv Manuf Technol.* 2013. Vol. 69. Pp. 1273–1282.
11. Oezkaya E., Biermann D. Development of a geometrical torque prediction method (GTPM) to automatically determine the relative torque for different tapping tools and diameters. *Int J Adv Manuf Technol.* 2018. Vol. 97. Pp. 1465–1479.
12. Wang L., Chen Z.C. A new CAD/CAM/CAE integration approach to predicting tool deflection of end mills. *Int J Adv Manuf Technol.* 2014. Vol. 72. No. 9-12. Pp. 1677–1686.
13. Kurguzov S.A. Influence of the front angle and the angle of elevation of the cutting edge of the working part of the tap at the time of cutting [Vliyanie perednego ugla i ugla pod"ema rezhushchej kromki rabochej chasti metchika na moment rezaniya]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Konceptii ustojchivogo razvitiya nauki v sovremennyh usloviyah". Kazan, 2017. Pp. 109–111. (rus)
14. Shagun V.I. Metal cutting tools [Metallo-rezhushchie instrumenty]. Moscow: Vysshaya shkola, 2007. 423 p. (rus)
15. Saltykov R.A. Improving the accuracy and productivity of machining machine parts through the use of a combined tool [Povyshenie tochnosti i proizvoditel'nosti obrabotki detalej mashin za schet ispol'zovaniya kombinirovannogo instrumenta].



Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya "Studencheskie nauchnye obshchestva - ekonomike regionov". Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2018. Pp. 409–412. (rus)

*Information about the authors*

**Nikitina, Inna P.** PhD, Assistant professor. E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru). Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

**Polyakov, Aleksandr N.** PhD, Professor. E-mail: [anp\\_temos@mail.ru](mailto:anp_temos@mail.ru). Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

---

*Received in June 2019*

**Для цитирования:**

Никитина И.П., Поляков А.Н. Специальный метчик для нарезания внутренних мелкоразмерных резьб // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 106–114. DOI: 10.34031/article\_5d4d674f73d7a2.60224643

**For citation:**

Nikitina I.P., Polyakov A.N. Special tap for cutting internal small-sized threads. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 106–114. DOI: 10.34031/article\_5d4d674f73d7a2.60224643



DOI: 10.34031/article\_5d4d6a32d95185.53258375

<sup>1,\*</sup>Пышьев Р.С., <sup>1</sup>Рубанов В.Г.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: dobe.87@mail.ru

## НЕЧЕТКАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА

**Аннотация.** В робототехнике радиопередача может использоваться в системах связи, которые являются неотъемлемой частью роботов. С помощью систем связи осуществляется обмен информацией между роботом и человеком, формирование задач, контроль функционирования остальных систем, диагностика неполадок и т.п. При формировании управляющих сигналов возникает необходимость воспрепятствовать прохождению сигнала определенной частоты, пропуская другие сигналы, например, убрать помеху на определенной частоте или наоборот, заземлить все сигналы, кроме нужного, данной частоты. Статическая характеристика контура представляет собой параболическую зависимость с наличием экстремума на резонансной частоте. При этом, изменяя параметры колебательного контура или частоту подаваемого на контур напряжения, можно наблюдать горизонтальный дрейф амплитудно-частотной характеристики контура. Построение систем экстремального регулирования (СЭР) способствует адаптации к изменениям и дрейфу статических характеристик. Основным недостатком СЭР является наличие частых переключений исполнительных механизмов, сопутствующих поисковому режиму, и так называемых потерь на «поиск» и «рыскание», что в итоге приводит к снижению эффективности автоматической настройки и надежности устройств для ее осуществления. Экстремальные комбинированные системы используют свойства статической характеристики объекта регулирования, и их разработка является одним из путей снижения указанных негативных качеств.

При создании систем автоматического управления для сложных технологических объектов в условиях большой неопределенности и неполноты знаний об объекте, нечеткости описаний, как показывает опыт, применение только классических формальных методов теории управления не эффективно. Всё больше наблюдается повышенный интерес к невероятностным моделям неопределенности и нечеткости, в частности к анализу и синтезу нечетких систем управления технологическими процессами и регуляторов.

**Ключевые слова:** колебательный контур, экстремальная система, нечеткая система.

**Введение.** Элементы, составляющие колебательный контур, способны запасать магнитную и электрическую энергию. В электрической цепи, состоящей из таких элементов, возбуждаются электрические колебания. В системах, у которых амплитуда отклика цепи может резко измениться, при достижении некоторых значений частоты внешнего воздействия, определяемых параметрами цепи, нашли широкое применение колебательные контуры. Подобные системы называются частотно-избирательными и зачастую применяются в радиоэлектронике [1]. Простым примером колебательного контура является последовательное или параллельное соединение двух реактивных сопротивлений противоположного знака: индуктивного  $X_L$  и емкостного  $X_C$ .

Частотные характеристики параллельного колебательного контура представлены на рисунке 1.

Как видно, АЧХ представляет собой параболическую зависимость с наличием экстремума на резонансной частоте. При этом, изменяя параметры колебательного контура или частоту пода-

ваемого на контур напряжения, можно наблюдать горизонтальный дрейф амплитудно-частотной характеристики контура.

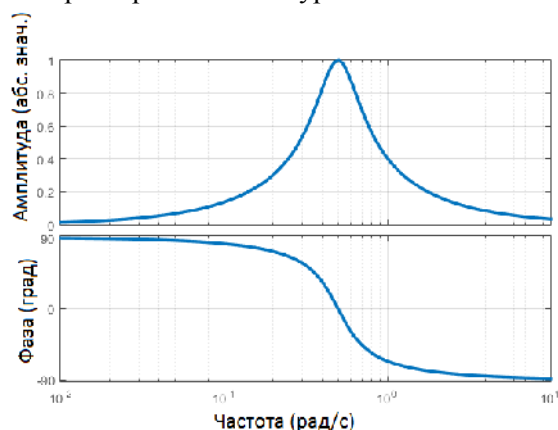


Рис. 1. Амплитудно- и фазо- частотные характеристики параллельного колебательного контура

Построение систем экстремального регулирования (СЭР) способствует адаптации к изменениям и дрейфу статических характеристик. Ос-

новным недостатком СЭР является наличие частых переключений исполнительных механизмов, сопутствующих поисковому режиму, и так называемых потерь на «поиск» и «рыскание», что в итоге приводит к снижению эффективности автоматической настройки и надежности устройств для ее осуществления. Экстремальные комбинированные системы используют свойства статической характеристики объекта регулирования, и их разработка является одним из путей снижения указанных негативных качеств [2].

При создании систем автоматического управления для сложных технологических объектов в условиях большой неопределенности и неполноты знаний об объекте, нечеткости описаний, как показывает опыт, применение только классических формальных методов теории управления не эффективно. Всё больше наблюдается повышенный интерес к невероятностным моделям неопределенности и нечеткости, в частности к анализу и синтезу нечетких систем управления технологическими процессами и регуляторов [3].

В отличие от традиционных формально-логических систем нечеткая логика, служащая основой для реализации методов нечеткого управления, описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений более естественно. Именно поэтому изучение и использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, отражающие различные аспекты неопределенности наиболее адекватно [4].

Сроки и стоимость проектирования нечетких систем управления, как показывает практический опыт разработки таких систем, значительно ниже, чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом организация нечеткого управления обеспечивает требуемые уровни качества [4].

**Методология.** Существует два основных метода построения систем автоматического регулирования [5]:

- построение систем экстремального регулирования (СЭР), требующих введения процедуры поиска;
- организация систем управления по отклонению, требующих детального изучения объекта управления и наличия достаточной информации на выходе объекта.

Реализация системы автоматического регулирования по отклонению часто связана с серьезными аппаратными и измерительными трудностями. Создать систему экстремального управления часто оказывается проще, чем систему авто-

матического регулирования, поскольку экстремальная система не требует особо тщательной организации сбора информации о состоянии объекта и соответствующей обработки этой информации. Совершенство системы автоматического регулирования по отклонению возможно за счет ее высокой организации, которая неизбежно имеет пониженную надежность и всегда таит опасность возникновения неустойчивости [5]. Оба метода имеют свои достоинства и недостатки. Выбор той или иной схемы управления нужно производить исходя из конкретных условий и требований.

**Основная часть.** Функциональная схема системы автоматического регулирования экстремального класса представлена на рисунке 2.

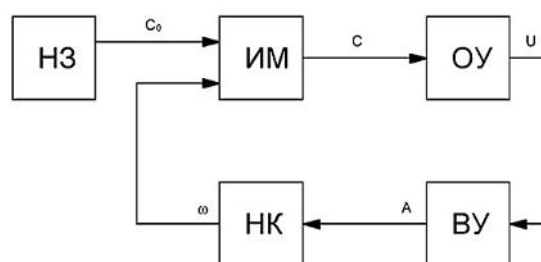


Рис. 2. Структурная схема системы автоматической настройки колебательного контура в резонанс: НЗ – начальное значение емкости конденсатора  $C_0$ ; ИМ – исполнительный механизм; ОУ – объект управления; ВУ – вычислительное устройство; НК – нечеткий контроллер

Резонансный контур настраивается с помощью переменного конденсатора  $C$ . Для настройки контура необходимо установить такое значение емкости  $C$ , чтобы резонансная частота контура и частота поступающего на контур сигнала совпали. Признаком такой настройки является максимум напряжения на резонансном контуре. Таким образом, задача настройки сводится к определению значения  $C$ , соответствующего максимуму напряжения на резонансном контуре (см. рисунок 2).

На рис. 3 представлена модель автоматического регулирования резонанса в колебательном контуре. Входное напряжение подаётся с помощью блока SineWave, в котором задается амплитуда и частота сигнала. Сигнал на выходе блока Integrator представляет собой выходное напряжение с контура. С помощью блока MinMax определяется амплитуда выходного напряжения. Блок Integrator2 используется в качестве конденсатора переменной емкости. Скорость вращения ротора конденсатора задается нечетким контроллером, имеющим 3 входа и один выход.

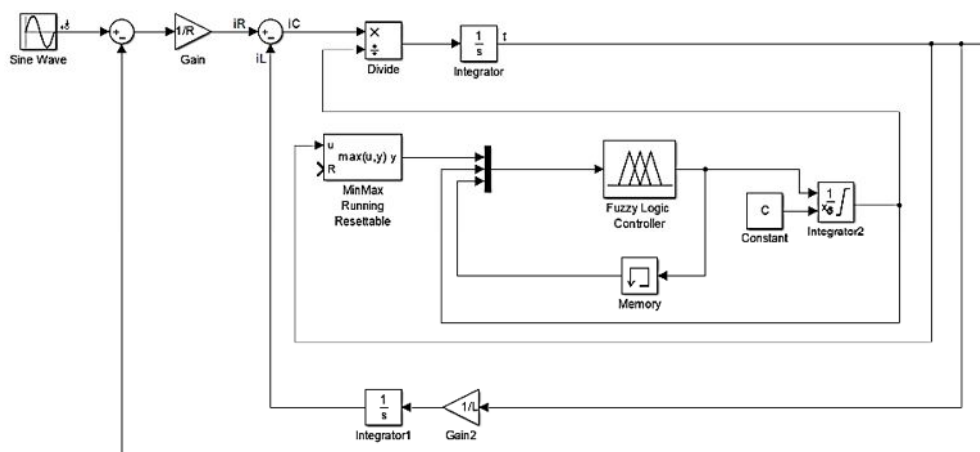


Рис. 3. Модель системы автоматической настройки колебательного контура в резонанс в среде Matlab/Simulink

Первый вход «Amplitude» – амплитуда напряжения на колебательном контуре. Имеет следующие термы:

SA – малая амплитуда, диапазон принадлежности  $[0..0,4A]$  В;

MA – средняя амплитуда, диапазон принадлежности  $[0,4A .. 0,8A]$  В;

BA – большая амплитуда, диапазон принадлежности  $[0,7A .. A]$  В;

где A – амплитуда входного сигнала.

Второй вход «Capacity» – значение емкости переменного конденсатора. Имеет следующие термы:

SC – малое значение емкости, диапазон принадлежности  $[10^{-12}..10^{-11}]$  Ф;

MC – среднее значение емкости, диапазон принадлежности  $[5 \cdot 10^{-12}..5 \cdot 10^{-7}]$  Ф;

BC – большое значение емкости, диапазон принадлежности  $[10^{-7}..10^{-6}]$  Ф.

Третий вход «PreviousSpeed» – предыдущее значение скорости регулирования. Имеет следующие термы:

NS – отрицательная скорость, диапазон принадлежности  $[-1 .. 0,01]$  Ф/с;

PS – положительная скорость, диапазон принадлежности  $[-0,01 .. 1]$  Ф/с.

Выход нечеткого контроллера «ActuatorSpeed» – скорость изменения емкости, имеет следующие термы:

BNS – большая отрицательная скорость, диапазон принадлежности  $[-1 .. -0,4]$  Ф/с;

SNS – малая отрицательная скорость, диапазон принадлежности  $[-0,5 .. -0,1]$  Ф/с;

AZS – скорость близкая к нулю, диапазон принадлежности  $[-0,2 .. 0,2]$  Ф/с;

SPS – малая положительная скорость, диапазон принадлежности  $[0,1 .. 0,5]$  Ф/с;

BPS – большая положительная скорость, диапазон принадлежности  $[0,4 .. 1]$  Ф/с;

Нечеткий регулятор работает по алгоритму Мамдани, который представлен на рисунке 4, в соответствии с базой продукционных правил, представленной на рисунке 5.



Рис. 4. Диаграмма деятельности процесса нечеткого вывода

PreviousSpeed - PS

| Amplitude<br>Capacity | SA  | MA  | BA  |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| SC                    | BPS | SPS | AZS |
| MC                    | BPS | SPS | AZS |
| BC                    | BNS | SNS | AZS |

PreviousSpeed - NS

| Amplitude<br>Capacity | SA  | MA  | BA  |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| SC                    | BPS | SPS | AZS |
| MC                    | BNS | SNS | AZS |
| BC                    | BNS | SNS | AZS |

Рис. 5. База продукционных правил нечеткого контроллера

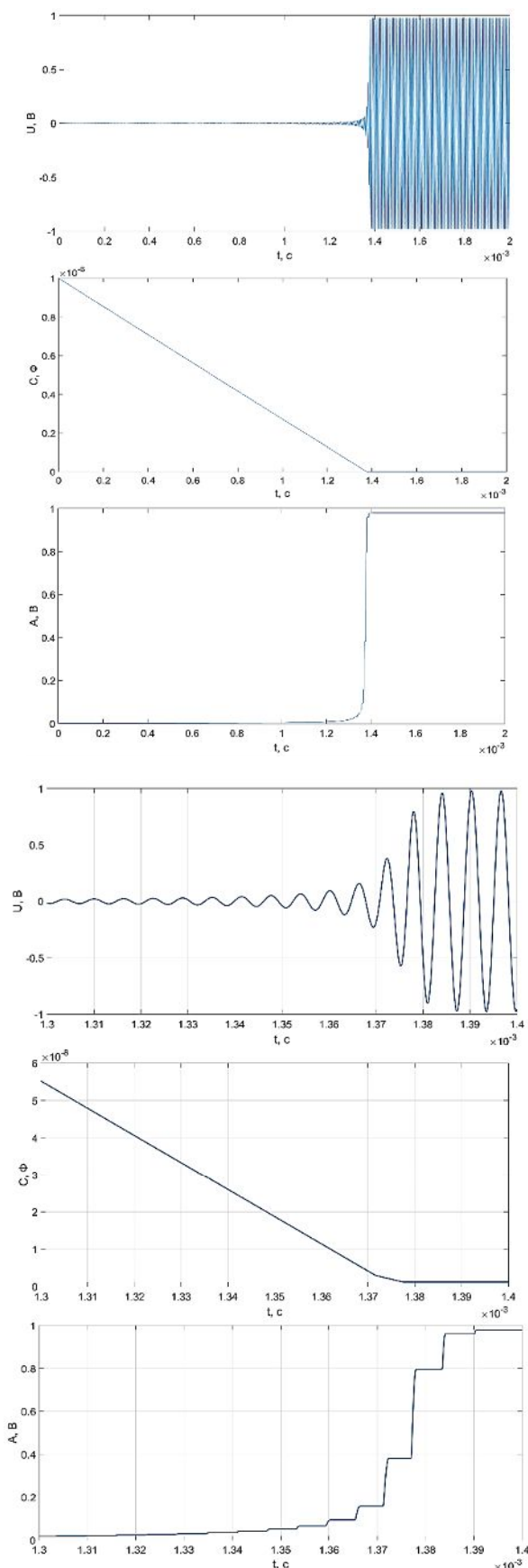


Рис. 6. Результат моделирования (полный график процесса и масштаб в момент резонанса). Верхний график – напряжение колебательного контура, средний – емкость конденсатора, нижний – амплитуда напряжения колебательного контура.

В качестве примера работы системы были заданы следующие параметры:

$R$  – активное сопротивление – 1 кОм;

$L$  – индуктивность катушки – 1 мГн;

$C$  – начальное значение емкости конденсатора – 1 мкФ;

Амплитуда входного сигнала – 1 В;

Частота входного сигнала – 159 кГц.

Результат работы системы автоматической настройки колебательного контура в резонанс представлен на рисунке 6.

**Выводы.** Выполнен анализ систем автоматического регулирования, позволяющих решить задачу автоматической настройки колебательного контура в резонанс. Разработана функциональная схема нечеткой системы экстремального управления подстройкой колебательного контура. Получена математическая модель в виде передаточной функции объекта управления (колебательного контура) и системы автоматического регулирования в целом и построена структурная схема системы. Проведено экспериментальное исследование компьютерной модели нечеткой системы автоматической настройки колебательного контура в резонанс в среде Matlab/Simulink.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрипников Ю.Ф. Колебательный контур. М., «Энергия», 1970. 128 с.
2. Бушуев Д.А. Система автоматического демпфирования колебаний помольно-смесительного агрегата на основе экстремального управления: автореф. дис. БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2016. 183 с.
3. Кудинов Ю.И., Дорохов И. Н., Пашенко Ф.Ф. Нечеткие регуляторы и системы управления // Проблемы управления. 2004. №3. С. 2–14.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 786 с.
5. Растрингин Л.А. Системы экстремального регулирования. М.: Наука, 1974. 632 с.
6. Олейников В.А. Зотов Н.С., Пришвин А.М.. Основы оптимального и экстремального управления. М.: Высшая школа, 1969. 296 с.
7. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. М.: Энергия, 1977. 288 с.
8. Кунцевич В.М., Лычак М.М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления. Игровой подход. Киев: Наукова думка, 1985. 247 с.
9. А.с. 210918 СССР, МПК G 05 B 13/02. Экстремальный регулятор с запоминанием экстремума / Троп А.Е., Гафиятуллин Р.Х. 1129620/26-24; заявл. 30.01.67; опубл. 8.01.68, Бюл. 7. 2 с.

10. Солодовников В.В., Шрамко Л.С. Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонной моделью. М.: Машиностроение, 1972. 270 с.

11. А. с. 817728 СССР, МПК G 05 В 13/02. Устройство для определения частной производной. / Востриков А.С., Хачатурова С.М., Гаврилов Е.Б., Гаврилов А.Б. 3375348/18-24; заявл. 6.01.82; опубл. 7.03.83, Бюл. 6. 4 с.

12. А. с. 568952 СССР, МКИ G 06 G 7/18. Устройство для многократного дифференцирования аналоговых сигналов / Востриков А.С., Гаврилов Е.Б. 2302443/24; заявл. 15.12.75; опубл. 15.08.77, Бюл. 30. 3 с.

13. Анисимов И.В. Основы автоматического управления технологическими процессами

нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Ленинград: Химия, 1967. 408с.

14. Юревич Е. Теория автоматического управления, 4-е изд. Учебное пособие. БХВ-Петербург, 2016. 560 с.

15. Бушуев Д.А. Моделирование подсистемы регулирования положения противовеса помольно-смесительного агрегата с автоматической балансировкой/ Д.А. Бушуев, М.Ю. Лазарчук, С.А. Стативко // Сб. трудов международного форума «Образование, наука, производство». Белгород. 20-22 октября 2015 г., Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 2765–2769.

#### Информация об авторах

**Пышьев Роман Сергеевич**, магистрант кафедры технической кибернетики. E-mail: dobe.87@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Рубанов Василий Григорьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики. E-mail: vgrubanov@gmail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

---

Поступила в мае 2019 г.

© Пышьев Р.С., Рубанов В.Г., 2019

<sup>1,\*</sup>*Pyshev R.S., <sup>1</sup>Rubanov V.G.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

*\*E-mail: dobe.87@mail.ru*

## FUZZY EXTREME SYSTEM OF AUTOMATIC ADJUSTMENT OF A RESONANCE CIRCUIT

---

**Abstract.** In robotics, radio transmission can be used in communication systems that are an integral part of robots and serve to organize the exchange of information between the robot and humans or other robots in order to carry out a dialogue, formulate tasks for the robot, monitor the functioning of its systems, diagnose faults, routine checks, etc. The resonant circuit is used if it is necessary to prevent the passage of a signal of a certain frequency, passing other signals, for example, to remove the interference at a certain frequency or vice versa, to ground all signals except the desired frequency. The static characteristic of the circuit is a parabolic dependence with the presence of an extremum at the resonant frequency. In this case, by changing the parameters of the oscillating circuit or the frequency of the voltage applied to the circuit, one can observe the horizontal drift of the amplitude-frequency characteristic of the circuit. Adaptation to changes in static characteristics and their drift contributes to the construction of systems of extreme regulation. The main disadvantage of such systems is the presence of frequent actuators accompanying the search mode and the so-called "search" and "yaw" losses, which ultimately leads to a decrease in the efficiency of automatic tuning and reliability of devices for its implementation. One of the ways to reduce these negative properties is the development of extreme combined systems that use the properties of the static characteristics of the object of regulation. There is an increasing interest in improbable models of uncertainty and fuzziness, in particular, in the analysis and synthesis of fuzzy process control systems and regulators. The time and cost of designing fuzzy control systems, as shown by practical experience in developing such systems, is significantly lower than when using the traditional mathematical apparatus, and the organization of fuzzy control provides the required quality levels.

**Keywords:** resonant circuit, extreme system, fuzzy system.

---

## REFERENCES

1. Skripnikov U.F. Rezonant circuit [Kolebatel'nyj kontur]. M., Energiya, 1970. 128 p. (rus)
2. Bushuev D.A. Automatic vibration damping system for the grinding and mixing unit based on extreme control [Sistema avtomaticheskogo dempfirovaniya kolebanij pomol'no-smesitel'nogo agregata na osnove ekstremal'nogo upravleniya]: avtoref. dis. BGTU named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2016. 183 p. (rus)
3. Kudinov U.I., Dorohov I.N., Pashchenko F.F. Fuzzy controllers and control systems [Nechetkie regulatory i sistemy upravleniya]. Problemy upravleniya. 2004. No. 3. Pp. 2–14. (rus)
4. Leonenkov A.V. Fuzzy simulation in Matlab and fuzzyTECH [Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTECH]. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 786 p. (rus)
5. Rastrigin L.A. Extreme regulation systems [Sistemy ekstremal'nogo regulirovaniya]. M.: Nauka, 1974. 632 p. (rus)
6. Olejnikov V.A., Zotov N.S., Prishvin A.M. Basics of optimal and extreme control [Osnovy optimal'nogo i ekstremal'nogo upravleniya]. M.: Vysshaya shkola, 1969. 296 p. (rus)
7. Kazakevich V.V., Rodov A.B. Auto Optimization Systems [Sistemy avtomaticheskoy optimizatsii]. M.: Energiya, 1977. 288 p. (rus)
8. Kuncevic V.M., Lychak M.M. Synthesis of optimal and adaptive control systems. Game method [Sintez optimal'nyh i adaptivnyh sistem upravleniya. Igrovoy podhod]. Kiev: Naukova dumka, 1985. 247 p. (rus)
9. A.s. 210918 SSSR, MPK G 05 V 13/02. Extreme Memory Controller [Ekstremal'nyj regulator s zapominaniem ekstremuma]. Trop A.E., Gafiyatullin R.H. 1129620/26-24, 1968.
10. Solodovnikov V.V., Shramko L.S. Calculation and design of analytical self-adjusting systems with a reference model [Raschet i proektirovanie analiticheskikh samonastroyayushchih sistem s etalonnoj model'yu]. M.: Mashinostroenie, 1972. 270 p. (rus)
11. A. s. 817728 SSSR, MPK G 05 V 13/02. Device for the determination of private derivative [Ustrojstvo dlya opredeleniya chastnoj proizvodnoj]. Vostrikov A.S., Hachaturova S.M., Gavrilov E.B., Gavrilov A.B. 3375348/18-24, 1983.
12. A. s. 568952 SSSR, MKI G 06 G 7/18. Device for multiple differentiation of analog signals [Ustrojstvo dlya mnogokratnogo differencirovaniya analogovykh signalov]. Vostrikov A.S., Gavrilov E.B. 2302443/24, 1977.
13. Anisimov I.V. Basics of automatic control of technological processes in the petrochemical and refining industries [Osnovy avtomaticheskogo upravleniya tekhnologicheskimi processami neftekhimicheskoy i neftepererabatyvayushchej promyshlennosti]. Leningrad.: Himiya, 1967. 408 p. (rus)
14. Urevich E. Automatic control theory [Teoriya avtomaticheskogo upravleniya], 4-e izd. Uchebnoe posobie. BHV-Peterburg, 2016. 560 p. (rus)
15. Bushuev D.A., Lazarchuk M.Yu., Stativko S.A. Simulation of the subsystem for controlling the position of the counterweight of the grinding and mixing unit with automatic balancing [Modelirovanie podsistemy regulirovaniya polozheniya protivovesa pomol'no-smesitel'nogo agregata s avtomaticheskoy balansirovkoj]. Sb. trudov mezhdunarodnogo formu «Obrazovanie, nauka, proizvodstvo». Belgorod: Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2015. Pp. 2765–2769.

*Information about the authors*

**Pyshev, Roman S.** Master student. E-mail: dobe.87@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Rubanov, Vasilij G.** DSc, Professor. E-mail: vgrubanov@gmail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in May 2019*

**Для цитирования:**

Пышев Р.С., Рубанов В.Г. Нечеткая экстремальная система автоматической настройки резонансного контура // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 115–120. DOI: 10.34031/article\_5d4d6a32d95185.53258375

**For citation:**

Pyshev R.S., Rubanov V.G. Fuzzy extreme system of automatic adjustment of a resonance circuit. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 115–120. DOI: 10.34031/article\_5d4d6a32d95185.53258375



DOI: 10.34031/article\_5d4d6bfa2aa2a2.09768681

<sup>1,\*</sup>Рыбак Л.А., <sup>2</sup>Бехера Л., <sup>1</sup>Малышев Д.И., <sup>1</sup>Виравян Л.Г.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

<sup>2</sup>Индийский технологический институт Канпур

Индия, Канпур

\*E-mail: rl\_bgtu@intbel.ru

## АППРОКСИМАЦИЯ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ МАНИПУЛЯТОРОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ В СОСТАВЕ МУЛЬТИРОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В статье рассмотрено применение оптимизационных алгоритмов для решения задачи определения рабочей области роботов как последовательной, так и параллельной структуры на базе трипода. Рассмотрен метод аппроксимации множества решений системы нелинейных неравенств, описывающих ограничения на геометрические параметры робота, основанный на концепции неравномерных покрытий. На основе метода получены внутренние аппроксимации, заданные как набор параллелепипедов. Проанализировано влияние различных геометрических параметров на объём рабочей области робота. Для аппроксимации рабочей области использованы разработанный алгоритм и его модификации с различными размерностями параллелепипедов и подходами к переносу ограничений из пространства входных в пространство выходных координат в связи со сложностью вычислительной задачи. Для реализации алгоритмов разработан программный комплекс на языке C++. Представлены результаты математического моделирования. Экспериментально проверены различные размерности сетки для вычисления функций, а также точности аппроксимации. Полученные результаты могут быть использованы при выборе геометрических параметров роботов, определяющих их ограничения при движении в составе мультироботизированной системы.

**Ключевые слова:** робот последовательной структуры, робот параллельной структуры, алгоритм аппроксимации, рабочая область, мультироботизированная система.

**Введение.** Применение мультироботизированных систем для решения многих практических задач является важным и актуальным в настоящее время. Мультироботизированная многоагентная система может быть описана как группа интеллектуальных роботов (агентов), способных взаимодействовать друг с другом и совместно реализуя различные задачи [1]. Они могут быть реализованы различными роботами и могут применяться в обширных областях, включая военное наблюдение, разведку, спасательные операции и т.д. Совместное и распределенное управление такими системами привлекло многих исследователей в последние несколько лет. Контроль формирования группы мобильных агентов является одним из важных применений многоагентных систем, где агентами могут быть любые из следующих факторов: беспилотный летательный аппарат (БПЛА), мобильный робот, автономный подводный аппарат (AUV) и т.д. Основным источником вдохновения для исследования многоагентного контроля пласта является кооперативное поведение биологических существ, таких как птицы, рыбы, насекомые и т.д. [2]. Есть несколько подходов для решения этой проблемы. Жесткость графика как инструмент для изучения формирования транспортных средств была введена в [3]. Подход искусственной потенциальной

функции (APF) использовался многими исследователями для контроля пласта [4]. Пассивный дизайн закона управления для формирования нескольких агентов был исследован в [5]. Существует больше подходов для решения проблемы управления формацией, таких как управление на основе поведения [6], управление на основе виртуальной структуры [7] и управление на основе лидера-последователя [8]. В задаче контроля пласта агенты должны формировать определенный образец, такой как линейный, треугольный, прямоугольный или круглый [9]. Можно выделить статьи, посвященные формированию круговой структуры. Так в работе [10] представлено управление формированием круговой структуры и соответствующий закон управления для его достижения. Важной задачей при построении системы управления мультироботизированной системы является определение рабочей области каждого из роботов, которая может быть представлена как ограничения при их взаимном движении. Кроме того, следует учитывать конфигурацию роботов и параметры их геометрической структуры. В данной статье рассмотрены проблемы аппроксимации рабочей области разнородной группы роботов, имеющих как последовательную, так и параллельную структуру [12].

Постановка задачи. Рассмотрим применение метода неравномерных покрытий для определения рабочей области. Покрытием множества  $P$  называем совокупность  $n$ -мерных параллелепипедов  $P_i, i \in \overline{1, k}$ , таких, что

$$P \subseteq \bigcup_{i \in \overline{1, k}} P_i$$

и для каждого  $P_i, i \in \overline{1, k}$ , выполняется хотя бы одно из трёх условий:

$$1. \max_{i \in \overline{1, k}} \max_{x \in P_i} g_j(x) < 0$$

$$2. \max_{i \in \overline{1, k}} \min_{x \in P_i} g_j(x) < 0$$

3. неравенства 1 и 2 не выполняются и  $d(P_i) \leq \delta$ , где  $\delta$  – заданная положительная величина, определяющая точность аппроксимации.

На основе рассмотренного метода строится внешнее и внутреннее аппроксимационные множества. Внутреннее аппроксимационное множество включается во множество решений системы неравенств, а внешнее включает его. Оба множества представляют собой объединения  $n$ -мерных параллелепипедов. Этот метод позволяет аппроксимировать множество решений систем равенств или неравенств, описывающих рабочую зону робота. Математическое преобразование уравнений связи некоторых роботов позволяет уменьшить размерность и, следовательно, время вычислений. Использование параллелепипедов большой размерности позволяет избежать значительных математических преобразований, а затем проецировать их на оси координат, необходимые для визуализации.

Рассмотрим пространственный механизм параллельного манипулятора (рис. 1), который содержит подвижное горизонтальное основание 1, которое шарнирно связано с вертикальным основанием 2 с возможностью его отклонения от вертикали. Вертикальное основание 2 имеет привод 3. На вертикальном основании 2 установлен, например, с помощью шарнира, трипод 4. Выходное звено 5 шарнирно установлено на рабочей площадке 6 трипода 4 с возможностью вращения относительно оси, перпендикулярной рабочей площадке 6 трипода. На площадке трипода установлен привод 7, обеспечивающий вращение выходного звена 5. Оптимально длину выходного звена выполнить не менее половины длины рабочего инструмента, размещённого в захвате 8. Захват закреплен, например, болтами, на свободном конце выходного звена 5. Также рассмотрим пространственный механизм последовательного манипулятора (рис. 2), который содержит горизонтальное основание 1, которое шарнирно связано с последовательным манипулятором 2 с вращательными шарнирами имеющими на конце схват 3.

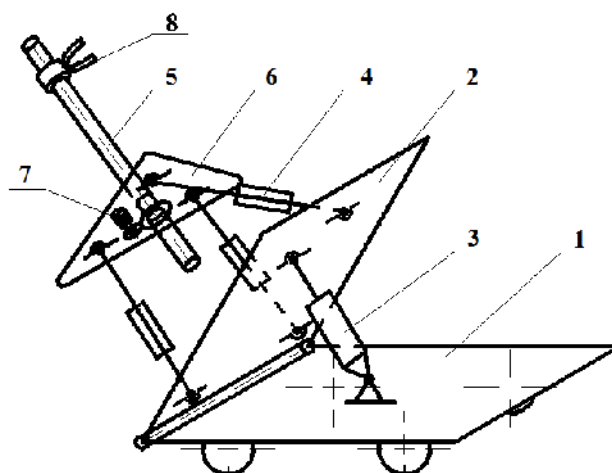


Рис. 1. Схема параллельного манипулятора

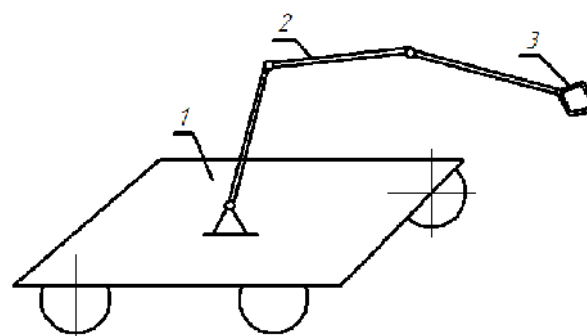


Рис. 2. Схема последовательного манипулятора

Определение рабочей области последовательного манипулятора. Идея применить эвристические методы многокритериальной оптимизации для задач аппроксимации границы рабочей области робота-манипулятора была высказана в [11]. Метод, использованный в [11], не гарантировал того, что рабочая область целиком лежит внутри построенной аппроксимации. Для ряда приложений подобная гарантия необходима. Предложенный выше подход позволяет строить множество, гарантированно содержащее рабочую область. Рассматривается планарный робот с  $k$  звеньями переменной длины (рис. 3). Один из концов манипулятора закреплен в начале координат. Рабочая область определяется как множество возможных позиций свободного (второго) конца робота, называемого схватом. Позиция схвата полностью определяется вектором длин звеньев  $s = (s^{(1)}, \dots, s^{(k)})^T$  и вектором величин углов  $\theta = (\theta^{(1)}, \dots, \theta^{(k)})^T$  между соответствующими звеньями.

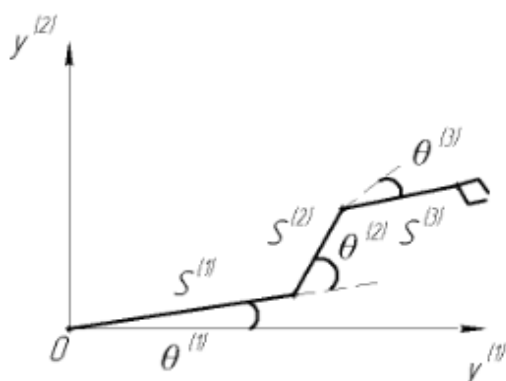


Рис. 3. Углы и звенья, определяющие конфигурацию робота-манипулятора

Допустимое множество углов и длин звеньев является параллелепипедом

$$X = [s^{(1)}, s^{(1)}] \times \dots \times [s^{(k)}, s^{(k)}] \times [\theta^{(1)}, \theta^{(1)}] \times \dots \times [\theta^{(k)}, \theta^{(k)}]$$

где  $[s^{(0)}, s^{(i)}]$  и  $[\theta^{(0)}, \theta^{(i)}]$  – заданные диапазоны возможных значений длины звена  $s_i$  и угла  $\theta_i$  соответственно.

Рабочая область робота-манипулятора – это образ  $Y = F(X)$  допустимого множества  $X$ , где  $F(s, \theta) = f^{(1)(2)}(s, \theta)$  задается формулами.

$$f^{(1)(0)}(s, \theta) = \cos \sum_{i=1}^k s^{(i)} \cdot \left( \sum_{j=1}^i \theta^{(j)} \right),$$

$$f^{(2)(0)}(s, \theta) = \sin \sum_{i=1}^k s^{(i)} \cdot \left( \sum_{j=1}^i \theta^{(j)} \right).$$

Для рабочей области  $Y$  строится внешняя  $\varepsilon$ -аппроксимация эффективной границы с помощью метода, изложенного в предыдущем разделе. Построенное множество точек полностью определяет  $\varepsilon$ -эффективную оболочку, включающую в себя рабочую область робота-манипулятора.

Рассмотрим пример трехзвенного робота-манипулятора с фиксированными длинами звеньев

$s_1 = 3, s_2 = 2, s_3 = 0.25$  и заданными диапазонами изменения углов

$$\theta_1 \in \left[ \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3} \right], \theta_2 \in \left[ \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3} \right], \theta_3 \in [-\pi, \pi] \quad [13].$$

На рис. 4 приведена внешняя  $\varepsilon$ -аппроксимация эффективной границы рабочей области манипулятора при  $\varepsilon = 0.5, 0.01$ . Время расчетов на персональном компьютере Intel (TM) Core i5 CPU, 3.1 ГГц, 4 Гб Ram составило 0.2 с и 47.9 с соответ-

ственно. Данный пример наглядно демонстрирует повышение точности аппроксимации, сопровождаемое увеличением времени расчетов.

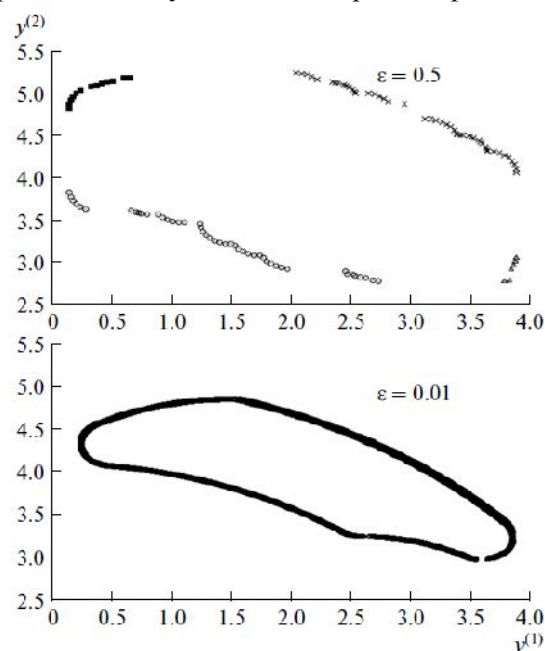


Рис. 4. Аппроксимация рабочей области манипулятора при разных значениях  $\varepsilon$

Определение рабочей области параллельного манипулятора на базе трипода. Рассмотрим трипод, который включает три штанги переменной длины, которые соединены вращательными шарнирами с основанием и сферическими шарнирами с рабочей платформой (рис. 5). Основание и рабочая платформа представляют собой равносторонние треугольники. В результате изменения длин штанг рабочая платформа совершает перемещение по оси  $Z_1$  на расстояние  $z_1$ , и повороты вокруг оси  $X_1$  на угол  $\psi$  и вокруг  $Y_1$  на угол  $\theta$ . Кроме этого, имеются дополнительные степени свободы – смещение по осям  $X_1$  на расстояние  $x_1$  и по  $Y_1$  на расстояние  $y_1$  и вращение вокруг оси  $Z_1$  на угол  $\alpha$ , которые определяются по формулам:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \psi \sin \theta}{\cos \psi + \cos \theta} \right)$$

$$x_1 = \frac{r}{2} (\cos \theta \cos \alpha + \sin \psi \sin \theta \sin \alpha - \cos \psi \cos \alpha)$$

$$y_1 = -r \cos \psi \sin \alpha$$

Входными координатами являются длины приводных звеньев  $l_1, l_2, l_3$ , выходными – координаты точки  $O'$  рабочего органа:  $x_{O'}, y_{O'}, z_{O'}$ . Т.  $O'$  располагается на расстоянии  $h$  от центра подвижной платформы. Отрезок, проведенный из центра подвижной платформы  $O$  к т.  $O'$ , перпендикулярен плоскости платформы. В связи с этим, обратная задача кинематики имеет множество ре-

шений и для определения рабочей области необходимо, предварительно, определить множество допустимых значений линейных и угловых координат центра  $O$  подвижной платформы, а затем

для данных значений определить множество координат точки  $O'$  рабочего органа.

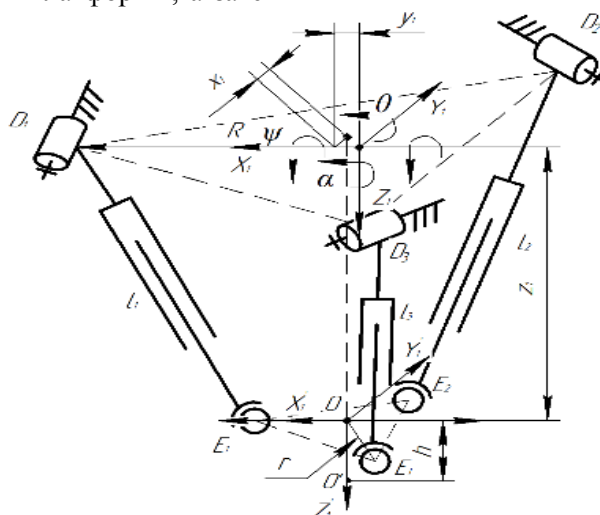


Рис. 5. Схема робота-трипода

Опишем координаты т.  $O'$  в подвижной системе координат  $X'_1Y'_1Z'_1$

$$O'_1 = [0 \quad 0 \quad h \quad 1]^T$$

Вычислим координаты т.  $O'$  в неподвижной системе координат  $X_1Y_1Z_1$

$$O'_1 = O'_1 M_{1',1}$$

$$M_{1',1} = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\alpha + \sin\psi\sin\theta\sin\alpha & -\cos\theta\sin\alpha + \sin\psi\sin\theta\cos\alpha & \sin\theta\cos\psi & x_1 \\ \cos\psi\sin\alpha & \cos\psi\cos\alpha & -\sin\psi & y_1 \\ -\sin\theta\cos\alpha + \sin\psi\cos\theta\sin\alpha & \sin\theta\sin\alpha + \sin\psi\cos\theta\cos\alpha & \cos\theta\cos\psi & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

После преобразования получим

$$O'_1 = \begin{bmatrix} x_1 + M_{31}h \\ y_1 + M_{32}h \\ z_1 + M_{33}h \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 + \sin\theta\cos\psi h \\ y_1 - \sin\psi h \\ z_1 + \cos\theta\cos\psi h \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Далее введем ограничения на геометрические параметры механизма

$$l_{\min} \leq l_i \leq l_{\max} \quad (3)$$

где  $l_{\min}, l_{\max}$  определяются конструктивными параметрами механизма,  $l_i$  — текущая длина  $i$ -той штанги, которую определяем по формуле

$$l_i = \sqrt{(x_{Ei} - x_{Di})^2 + (y_{Ei} - y_{Di})^2 + (z_{Ei} - z_{Di})^2} \quad (4)$$

где  $x_{Ei}, y_{Ei}, z_{Ei}$  — координаты центров шарниров, т.  $E_i$ ,  $x_{Di}, y_{Di}, z_{Di}$  — координаты центров шарниров, т.  $D_i$  в неподвижной системе координат.

Определим координаты шарниров  $E_i$  в подвижной системе координат

где  $M_{1',1}$  — матрица перехода от подвижной системы координат  $X'_1Y'_1Z'_1$  к неподвижной системе координат  $X_1Y_1Z_1$ , которая включает перемножение матриц перемещений вдоль осей  $X_1, Y_1, Z_1$  и поворотов вокруг осей  $X_1, Y_1, Z_1$

$$X'_1Y'_1Z'_1E'_1 = [r \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T, E'_2 = \begin{bmatrix} -\frac{r}{2} & \frac{\sqrt{3}r}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T, E'_3 = \begin{bmatrix} -\frac{r}{2} & -\frac{\sqrt{3}r}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Обозначим в (1)  $M_{11} = \cos\theta\cos\alpha + \sin\psi\sin\theta\sin\alpha$ ,  $M_{12} = -\cos\theta\sin\alpha + \sin\psi\sin\theta\cos\alpha$ ,  $M_{13} = \sin\theta\cos\psi$ ,  $M_{21} = \cos\psi\sin\alpha$ ,  $M_{22} = \cos\psi\cos\alpha$ ,  $M_{23} = -\sin\psi$ ,  $M_{31} = -\sin\theta\cos\alpha + \sin\psi\cos\theta\sin\alpha$ ,  $M_{32} = \sin\theta\sin\alpha + \sin\psi\cos\theta\cos\alpha$ ,  $M_{33} = \cos\theta\cos\psi$ . Выразим координаты шарниров  $E_i$  в неподвижной системе координат  $X_1Y_1Z_1$

$$E_1 = M_{1',1}E'_1 = \begin{bmatrix} x_1 + M_{11}r \\ y_1 + M_{21}r \\ z_1 + M_{31}r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 + M_{11}r \\ 0 \\ z_1 + M_{31}r \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$E_2 = M_{1',1}E'_2 = \begin{bmatrix} x_1 - 0,5r(M_{11} - \sqrt{3}M_{12}) \\ y_1 - 0,5r(M_{21} - \sqrt{3}M_{22}) \\ z_1 - 0,5r(M_{31} - \sqrt{3}M_{32}) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$



$$\mathbf{E}_3 = \mathbf{M}_{1,-1} \mathbf{E}'_3 = \begin{bmatrix} x_1 - 0,5r(M_{11} + \sqrt{3}M_{12}) \\ y_1 - 0,5r(M_{21} + \sqrt{3}M_{22}) \\ z_1 - 0,5r(M_{31} + \sqrt{3}M_{32}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

где  $y_1 = -M_{21}r = -r \cos \psi \sin \alpha$ .

Определим координаты шарниров  $D_i$  в неподвижной системе координат  $X_1Y_1Z_1$

$$l_1 = \sqrt{(x_1 + M_{11}r - R)^2 + (z_1 + M_{31}r)^2}, \quad (7)$$

$$l_2 = \left( (x_1 - 0,5r(M_{11} - \sqrt{3}M_{12}) + 0,5R)^2 + \left( y_1 - 0,5r(M_{21} - \sqrt{3}M_{22}) - \frac{\sqrt{3}}{2}R \right)^2 + \left( z_1 - 0,5r(M_{31} - \sqrt{3}M_{32}) \right)^2 \right)^{1/2}, \quad (8)$$

$$l_3 = \left( (x_1 - 0,5r(M_{11} + \sqrt{3}M_{12}) + 0,5R)^2 + \left( y_1 - 0,5r(M_{21} + \sqrt{3}M_{22}) - \frac{\sqrt{3}}{2}R \right)^2 + \left( z_1 - 0,5r(M_{31} + \sqrt{3}M_{32}) \right)^2 \right)^{1/2}, \quad (9)$$

Наличие дополнительных смещений осложняет вычислительную задачу в связи с неоднозначностью решения обратной задачи кинематики. Для аппроксимации рабочей области использован разработанный алгоритм и его модификации различной размерности и подхода к переносу ограничений из пространства входных в пространство выходных координат. Рассмотрим наиболее оптимальные по точности и времени вычисления алгоритмы.

Построим рабочую область трипода на высоте  $z_{O'}$  среза. Алгоритм работает с тремя списками двумерных параллелепипедов  $\mathbb{P}$ ,  $\mathbb{P}_I$  и  $\mathbb{P}_A$ , при этом список  $\mathbb{P}$  включает набор параллелепипедов, содержащих множество положений т.  $O'$  в пространстве входных координат (углы поворота  $\psi$  и  $\theta$ ), список  $\mathbb{P}_I$  включает набор параллелепипедов, содержащих множество положений т.  $O'$ , удовлетворяющих условию (3) в пространстве входных координат, список  $\mathbb{P}_A$  содержащих множество положений т.  $O'$ , удовлетворяющих условию (3) в пространстве выходных координат (координаты т.  $O'$  по оси  $X_1$  и  $Y_1$ ).

Алгоритм работает следующим образом:

1. Списки  $\mathbb{P}_I$  и  $\mathbb{P}_A$  пусты, а список  $\mathbb{P}$  состоит только из одного параллелепипеда  $Q$ , включающего диапазон углов  $\psi$  и  $\theta$  поворота платформы  $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ .

2. Извлечём из списка  $\mathbb{P}$  параллелепипед  $Q_j, j \in 1, n$  и разделим равномерной сеткой по каждой из осей углов поворота  $\theta$  и  $\psi$  и перемещения по оси  $Z_1$  с шагом  $\frac{\pi}{n}$  и  $\frac{(l_{min}, l_{max})}{n}$  соответственно.

3. Определим для всех точек  $A_k$  длины штанг 11, 12, 13 (7-9).

4. Выполним для всех точек  $A_k$  проверку вхождения рассчитываемых значений длин в допустимый диапазон.

$$\mathbf{D}_1 = [R \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T,$$

$$\mathbf{D}_2 = \left[ -\frac{R}{2} \quad \frac{\sqrt{3}R}{2} \quad 0 \quad 1 \right]^T, \quad (6)$$

$$\mathbf{D}_3 = \left[ -\frac{R}{2} \quad -\frac{\sqrt{3}R}{2} \quad 0 \quad 1 \right]^T.$$

Подставив (5) и (6) в (4), запишем изменения длин штанг

5. Если для каждой из точек  $A_k$  все длины штанг имеют значения из допустимого диапазона, то данный параллелепипед удовлетворяет условиям и добавляется к списку  $\mathbb{P}_I$ .

6. Если ни для одной из точек  $A_k$  не выполняется условие (3), то данный параллелепипед не удовлетворяет условиям и исключается из дальнейшего рассмотрения.

7. В остальных случаях параллелепипед делится на два равных параллелепипеда вдоль ребра с наибольшей длиной. Данные параллелепипеды вносятся в конец списка  $\mathbb{P}$ .

8. Если очередной для рассмотрения параллелепипед  $Q_i$  в списке  $\mathbb{P}$  меньше заданной точности аппроксимации по всем осям, то есть интервалы  $\psi$  и  $\theta$  меньше заданной точности аппроксимации, то переходим к шагу 10.

9. В остальных случаях происходит повторение шагов 2-9.

10. Извлекаем из списка  $\mathbb{P}_I$  параллелепипед  $Q_j$ .

11. Параллелепипед делится на два равных параллелепипеда вдоль ребра с наибольшей длиной. Данные параллелепипеды вносятся в конец списка  $\mathbb{P}_I$ .

12. Если очередной для рассмотрения параллелепипед в списке  $\mathbb{P}$  меньше заданной точности аппроксимации по всем осям, то есть интервалы  $\psi$  и  $\theta$  меньше заданной точности аппроксимации, то данный параллелепипед добавляется к списку  $\mathbb{P}$ .

13. Если шаги 10-13 выполнены для всех параллелепипедов из списка  $\mathbb{P}_I$ , то переходим к шагу 15.

14. В остальных случаях происходит повторение шагов 10-13.

15. Извлечём из списка  $\mathbb{P}$  параллелепипед  $Q_j, j \in 1, n$  и разделим равномерной сеткой по

каждой из осей углов поворота  $\theta$  и  $\psi$  и перемещения по оси  $Z_1$  с шагом  $\frac{\pi}{n}$  и  $\frac{(l_{min}, l_{max})}{n}$  соответственно.

16. Определим для всех точек  $A_k$  координаты т.  $O'$  ( $x_{O'}, y_{O'}$ ) по формуле (2).

17. Если точка  $A_k$  не входит ни в один из параллелепипедов из списка  $\mathbb{P}_A$ , то создаётся параллелепипед размером  $\delta \times \delta$ , содержащий точку  $A_k$  и добавляется к списку  $\mathbb{P}_A$ .

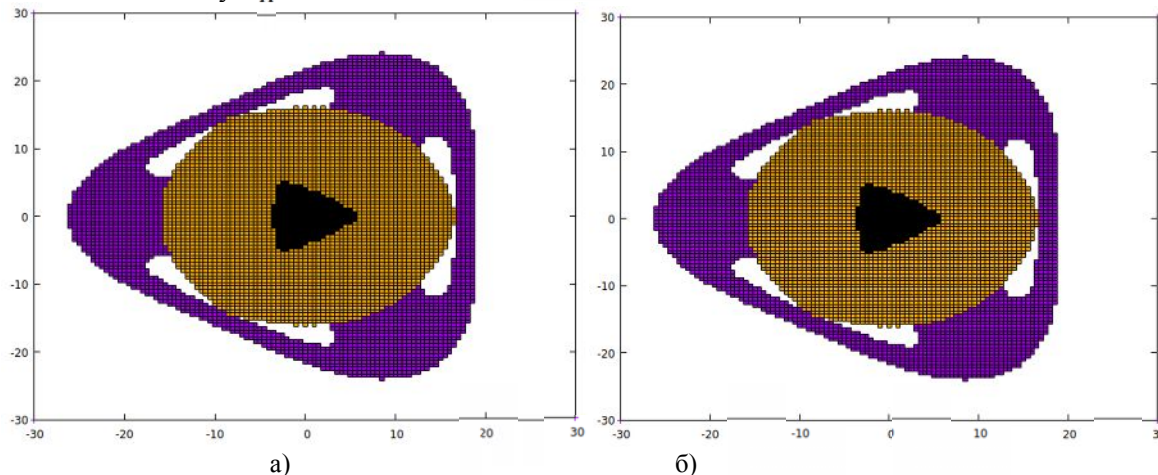


Рис. 6. Результаты моделирования (синее -  $z_{O'} = 105$  мм, жёлтое -  $z_{O'} = 130$  мм,  $z_{O'} = 145$  мм): а)  $\delta = 1$  мм, б)  $\delta = 2$  мм

Из рисунка видно, что рабочая область трипода ограничена размерами  $25 \times 45$  мм. Время вычисления с размерностью сетки для вычислений функций  $32 \times 32$  и точностью аппроксимации  $\delta = 0,5$  мм на персональном компьютере для  $z_{O'} = 130$  мм составило 32 минуты,  $\delta = 1$  мм – 22 минуты.

**Выводы.** Разработанные алгоритмы показали свою эффективность. Получены результаты моделирования с учётом особых положений. Проанализировано влияние различных геометрических параметров на объём рабочей области робота. Для аппроксимации рабочей области использованы разработанный алгоритм и его модификации с различной размерностью параллелепипедов и подходами к переносу ограничений из пространства входных в пространство выходных координат в связи со сложностью вычислительной задачи. Экспериментально проверены различные размерности сетки ( $12 \div 64$ ) для вычисления функций, а также точности аппроксимации  $\delta = 0,1 \div 1$  мм. Время вычислений составило от ... до ... минут. Полученные результаты могут быть использованы при выборе геометрических параметров робота-трипода, обеспечивающих заданные технологическим процессом границы рабочей области, а также при планировании траектории с учётом обхода особых положений, в которых механизм может потерять управляемость.

**Источник финансирования.** РФФИ грант № 18-57-45014 ИНД\_а.

18. Если шаги 15-18 выполнены для всех параллелепипедов из списка  $\mathbb{P}$ , то алгоритм завершает свою работу.

19. В остальных случаях происходит повторение шагов 15-18.

Моделирование выполнено для  $l_{1,2,3} \in [80 \text{ мм}, 120 \text{ мм}]$ ,  $R = 50$ ,  $r = 30$  мм,  $z_{O'} = 105 \text{ мм}, 130 \text{ мм}, 145 \text{ мм}$ . Результаты моделирования представлены на рис. 6.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ferber J. Multi-agent systems an introduction to distributed artificial intelligence. 1999. Vol. 1. Addison-Wesley Reading.
2. Couzin I.D., Krause J., Franks N.R., Levin S.A. Effective leadership and decision-making in animal groups on the move // Nature. 2005. Vol. 433. No. 7025. Pp. 513–516.
3. Eren T., Belhumeur P.N., Anderson B.D., Morse A.S. A framework for maintaining formations based on rigidity // In Proceedings of the 15th IFAC World Congress. Barcelona. Spain. 2002. Pp. 2752–2757.
4. Olfati-Saber R., Murray R.M. Distributed cooperative control of multiple vehicle formations using structural potential functions // In IFAC World Congress. Citeseer. 2002. Vol. 15. Pp. 242–248.
5. Areak M. Passivity as a design tool for group coordination // In IEEE American Control Conference 2006. Pp. 6.
6. Balch T., Arkin R.C. Behavior-based formation control for multi robot teams // Robotics and Automation. IEEE Transactions on. 1998. Vol. 14. No. 6. Pp. 926–939.
7. Lewis M.A., Tan K.-H. High precision formation control of mobile robots using virtual structures // Autonomous Robots. 1997. Vol. 4. No. 4. Pp. 387–403.
8. Desai J.P., Ostrowski J., Kumar V. Controlling formations of multiple mobile robots // in IEEE



Inter-national Conference on Robotics and Automation. 1998. Vol. 4. Pp. 2864–2869.

9. Sandeep S., Fidan B., YuC. Decentralized cohesive motion control of multi-agent formations // in 14th Mediterranean Conference on Control and Automation. IEEE. 2006. Pp. 1–6.

10. Wang C., Xie G., Cao M. Forming circle formations of anonymous mobile agents with order preservation // IEEE Transactions on Automatic Control. 2013. Vol. 58. No. 12. Pp. 3248–3254.

11. Карпенко А.П., Семенихин А.С., Червяцова М.Н. // Наука и образование: Электрон.

науч.- техн. издание. 2011. <http://technomag.edu.ru/doc/165078.html>.

12. Виравян Л.Г., Халапян С.Ю., Кузьмина В.С. Оптимизация траектории позиционирования выходного звена планарного параллельного робота // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №9. С. 106–113. DOI: 10.12737/article\_5bab4a2147fc30.43957017.

13. Евтушенко Ю.Г., Посыпкин М.А. Эффективная оболочка множества и ее аппроксимация // Доклады академии наук. 2014. Том 459. №5. С. 550–553.

#### Информация об авторах

**Рыбак Лариса Александровна**, д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: [rl\\_bgtu@intbel.ru](mailto:rl_bgtu@intbel.ru). Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Лакшмидхар Бехера**, PhD профессор. Индийский технологический институт Канпур. E-mail: [lbehera@iitk.ac.in](mailto:lbehera@iitk.ac.in). Индия, Канпур

**Малышев Дмитрий Иванович**, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: [dimon-belgorod@yandex.ru](mailto:dimon-belgorod@yandex.ru). Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Виравян Лусине Гарниковна**, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: [lvgl81992@mail.ru](mailto:lvgl81992@mail.ru). Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.

© Рыбак Л.А., Бехера Л., Малышев Д.И., Виравян Л.Г., 2019

<sup>1,\*</sup>**Rybak L. A., <sup>2</sup>Behera L., <sup>1</sup>Malyshev D. I., <sup>1</sup>Virabyan L. G.**

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

<sup>2</sup>Indian Institute of Technology Kanpur

India, Kanpur

\*E-mail: [rl\\_bgtu@intbel.ru](mailto:rl_bgtu@intbel.ru)

## APPROXIMATION OF THE WORKSPACE OF PARALLEL AND SERIAL STRUCTURE MANIPULATORS AS PART OF THE MULTI-ROBOT SYSTEM

**Abstract.** The article describes the application of optimization algorithms for solving the problem of determining the workspace of robots as a serial and parallel structure based on the tripod. The method of approximating the set of solutions of nonlinear inequalities system describing constraints on the geometric parameters of the robot and based on the concept of non-uniform coverings is considered. The internal approximations defined as a set of parallelepipeds are obtained on the basis of the method. The influence of various geometric parameters on the volume of the workspace of the robot is analyzed. To approximate the workspace, the developed algorithm and its modifications with different dimensions of parallelepipeds and approaches to the transfer of constraints from the space of input to the space of output coordinates due to the complexity of the computational problem are used. A software package in the C++ language is developed to implement the algorithms. The results of mathematical modeling are presented. Various dimensions of the grid to calculate the functions, as well as the accuracy of the approximation are experimentally conducted. The obtained results can be used in the selection of geometric parameters of robots, which determine their limitations when moving as part of a multi-robotic system.

**Keywords:** serial structure robot, parallel structure robot, approximation algorithm.

## REFERENCES

1. Ferber J. Multi-agent systems an introduction to distributed artificial intelligence. 1999. Vol. 1. Addison-Wesley Reading.
2. Couzin I. D., Krause J., Franks N.R., Levin S.A. Effective leadership and decision-making in animal groups on the move. *Nature*. 2005. Vol. 433. No. 7025. Pp. 513–516.
3. Eren T., Belhumeur P.N., Anderson B.D., Morse A.S. A framework for maintaining formations based on rigidity. In *Proceedings of the 15th IFAC World Congress*. Barcelona. Spain. 2002. Pp. 2752–2757.
4. Olfati-Saber R., Murray R.M. Distributed cooperative control of multiple vehicle formations using structural potential functions. In *IFAC World Congress*. Citeseer. 2002. Vol. 15. Pp. 242–248.
5. Areak M. Passivity as a design tool for group coordination. In *IEEE American Control Conference* 2006. Pp. 6.
6. Balch T., Arkin R.C. Behavior-based formation control for multi robot teams. *Robotics and Automation*. IEEE Transactions on. 1998. Vol. 14. No. 6. Pp. 926–939.
7. Lewis M.A., Tan K.-H. High precision formation control of mobile robots using virtual structures. *Autonomous Robots*. 1997. Vol. 4. No. 4. Pp. 387–403.
8. Desai J.P., Ostrowski J., Kumar V. Controlling formations of multiple mobile robots. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 1998. Vol. 4. Pp. 2864–2869.
9. Sandeep S., Fidan B., Yu C. Decentralized cohesive motion control of multi-agent formations. In *14th Mediterranean Conference on Control and Automation*. IEEE. 2006. Pp. 1–6.
10. Wang C., Xie G., Cao M. Forming circle formations of anonymous mobile agents with order preservation. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2013. Vol. 58. No. 12. Pp. 3248–3254.
11. Karpenko A.P., Semenikhin A.S., Chervyatsova M.N., Nauka i Obrazovanie Elektron. Nauchno-Tekhn. Izd. [Nauka i Obrazovanie]. (2011). <http://technomag.edu.ru/doc/165078.html>. (rus)
12. Virabyan L.G., Khalapyan S.Y., Kuzmina V.S. Optimization of the positioning trajectory of planar parallel robot output link [Optimization of the parallel robot positioning trajectory]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018. No. 9. Pp. 106–113. DOI: 10.12737/article\_5bab4a2147fc30.43957017. (rus)
13. Evtushenko Yu.G., Posypkin M.A. Effective hull of a set and its approximation [Effective hull of a set]. *Doklady Akademii Nauk*, 2014. Vol. 459. No. 5. Pp. 550–553. (rus)

*Information about the authors*

**Rybak, Larisa A.** Professor. E-mail: [rl\\_bgtu@intbel.ru](mailto:rl_bgtu@intbel.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Laxmidhar Behera**, PhD Professor. E-mail: [lbehera@iitk.ac.in](mailto:lbehera@iitk.ac.in). Indian Institute of Technology Kanpur. India, Kanpur.

**Malyshev, Dmitry I.** Postgraduate student. E-mail: [dimon-belgorod@yandex.ru](mailto:dimon-belgorod@yandex.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Virabyan, Lusine G.** Postgraduate student. E-mail: [lvgl81992@mail.ru](mailto:lvgl81992@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in May 2019*

**Для цитирования:**

Рыбак Л.А., Бехера Л., Малышев Д.И., Вирабян Л.Г. Аппроксимация рабочей области манипуляторов параллельной и последовательной структуры в составе мультироботизированной системы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 121–128. DOI: 10.34031/article\_5d4d6bfa2aa2a2.09768681

**For citation:**

Rybak L.A., Behera L., Malyshev D.I., Virabyan L.G. Approximation of the workspace of parallel and serial structure manipulators as part of the multi-robot system. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 8. Pp. 121–128. DOI: 10.34031/article\_5d4d6bfa2aa2a2.09768681

DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217

<sup>1,\*</sup>Романцов Р.С., <sup>1</sup>Серых И.Р., <sup>1</sup>Чернышева Е.В.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: romantsovrrs@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАЗМЕННОГО СИЛИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ

**Аннотация.** Современные технологии являются важнейшей составляющей любого государства. Благодаря прогрессивным технологиям сегодня возможно создавать любые механизмы на уровне атомов и молекул. Для производства машин, агрегатов и отдельных их составных частей используются новые наноматериалы и нанотехнологии, которые позволяют многократно и с высокой эффективностью снижать трения, защищать детали от повреждений, экономить энергию, повышать надежность деталей машин в целом. Практически в любом механизме существуют отдельные детали, которые фокусируют на себе основную нагрузку. В нашем исследовании такой деталью является цанга зажимная из стали 65Г. Применительно к ней и был предложен метод плазменного силицирования для упрочнения ее внутренней поверхности. Так как повышение именно этой характеристики позволит увеличить срок ее эксплуатации, а значит обеспечит более надежную работу как отдельного механизма, так и производства в целом. Это в конечном счете позволит предприятию стать экономически эффективным и конкурентоспособным. В работе исследовалась величина влияния внедрения атомов кремния в поверхностный слой детали на такие характеристики как износостойкость и долговечность. Исследования и последующая обработка результатов с помощью программного пакета для статистического анализа Statistica, показали увеличение прочностных характеристик в 2,6 раза.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, цанговый зажим, износостойкость, плазменное силицирование.

Многочисленные исследования показывают, что до 70–80 % отказов машин происходит по причине износа их отдельных поверхностей, деталей в составе механизма, что в последствии влечет ремонт машин и оборудования, ежегодное расходование средств, выпуск большого количества запасных частей и др. Так, например, в конструкции цангового зажимного механизма наиболее «слабым» звеном является сама цанга. Именно она имеет тенденцию изнашиваться быстрее, чем сам механизм, так как обычно изготавливается из более мягкого металла и принимает на себя наибольшую нагрузку в процессе эксплуатации. Таким образом, чтобы обеспечить длительную и бесперебойную работу целого механизма, необходимо обеспечить высокую износостойкость и надежность при производстве каждой его составляющей единицы. Это и будет являться залогом качества механизмов и машин [1–8].

Развитие современных технологий нанесения защитных покрытий позволяет получать впечатляющие результаты по повышению износостойкости металла. Использование покрытий на основе различных соединений толщиной не более 2 мкм обеспечивает значительный запас выносливости металла, тем самым гарантирует функциональные свойства детали и обеспечивает высокий уровень сопротивления изнашиванию в определенных условиях трения. Одним из спосо-

бов нанесения защитного покрытия является метод плазменного силицирования. В основе данной производственной технологии лежит процесс плазмохимического осаждения на поверхность изделия и внедрения в нее атомов (кластеров, наночастиц) кремния из газовой фазы с помощью ВЧИ-генератора (высокочастотный индукционный). Источником упрочняющего материала – кремния служит жидкое кремнийорганическое соединение ТЭОС – химическое соединение тетраэтоксисилан  $(C_2H_5O)_4Si$ . Поток плазмы, несущий атомы кремния, на высокой скорости соударяется с поверхностью обрабатываемого изделия, в результате чего и происходит ее упрочнение. Основное назначение процесса силицирования – повышение износостойкости, защита от коррозии при воздействии агрессивных сред и повышение жаростойкости.

Получаемое в процессе силицирования прозрачное диффузионное покрытие с повышенной адгезионной прочностью к подложке за счет проникновения кремния вглубь до 50 нм состоит из многослойного гидрогенизированного аморфного кремния (a-Si:H), внешний слой которого функционализирован углеводородными соединениями, имеющими ковалентную связь с предшествующим слоем. Получаемое покрытие позволяет достичь высокой химической инертности поверхности по сравнению с аналогами и используется для обнаружения агрессивных веществ с повышенной точностью. Покрытие в основном

является прозрачным и имеет толщину менее 2 мкм. Высокая скорость напыления частиц (800 – 1000 м/с и более) позволяют формировать покрытие преимущественно без его расплавления.

Цель данного научного исследования заключается в том, чтобы, используя вышеизложенную методику применительно к цанге зажимной, увеличить износостойкость ее внутренней поверхности, а значит и срок службы в целом.

В эксперименте были использованы стандартные цанги зажимные, изготовленные из стали марки 65Г, обладающей достаточно высокими прочностными характеристиками. Однако в связи с повышенным износом внутренней поверхности лепестков цанги проблема выдержать требуемое количество эксплуатационных циклов (закреплений) сохранялась, что снижало эксплуатационный ресурс детали [9].

За основу эксперимента были взяты параметры технологического процесса, использованные при проведении плазменного силицирования формообразующих поверхностей матриц [10]. Поверхность детали перед упрочняющей обработкой обезжиривалась ацетоном и при необходимости удалялась окисная пленка. В качестве плазмообразующего газа был использован аргон. Источником упрочняющего материала (кремния) служило жидкое кремнийорганическое соединение тетраэтоксисилан. Рабочая частота, создаваемая ВЧИ-генератором, составляла 1 МГц при потребляемой мощности в пределах 35...40 кВт. Скорость плазменного потока (ламинарный), имеющего температуру 8773 К, составляла 20...40 м/с. Диаметр пятна прижога в области контакта плазменной струи с поверхностью на расстоянии 45...60 мм от среза составлял около 60 мм. Смесь газа-носителя аргона с парами тетраэтоксисилана готовилась в герметически закрытой металлической термостатированной (~363 К) емкости, в которой находился жидкий тетраэтоксисилан и через которую с помощью заглубленной трубки барботировал аргон. Эта газообразная смесь подавалась в газооформитель плазмотрона и дальше в образующийся внутри него плазмод, где и происходило разложение тетраэтоксисилана с выделением атомарного кремния. Поток плазмы, несущий атомы кремния, на высокой скорости соударялся с поверхностью обрабатываемого изделия, внедряя в нее наночастицы металла, что приводило к ее упрочнению.

Экспериментальные образцы устанавливались в патрон токарного станка с ЧПУ, который совершает в автоматическом режиме вращательные движения с заданной скоростью (рис. 1.)

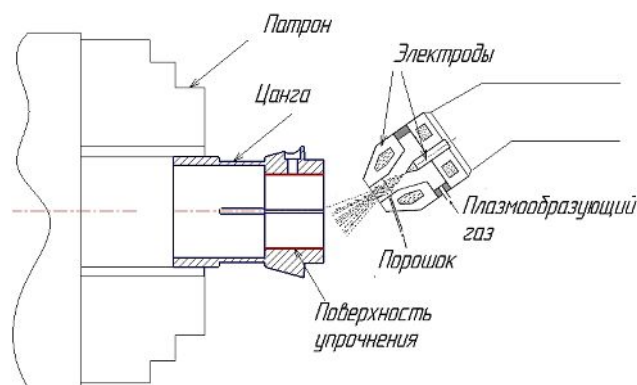


Рис.1. Схема процесса плазменного силицирования

При проведении эксперимента были выбраны несколько параметров варьирования процесса:

$S - (x_1)$  скорость плазменного потока (ламинарный) составляла 20...40 м/с;

$T - (x_2)$  время плазменного силицирования 30...60 с;

$N - (x_3)$  количество полных оборотов патрона (проходов) 2...6.

В ходе эксперимента было обработано 15 деталей (цанг) с различными параметрами техпроцесса.

Затем методом вдавливания алмазной пирамиды определялся показатель их износостойкости, т.е. количество закреплений (рабочих циклов)  $n$  [11, 12]. Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры техпроцесса

|    | S      | T      | N     | n    |
|----|--------|--------|-------|------|
| 1  | 20.000 | 30.000 | 4.000 | 1800 |
| 2  | 40.000 | 30.000 | 4.000 | 2600 |
| 3  | 20.000 | 60.000 | 4.000 | 2700 |
| 4  | 40.000 | 60.000 | 4.000 | 3100 |
| 5  | 20.000 | 45.000 | 2.000 | 2550 |
| 6  | 40.000 | 45.000 | 2.000 | 2900 |
| 7  | 20.000 | 45.000 | 6.000 | 2600 |
| 8  | 40.000 | 45.000 | 6.000 | 2800 |
| 9  | 30.000 | 30.000 | 2.000 | 2500 |
| 10 | 30.000 | 60.000 | 2.000 | 2700 |
| 11 | 30.000 | 30.000 | 6.000 | 2400 |
| 12 | 30.000 | 60.000 | 6.000 | 2800 |
| 13 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2700 |
| 14 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2600 |
| 15 | 30.000 | 45.000 | 4.000 | 2650 |

Работоспособность цанги считается удовлетворительной, если она способна закрепить не менее 100 000 заготовок ( $n=100000$  – при обычной термообработке поверхности). Для уменьшения трудоемкости эксперимента уменьшим показатель стандартного количества закреплений до

$n=1000$ . На основании полученных данных и располагая установочными характеристиками, применив программный пакет для статистического анализа Statistica и используя в нем функцию

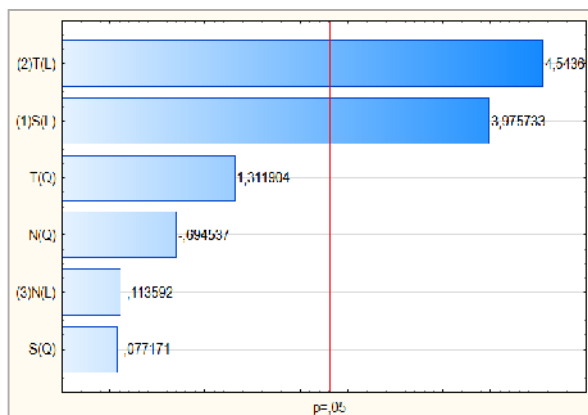


Рис. 2. Диаграмма Парето

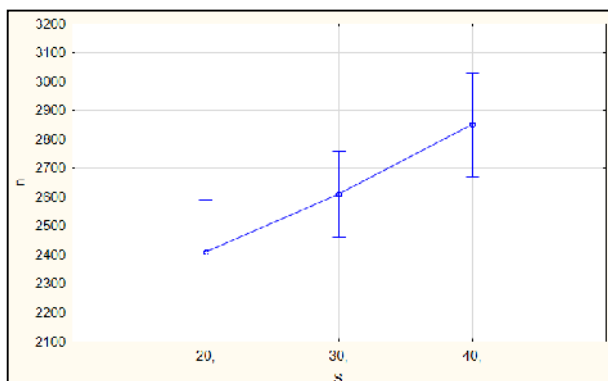


Рис. 4. Зависимость износостойкости (n) от скорости плазменного силицирования (S)

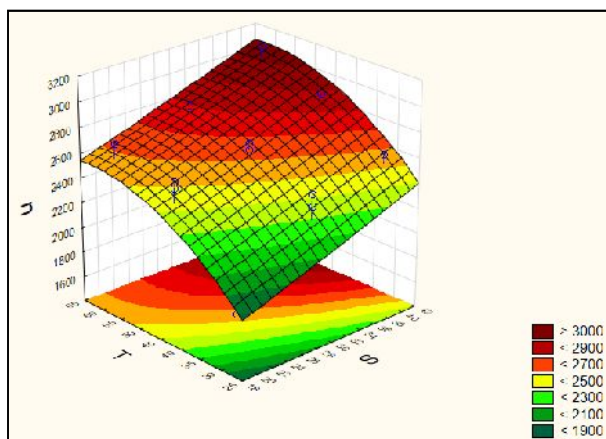


Рис. 6. Поверхность отклика

На основании анализа полученных результатов, можно сделать вывод о том, что на характер износостойкости внутренней поверхности лепестков цанги зажимной из выбранных факторов наибольшее влияние оказывают только два параметра: скорость плазменного потока ( $x_1$ ) и время плазменного силицирования ( $x_2$ ) (табл. 2, рис.6). Причем зависимость является линейной, т.е. при

полного факторного эксперимента (ПФЭ) была установлена зависимость износостойкости и факторов процесса плазменного силицирования (рис. 2–7) [13, 14].

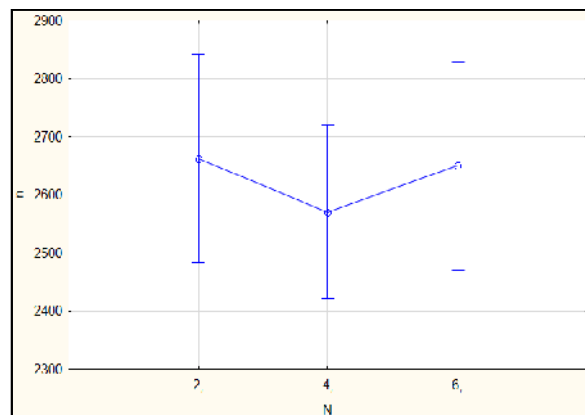


Рис. 3. Зависимость износостойкости (n) от количества полных оборотов (N)

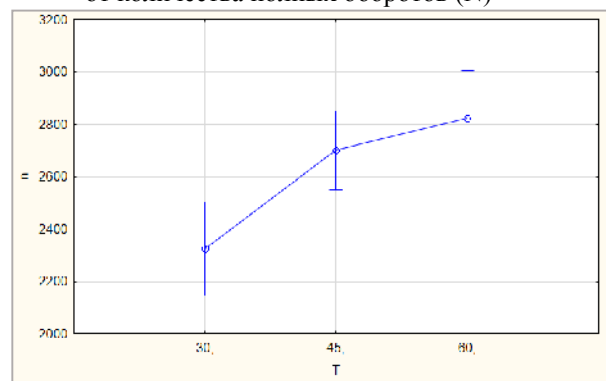


Рис. 5. Зависимость износостойкости (n) от времени плазменного силицирования (T)

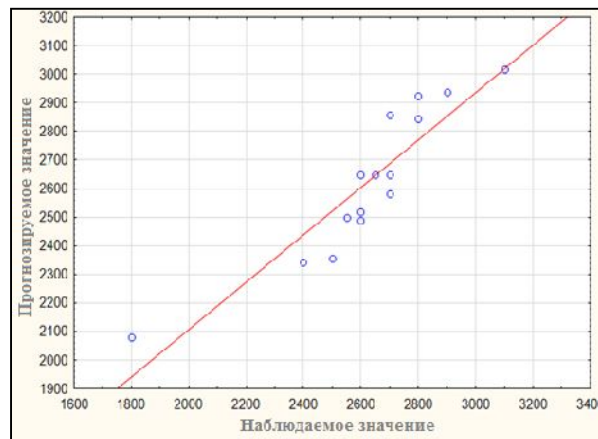


Рис. 7. Диаграмма разброса

увеличении входных величин возрастает выходная величина – износостойкость (рис. 4–5).

По результатам ПФЭ было получено уравнение регрессии описывающее модель:

$$n = 1233 + 21,9X_1 + 16,7X_2$$



Таблица 2

## Оценка эффективности факторов силицирования

| Фактор               | Эффект   | Станд. ошибка | t (8)  | P     | -95 %    | +95 %    | Коэф.    | Коэф. станд. ошибки | -95 %    | +95 %    |
|----------------------|----------|---------------|--------|-------|----------|----------|----------|---------------------|----------|----------|
| Среднее/Свобод. член | 2620.833 | 44.924        | 58.338 | 0.000 | 2517.237 | 2724.430 | 2620.833 | 44.92471            | 2517.237 | 2724.430 |
| S(L)                 | 437.500  | 110.042       | 3.976  | 0.004 | 183.741  | 691.259  | 218.750  | 55.02130            | 91.871   | 345.629  |
| S(Q)                 | -6.250   | 80.989        | -0.077 | 0.940 | -193.011 | 180.511  | -3.125   | 40.49458            | -96.506  | 90.256   |
| (2)T(L)              | 500.000  | 110.042       | 4.544  | 0.002 | 246.241  | 753.759  | 250.000  | 55.02130            | 123.121  | 376.879  |
| T(Q)                 | 106.250  | 80.989        | 1.312  | 0.226 | -80.511  | 293.011  | 53.125   | 40.49458            | -40.256  | 146.506  |
| (3)N(L)              | -12.500  | 110.042       | -0.114 | 0.912 | -266.259 | 241.259  | -6.250   | 55.02130            | -133.129 | 120.629  |
| N(Q)                 | -56.250  | 80.989        | -0.694 | 0.507 | -243.011 | 130.511  | -28.125  | 40.49458            | -121.506 | 65.256   |

Таблица 3

## Результаты регрессионного анализа

| N=15               | b*     | Станд. ошибка или b* | b        | Станд. ошибка или b | t(11)  | p-критерий |
|--------------------|--------|----------------------|----------|---------------------|--------|------------|
| Свобод. переменная |        |                      | 1232.917 | 253.623             | 4.861  | 0.000502   |
| S                  | 0.581  | 0.142                | 21.875   | 5.343               | 4.094  | 0.001777   |
| T                  | 0.664  | 0.142                | 16.667   | 3.563               | 4.679  | 0.000673   |
| N                  | -0.017 | 0.142                | -3.125   | 26.714              | -0.117 | 0.908986   |

Благодаря полученной модели возможно регулирование технологического процесса плазменного силицирования и прогнозирование износостойкости детали (табл. 3) [15].

Совокупность полученных в ходе эксперимента результатов, позволяет сделать вывод о том, что при обработке поверхности цанги зажимной методом плазменного силицирования срок ее службы увеличивается в среднем в 2,6 раза. Полученный результат позволяет утверждать об увеличении износостойкости детали в процессе эксплуатации, что в конечном итоге дает возможность сэкономить финансовые ресурсы, время на замену вышедших из строя деталей, уменьшить простои производства, а главное, повысить качество производимой продукции [16–20].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Иванова Т.Г. Химико-термическая обработка материалов для режущего инструмента // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. № 8 (58). С. 578–582
2. Богодухов С.И. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства. Старый Оскол: ТНТ, 2015. 464 с.
3. Ильященко Д.П. Исследование химического состава и микроструктуры сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, выполненных по различным технологическим схемам // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 73–76.

4. Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Применение и перспективы развития нанотехнологий // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3. С. 103–106.
5. Крушенко Г.Г., Москвичев В.В., Буров А.В. Повышение износостойкости чеканочного инструмента плазменным силицированием. Технология машиностроения. 2004. № 5. С. 27–28.
6. Biswajit Das, Susmita Roy, Rai R.N., Saha S.C. Studies on Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness of Al–Cu–TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 45. Pp. 745–752.
7. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
8. Gök K., Gök A., Bilgin M.B. Finite Element Modeling as Three Dimensional of Effect of Cutting Speed in Turning Process // Journal of Engineering and Fundamentals. 2014. №1 (1). Pp. 11–22.
9. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.
10. Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Применение нанотехнологий для повышения физико-механических характеристик поверхности металлоизделий // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2008. Выпуск 3(20). С. 113–117.
11. Романцов Р.С., Чернышева Е.В. Сущность метода вдавливания алмазной пирамиды при исследовании характера износа губок цанги зажимной // В сборнике: Наука молодых - будущее России сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных

разработок молодых ученых: в 6 т. 2018. С. 257–261

12. Чернышева Е.В., Серых И.Р. Основы научных исследований, планирование и организация эксперимента: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 103 с.

13. Справочник технолога–машиностроителя: в 2-х т. Т.2. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., исправл. М.: Машиностроение. 2003. № 1. 944 с.

14. Дальский А.М. Цанговые зажимные механизмы. Изд-во М. Машиностроение, 1966. 350 с.

15. Чернышёва Е.В., Тищенко А.В. Управление качеством как фактор успеха предприятия в конкурентной борьбе // Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации: сб. докл. VI межд. научн.пр. интернет-конференции. 2016. с. 184–188.

16. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends // Proceed. Int. Conf. Advanced

Steels. – China, Beijing. Metallurgical Industry Press. 2010. Pp. 352–356.

17. Mareš M., Horejš O. Modelling of Cutting Process Impact on Machine Tool Thermal Behaviour Based on Experimental Data // Procedia CIRP. 2017. Vol. 58. Pp. 152–157.

18. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A. G. Radyuk, A. A. Gerasimova // Metallurgist, Vol. 62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018) P. 176–180.

19. Статинов В.В., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Риск-ориентированный подход в области промышленной безопасности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 6–12.

20. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Статинов В.В., Чернышева А.С. Актуальные проблемы промышленной безопасности // Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. С. 164–165.

#### Информация об авторах

**Романцов Роман Сергеевич**, магистрант кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: romantsovrrs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Серых Инна Робертовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чернышева Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: bellena\_74@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Романцов Р.С., Серых И.Р., Чернышева Е.В., 2019

<sup>1,\*</sup>**Romantsov R.S., <sup>1</sup>Serykh I.R., <sup>1</sup>Chernysheva E.V.**  
<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova  
 Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
 \*E-mail: romantsovrrs@mail.ru

## APPLICATION OF PLASMA SILICATION METHOD TO WEAR RESISTANCE OF THE PART

**Abstract.** Modern technologies are the most important component for any state. Today, advanced technologies allow to create any mechanisms at the level of atoms and molecules. For the production of machines, aggregates and their individual components, new nanomaterials and nanotechnologies are used, which reduce friction repeatedly and with high efficiency, protect parts from damage, save energy and increase the reliability of machine parts as a whole. Virtually in any mechanism, some parts focus on the main load. In this study, such a detail is the steel clamping collet 65G. A method of plasma siliconizing is proposed for hardening its inner surface. The raise of this characteristics will allow to increase its service life, and therefore will ensure more reliable operation of both a separate mechanism and production as a whole. This allows the enterprise to become cost-effective and competitive. In this paper, the magnitude of the effect of the silicon atoms intro-

*duction into the surface layer of a part on wear resistance and durability is investigated. Research and subsequent processing of the results using Statistica software for statistical analysis shows an increase in the strength characteristics by 2.6 times.*

**Keywords:** nanotechnology, collet tightening, wear resistance, plasma siliconizing.

## REFERENCES

1. Guriev A.M., Ivanov S.G., Gurev M.A., Chernykh E.V., Ivanova T.G. Chemical-heat treatment of materials for cutting tools [Himikotermicheskaya obrabotka materialov dlya rezhushchego instrumenta]. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy. 2015. No. 8 (58). Pp. 578–582. (rus)
2. Bogodukhov S.I. Technological processes of engineering and repair production [Tehnologicheskie processy mashinostroitel'nogo i remontnogo proizvodstva]. Stary Oskol: TNT, 2015. 464 p. (rus)
3. Ilyaschenko D.P. Study of the chemical composition and microstructure of welded joints of steel 12X18H10T, made according to various technological schemes [Issledovanie himicheskogo sostava i mikrostruktury svarnykh soedineniy iz stali 12H18N10T, vpolnennykh po razlichnym tehnologicheskim shemam]. Modern high technologies. 2015. No. 2. Pp. 73–76. (rus)
4. Krushenko G.G., Reshetnikova S.N. Application and prospects for the development of nanotechnology [Primenenie i perspektivy razvitiya nanotekhnologii]. Bulletin of SibSAU. 2007. Vol. 3. Pp. 103–106. (rus)
5. Krushenko G. G., Moskvichev V. V., Burov A. V. Improving the durability of the embossing tool by plasma siliconization [Povyshenie iznosostoykosti chekanochnogo instrumenta plazmennym silicirovaniem]. Engineering technology. 2004. No. 5. Pp. 27–28. (rus)
6. Biswajit Das, Susmita Roy, Rai R.N., Saha S.C. Studies on Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness of Al–Cu–TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach. Procedia Computer Science. 2015. Vol. 45. Pp. 745–752.
7. Reznikov A.N. Thermal physics of machining processes [Teplofizika processov mekhanicheskoy obrabotki]. M.: Mashinostroenie, 1981. 279 p. (rus)
8. Gök K., Gök A., Bilgin M.B. Finite Element Modeling as Three Dimensional of Effect of Cutting Speed in Turning Process. Journal of Engineering and Fundamentals. 2014. No. 1 (1). Pp. 11–22.
9. Reference designer toolmaker [Spravochnik konstruktora-instrumental'shika]: Under total. ed. IN AND. Baranchikova. M.: Mashinostroenie, 1994. 560 p. (rus)
10. Krushenko G. G., Reshetnikova S. N. The use of nanotechnology to improve the physico-mechanical characteristics of the surface of metal products [Primenenie nanotekhnologii dlya povysheniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik poverhnosti metalloizdeliy]. Bulletin of the Siberian State Aerospace University Academician M.F. Reshetnev. 2008. Iss. 3 (20). Pp. 113–117. (rus)
11. Romantsov R.S., Chernysheva E.V. The essence of the method of indentation of the diamond pyramid in the study of the nature of the wear of the clamping jaws [Suschnost' metoda vdavlivaniya almaznoy piramidy pri issledovanii haraktera iznosa gubok cangi zazhimnoy]. V sbornike: Nauka molodyh – budushee Rossii sbornik nauchnykh statey 3-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii perspektivnykh razrabotok molodyh uchenykh: v 6 t, 2018. Pp. 257–261. (rus)
12. Chernysheva E.V., Serykh I.R. Fundamentals of research, planning and organization of the experiment [Osnovy nauchnykh issledovaniy, planirovaniye i organizatsiya eksperimenta]: a training manual. Belgorod: BSTU publishing house, 2014. 103 p. (rus)
13. Reference technologist – mechanical engineer: in 2 tons [Spravochnik tehnologa-mashinostroitel'ya: v 2-h t]. V.2. Ed. A.M. Dalsky, A.G. Kosilov, R.K. Meshcheryakova. 5th ed., Amended. M.: Mechanical Engineering, 2003. No. 1. 944 p. (rus)
14. Dalsky A.M. Collet clamping mechanisms [Cangovye zazhimnye mekhanizmy]. Publishing house, M. Mashinostroenie, 1966. 350 p. (rus)
15. Chernysheva E.V., Tishchenko A.V. Quality management as a factor in the success of an enterprise in competition [Upravlenie kachestvom kak faktor uspeha predpriyatiya v konkurentnoy bor'be]. Aktual'nye problemy menedzhmenta kachestva i sertifikatsii: sb. dokl. VI mezhd. nauchn. pr. internet-konferencii, 2016. Pp. 184–188.
16. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. China, Beijing. Metallurgical Industry Press, 2010. Pp. 352–356.
17. Mareš M., Horejš O. Modelling of Cutting Process Impact on Machine Tool Thermal Behaviour Based on Experimental Data. Procedia CIRP. 2017. Vol. 58. Pp. 152–157.
18. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coat-

ing Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A.G. Radyuk, A.A. Gerasimova. Metallurgist. Vol. 62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018). Pp. 176–180.

19. Statinov V.V., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Risk-oriented approach in the field of industrial safety [Risk-orientirovanny pod-

hod v oblasti promyshlennoy bezopasnosti]. Bulletin of BGTU im. V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 6–12. (rus)

20. Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Chernysheva A.S. Actual problems of industrial safety [Aktual'nye problemy promyshlennoy bezopasnosti]. Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš Serbia, 2016. Pp. 164–165. (rus)

#### *Information about the authors*

**Romantsov, Roman S.** Master student. E-mail: romantsovrrs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Serykh, Inna R.** PhD, Assistant professor. E-mail: inna\_ad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Elena V.** PhD, Assistant professor. E-mail: bellena\_74@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Романцов Р.С., Серых И.Р., Чернышева Е.В. Применение метода плазменного силицирования для повышения износостойкости деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 129–135. DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217

#### **For citation:**

Romantsov R.S., Serykh I.R., Chernysheva E.V. Application of plasma silication method to wear resistance of the part. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 129–135. DOI: 10.34031/article\_5d4d754620adc8.11242217

DOI: 10.34031/article\_5d4d77313d66b6.76823159

<sup>1</sup>Савин С.И., <sup>2</sup>\*Ворочаева Л.Ю.<sup>1</sup> Университет Иннополис

Россия, 420500, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 1

<sup>2</sup> Юго-Западный государственный университет

Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

\*E-mail: mila180888@yandex.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМИ РОБОТАМИ С НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ В СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЕ

**Аннотация.** Работа посвящена вопросам управления двуногими шагающими роботами. Для разработки регулятора задача управления роботом сформулирована как задача квадратичного программирования, что позволяет учитывать односторонние механические связи в виде неравенств, обусловленные так называемыми конусами трения и ограничениями крутящих моментов приводов. Проведено сравнение трех типов регуляторов: CTC (от англ. Computed Torque Controller), линейного квадратичного регулятора с ограничениями CLQR (от англ. Constrained Linear Quadratic Regulator) и регулятора на основе квадратичного программирования NQPC (от англ. Nested Quadratic Programming-based Controller). Особое внимание уделено влиянию неточностей сенсорной системы на качество работы системы управления робота. Исследование охватывает случаи, когда для компенсации неточностей датчиков может использоваться динамический наблюдатель, а также случаи, когда накладываются ограничения на значения крутящего момента в шарнирах робота. В результате моделирования установлено, что существует область параметров датчиков, в которой качество работы исследуемых регуляторов робастно по отношению к малым изменениям нелинейных свойств датчиков, причем такие области параметров характерны для систем без наблюдателя и при его наличии, а также для систем с ограничениями на значения крутящего момента и без них.

**Ключевые слова:** двуногий шагающий робот, система управления, задача квадратичного программирования, CTC регулятор, CLQR регулятор, NQPC регулятор, наблюдатель.

**Введение.** Шагающие роботы имеют разнообразные конструкции и системы управления, но все они обусловлены спецификой шагающего режима движения. В частности, тот факт, что робот должен приобретать и терять контакт с опорной поверхностью, делает проблему планирования движения трудно решаемой [1]. Общий подход к ее решению заключается в разбиении на подзадачи, такие как генерирование последовательности шагов [2, 3], генерирование траектории центра масс [4, 5], решение обратной задачи кинематики и разработка системы управления с обратной связью. Данное разбиение позволяет решить ряд проблем управления, таких как ходьба по неровной местности [3, 6], преодоление лестничных пролетов [7, 8], обход препятствий [7, 9] и т.д. Следует отметить, что упомянутые отдельные подзадачи не являются тривиальными и остаются в центре внимания современных исследований.

Шагающие роботы часто проектируются в виде последовательностей незамкнутых кинематических цепей, что делает их похожими на манипуляторы. Это означает, что методы управления, разработанные и успешно внедренные для манипуляторов, могут использоваться и для шагающих роботов. Однако специфические проблемы, связанные с шагающими роботами, обусловлены тем фактом, что объект управления

представляет собой механическую систему с односторонними механическими ограничениями в виде конусов трения [1]. Наличие явных механических ограничений требует модификации методов управления, предназначенных для систем только с неявными ограничениями. Примером такой модификации является линейный квадратичный регулятор (LQR) для систем с механическими ограничениями, предложенный в [10].

Один из широко используемых подходов к разработке регулятора для шагающих роботов заключается в формулировке задачи управления как задачи квадратичного программирования [11, 12]. Это позволяет в явном виде использовать ограничения в виде неравенств, обусловленные ограничениями крутящего момента и конусов трения в задаче управления [13]. Такой подход требует существенных вычислительных мощностей, но может быть реализован на бортовых компьютерах двуногих шагающих роботов [14]. Доказать устойчивость и оптимальность регуляторов, предназначенных для систем с явными механическими ограничениями, сложно. На практике такие системы подвержены случайным возмущениям, имеют упругие звенья, люфт в шарнирах, также для них характерны неопределенность параметров модели и шумы в датчиках



[15]. Ввиду этого анализ таких систем часто выполняется численно или с помощью экспериментальных исследований [15].

В этой работе рассматриваются три регулятора для двуногих шагающих роботов, построенные на различных подходах к управлению: регулятор на основе LQR, СТС-регулятор [16] и NQPC-регулятор. Исследуются вопросы влияния шума в датчиках и вопросы квантования сигналов с них на работу трех вариантов регуляторов.

**Математическая модель шагающего робота, движущегося в сагиттальной плоскости.** Будем рассматривать шагающего робота, состоящего из корпуса и двух ног, каждая из которых образована тремя последовательно соединенными звеньями. Все шарниры робота являются вращательными и активными. Будем считать, что движение робота происходит в сагиттальной плоскости, что показано на рис. 1, где точки  $O_i$  соответствуют активным шарнирам. Ориентация каждого звена определяется углом  $\varphi_i$ . Положение шарнира  $O_1$  задается координатами  $x_{O1}$  и  $y_{O1}$ . Таким образом, углы  $\varphi_i$  и координаты  $x_{O1}, y_{O1}$  образуют вектор обобщенных координат  $\mathbf{q}$ , определяющий положение и конфигурацию робота.

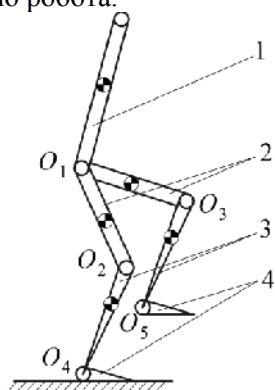


Рис. 1. Расчетная схема шагающего робота:  
1 – корпус, 2 – бедра, 3 – голени, 4 – стопы

Общий вид уравнений динамики может быть записан следующим образом:

$$\mathbf{H}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{c}_q = \mathbf{F}_q^T \boldsymbol{\lambda} + \mathbf{B}_q \mathbf{u}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{H}$  – обобщенная матрица инерции,  $\mathbf{c}_q$  – вектор обобщенных инерциальных, гравитационных и диссипативных сил,  $\mathbf{F}_q$  – матрица Якоби механических связей,  $\boldsymbol{\lambda}$  – коэффициенты Лагранжа, связанные с силами реакций,  $\mathbf{B}_q$  – матрица, связывающая моменты приводов с соответствующими обобщенными моментами,  $\mathbf{u}$  – вектор обобщенных моментов приводов.

Индексы  $q$  обозначают, что матрицы записаны в относительной системе координат, связанной с роботом. Выведение этих уравнений и их свойства описаны в работе [17]. Пусть  $\mathbf{q}^*(t)$

представляет собой искомую временную функцию обобщенных координат  $\mathbf{q}$ , необходимую для описания желаемого движения робота. Тогда обратную задачу динамики для робота можно записать следующим образом:

$$[\boldsymbol{\lambda}^* \quad \mathbf{u}^*]^T = [\mathbf{F}_q^T \quad \mathbf{B}_q]^+ (\mathbf{H}\dot{\mathbf{q}}^* + \mathbf{c}_q), \quad (2)$$

где  $(\cdot)^+$  – псевдообратная матрица Мура-Пенроуза.

Следует отметить, что это не единственная форма записи обратной задачи динамики для механических систем с явными ограничениями. Альтернативные варианты записи приведены в работах [18, 19]. Введем вектор абсолютных координат  $\mathbf{x} = [\mathbf{q}^T \quad \dot{\mathbf{q}}^T]^T$ . Движение робота может быть описано линеаризованной по заданной траектории  $\mathbf{x}^*(t)$  системой уравнений:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{c} + \mathbf{F}\boldsymbol{\lambda}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{F}$  – матрицы,  $\mathbf{c}$  – вектор аффинной модели динамики.

**Виды исследуемых регуляторов.** Будем рассматривать три метода управления движением шагающего робота: СТС-регулятор, линейный квадратичный регулятор с ограничениями (CLQR), регулятор на основе квадратичного программирования (NQPC). СТС представляет собой метод, который заключается в управлении по ошибке путем стабилизации динамики ошибки. Описание этого регулятора можно найти в работах [16, 20]:

$$\mathbf{u} = \mathbf{B}_q^+ \mathbf{H} (\mathbf{K}_p \mathbf{e} + \mathbf{K}_d \dot{\mathbf{e}} + \mathbf{u}^*), \quad (4)$$

где  $\mathbf{K}_p$  и  $\mathbf{K}_d$  – положительно определенные диагональные матрицы коэффициентов регулятора,  $\mathbf{e} = \mathbf{q}^* - \mathbf{q}$  – ошибка управления.

Настройка коэффициентов регулятора описана в работах [21, 22]. При последующем моделировании будем считать, что  $\mathbf{K}_p = 1000\mathbf{I}$ ,  $\mathbf{K}_d = 500\mathbf{I}$ , где  $\mathbf{I}$  представляет собой единичную матрицу. Этот метод подходит для систем с достаточным числом параметров управления (fully actuated systems) без явных механических связей. Однако, используя обратную динамику (2), можно обобщить его на системы с дефицитом управляющих воздействий с явными механическими связями.

CLQR-регулятор описан в [10], в работе [23] представлено его применение для управления движением внутритрубно шагающего робота. Данный регулятор требует введения аддитивной квадратичной целевой функции  $J$ :

$$J = \int_0^T (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^T \mathbf{Q} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) + (\mathbf{u} - \mathbf{u}^*)^T \mathbf{R} (\mathbf{u} - \mathbf{u}^*) dt, \quad (5)$$

где  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{R}$  – положительно определенные весовые матрицы.

Рассмотрим следующие ограничения, накладываемые на механическую систему:

$$\mathbf{G}\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_q & \mathbf{0} \\ \mathbf{F}_q & \mathbf{F}_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{q}} \\ \ddot{\mathbf{q}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Пусть  $\mathbf{N}$  – матрица, представляющая базис в нуль-пространстве  $\mathbf{G}$ . Тогда можно ввести следующие обозначения:

$$\mathbf{A}_N = \mathbf{N}^T \mathbf{A} \mathbf{N}, \quad \mathbf{B}_N = \mathbf{N}^T \mathbf{B}, \quad \mathbf{Q}_N = \mathbf{N}^T \mathbf{Q} \mathbf{N}, \quad (7)$$

Подставляя введенные матрицы и векторы в уравнение Риккати и решая его, получаем матрицу усиления  $\mathbf{K}_N$ . Закон управления задается следующим выражением [10]:

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}_N \mathbf{N}^T (\mathbf{x} - \mathbf{x}^* + \mathbf{u}^*). \quad (8)$$

Этот метод управления с использованием CLQR регулятора подходит для линейной системы без ограничений, динамика которой аналогична динамике исходной системы. Поскольку исходная система линеаризуется вдоль траектории  $\mathbf{x}^*(t)$ , полученная линейная модель (3) изменяется во времени, поэтому матрица усиления  $\mathbf{K}_N$  периодически корректируется. В последующем моделировании будем полагать, что  $\mathbf{Q} = 10^3 \mathbf{I}$  и  $\mathbf{R} = 10^{-2} \mathbf{I}$ .

NQPC регулятор является одним из возможных вариантов регулятора на основе квадратичного программирования. Он был предложен в работе [24] для управления внутритручными шагающими роботами. В отличие от двух ранее рассмотренных схем управления, данный регулятор позволяет явно учитывать ограничения, обусловленные контактным взаимодействием, а также предельными значениями крутящих моментов приводов. Здесь рассмотрена упрощенная версия NQPC, в которой в явном виде не учитываются ограничения, накладываемые на производные обобщенных координат. При такой формулировке управляющие воздействия вычисляются путем решения следующей задачи квадратичного программирования (QP):

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad w_1 \mathbf{u}^T \mathbf{u} + w_2 \boldsymbol{\lambda}^T \boldsymbol{\lambda}, \\ & \text{subject to} \quad \begin{cases} \mathbf{B}_q \mathbf{u} + \mathbf{F}_q^T \boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\tau}^*, \\ \mathbf{A}_0 \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix} \leq \mathbf{b}_0, \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

где  $w_1, w_2$  – положительные скалярные весовые функции,  $\mathbf{A}_0, \mathbf{b}_0$  – матрица и вектор линейных ограничений типа неравенств, накладываемых на QP,  $\boldsymbol{\tau}^*$  – значение крутящего момента, продуцируемого задающим регулятором.

Использование задающего регулятора для генерирования  $\boldsymbol{\tau}^*$  находит свое отражение в названии процедуры. Задающий регулятор может представлять собой CLQR или CTC, сгенерированный для системы без учета механических ограничений или ограничений крутящего момента. Подходы к эффективному решению задачи QP обсуждаются в работе [25]. В последующих моделированиях в качестве задающего регулятора используется CTC, причем  $\mathbf{A}_0 = \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{b}_0 = \mathbf{0}$ ,  $w_1 = 1$  и  $w_2 = 10^{-3}$ .

Для определения производительности каждого регулятора введем следующую целевую функцию:

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\|\mathbf{x}(t_f) - \mathbf{x}^*\|_{t_f}}{\|\mathbf{x}_j(t_0) - \mathbf{x}^*\|_{t_0}}, \quad (10)$$

где  $t_0$  – момент времени, соответствующий началу движения,  $t_f$  – момент времени, соответствующий завершению движения,  $\mathbf{x}_j(t_0)$  –  $j$ -ое начальное положение робота.

Таким образом,  $\sigma$  представляет собой отношение норм ошибки управления в начале и в конце движения.

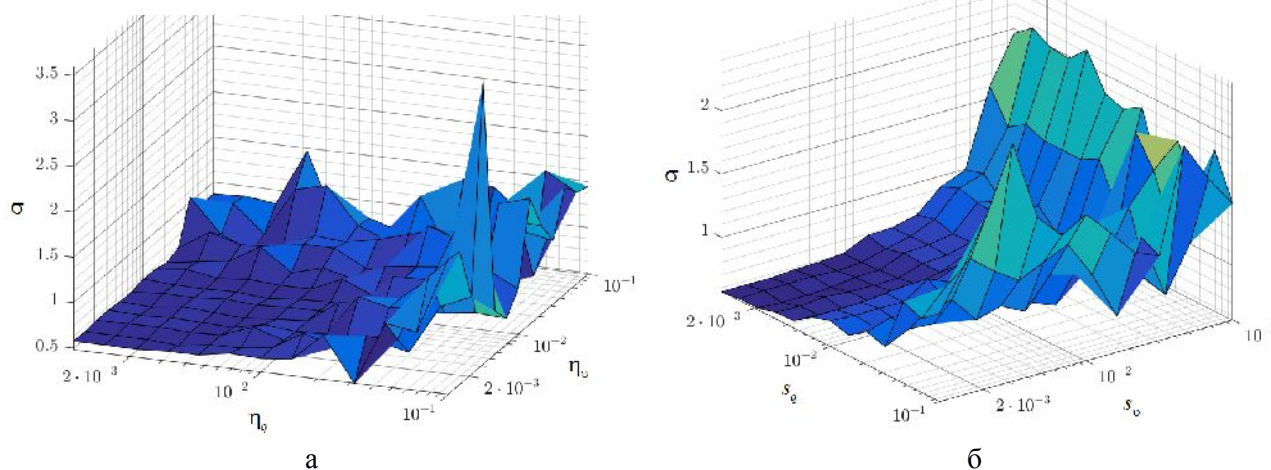
**Нелинейная модель сенсоров шагающего робота.** В данной работе рассмотрим датчики с аддитивным случайным шумом и квантованием:

$$\bar{\mathbf{q}} = s \cdot \left\lfloor \frac{\mathbf{q} + \boldsymbol{\eta}}{s} \right\rfloor, \quad (11)$$

где  $s$  – разрешающая способность датчика (шаг квантования),  $\boldsymbol{\eta}$  – случайный вектор, элементы которого принимают значения в диапазоне  $[-\eta, \eta]$ ,  $\lfloor \cdot \rfloor$  – функция округления к меньшему целому числу, применяемая поэлементно к входному вектору.

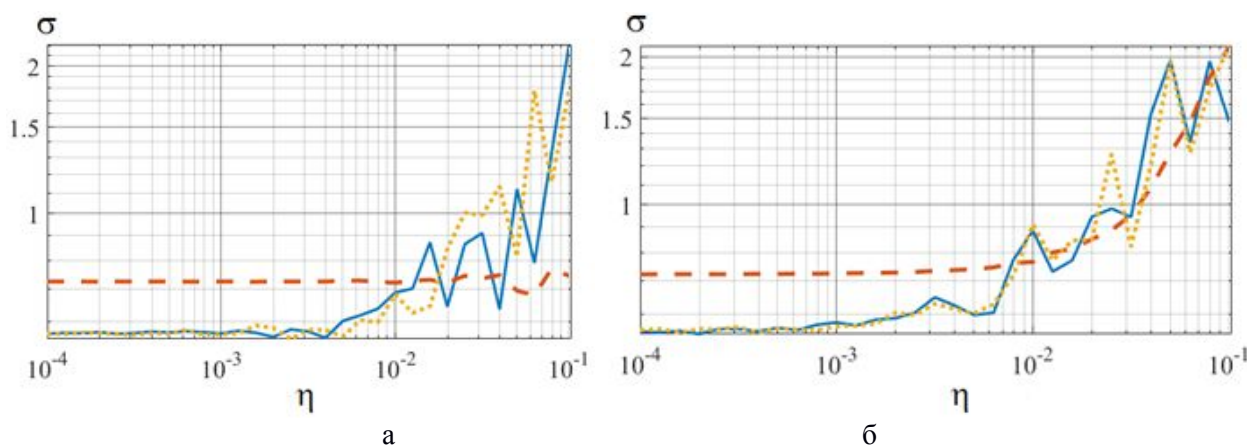
Таким образом, для каждого датчика есть два параметра, которые определяют его поведение:  $\eta$  и  $s$ . Будем считать, что каждый датчик положения и ориентации характеризуется параметрами  $\eta_q$  и  $s_q$ , а каждый датчик скорости описывается параметрами  $\eta_v$  и  $s_v$ .

На рис. 2, а показана зависимость  $\sigma$  от параметров шума датчика  $\eta_q$  и  $\eta_v$  при использовании CTC регулятора,  $s_q = s_v = 0.001$ . По данному рисунку видно, что существует область, в которой  $\sigma < 1$ . Это означает, что система управления уменьшает значение ошибки управления. Также можно заметить, что поведение  $\sigma$  зависит от параметров  $\eta_q$  и  $\eta_v$  аналогичным образом. На рис. 2, б показана зависимость  $\sigma$  от параметров квантования датчика  $s_q$  и  $s_v$ . Поверхность построена для случая, когда  $\eta_q = \eta_v = 0.001$ . На рис. 2 горизонтальные оси построены в логарифмическом масштабе.

Рис. 2. Зависимости: а –  $\sigma(\eta_q, \eta_v)$ , б –  $\sigma(s_q, s_v)$ 

Поверхность, приведенная на рис. 2, б, имеет свойства, аналогичные свойствам ранее описанной поверхности. Это означает, что пары аргументов  $\eta_q, \eta_v$  и  $s_q, s_v$  оказывают схожее воздействие на качество системы управления, что измерено с помощью целевой функции (10). Это наблюдение используется в дальнейшем для упрощения сравнительного анализа.

**Сравнительный анализ методов управления на основе результатов моделирования.** Рассмотрим влияние шума и квантования датчика на производительность системы управления, измеренную с помощью целевой функции (10). Будем считать, что  $\eta_q = \eta_v = \eta$  и  $s_q = s_v = s$ . На рис. 3, а показана зависимость  $\sigma = \sigma(\eta)$  для CTC, CLQR и NQPC регуляторов, а на рис. 3, б представлена зависимость  $\sigma = \sigma(s)$  для этих же регуляторов.

Рис. 3. Зависимости: а –  $\sigma(\eta)$ , б –  $\sigma(s)$  для — CTC, - - CLQR и ... NQPC регуляторов

По рис. 3, а видно, что CLQR регулятор является лучшим при обработке больших значений шума датчика. При этом он работает хуже, чем другие регуляторы, при низких уровнях шума. Это свойство CLQR описано в [23] и заключается в обнулении ошибки управления для систем с дефицитом управляющих воздействий. Графики рис. 3, б иллюстрируют, что производительность всех методов управления зависит от квантования датчика аналогичным образом.

**Влияние ограничения крутящих моментов приводов на качество работы системы управления робота.** Рассмотрим, как ограниче-

ния, накладываемые на значения крутящего момента в шарнирах робота, могут изменить графики рис. 3. В предыдущих экспериментах наблюдались мгновенные пики крутящего момента величиной 1500 Нм при постоянных значениях крутящих моментов порядка 200 Нм. Для следующего эксперимента ограничим крутящие моменты приводов значением 150 Нм.

На рис. 4 показаны зависимости  $\sigma = \sigma(\eta)$  и  $\sigma = \sigma(s)$  для случая, когда значения крутящих моментов ограничены. Причем NQPC регулятор не имел явной информации об ограничениях крутящего момента, как это было сделано в работе [24].



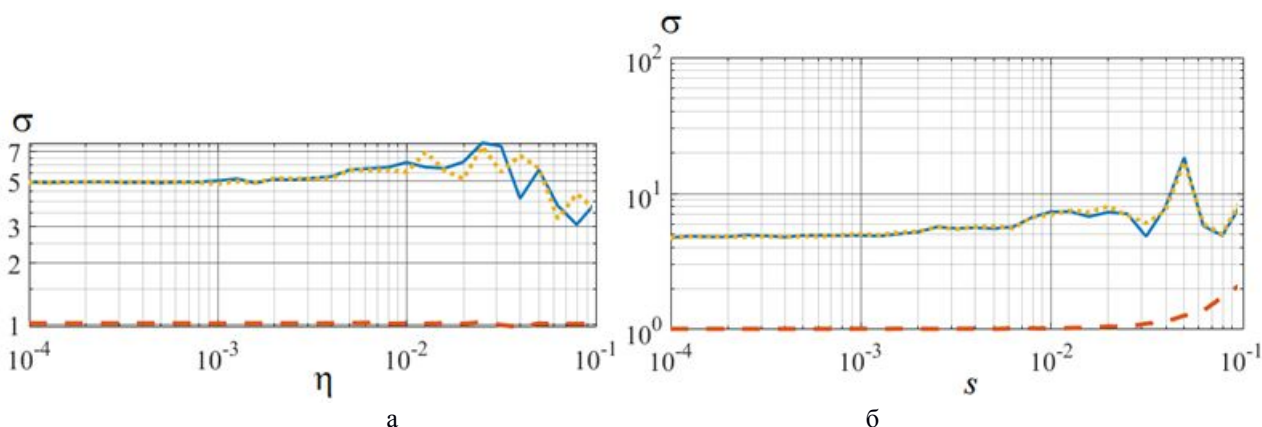


Рис. 4. Зависимости: а –  $\sigma(\eta)$ , б –  $\sigma(s)$  для — CTC, - - CLQR и ... NQPC регуляторов при ограничении крутящих моментов

Можно заметить, что в обоих случаях CLQR регулятор работает лучше, чем CTC или NQPC. Сходство между работой CTC и NQPC регуляторов частично объясняется тем, что NQPC использует CTC в качестве задающего регулятора. Во всех случаях ошибка управления не уменьшается, а в экспериментах с CTC и NQPC значительно возрастает. Это свидетельствует о том, что данные регуляторы нежелательно использовать при наложении ограничений на значения крутящих моментов.

**Введение наблюдателя в систему управления робота.** Для исправления неточности датчика часто используется наблюдатель, который для системы с явными механическими ограничениями (3) может быть сформулирован следующим образом [26]:

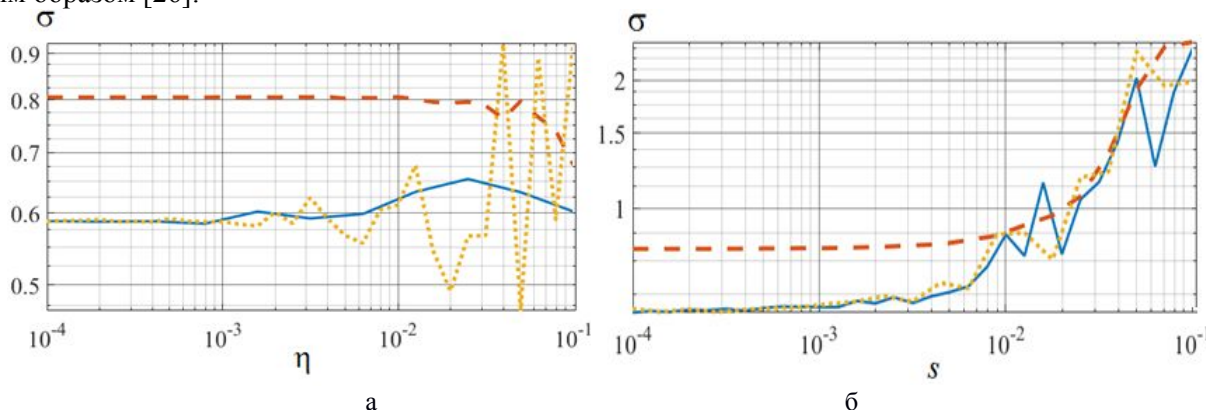


Рис. 5. Зависимости: а –  $\sigma(\eta)$ , б –  $\sigma(s)$  для — CTC, - - CLQR и ... NQPC регуляторов при использовании наблюдателя

Сравнивая графики на рис. 3, а и рис. 5, а, можно заметить, что использование наблюдателя для CTC и NQPC регуляторов делает их менее чувствительными к шуму датчика, при этом на CLQR регулятор существенного влияния не оказывается. Также введение наблюдателя повышает устойчивость CTC регулятора к малым изменениям шума датчика. При сравнении графиков на рис. 3, б и рис. 5, б значительных улучшений от применения наблюдателя не заметно.

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}\mathbf{z} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{F}^T\boldsymbol{\lambda} + \mathbf{c} + \mathbf{L}(\mathbf{x} - \mathbf{z}), \quad (12)$$

где  $\mathbf{z}$  – вектор предсказания координат состояния,  $\mathbf{L}$  – оптимальная матрица коэффициентов усиления.

Матрица коэффициентов усиления может быть найдена путем решения линейного уравнения Риккати для системы (12), аналогичный пример можно найти в [26]. Так же, как CLQR, наблюдатель описывается целевой функцией (5). Здесь использовались весовые коэффициенты  $\mathbf{Q} = 10^3 \mathbf{I}$  и  $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ . На рис. 5, а показана зависимость  $\sigma = \sigma(\eta)$ , а на рис. 5, б –  $\sigma = \sigma(s)$  для случая, когда используется наблюдатель (12).

**Выводы.** В статье проведен сравнительный анализ работы трех типов регуляторов: CTC, CLQR и NQPC для управления движением двуножного робота во время шага. Цель исследования заключалась в установлении влияния нелинейных свойств датчиков на производительность этих регуляторов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что существует область параметров датчиков, в которой производительность регуляторов устойчива по отношению к малым

изменениям этих параметров. Это является желательным свойством систем управления, разработанных с использованием моделирования. Такие области параметров характерны для систем без наблюдателя и при его наличии, а также для систем с ограничениями на значения крутящего момента и без них.

Установлено, что CLQR регулятор работает хуже, чем другие типы регуляторов при отсутствии ограничений крутящего момента и высокой точности датчиков. Также CLQR регулятор наиболее устойчив по отношению к малым изменениям параметров датчиков. При введении ограничений на значения крутящего момента CLQR регулятор работает лучше, чем другие регуляторы. Также можно сделать вывод о том, что СТС и NQPC, использующий СТС в качестве задающего регулятора, ведут себя схоже во всех экспериментах. При этом вычислительная нагрузка при работе NQPC регулятора в несколько раз выше. Это свидетельствует о том, что NQPC следует использовать только тогда, когда для управления роботом необходимы его специфические свойства, такие как возможность в явном виде интегрировать конусы трения и вводить ограничения на значения крутящего момента. В противном случае предпочтительно использовать СТС регулятор. Если существуют строгие ограничения крутящего момента, то лучшим вариантом регулятора является CLQR.

**Источники финансирования.** Грант Президента МК-1537.2019.8, РФФИ, проект №18-38-00140/18.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Caron S., Kheddar A. Multi-contact walking pattern generation based on model preview control of 3d com accelerations // *Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 550–557.*
2. Chestnutt J., Lau M., Cheung G., Kuffner J., Hodgins J., Kanade T. Footstep planning for the Honda Asimo humanoid // *ICRA: Proc. of the IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, Spain. 2005. Pp. 629–634.*
3. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Walking pattern generation method for an exoskeleton moving on uneven terrain // *Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR): Proc. of the 20th Intern. Conf., Panama city, PA. 2017. P. 13–20.*
4. Kuindersma S., Permenter F., Tedrake R. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion // *Robotics and Automation (ICRA): Proc. IEEE Intern. Conf., Hong Kong, China. 2014. Pp. 2589–2594.*
5. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Motion control algorithm for a lower limb exoskeleton based on iterative LQR and ZMP method for trajectory generation // *Medical and Service Robots: Proc. Intern. Workshop. – Springer, Cham. 2016. Pp. 305–317.*
6. Dai H., Tedrake R. Planning robust walking motion on uneven terrain via convex optimization // *Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 579–586.*
7. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Footstep planner algorithm for a lower limb exoskeleton climbing stairs // *Interactive Collaborative Robotics: Proc. Intern. Conf. Springer, Cham. 2017. Pp. 75–82.*
8. Nguyen Q., Agrawal A., Da X., Martin W.C., Geyer H., Grizzle J.W., Sreenath K. Dynamic Walking on Randomly-Varying Discrete Terrain with One-step Preview // *Robotics: Science and Systems: Proc. Intern. Conf., Cambridge, MA, USA. 2017. Pp. 1–9.*
9. Deits R., Tedrake R. Footstep planning on uneven terrain with mixed-integer convex optimization // *Humanoid Robots: Proc. IEEE-RAS Intern. Conf., Madrid, Spain. 2014. Pp. 279–286.*
10. Mason S., Rotella N., Schaal S., Righetti L. Balancing and walking using full dynamics LQR control with contact constraints // *Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 63–68.*
11. Galloway K., Sreenath K., Ames A.D., Grizzle J.W. Torque Saturation in Bipedal Robotic Walking Through Control Lyapunov Function-Based Quadratic Programs // *IEEE Access. 2015. Vol. 3. Pp. 323–332.*
12. Atkeson C.G., Babu B.P.W., Banerjee N., Berenson D., Bove C.P., Cui X., Gennert M. No falls, no resets: Reliable humanoid behavior in the DARPA robotics challenge // *Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 15th Intern. Conf., Seoul, South Korea. 2015. Pp. 623–630.*
13. Kuindersma S., Deits R., Fallon M., Valenzuela A., Dai H., Permenter F., Tedrake R. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the atlas humanoid robot // *Autonomous Robots. 2016. Vol. 40(3). Pp. 429–455.*
14. Atkeson C.G., Benzun P.B., Banerjee N., Berenson D., Bove C.P., Cui X., Gennert M. What happened at the DARPA Robotics Challenge finals // *DARPA Robotics Challenge Finals: Humanoid Robots To The Rescue: Springer, Cham. 2018. Pp. 667–684.*
15. Johnson M., Shrewsbury B., Bertrand S., Calvert D., Wu T., Duran D., Smith J. Team IHMC's lessons learned from the DARPA Robotics Challenge: Finding data in the rubble // *J. of Field Robotics. 2017. Vol. 34(2). Pp. 241–261.*
16. Ortega R., Spong M.W. Adaptive motion control of rigid robots: A tutorial // *Automatica.*

1989. Vol. 25(6). Pp. 877–888.

17. Featherstone R. Rigid Body Dynamics Algorithms // Boston, MA: Springer US. 2014. 271 p.

18. Mistry M., Buchli J., Schaal S. Inverse dynamics control of floating base systems using orthogonal decomposition // Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Anchorage, AK, USA. 2010. Pp. 3406–3412.

19. Righetti L., Buchli J., Mistry M., Schaal S. Inverse dynamics control of floating-base robots with external constraints: A unified view // Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Shanghai, China. 2011. Pp. 1085–1090.

20. Jatsun S., Savin S., Lushnikov B., Yatsun A. Algorithm for motion control of an exoskeleton during verticalization // ITM Web of Conferences: EDP Sciences. 2016. Vol. 6. Pp. 1–5.

21. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery // System Theory, Control and Computing (ICSTCC): Proc. 20th IEEE Intern. Conf., Sinaia, Romania. 2016. Pp. 107–112.

22. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Parameter optimization for exoskeleton control system using sobol sequences // Symposium on Robot Design, Dynamics and Control. Springer, Cham. 2016. Pp. 361–368.

23. Savin S., Jatsun S., Vorochaeva L. Modification of constrained LQR for control of walking in-pipe robots // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): Proc. IEEE Intern. Conf., Omsk, Russia. 2017. Pp. 1–6.

24. Savin S., Vorochaeva L. Nested quadratic programming-based controller for pipeline robots // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): Proc. IEEE Intern. Conf., St. Petersburg, Russia. 2017. Pp. 1–6.

25. Boyd S., Vandenberghe L. Convex optimization // Cambridge university press: Cambridge, UK. 2004. 725 p.

26. Savin S., Jatsun S., Vorochaeva L. State observer design for a walking in-pipe robot // MATEC Web of Conferences: EDP Sciences. 2018. Vol. 161. 03012.

#### Информация об авторах

**Савин Сергей Игоревич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мехатроники, управления и прототипирования. E-mail: s.savin@innopolis.ru. Университет Иннополис. Россия, 420500, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 1.

**Ворохаева Людмила Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники. E-mail: mila180888@yandex.ru. Юго-Западный государственный университет. Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Поступила в мае 2019 г.

© Савин С.И., Ворохаева Л.Ю., 2019

<sup>1</sup>Savin S.I., <sup>2</sup>\*Vorochaeva L.Yu.

<sup>1</sup>Innopolis University

Russia, 420500, Innopolis, Universitetskaya st. 1

<sup>2</sup>Southwest State University

Russia, 305040, Kursk, 50 let Oktyabrya, 94

\*E-mail: mila180888@yandex.ru

## ANALYSIS OF CONTROL METHODS AND ALGORITHMS FOR WALKING ROBOTS TAKING INTO ACCOUNT THE NONLINEAR PROPERTIES OF THE ROBOT SENSOR SYSTEM

**Abstract.** The work is focused on the control of two-legged walking robots. The robot control task for two-legged walking robots is formulated as a quadratic programming task, which allows consideration of unilateral mechanical constraints in the form of inequality constraints caused by the friction cones and torque limitations of the drives. However, in order to assess the quality of such control approach it is important to analyze this system relative to the alternative methods. Three types of regulators are compared: CTC (Computed Torque Controller), linear quadratic regulator with constraints CLQR restrictions (Constrained Linear Quadratic Regulator) and the controller based on the quadratic programming NQPC (Nested Quadratic Programming-based Controller). Particular attention is paid to the impact of inaccuracies of the sensor system on the quality of the robot control system. The study covers cases where a dynamic observer can be used to compensate for inaccuracies of sensors, as well as cases where restrictions are imposed on the torque values in the robot joints. The simulation results show there is a sensor parameter area in which the quality of the



*regulator operation is robust with respect to small changes in the nonlinear properties of sensors, and such parameter areas are characteristic for systems with and without an observer, as well as for systems with restrictions on the torque values and without them.*

**Keywords:** *two-legged walking robot, control system, quadratic programming task, CTC controller, CLQR controller, NQPC controller, observer.*

## REFERENCES

1. Caron S., Kheddar A. Multi-contact walking pattern generation based on model preview control of 3d com accelerations. Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 550–557.
2. Chestnutt J., Lau M., Cheung G., Kuffner J., Hodgins J., Kanade T. Footstep planning for the Honda Asimo humanoid. ICRA: Proc. of the IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, Spain. 2005. Pp. 629–634.
3. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Walking pattern generation method for an exoskeleton moving on uneven terrain. Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR): Proc. of the 20th Intern. Conf., Panama city, PA. 2017. Pp. 13–20.
4. Kuindersma S., Permenter F., Tedrake R. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion. Robotics and Automation (ICRA): Proc. IEEE Intern. Conf., Hong Kong, China. 2014. Pp. 2589–2594.
5. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Motion control algorithm for a lower limb exoskeleton based on iterative LQR and ZMP method for trajectory generation. Medical and Service Robots: Proc. Intern. Workshop. – Springer, Cham. 2016. Pp. 305–317.
6. Dai H., Tedrake R. Planning robust walking motion on uneven terrain via convex optimization. Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 579–586.
7. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Footstep planner algorithm for a lower limb exoskeleton climbing stairs. Interactive Collaborative Robotics: Proc. Intern. Conf. Springer, Cham. 2017. Pp. 75–82.
8. Nguyen Q., Agrawal A., Da X., Martin W.C., Geyer H., Grizzle J.W., Sreenath K. Dynamic Walking on Randomly-Varying Discrete Terrain with One-step Preview. Robotics: Science and Systems: Proc. Intern. Conf., Cambridge, MA, USA. 2017. Pp. 1–9.
9. Deits R., Tedrake R. Footstep planning on uneven terrain with mixed-integer convex optimization. Humanoid Robots: Proc. IEEE-RAS Intern. Conf., Madrid, Spain. 2014. Pp. 279–286.
10. Mason S., Rotella N., Schaal S., Righetti L. Balancing and walking using full dynamics LQR control with contact constraints. Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 16th Intern. Conf., Cancun, Mexico. 2016. Pp. 63–68.
11. Galloway K., Sreenath K., Ames A.D., Grizzle J.W. Torque Saturation in Bipedal Robotic Walking Through Control Lyapunov Function-Based Quadratic Programs. IEEE Access. 2015. Vol. 3. Pp. 323–332.
12. Atkeson C.G., Babu B.P.W., Banerjee N., Berenson D., Bove C.P., Cui X., Gennert M. No falls, no resets: Reliable humanoid behavior in the DARPA robotics challenge. Humanoid Robots (Humanoids): Proc. IEEE-RAS 15th Intern. Conf., Seoul, South Korea. 2015. Pp. 623–630.
13. Kuindersma S., Deits R., Fallon M., Valenzuela A., Dai H., Permenter F., Tedrake R. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the atlas humanoid robot. Autonomous Robots. 2016. Vol. 40(3). Pp. 429–455.
14. Atkeson C.G., Benzun P.B., Banerjee N., Berenson D., Bove C.P., Cui X., Gennert M. What happened at the DARPA Robotics Challenge finals. DARPA Robotics Challenge Finals: Humanoid Robots To The Rescue: Springer, Cham. 2018. Pp. 667–684.
15. Johnson M., Shrewsbury B., Bertrand S., Calvert D., Wu T., Duran D., Smith J. Team IHMC's lessons learned from the DARPA Robotics Challenge: Finding data in the rubble. J. of Field Robotics. 2017. Vol. 34(2). Pp. 241–261.
16. Ortega R., Spong M.W. Adaptive motion control of rigid robots: A tutorial. Automatica. 1989. Vol. 25(6). Pp. 877–888.
17. Featherstone R. Rigid Body Dynamics Algorithms. Boston, MA: Springer US. 2014. 271 p.
18. Mistry M., Buchli J., Schaal S. Inverse dynamics control of floating base systems using orthogonal decomposition. Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Anchorage, AK, USA. 2010. Pp. 3406–3412.
19. Righetti L., Buchli J., Mistry M., Schaal S. Inverse dynamics control of floating-base robots with external constraints: A unified view. Robotics and Automation: Proc. IEEE Intern. Conf., Shanghai, China. 2011. Pp. 1085–1090.
20. Jatsun S., Savin S., Lushnikov B., Yatsun A. Algorithm for motion control of an exoskeleton during verticalization. ITM Web of Conferences: EDP Sciences. 2016. Vol. 6. Pp. 1–5.
21. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Comparative analysis of global optimization-based controller tuning methods for an exoskeleton performing push recovery. System Theory, Control and Computing (IC-STCC): Proc. 20th IEEE Intern. Conf., Sinaia, Romania. 2016. Pp. 107–112.

22. Jatsun S., Savin S., Yatsun A. Parameter optimization for exoskeleton control system using sobol sequences. Symposium on Robot Design, Dynamics and Control. Springer, Cham. 2016. Pp. 361–368.

23. Savin S., Jatsun S., Vorochaeva L. Modification of constrained LQR for control of walking in-pipe robots. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): Proc. IEEE Intern. Conf., Omsk, Russia. 2017. Pp. 1–6.

24. Savin S., Vorochaeva L. Nested quadratic

programming-based controller for pipeline robots. Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): Proc. IEEE Intern. Conf., St. Petersburg, Russia. 2017. Pp. 1–6.

25. Boyd S., Vandenberghe L. Convex optimization. Cambridge university press: Cambridge, UK. 2004. 725 p.

26. Savin S., Jatsun S., Vorochaeva L. State observer design for a walking in-pipe robot. MATEC Web of Conferences: EDP Sciences. 2018. Vol. 161. 03012.

*Information about the authors*

**Savin, Sergey I.** PhD, Assistant professor. E-mail: s.savin@innopolis.ru. Innopolis University. Russia, 420500, Innopolis, st. Universitetskaya, 1.

**Vorochaeva, Lyudmila Yu.** PhD, Assistant professor. E-mail: mila180888@yandex.ru. South-West State University. Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94.

---

*Received in May 2019*

**Для цитирования:**

Савин С.И., Ворочаева Л.Ю. Сравнительный анализ методов управления шагающими роботами с нелинейностями в сенсорной системе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 136–144. DOI: 10.34031/article\_5d4d77313d66b6.76823159

**For citation:**

Savin S.I., Vorochaeva L.Yu. Analysis of control methods and algorithms for walking robots taking into account the nonlinear properties of the robot sensor system. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 136–144. DOI: 10.34031/article\_5d4d77313d66b6.76823159

DOI: 10.34031/article\_5d4d7a2f4f7a33.36054500

<sup>1,\*</sup>Мамонтов А.Н., <sup>2</sup>Пушница К.А.<sup>1</sup>ПАО НЛМК

Россия, г. Липецк, пл. Металлургов, 2

<sup>2</sup>Липецкий государственный технический университет

Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30

\*E-mail: mamontov.anton 2015@mail.ru

## ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ РЕАКТОРОВ

**Аннотация.** В данной статье перечислены виды реакторов (токоограничивающие реакторы, сглаживающие реакторы, дугогасящие реакторы), описаны принципы преобразования электрической энергии, а также способы компенсации электрического тока; установлена периодичность осмотров, в том числе внеплановых, а также текущих и капитальных ремонтов оборудования, сформирован перечень обследуемых узлов, а также особенности проведения тепловизионной диагностики реакторов напряжением до и выше 1000 В, в том числе представлена конструкция сглаживаемого реактора напряжением 780 В, бетонного реактора напряжением 10 кВ, показаны термограммы дефектов контактных соединений; проведен расчет величин активного тока, тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ , а также установившегося напряжения. В результате анализа термограмм сформирована причина возникновения дефектов токоограничивающих реакторов напряжением 10 кВ. На основе вычисленного значения  $\text{tg}\delta$  составлена методика обследования реактора, проведен расчет допустимого отклонения напряжения на основе вычисленного коэффициента нелинейности. Проведен расчет экономического ущерба от отказа реактора в зависимости от величины полной мощности, токовой нагрузки и продолжительности отключения, а также сформулирован вывод об эффективности данного вида диагностики.

**Ключевые слова:** тепловизионный контроль, текущий ремонт, токоограничивающий реактор, диэлектрические потери, коэффициент нелинейности.

**Введение.** Главными вопросами, возникающими при эксплуатации электроустановок напряжением 0,4-35 кВ, являются обеспечение надежной работы потребителей, а также допустимые уровни напряжения, обеспечивающие безотказную работу электроустановок. Для снижения пульсаций, а также уменьшения либо ограничения токов короткого замыкания в сетях с глухозаземленной и изолированной нейтралью силовых трансформаторов применяют реакторы. Однако в последние годы резко увеличилось количество выходов из строя потребителей напряжением 10 кВ по причине кратковременных провалов напряжения, что говорит о невысокой эффективности работы реакторов [1, 2]. Наиболее распространенным способом диагностики в данном случае стал тепловизионный контроль.

Самым распространенным типом реакторов в электроустановках являются токоограничивающие, чуть меньшее распространение получили сглаживающие, а также дугогасящие реакторы. В данной статье мы будем рассматривать диагностику сглаживающих реакторов напряжением до 1000 В, а также токоограничивающих реакторов напряжением 10 кВ. В соответствии с [3] текущие ремонты реакторов производятся по мере необходимости, капитальные ремонты – не позднее чем через 12 лет после ввода в эксплуатацию

с учетом результатов диагностики. Внеочередные ремонты реакторов должны выполняться, если дефект в каком-либо их элементе может привести к отказу. На основании периодичности ремонтов реакторов и устанавливаются сроки проведения тепловизионной диагностики их технического состояния.

**Методика.** Согласно приложению № 3 РД 34.45-51.300-97 в ходе проведения тепловизионного контроля реакторов обследуются контактные соединения [4]. Рассмотрим следующий пример. В ходе проведения тепловизионного контроля на подстанции, от которой берут питание трансформаторы электролизеров, был зафиксирован дефект сглаживающего реактора напряжением 780 В. Данный реактор предназначен для сглаживания выпрямленного тока в схемах преобразователей. Он состоит из следующих основных частей: обмотки, отводов, магнитопровода, кожуха. Обмотка закрепляется между текстолитовыми опорами при помощи прокладок и реек и прессуется балками. Металлические детали имеют антикоррозионное покрытие и рассчитаны на работу в условиях умеренного климата в помещениях с естественной вентиляцией [5]. Термограмма реактора представлена на рис. 1.

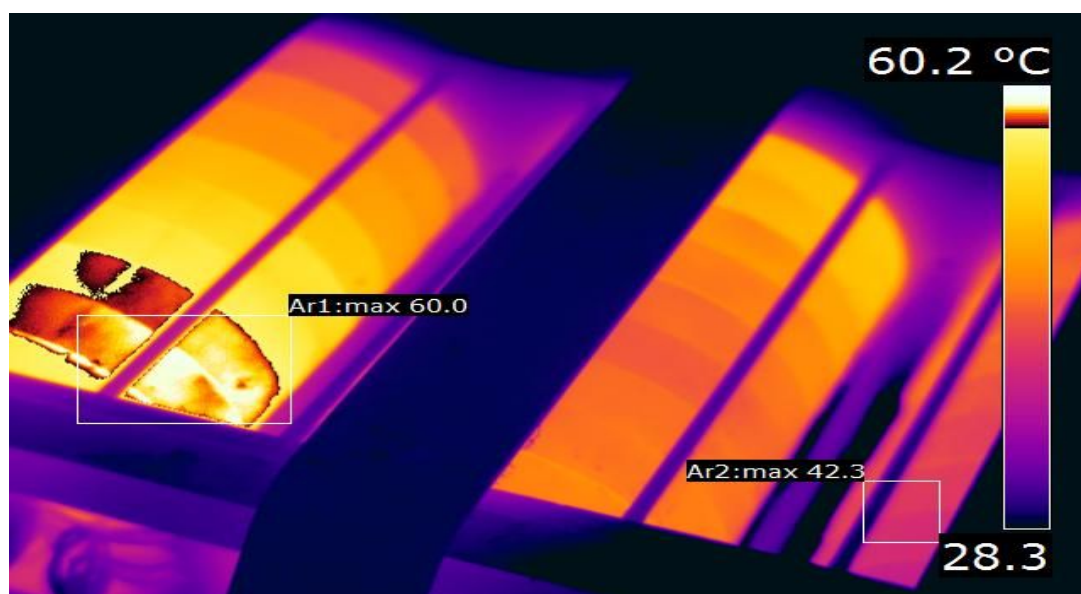


Рис. 1. Термограмма реактора напряжением 780 В

В общем виде выражение для описания режима работы реактора будет выглядеть следующим образом [6]:

$$R - (j \cdot \omega \cdot C) = j \cdot \omega \cdot L. \quad (1)$$

При возникновении дефекта в реакторе выражение принимает вид:

$$R_1 - (j \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg} \delta) = j \cdot \omega \cdot L. \quad (2)$$

Проведем расчет  $\text{tg} \delta$  на основании данного дефекта. Энергия, выделяющаяся на поверхности реактора, равна [6]:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot s \cdot T^4 = 0,94 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (273 + (60 - 28))^4 = 461,22, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Стефана-Больцмана, (Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>),  $s$  – площадь поверхности нагрева, м<sup>2</sup>;  $T$  – излучаемая температура, К.

Значение активной составляющей тока  $I_a$  рассчитывается согласно формуле:

$$I_a = \left( \frac{E \cdot I_{\text{раб}}}{U_{\phi}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

где  $U_{\phi} = 450$  – фазное напряжение, В;  $I_{\text{раб}} = 2200$  – рабочий ток, А.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь:

$$\text{tg} \delta = \frac{I_a}{I_p} = \frac{I_a}{I_{\text{раб}}} \quad (5)$$

где  $I_p$  – реактивный ток, А.

Тогда установившееся напряжение определяется как:

$$U_y = U_{\phi} \cdot \text{tg} \delta. \quad (6)$$

Полученные данные запишем в табл. 1.

Таблица 1

#### Расчетные значения для обмотки реактора напряжением 0,78 кВ

| Номинальное напряжение, кВ | Активный ток $I_a$ , А | Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$ , % | Установившееся напряжение, кВ |
|----------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 0,78                       | 36,22                  | 1,64                                                       | 0,738                         |

Теперь рассмотрим случаи дефектов реакторов напряжением 10 кВ. В ходе проведения тепловизионного контроля на подстанциях были зафиксированы дефекты контактных соединений. Паспортные данные для каждого из реакторов сведен в табл. 2. Буквенная маркировка реакторов обозначает: Р-реактор, Б-бетонный, А-алюминиевый. Бетонный реактор представляет собой концентрически расположенные витки изолированного многожильного провода, помещенного в радиально расположенные бетонные ко-

лонки. Бетон выпускается с высокими механическими свойствами. Все металлические детали реактора изготавливаются из немагнитных материалов. Фазные катушки реактора располагаются таким образом, чтобы при собранном реакторе поля катушек были расположены встречно, что необходимо для преодоления продольных динамических усилий при коротком замыкании [7].

Данные реакторы изготавливаются для вертикальной и ступенчатой установок [7]. Термограммы изображены на рис. 2–4.

Таблица 2

## Номинальные значения для реакторов напряжением 10 кВ

| Тип реактора | Номинальный ток, А | Номинальное напряжение, кВ | Рабочий ток $I_p$ , А |
|--------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|
| РБА-1        | 1000               | 10                         | 300                   |
| РБА-2        | 1600               | 10                         | 500                   |
| РБА-3        | 1600               | 10                         | 1000                  |

Наиболее вероятными причинами нагрева контактных соединений реакторов явились: эксплуатация в помещениях с резкими колебаниями температуры от -5 до 40 °С, поскольку данный тип реакторов наиболее чувствителен к сильным

перепадам температуры; протекание переходного напряжения в цепях автоматики высоковольтного выключателя [8–14].

Проведем расчет  $\text{tg}\delta$  на основании данных дефектов. Полученные данные сведем в таблицу 3.

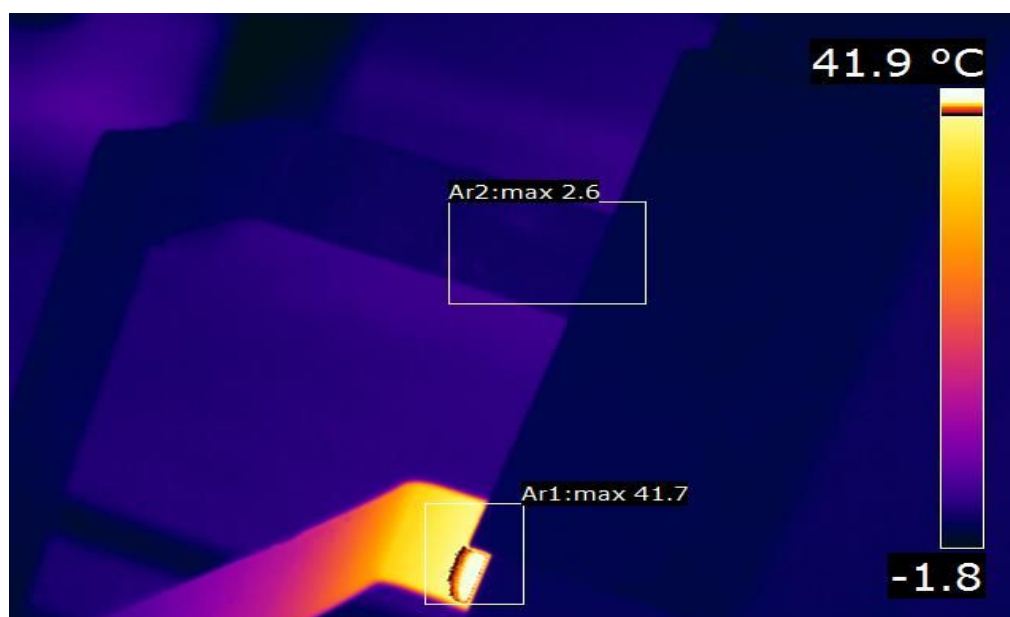


Рис. 2. Термограмма реактора РБА-1.

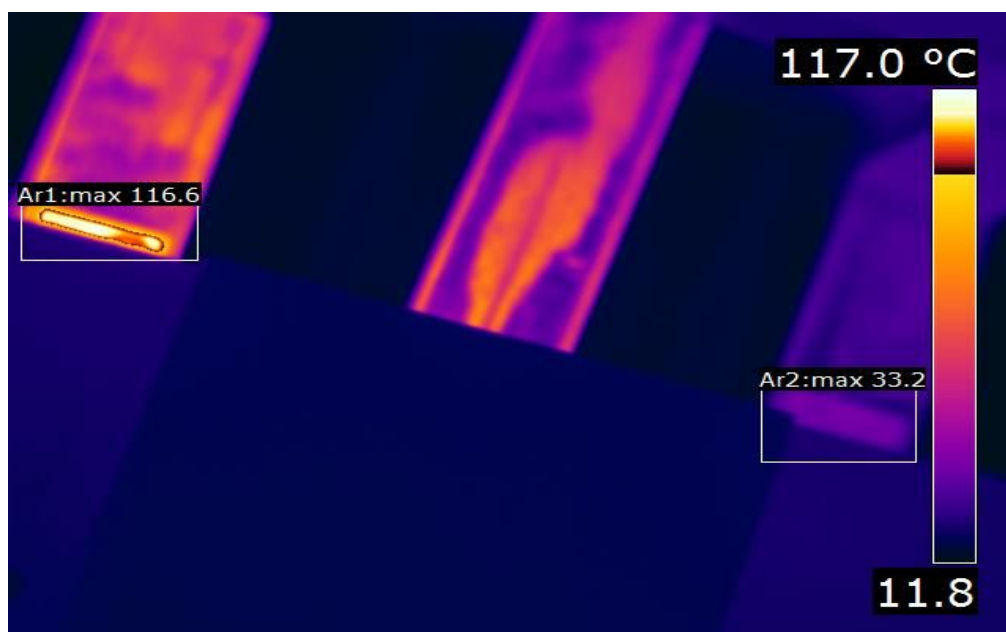


Рис. 3. Термограмма реактора РБА-2



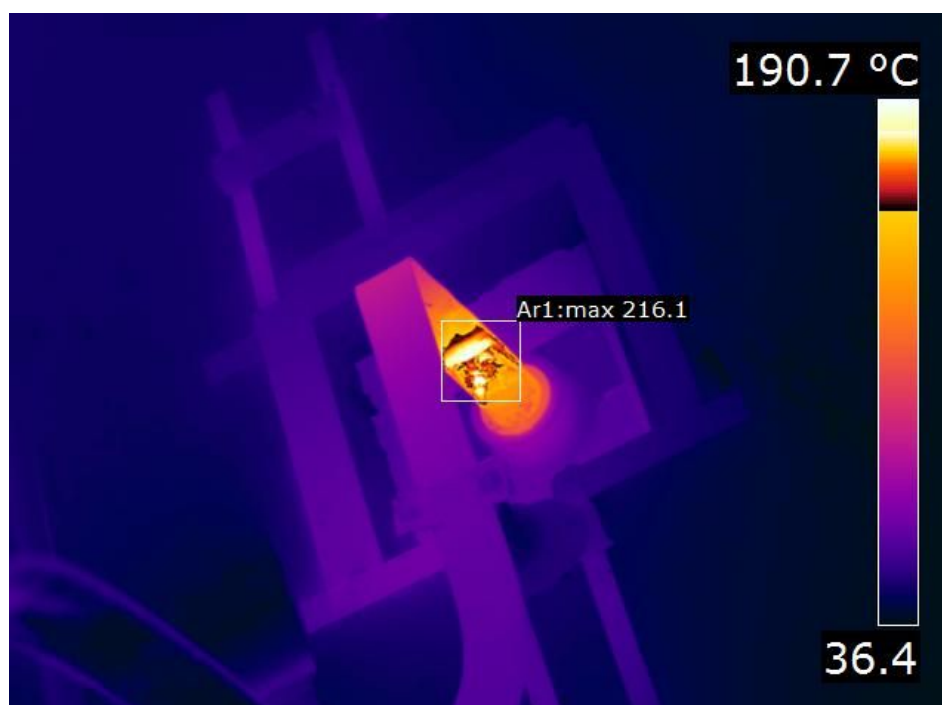


Рис. 4. Термограмма реактора РБА-3.

Таблица 3

## Полученные расчетные значения для шин реактора напряжением 10 кВ

| Энергия, Вт | Активный ток $I_a$ , А | Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ , % | Установившееся напряжение, кВ |
|-------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 530,1       | 5,148                  | 1,716                                                              | 10,296                        |
| 1088,1      | 9,522                  | 1,904                                                              | 11,424                        |
| 2238,5      | 19,32                  | 1,932                                                              | 11,592                        |

**Основная часть.** На основании измерения величины  $\operatorname{tg} \delta$  для обмоток реакторов напряжением до 10 кВ, а также в соответствии с ГОСТ 32107-2013, согласно которому максимально допустимое отклонение напряжения от номинального не должно превышать 10 %, запишем следующий алгоритм действий:

$0 \leq \operatorname{tg} \delta \leq 1,0$  % – начальный дефект, продолжать измерения.

$1,0 \leq \operatorname{tg} \delta \leq 1,7$  % – развившийся дефект, устранить в течение 1 квартала.

$\operatorname{tg} \delta > 1,7$  % – сильно развитый дефект, устранить замечание в течение 1 месяца.

Если провести анализ величины  $\operatorname{tg} \delta$  для реакторов напряжением 10 кВ, то можно установить параметр коэффициента нелинейности  $K_U$  для номинального напряжения трансформатора [15]:

$$K_U = \frac{U_{уст}}{U_{нн}} = \frac{1,7U_{ф}}{U_{нн}} = \frac{1,7 \cdot 6}{10,5} = 0,97, \quad (7)$$

где  $U_{нн}$  – напряжение понижающей обмотки трансформатора, кВ,  $U_{уст}$  – установившееся напряжение, кВ.

В системе электроснабжения реактор компенсирует влияние токов короткого замыкания на силовой трансформатор [16, 17]. При расчете надежности системы электроснабжения, когда на главной понизительной подстанции работают два трансформатора, с учетом долей экономических ущербов от отказа реактора воспользуемся следующей методикой, приведенной в [18]:

Величина недоотпущенной электроэнергии в электроустановках равна:

$$W_{пз} = S_p K_{0z} \Delta t_p, \quad (8)$$

где  $S_p = 17300 \dots 26000$  – мощность реактора, кВА,  $K_{0z}$  – коэффициент загрузки электроприемников;  $\Delta t_p$  – продолжительность отключений реактора.

Величина ущерба электроприемникам от отказа реактора равна:

$$Y = W_{пз} \cdot y_0, \quad (9)$$

где  $y_0 = 18,3$  руб/(кВт·ч) – величина ущерба при перерыве работы электроприемников.

Данные, полученные в результате расчетов, сведен в табл. 4.

Таблица 4

## Расчетные значения величин недоотпущенной электроэнергии и ущерба приемникам

| Тип электроустановки            | Величина недоотпущенной электроэнергии, кВт·ч | Величина ущерба приемникам, руб. |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| Напряжением до 1 кВ             | 1686,96                                       | 30871                            |
| Напряжением 10 кВ реактор РБА-1 | 519                                           | 9497,5                           |
| Напряжением 10 кВ реактор РБА-2 | 812,5                                         | 14869                            |
| Напряжением 10 кВ реактор РБА-3 | 1625                                          | 29737,5                          |

**Заключение.** Тепловизионный контроль реакторов обладает большой эффективностью при определении технических неисправностей, влияющих на функционирование систем электропитания главных понизительных подстанций. Он позволяет оценить величину диэлектрических потерь от действующего значения силы тока, а также рассчитать необходимый уровень напряжения для эффективного функционирования потребителей, который зависит от величины коэффициента нелинейности. При этом необходимо также оценить величину экономического ущерба от потери питания приемников электрической энергии, поскольку от этого сильно зависит техническое состояние наиболее ответственных узлов электрооборудования, в частности силовых трансформаторов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шпиганович А.Н., Провоторова В.Н. Определение уровней напряжения системы электроснабжения с учетом влияния негативных факторов // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2009. № 1. С. 17–25.
2. Шилов И.Г. Оценка параметров надежности электроснабжения от отказов выключателя при провалах напряжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2008. № 3. С. 31–34.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: 6-е изд. М.: «Энергосервис», 2003. 168 с.
4. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования/ под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана и др. М.: НЦ «ЭНАС», 1998. 280 с.
5. C. Bengtsson, Z. Gajic, M. Khorami. Dynamic compensation of reactive power by variable shunt reactors: control strategies and algorithms. Paper C1-303, CIGRE 2012.
6. Мамонтов А.Н., Рычков А.В., Астанин С.С. Тепловизионный контроль трансформаторов тока и трансформаторов напряжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. № 4. С. 9–18.
7. Шпиганович А.Н., Захаров К.Д.. Внутризаводское электроснабжение. Липецк: ЛГТУ, 2007. 741 с.
8. Буев П.В. Безотказность релейной защиты как критерий эффективности процессов электропитания // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2010. № 1. С. 24–26.
9. Волков М.С., Гусев Ю.П. Оценка влияния характеристик токоограничивающего реактора на переходные восстанавливающиеся напряжения на контактах высоковольтного выключателя при отключении токов короткого замыкания // Наука и образование: Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 7. С. 329–336.
10. Любарский Д.Р., Рубцов А.А. Ограничение переходных восстанавливающихся напряжений при использовании токоограничивающих реакторов в сетях 110–220 кВ // Электрические станции. 2017. № 2. С. 42–45.
11. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов – 3-е изд. // Ленинград: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1981. 540 с.
12. Shoup D., Paserba J., Colclaser R.G., Rosenberger Jr. T., Ganatra L., Isaac C. Transient Recovery Voltage Requirements Associated With the Application of Current-Limiting Series Reactors // Electric Power Systems Research. 2007. Vol. 77. Iss. 11. Pp. 1466–1474.
13. Santos, D., Cabriel G. Transient recovery voltages when clearing a fault in presence of series limitation reactors [Electronic resource] // International Conference on Power Systems Transients. ([http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99\\_Paper\\_089.pdf](http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99_Paper_089.pdf), accessed 01.06.2013).
14. Eilert Bjerkan. High frequency modeling of power transformers, stresses and diagnostics // Eilert Bjerkan, Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Power Eng., Norwegian Univ. Sci. Technol., Trondheim, Norway, 2005.
15. Мамонтов А.Н., Зацепина В.И., Шилов И.Г. К вопросу минимизации провалов напряжения на основе компенсации реактивной мощности // Мат. V-й Всероссийской научно-практической конференции «Системы управления электротехническими объектами», посвященной 80-летию ТулГУ. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. С. 14–16.
16. Khrennikov A.Yu. New intellectual networks (Smart Grid) for detecting electrical equipment faults, defects and weaknesses // Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No 3.

17. Khrennikov A.Yu. Monitoring information-measuring system for detecting power transformers faults, FRA and LVI-testing diagnostics experience: Reports of Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), Shanghai, China, March 2012.

18. Мамонтов А.Н. О построении систем электроснабжения с учетом долей экономических ущербов от искажений напряжения // Сборник докладов IV Международной научной конференции «Энергетика и энергоэффективные технологии». Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2010. С. 36–38.

#### Информация об авторах

**Мамонтов Антон Николаевич**, кандидат технических наук, инженер лаборатории. E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru. Публичное акционерное общество «Новолипецкий металлургический комбинат». Россия, 398070, Липецк, ул. Политехническая, д. 1.

**Пушница Константин Александрович**, кандидат технических наук, доцент. E-mail: kostpa@mail.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398046, Липецк, ул. Смургиса, д. 5.

Поступила в июне 2019 г.

© Мамонтов А.Н., Пушница К.А., 2019

<sup>1,\*</sup>Mamontov A.N., <sup>1</sup>Puschnitsa K.A.

<sup>1</sup>Public joint-stock company "Novolipetsk Iron and Steel Works"

Russia, 398070, Lipetsk, st. Polytechnical, 1

<sup>2</sup>Lipetsk State Technical University

Russia, 398046, Lipetsk, st. Smurgis, 5

\*E-mail: mamontov.anton 2015@mail.ru

## THERMAL CONTROL OF REACTORS

**Abstract.** The article lists the types of reactors: current limiting reactors, smoothing reactor and arc suppression reactor. The principles of electrical energy conversion and methods of compensation of the electric current are described. In addition, the frequency of inspections is established including unplanned, current and capital repairs of equipment. The list is formed of the examined units, as well as the features of thermal imaging diagnostics of reactors with voltages up to and above 1000 V, including the design of a smoothed reactor with a voltage of 780 V and concrete reactor of voltage 10 kV. The thermograms of defects of contact connections are presented. The calculation of the angle dielectric loss tangent  $\tan \delta$  and the steady-state voltage is performed. As a result of the analysis of thermograms, the cause of defects in current limiting reactors with a voltage of 10 kV is formed. On the basis of the calculated value of  $\tan \delta$ , the method of reactor inspection is made; the calculation of the permissible voltage deviation based on the calculated nonlinearity coefficient is carried out. The calculation of the economic damage from the reactor failure depending on the value of the total power, current load and duration of shutdown, as well as the conclusion about the effectiveness of this type of diagnostics are made.

**Keywords:** thermal control, current repair, current limiting reactor, dielectric loss, nonlinearity coefficient.

## REFERENCES

1. Shpiganovich A.N., Provotorova V. N. Determination of voltage levels of supply system taking into account the influence of negative factors [Opredeleniye urovnej napryazheniya sistemy elektrosnabzheniya s uchetom vliyaniya negativnykh faktorov]. News of Higher Educational Institutions of the Chernozem Region. 2009. No. 1. Pp. 17–25. (rus)

2. Shilov I.G. Evaluation of reliability parameters of electrosupply from switch failures at voltage dips [Otsenka parametrov nadezhnosti elektrosnabzheniya ot otkazov vykliuchatelya pri provalakh napryazheniya]. News of Higher Educational Institutions of the Chernozem Region. 2008. No. 3. Pp. 31–34. (rus)

3. User rules for operating electrical equipment 6-ed. [Pravila tekhnicheskoy ecspluatatsii elektroustanovok potrebitelej 6-e izd.] Moscow: «Energoservice», 2003. 168 p. (rus)

4. RD 34.45-51.300-97. Scope and standards of testing of electrical equipment [RD 34.45-51.300-97 Ob'yem i normy ispytaniy elektrooborudovaniya] under total. ed. B.A. Alekseeva, F.L. Kogana i dr. Moscow: NTs «ENAS», 1998. 280 p. (rus)

5. Bengtsson C., Gajic Z., Khorami M. Dynamic compensation of reactive power by variable shunt reactors: control strategies and algorithms. Paper C1-303, CIGRE 2012.

6. Mamontov A.N., Rychkov A.V., Astanin S.S. Thermal control of current transformers and voltage transformers [Teplovizionnyj control' transformatorov toka i transformatorov napryazheniya]. News of

Higher Educational Institutions of the Chernozem Region. 2016. No. 4. Pp. 9–18. (rus)

7. Shpiganovich A.N., Zakharov K.D. In-plant power supply [Vnutrizavodskoe elektrosnabzheniye]. Lipetsk: LSTU, 2007. 741 p. (rus)

8. Buev P.V. Reliability of relay protection how the criterion of the efficiency of the power supply [Bezotkaznost' releynoy zaschity kak kriterij effektivnosti processov elektrosnabzheniya]. News of Higher Educational Institutions of the Chernozem Region. 2010. No. 1. Pp. 24–26. (rus)

9. Volkov M.S., Gusev Y.P. Assessment of the influence of characteristics current limiting reactors on the transition recoverable stresses on contact of high-voltage circuit breaker when you disconnect of short circuit current [Otsenka vliyaniya kharakteristicheskogo tokoogranichivayushchego reaktora na perekhodnye vosstanavlivayushiesya napryazheniya na kontaktakh vysokovol'nogo vyklyuchatelya pri otklyuchenii tokov korotkogo замыкания]. Science and education: Scientific publication MSTU Bauman's name 2013. No. 7. Pp. 329–336. (rus)

10. Lyubarskiy D.R., Rubtsov A.A. The restriction of the transition recoverable stresses when using current limiting reactors into the network 110–220 kV [Ogranichenie perekhodnykh vosstanavlivayushchikhsya napryazhenij pri ispol'zovanii tokoogranichivayushchikh reaktorov v setyakh 110–220 kV]. Electric station. 2017. No. 2. Pp. 42–45. (rus)

11. Rodschtein L.A. Electrical apparatus: Education for technical schools [Elektricheskie apparaty: Uchebnik dlya tekhnikumov – 3-e izd.]. Leningrad: Energoizdat, Leningrad branch, 1981. 540 p. (rus)

12. Shoup D., Paserba J., Colclaser R.G., Rosenberger Jr T., Ganatra L., Isaac C. Transient Recovery Voltage Requirements Associated With the Application of Current-Limiting Series Reactors. Electric Power Systems Research. 2007. Vol. 77. Iss. 11. Pp. 1466–1474.

13. Santos D., Cabriel G. Transient recovery voltages when clearing a fault in presence of series limitation reactors. International Conference on Power Systems Transients. -- ([http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99\\_Paper\\_089.pdf](http://www.ipst.org/techpapers/1999/IPST99_Paper_089.pdf), accessed 01.06.2013).

14. Eilert Bjerkan. High frequency modeling of power transformers, stresses and diagnostics. Eilert Bjerkan, Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Power Eng., Norwegian Univ. Sci. Technol., Trondheim, Norway, 2005.

15. Mamontov A.N., Zatsepina V.I., Shilov I.G. To the question of minimizing voltage drips based on reactive power compensation [K voprosu minimizatsii provalov napryazheniya na osnove kompensatsii reaktivnoj moschnosti]. Mat. V-y All-Russian scientific and practical conference «Control systems of electric power facilities», dedicated to the eightieth anniversary TulSU – Tula: TulSU, 2010. Pp. 14–16. (rus)

16. Khrennikov A.Yu. New intellectual networks (Smart Grid) for detecting electrical equipment faults, defects and weaknesses. Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No 3.

17. Khrennikov A.Yu. Monitoring information-measuring system for detecting power transformers faults, FRA and LVI-testing diagnostics experience: Reports of Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), Shanghai, China, March 2012.

18. Mamontov A.N. About construction of power supply systems taking into account the share of economic losses from voltage drips [O postroenii system elektrosnabzheniya s uchetom dolej ekonomicheskikh uscherbov ot iskazhenij napryazheniya]. Collection of reports IV International practical conference «Energy and energy efficient technologies». Lipetsk: LSTU, 2010. Pp. 36–38. (rus)

#### *Information about the authors*

**Mamontov, Anton N.** PhD, Engineer of the laboratory. E-mail: [mamontov.anton2015@mail.ru](mailto:mamontov.anton2015@mail.ru). Public joint-stock company “Novolipetsk Iron and Steel Works”. Russia, 398070, Lipetsk, st. Polytechnical, 1.

**Puschnitsa, Konstantin A.** PhD. E-mail: [kostpa@mail.ru](mailto:kostpa@mail.ru). Lipetsk State Technical University. Russia, 398046, Lipetsk, st. Smurgis, 5.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Мамонтов А.Н., Пушница К.А. Тепловизионный контроль реакторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 145–151. DOI: 10.34031/article\_5d4d7a2f4f7a33.36054500

#### **For citation:**

Mamontov A.N., Puschnitsa K.A. Thermal control of reactors. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 145–151. DOI: 10.34031/article\_5d4d7a2f4f7a33.36054500

Научное издание  
**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»**  
**№ 8, 2019 г.**

Научно-теоретический журнал

**Координатор журнала**  
*Алфимова Наталия Ивановна*

**Редактор журнала**  
*Агеева Марина Сергеевна*

**Компьютерная верстка**  
*Яшкина Светлана Юрьевна*

**Перевод на английский язык**  
*Колесник Оксана Юрьевна*

**Учредитель журнала** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 9.06.19. Подписано в печать 19.08.19. Формат 60×84/8  
Усл. печ. л. 17,55. Уч.-изд. л. 18,86  
Тираж 40 экз. Заказ. 124. Цена договорная.  
Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 724/4 Гк.  
Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала  
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».  
Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова