

БГТУ им. В.Г. Шухова ISSN 2071-7318



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА

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

№ 6, 2022 год

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

Vol. 6. 2022

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова научно-теоретический журнал

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

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

2.1.1.	_	Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
2.1.3.	_	Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические
		науки)
2.1.5.	_	Строительные материалы и изделия (технические науки)
2.1.11.	_	Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архи-
		тектура)
2.1.12.	_	Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
2.1.13.	_	Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
2.1.13.	_	Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
2.6.14.	_	Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
2.5.4.	_	Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
2.5.5.	_	Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
2.5.6.	_	Технология машиностроения (технические науки)
05.02.13	_	Машины, агрегаты и процессы (по отраслям) (технические науки) (до 16.10.2022)
05.17.06	_	Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки) (до 16.10.22)

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 (СОРЕ).

Наименование органа,	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,							
зарегистрировавшего	информационных технологий и массовых коммуникаций							
издание:	Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.							
Учредитель/Издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего							
•	образования «Белгородский государственный технологический университет							
	им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)							
	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46							
Адрес редакции:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,							
•	БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк							
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,							
	Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова							
Тел:	+7 (4722) 30-99-77							
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru							
Официальный сайт	https://bulletinbstu.editorum.ru							
журнала:								
Подписка	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке.							
и распространение	Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12)							
	Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/							
	Цена свободная.							
Подписан в печать	14.06.2022							
Выход в свет	29.06.2022							
	60 04/0 TT 40 TT 44 TT 44 TT 40 TO 70 TO 7							

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 13,71. Уч.-изд. л. 14,75. Тираж 40 экз. Заказ № 45

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

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

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

2.1.1.	_	Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
2.1.3.	_	Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
2.1.5.	_	Building materials and products (technical sciences)
2.1.11.	_	Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural herit-
		age (architecture)
2.1.12.	_	Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
2.1.13.	_	Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
2.1.13.	_	Urban planning, rural settlement planning (architecture)
2.6.14.	_	Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
2.5.4.	_	Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
2.5.5.	_	Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
2.5.6.	_	Engineering technology (technical sciences)
05.02.13	_	Machines, units and processes (branch-wise) (technical sciences) (to 16.10.2022)
05.17.06	_	Technology and processing of polymers and composites (technical sciences) (to 16.10.2022)

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).

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State			
	Technological University named after V.G. Shukhov" (BSTU named after V.G. Shukhov)			
	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation			
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation			
	BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4			
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation			
_	Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov			
Tel:	+7 (4722) 30-99-77			
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru			
Official website of the	https://bulletinbstu.editorum.ru			
journal				
Подписка	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.			
и распространение	Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/			
Signed for printing:	14.06.2022			

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). Ахмедова Елена Александровна, член-корр. РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства Самарского государственного технического университета, Архитектурно-строительной академии (РФ, г. Самара).

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

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

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

Везенцев Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой 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 Московского государственныого строительного университета (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).

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

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

Леонович Сергей Николаевич, иностранный член 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, РhD, проректор по научной работе и издательской деятельности, проф. Машиностроительного факультета Государственного Нишского университета (Республика Сербия, г. Ниш). Перькова Маргарита Викторовна, д.-р арх., проф., и.о. директора Высшей школы архитектуры и дизайна, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (РФ, г. Санкт-Петербург).

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

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 университет имени И.С. Тургенева (РФ, г. Орел).

Семенцов 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 хозяйств 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., Ваймар (Германия, г. Веймар).

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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).

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

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

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

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

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, Simferonol).

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

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

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

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

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

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

Victor S. Meshcherin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical University of Dresden (TU Dresden), Director of the Institute of Building Materials and head of the department of building materials (Germany, Dresden).

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

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

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

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

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

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. Strokova, 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., Deputy Head of the Construction Materials Department, Bauhaus-University of Weimar (Bauhaus-Universität Weimar) (Germany, Weimar).

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

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

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

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

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

111

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	
Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О.	
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ	
ДРЕВЕСИНЫ	8
Коновалов М.А.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КАЧЕСТВЕ	
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЗАМЕНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КОНСТРУКЦИЯМ	
В МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ	17
Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Клюев С.В., Ахтямова Л.Ш., Аракчеев Т.П.,	
Дарвиш А.	
ТОЧНОСТЬ ЧИСЛЕННОГО ДИАГРАММНОГО МЕТОДА РАСЧЁТА	
СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	25
Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В.	
ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ	
ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДНЕВНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	35
Березкин С.А.	
ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ	
ЗНАЧИМОСТЬ ПЕРВОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА АСТРАХАНИ (1767–1769 гг.)	43
Ишмухаметова К.В., Спирина О.Ф., Десяткина А.В.	
КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЭКОПРОСТРАНСТВ	
ГОРОДА УФЫ	57
Вайтенс А.Г., Митягин С.Д.	
РЕННОВАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В САНКТ-ПЕТРБУРГЕ	
В 2000-х ГОДАХ: ПРОБЛЕМАТИКА, ПОИСКИ РЕШЕНИЙ, РЕАЛИЗАЦИЯ	70
Щербина Е.В., Нгуен Т.К.	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ РАЗВИТИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ	
С УЧЕТОМ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	83
химическая технология	
Трубицын М.А., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Япрынцев М.Н., Кузин В.И.,	
Коломыцев Е.Е.	
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА	
КЛИНКЕРНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА	94
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИ	E
Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В.	
СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗАГОТОВКИ	
В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ	103
Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д.,	
Лямина С.А., Голубева Н.Д.	
ИСПЫТАНИЕ КОНФОРМНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ	

ПРЕСС-ФОРМЫ

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Kiliusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O.	
PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MINERALIZED WOOD	8
Konovalov M.A.	
THE USE OF WOODEN STRUCTURES AS AN ALTERNATIVE REPLACEMENT	
FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN A MULTI-STOREY BUILDING	17
Radaykin O.V., Sabitov L.S., Klyuev S.V., Ahtjamova L.Sh., Arakcheev T.P.,	
Darvish A.	
ACCURACY OF THE NUMERICAL DIAGRAM METHOD FOR CALCULATING	
BAR REINFORCED CONCRETE ELEMENTS	24
Korkina E.V., Shmarov I.A, Voitivich E.V.	
RESEARCH OF TIME OF CRITICAL ILLUMINATION TO ASSESS THE DURATION	
OF DAYTIME ILLUMINATION	35
Berezkin S.A.	
STAGES OF DEVELOPMENT AND ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING	
SIGNIFICANCE OF THE FIRST GENERAL PLAN OF ASTRAKHAN (1767–1769)	43
Ishmukhametova K.V., Spirina O.F., Desyatkina A.V.	
CLUSTER MODEL OF THE SYSTEM OF PUBLIC ECO-SPACE OF THE UFA CITY	57
Vaytens A.G., Mityagin S.D.	
RENOVATION OF INDUSTRIAL TERRITORIES IN ST. PETERSBURG	70
IN THE 2000S: PROBLEMS, SEARCH FOR SOLUTIONS, IMPLEMENTATION	70
Scherbina E.V., Nguyen T.K.	
METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF TOURIST	0.2
TERRITORIES BASED ON THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	83
CHEMICAL TECHNOLOGY	
Trubitsin M.A., Furda L.V., Volovicheva N.A., Yapryntsev M.N., Kuzin V.I.,	
Kolomytsev E.E.	
INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE PROCESSES OF SYNTHESIS	
OF CLINKER MINERALS OF HIGH ALUMINA CEMENT	94
MACHINE BUILDING AND	
ENGINEERING SCIENCE	
Durykhin A.A., Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V.	
REDUCING THE INFLUENCE OF INTERNAL STRESSES IN THE WORKPIECE	
DURING THE PROCESSING FLEXIBLE PARTS	103
Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.U., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D.,	
Lyamina S.A., Golubeva N.D.	
TESTING A CONFORMAL COOLING SYSTEM OF A COMPOSITE MOLD	111

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16

*Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова E-mail: n.volkova@narfu.ru

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Аннотация. Проведен сравнительный анализ минерализации древесины раствором органо-минерального комплекса в различных режимах: самопроизвольном (путем погружения в емкость с раствором) и принудительном (при автоклавной обработке под избыточным давлением с использованием инертного газа). Данный анализ позволит выявить оптимальные параметры минерализации древесины, что, в свою очередь, поможет решить задачу повышения долговечности и надежности материалов из древесины, предназначенных для эксплуатации в экстремальных климатических условиях. Состав модифицирующего раствора: природный полисахарид арабиногалактан и полиминеральный кварцсодержащий песок (10 % арабиногалактан и 10 % полиминеральный песок). Установлено, что за 24 часа обработки плотность древесины сосны увеличивается на $18\,\%$ (при самопроизвольном протекании процесса этот параметр увеличивается лишь на 10 %). Увеличение плотности образцов приводит к возрастанию их прочности при сжатии на 80 % (при самопроизвольной обработке) и на 91 % (при автоклавировании). Твердость по Бринеллю опытных образцов возрастает более, чем в три раза (не зависимо от условий проведения процесса). Получена детальная характеристика отдельных стадий процесса термического разложения древесины опытных образцов. Установлено, что для модифицированных образцов (по сравнению с контрольными) степень термической деструкции значительно уменьшается.

Ключевые слова: минерализация древесины, плотность, твердость, прочность, термогравиметрия, термическая деструкция, самопроизвольная и принудительная обработка.

Введение. Известно, что в условиях эксплуатации, характеризующихся повышенной влажностью и знакопеременными температурами, строительные материалы из древесины значительно ухудшают свои физико-механические и водно-физические свойства [1, 2]. Кроме того, климат, влажность, структура почвы, температура воздуха — все это влияет на качественный состав древесины и плотность, которая, в свою очередь, прямо пропорциональна ее прочности [3, 4].

Одним из путей решения задачи, связанной с повышением долговечности и надежности материалов из древесины, предназначенных для эксплуатации на арктических и приарктических территориях, является ее поверхностная минерализация композициями, содержащими минеральные наночастицы [5]. Вместе с тем, современные защитные составы для древесины должны отвечать требованиям экологической чистоты, а их разработка — основываться на результатах исследований, связанных с защитной модификацией как основной массы, так и поверхностных частей этого растительного полимера [6, 7].

Улучшениями свойств древесины и ее модификацией путем минерализации древесной матрицы занимаются ученые из многих стран. Наиболее существенных результатов, по нашему мнению, добились японские ученые [8, 9] в плане

ускоренного «окаменения» древесины путем ее силификации (пропитки кремнеземом). В результате модификации у древесины снижается показатель водопоглощения и, как следствие, уменьшается риск заражения микроорганизмами.

Процесс петрификации («окаменения») растительного сырья имеет диффузионный характер и протекает в естественных условиях крайне медленно. Примерная скорость замещения органики по расчетам ученых составляет около 1 мм в каждые 1500 лет [10]. Учитывая опыт проведенных работ, а также исследований в области улучшения свойств древесины [11–14], можно предположить, что процесс петрификации древесины значительно ускоряется, если отработать специальную технологию пропитки древесины составом, содержащим необходимый минеральный компонент [15–18].

Принципиально данная технология заключается в обработке материалов из древесины растворимым комплексом, который получают из природного полисахарида арабиногалактана и наноразмерных кварцсодержащих минералов горных пород различного генезиса [19], например, полиминерального кварцсодержащего песка (ПКП). Необходимую для такой обработки степень дисперсности минерального компонента получают механическим способом активации [20,

21]. Стабилизатором агрегативной и седиментационной устойчивости частиц полученных суспензий является также органический компонент комплекса — арабиногалактан (АГ). АГ — полисахарид, который содержится в растительном сырье и прекрасно растворяется в воде [22–24]. Подобные полисахариды, благодаря своему строению и способности проникать сквозь клеточную мембрану, в составе комплексного соединения с нерастворимыми веществами могут выступать в качестве полимерной матрицы в процессе петрификации древесины [25].

Ранее нами проведена серия экспериментов, где органо-минеральным комплексом, содержащим вышеупомянутые компоненты (ПКП и АГ), были обработаны образцы древесины сосны. В результате этих исследований установлено, что в самопроизвольном режиме проведения процесса максимальное относительное увеличение плотности образцов, достигаемое за сутки, ограничивалось $1\overline{2}$ %, что, в свою очередь, обеспечивало увеличение прочности вдоль волокон и твердости на 47 и 71 % соответственно [22]. Установлен оптимальный состав органо-минерального комплекса, который характеризуется содержанием компонентов по массе: 10 %АГ+10 %ПКП [26]. Вместе с тем, согласно литературным данным [25], можно повысить эффективность процесса минерализации древесной матрицы путем проведения процедуры в принудительном режиме, например, в автоклаве под избыточным давлением. Причем, авторы этой работы показали, что целесообразно длительность процесса ограничивать 24 часами (в случаях самопроизвольного протекания процесса или автоклавирования). Экспериментальная проверка данной гипотезы и является целью данных исследований.

Материалы и методы. Опытные образцы с размером основания 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм изготовлялись из сосны обыкновенной (Pinus Sylvestris L.), затем доводились при температуре 105 °C до постоянной массы. Остаточная влажность образцов не превышала 2 %. Для минеральной модификации опытных образцов готовили раствор органо-минерального комплекса с содержанием компонентов (по массе) $10 \% A\Gamma + 10 \% ПКП. В качестве арабиногалак$ тана использовали пищевую добавку «Лавитоларабиногалактан» в исходном состоянии без предварительной очистки и перекристаллизации. В качестве исходного сырьевого материала минерального компонента (ПКП) использовали полиминеральный песок месторождения «Краснофлотский-Запад» (г. Архангельск), основными породообразующими минералами которого являются кварц (74 %) и альбит (17 %). Химический состав ПКП определялся по результатам рентгенофлуоресцентного анализа, выполненного с помощью анализатора ПРФА «МетЭксперт». Методика приготовления раствора органо-минерального комплекса детально отработана и приведена нами в работе [26].

Обработку образцов проводили двумя способами: самопроизвольно — путем погружения в емкость с раствором, используя пригруз, а также принудительно — в автоклаве при избыточном лавлении.

После проведения процесса пропитки опытные образцы извлекались из реакционной системы, доводились до постоянной массы при температуре 45 °C. Масса образцов до и после модификации определялась на аналитических весах с точностью до $\pm 0,002$ г, их объем рассчитывался исходя из измеренных линейных размеров.

Для изучения влияния повышенного давления на процесс петрификации древесины был изготовлен лабораторный автоклав (рис. 1) емкостью 2 л, позволяющий проводить процесс модификации опытных образцов древесины при максимальном давлении 1,5 МПа, при этом среднее рабочее давление находилось в диапазоне от 1,35 МПа до 1,40 МПа. Для создания избыточного давления в автоклаве использовался инертный газ (аргон).

После модификации опытные образцы анапрочность и лизировались на твердость. Определение предела прочности при сжатии (R)вдоль волокон выполнялось на прессе ТП-1-100 в соответсвии с методикой, описанной в ГОСТ 16483.10-73. Размещение образца происходило между опорными частями пресса, в компьютер вводились данные по скорости равномерного нагружения ($25000 \pm 5000 \text{ H/мин}$) и размерные характеристики образца. После нагружения фиксировалось значение максимальной разрушающей нагрузки (Р) и осуществлялся расчет предела прочности при сжатии с учетом площади поперечного сечения испытуемых образцов.

Определение твердости образцов осуществлялось по методу Бринелля. Метод регламентирован ГОСТ 9012-59. Образцы испытывались на установке Shimadzu-AGS-X. Образец фиксировали между опорными частями машины, а сверху на боковую сторону помещался стальной шарик диаметром 9,87 мм. С помощью настроек испытания в ПК выставляли нагрузку (245,2 H), которая соответствует регламентной нагрузке по ГОСТ, и выдерживали в течение 15 секунд. Затем определяли размер отпечатка.





Рис. 1. Фотография автоклава для минерализации опытных образцов древесины: а – общий вид; б – внутренняя рабочая камера с реакционной системой

Дифференциальный термический анализ (ДТА) опытных образцов (контрольных и после самопроизвольной минерализации) древесины проводился с помощью термогравиметрического анализатора SDT Q650 (TA Instrument Inc., США) в атмосфере азота (скорость потока 50 мл/мин) при скорости нагрева $10\,^{\circ}$ С/мин в диапазоне температур 30– $600\,^{\circ}$ С.

Основная часть. Исследуемый образец песка месторождения «Краснофлотский-Запад» содержит 91,35 % SiO_2 . Экспериментально определенный состав песка (в пересчете на оксиды) показал, что в состав минеральной части входит

5,06 % Al₂O₃. Остальные компоненты находятся в количестве, не превышающем одного процента. Полученные данные показали, что используемый минеральный компонент не содержит элементов, негативно влияющих на здоровье человека.

В таблице 1 приведены результаты, полученные в ходе эксперимента по изменению плотности опытных образцов древесины сосны при их модификации органо-минеральным комплексом состава 10% АГ + 10% ПКП в продолжение 24-часовой обработки в самопроизвольном режиме (при температуре 25 ± 2 °C) и автоклавировании.

Таблица 1 Изменение плотности образцов древесины в результате модификации органоминеральным комплексом

No	Объем образца, см ³	Масса образца, <i>m</i> _o , г	Плотность образца до обработки, ρ_0 , r/cm^3	Масса образца, <i>m</i> ₁ , г	Плотность образца после обработки, ρ_1 , $\Gamma/\text{см}^3$	Увеличение плотности $\Delta \rho$, %	$\Delta ho_{cp},$ %		
			в есте	ственных усл	овиях				
1	10,337	4,223	0,409	4,701	0,455	11			
2	10,830	4,411	0,407	4,831	0,446	10	10,7		
3	11,189	4,536	0,405	5,018	0,448	11			
	В автоклаве								
4	11,475	5,120	0,446	6,035	0,520	17			
5	10,705	4,912	0,458	5,874	0,551	17	18,3		
6	10,057	4,208	0,418	4,889	0,504	21			

Проведенный эксперимент показал, что в автоклавном режиме модификации опытные образцы за 24 часа эксперимента увеличивают плотность по сравнению с процессом самопроизвольной пропитки на 18 %. Эксперимент, связанный с увеличением времени модификации опытных образцов в автоклавном режиме до 48 часов, не привел к существенному увеличению плотности образцов. В этом случае увеличение данного параметра составило 1,5÷2,0 %.

Результаты прочностных испытаний модифицированной древесины, представленные в таблице 2, показали, что предел прочности при сжатии вдоль волокон опытных образцов увеличивается (по сравнению с необработанной древесиной) на 80 % в случае проведения процесса в самопроизвольном режиме и на 91 % при автоклавировании.

Таблица 2 Результаты определения предела прочности при сжатии образцов древесины

Способ пропитки	Максимальная разрушающая нагрузка, P_{\max} , H	Предел проч- ности, <i>R</i> , МПа	Среднее значение, $R_{\rm cp}$, МПа	
Various vario afragues (fan afra	16850	42,2	42,0	
Контрольные образцы (без обра- ботки)	16590	41,5		
оотки)	16780	42,3		
	29530	74,4		
Самопроизвольный процесс	29850	75,6	75,2	
	30090	75,6		
	32150	80,4		
Автоклав	32010	80,5	80,3	
	31900	80,1		

Результаты определения твердости образцов (табл. 3) также свидетельствуют о значительном увеличении данного параметра у модифицированной древесины по сравнению с контролем.

Так, модификация древесины органоминеральным комплексом в продолжение 24 часов увеличивает твердость по Бринеллю минерализованной древесины более, чем в три раза.

 Таблица 3

 Твердость по Бринеллю опытных образцов древесины

Способ пропилки	Приложенная нагрузка, F , H	Диаметр ша- рика, <i>D</i> , мм	Диаметр отпе- чатка, d , мм	Твердость по Бринеллю, <i>HBW</i> , МПа	
Способ пропитки				по образцу	средняя по комплексу
Контрольные образцы			5,2	1,09	1,09
Carramavananiya	245,2	9,87	2,9	3,70	3,71
Самопроизвольный про-			2,8	3,98	
цесс			3,0	3,46	
			2,9	3,70	
Автоклав			2,9	3,70	3,80
			2,8	3,98	

На рисунке 2 представлены термограммы ТG и d(TG) для части (стружки с поверхности) необработанного и обработанного образца древесины. В процессе термической обработки в диапазоне 100÷600 °С происходит потеря массы образцов, причем, для необработанной древесины эта величина составила практически 95 %. Для модифицированного образца потеря массы в данном температурном интервале составила 78 %. Данный факт свидетельствует об увеличении термической стабильности модифицированных образцов, что может быть отмечено как положительная характеристика, улучшающая пожарнотехнические свойства древесины.

По термогравиметрическим кривым для контрольного и модифицированного образцов (рис. 2a) можно выделить три температурных диапазона с изменяющейся скоростью потери массы (с максимумом и с относительно малой постоянной скоростью убыли массы). На первом этапе нагревания древесины происходят ее сушка и удаление остаточных легколетучих компонентов при температуре от 35 до 120÷200 °C. Быстрое увеличение скорости убыли массы при дальнейшем повышении температуры вплоть до ~ 370 °C связано с развитием термодеструкции целлюлозы и

лигнина. На последнем этапе (выше 370 °C) завершается термодеструкция лигнина и происходит сгорание образовавшегося в процессе термического разложения древесины угля. Сравнительный анализ приведенных данных показывает, что процесс деструкции органических составляющих растительного сырья (лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза) для модифицированных образцов протекает заметно менее интенсивно.

Кроме того, следует отметить наличие четкого экзотермического эффекта при температуре 363 °C для контрольных и обработанных образцов, связанного с тем, что разработанный состав работает по классическому механизму дегидратации. Кроме того, образцы минерализованной древесины показали наличие экзоэффектов при температурах 309 и 376 °C, которые слабо выражены для контрольных образцов древесины. Данные экзотермические эффекты свидетельствуют о существенном отличии по удержанию влаги при сушке обработанных и контрольных образцов. Исследуемый состав активно модифицирует компоненты древесины и способствует снижению потери массы образца.

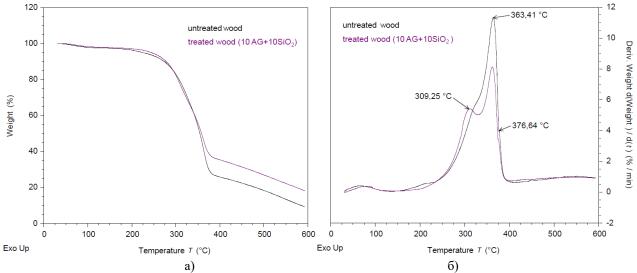


Рис. 2. Термограммы для необработанной и пропитанной древесины (комплекс $10AG + 10SiO_2$) a - TG; 6 - d(TG)

Более детальную характеристику отдельных стадий процесса термического разложения древесины опытных образцов можно получить из анализа производных d(TG) (рис. 2б). Первый пик (слабой интенсивности) на кривой TG образцов древесины связан в основном с удалением физически адсорбированной воды. В интервале термической деструкции гемицеллюлоз и целлюлозы (200 ÷ 350 °C) модифицированные образцы характеризуются меньшим экзотермическим эффектом. Термическая стабильность древесного вещества образцов (выше 350 °C), по-видимому, обусловлена взаимодействием целлюлозы и лигнина, степенью кристалличности целлюлозы. Для модифицированных образцов степень термической деструкции (величина экзоэффекта) в этом температурном интервале значительно ниже.

Выводы. Обработка опытных образцов древесины сосны органоминеральным комплексом на основе арабиногалактана и полиминерального кварцевого песка приводит к значительному улучшению физико-механических характеристик растительной матрицы. Установлено, что значительная интенсификация процесса достигается при автоклавной обработке (по сравнению с самопроизвольной). При этом определено, что за 24 часа обработки плотность древесины сосны увеличивается на 18 % (при самопроизвольном протекании процесса этот параметр увеличивается на 10 %). Увеличение плотности образцов приводит к возрастанию их прочности при сжатии на 80 % (при самопроизвольной обработке) и на 91 % (при автоклавировании). Твердость по Бринеллю опытных образцов возрастает более, чем в три раза (не зависимо от условий проведения процесса).

Установлено, что для модифицированных образцов (по сравнению с контрольными) степень термической деструкции в температурном интервале 35÷600 °C значительно уменьшается.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0793-2020-0005 с использованием уникальной научной установки «Физикохимия поверхности нанодисперсных систем».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Elam J., Björdal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work // International Biodeterioration & Biodegradation. 2020. 148 p. DOI:10.1016/j.ibiod.2020.104913
- 2. Moosavinejad S., Madhoushi M., Vakili M., Rasouli D. Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using FT-IR and FT-Raman vibrational spectroscopy // Maderas. Ciencia y tecnología. 2019. №21(3). Pp 381–392.
- 3. Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments A review of biotic and abiotic influence factors // Wood Material Science & Engineering. 2020. Pp. 1–24. DOI: 10.1080/17480272.2020.1779810
- 4. Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R. and Strokova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development // The Open Ecology Journal. 2014. T. 7, № 1. Pp. 32–36.
- 5. Kiliusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood // 18-th International multidisciplinary scientific GeoconferenceSGEM 2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018. Vol. 18. Pp. 385–392.

- 6. Arpino F., Pelliccio A., Cortellessa G., Frattolillo A., Caschera M. Experimental and numerical investigation of the effects of wind exposure on historical towns // Energy Procedia. 2017. № 133. Pp. 312–326.
- 7. Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry. Environment International. [Электронный ресурс]: URL: https://www.pub-facts.com/detail/31279910/Controlling-the-risks-of-nano-enabled-products-through-the-life-cycle-The-case-of-nano-copper-oxide. (дата обращения: 23.10.2021).
- 8. Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe₃O₄ nanoparticles into a delignified wood template. [Электронный ресурс]. URL: https://link.springer.com/arti-
- cle/10.1007%2Fs10853-016-0619-8. (дата обращения: 25.10.2021).
- 9. Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/28091282 9_Magnetic_property_thermal_stability_UV-resistance_and_moisture_absorption_behavior_of_magnetic_wood_composites (дата обращения: 23.10.2021).
- 10.Mustoe G.E. Wood Petrifaction: A New View of Permineralization and Replacement // Geosciences. 2017. №7(4). Pp. 119/1-119/17. doi:10.3390/geosciences7040119
- 11. Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species// Wood Material Science & Engineering. 2020. №15(6). Pp. 260–268. DOI: 10.1080/17480272.2020.1862298
- 12. Sivrikaya H., Hosseinpourpia R., Ahmed S., Adamopoulos S. Vacuum-heat treatment of Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood pretreated with propanetriol // Wood Material Science & Engineering. 2020. DOI: 10.1080/17480272.2020.1861085
- 13. Батин М.О. Повышение биологической стойкости полов из модифицированной древесины введением наноразмерных добавок // Строительные материалы. 2018. №1-2. С. 52–57.
- 14.Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties // Journal of Materials Science & Technology. 2017. № 33(3). Pp. 266–270.

- 15. Данилов В.Е., Туробова М.А., Айзенштадт А.М., Русинова Я.М. Гидрофобные покрытия на основе кремнеземсодержащего сырья низкого качества // Строительные материалы. 2019. №7. Рр. 61–65.
- 16.Zaripov Sh., Chizhov A., Kornienko V, Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying // Forestry Journal. 2019. № 6. Pp. 185–193.
- 17.Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor // Scientific Reports. Vol. 9. 982. 2019.
- 18.Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amini M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles // Wood Material Science & Engineering. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1836023
- 19. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400. 077053.
- 20.Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles // Wood Material Science & Engineering. 2019. №14. Pp. 48–58. doi: 10.1080/17480272.2018.1528568
- 21.Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor [Электронный ресурс]: URL: https://www.researchgate.net/publication/330733381_Improvement_of_mechanical_humidity_resistance_and_thermal_properties_of_heat-treated_rubber_wood_by_impregnation_of_SiO₂ precursor. (дата обращения:
- 22. Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О. Модификация древесины органоминеральным комплексом // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 47–51.

21.11.2021).

- 23.Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Стенин А.А., Морозова М.В. Органоминеральный комплекс для поверхностной минерализации древесины // Материаловедение. 2019. №4. С. 45–48.
- 24. Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization // Journal of Physics: Conference Series, 2020. 1697. 012242.

25.Ишмуратов Ф.Г. Полисахариды: получение и влияние на ингибирование солеотложения и газогидратообразования: автореферат диссертации кандидата Технических наук: 02.00.03 / Ишмуратов Фарид Гумерович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»], 2018.

26. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan–silica composition // Journal of Wood Chemistry and Technology. 2021. Vol. 41(6). Pp. 1–13.

Информация об авторах

Килюшева Наталья Владимировна, аспирантка кафедры композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: n.volkova@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Айзенштадт Аркадий Михайлович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: a.isenshtadt@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Данилов Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: v.danilov@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Беляев Александр Олегович, магистрант. E-mail: mr.oba0509@mail.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Поступила 01.03.2022 г.

© Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О., 2022

*Kiliusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O.

Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov *E-mail: n.volkova@narfu.ru

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MINERALIZED WOOD

Abstract. A comparative analysis of the mineralization of wood with a solution of an organic mineral complex in various modes is carried out: spontaneous (by immersion in a container with a solution) and forced (during autoclave treatment under excessive pressure using an inert gas) modes. This analysis will reveal the optimal parameters of wood mineralization, which, in turn, will help to solve the problem of increasing the durability and reliability of wood materials intended for use in extreme climatic conditions. The composition of the modifying solution is natural polysaccharide arabinogalactan and polymineral quartz-containing sand (10 % arabinogalactan and 10 % polymineral sand). It is found that during 24 hours of processing, the density of pine wood increases by 18 % (with spontaneous flow of the process, this parameter increases by only 10 %). An increase in the density of samples leads to an increase in their compressive strength by 80 % (during spontaneous processing) and by 91 % (during autoclaving). The Brinell hardness of the prototypes increases more than three times (regardless of the conditions of the process). A detailed description of the individual stages of the process of thermal decomposition of the wood of the prototypes is obtained. It is found that for modified samples (compared with control ones), the degree of thermal destruction is significantly reduced.

Keywords: mineralization of wood, density, hardness, strength, thermogravimetry, thermal destruction, spontaneous and forced processing.

REFERENCES

- 1. Elam J., Björdal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work. International Biodeterioration & Biodegradation. 2020. 148 p. doi:10.1016/j.ibiod.2020.104913
- 2. Moosavinejad S., Madhoushi M., Vakili M., Rasouli D. Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using FT-IR and FT-Raman vibrational spectroscopy.

Maderas. Ciencia y tecnología. 2019. No.21(3). Pp 381–392.

- 3. Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments A review of biotic and abiotic influence factors. Wood Material Science & Engineering. 2020. Pp. 1–24. doi: 10.1080/17480272.2020.1779810
- 4. Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R. and Strokova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development. The Open Ecology Journal. 2014. Vol. 7, No. 1. Pp. 32–36.

- 5. Kiliusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood. 18-th International multidisciplinary scientific GeoconferenceSGEM 2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018. Vol. 18. Pp. 385–392.
- 6. Arpino F., Pelliccio A., Cortellessa G., Frattolillo A., Caschera M. Experimental and numerical investigation of the effects of wind exposure on historical towns. Energy Procedia. 2017. No. 133. Pp 312–326.
- 7. Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry. Environment International. URL: https://www.pubfacts.com/detail/31279910/Controlling-the-risks-of-nano-enabled-products-through-the-life-cycle-The-case-of-nano-copper-oxide. (date of treatment: 23.10.2021).
- 8. Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe_3O_4 nanoparticles into a delignified wood template. URL: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10853-016-0619-8. (date of application: 25.10.2021).
- 9. Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. URL: https://www.researchgate.net/publication/280912829_Magnetic_property_thermal_stability_UV-resistance_and_moisture_absorption_behavior_of_magnetic_wood_composites. (date of treatment: 23.10.2021).
- 10. Mustoe G.E. Wood Petrifaction: A New View of Permineralization and Replacement. Geosciences. 2017. No.7(4). Pp. 119/1-119/17. doi:10.3390/geosciences7040119
- 11. Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species. Wood Material Science & Engineering. 2020. No.15(6). Pp. 260–268. doi: 10.1080/17480272.2020.1862298
- 12. Sivrikaya H., Hosseinpourpia R., Ahmed S., Adamopoulos S. Vacuum-heat treatment of Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood pretreated with propanetriol. Wood Material Science & Engineering. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1861085
- 13. Batin M.O. Increasing the biological resistance of floors made of modified wood by the introduction of nanoscale additives [Povy`shenie biologicheskoj stojkosti polov iz modificirovannoj drevesiny` vvedeniem nanorazmerny`x dobavok]. Building materials. 2018. No. 1–2. Pp. 52–57. (rus)

- 14. Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties. Journal of Materials Science & Technology. 2017. No.33(3). Pp. 266–270
- 15. Danilov V. E., Turobova M. A., Ayzenshtadt A. M., Rusinova Ya. M. Hydrophobic coatings based on silica-containing raw materials of low quality [Gidrofobny'e pokry'tiya na osnove kremnezemsoderzhashhego sy'r'ya nizkogo kachestva]. Building materials. 2019. No.7. Pp. 61–65. (rus)
- 16. Zaripov Sh., Chizhov A., Kornienko V, Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying. Forestry Journal. 2019. No.6. Pp. 185–193.
- 17. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. Scientific Reports. Vol. 9. 982.2019.
- 18. Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amini M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. Wood Material Science & Engineering. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1836023
- 19. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400. 077053.
- 20. Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. Wood Material Science & Engineering. 2019. No.14. Pp. 48–58. doi: 10.1080/17480272.2018.1528568
- 21. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. URL: https://www.researchgate.net/publication/330733381 Improvement of mechanical humidity resistance and thermal properties of heattreated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. (date of treatment: 21.11.2021).
- 22. Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O. Modification of wood by organomineral complex [Modifikaciya drevesiny' organomineral'ny'm kompleksom Industrial and civil construction]. 2020. No 2. Pp. 47–51. (rus)
- 23. Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Stenin A.A., Morozova M.V. Organic-mineral complex for surface mineralization of wood [Organomineral'ny'j kompleks dlya poverxnostnoj mineralizacii

drevesiny']. Materials Science. 2019. No. 4. Pp. 45–48. (rus)

24. Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization. Journal of Physics: Conference Series, 2020. 1697. 012242.

25. Ishmuratov F.G. Polysaccharides: preparation and effect on the inhibition of salt deposition and gas hydrate formation: abstract of the dissertation of

the Candidate of Technical Sciences [Polisaxaridy': poluchenie i vliyanie na ingibirovanie soleotlozheniya i gazogidratoobrazovaniya: avtoreferat dissertacii kandidata Texnicheskix nauk]. Ufa State Petroleum Technical University, 2018. (rus)

26. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva, N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan–silica composition. Journal of Wood Chemistry and Technology. 2021.Vol. 41(6). Pp. 1–13

Information about the authors

Kiliusheva, Natalia V. Postgraduate student. E-mail: n.volkova@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Ayzenshtadt, Arcady M. DSc, Professor. E-mail: a.isenshtadt@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Danilov, Victor E. docent. E-mail: v.danilov@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Belyaev, Alexander O. DSc, Professor E-mail: mr.oba0509@mail.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Received 01.03.2022

Для цитирования:

Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О. Физико-механические характеристики минерализованной древесины // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16

For citation:

Kiliusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O. Physical and mechanical characteristics of mineralized wood. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

Коновалов М.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЗАМЕНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КОНСТРУКЦИЯМ В МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ

Аннотация. В связи с тем, что деревянные конструкции заменяют такие понятия, как экологичность и натуральность, железобетонные конструкции в настоящее время являются основным строительным материалом для строительства многоэтажных зданий в нашей стране. Идея о строительстве деревянных многоэтажных зданий в России с каждым годом становится все более актуальной. Появление новых технологий и материалов делают это направление строительства перспективным.

Основываясь на имеющемся опыте использования деревянных конструкций в качестве несущих элементов сооружений, были рассмотрены возможные варианты конструктивных систем с использованием деревянных элементов. За основу было взято существующее офисное здание в Санкт-Петербурге, построенное с использованием монолитных железобетонных конструкций. Как показывают расчеты, предлагаемые варианты моделей зданий с использованием деревянных конструкций не только не уступают по физико-механическим и несущим показателям аналогичному зданию из монолитных железобетонных конструкций, но и в некоторых случаях даже превосходят. Экспериментальная часть работ направлена на полную замену монолитных железобетонных конструкций деревянными, результаты которой могли бы сделать строительство таких сооружений выгодным, но в то же время сократить сроки строительства. Подтверждение этого факта можно наблюдать на успешно реализованных многоэтажных зданиях в европейских странах.

Ключевые слова: многоэтажное строительство, деревянное строительство, деревянные строительные конструкции, конструктивные системы, древесина, уникальное сооружение.

Введение. Сегодня обычными небоскребами из железобетона никого не удивишь, это уже стало обычным делом для спальных районов и бизнес-центров. Другое дело — многоэтажное сооружение из 16 этажей, выполненное из дерева. Этот вариант многоэтажного здания интересует многих людей в нашей стране. Ведь многие люди не могут представить себе два таких понятия, как дерево и высотное здание в одной формулировке [1–3].

Многие люди сомневаются в пожарной безопасности многоэтажных деревянных зданий. Конечно, дерево горит, а сталь и бетон — нет, но степень воспламеняемости не является показателем огнестойкости. Древесина обладает низкой теплопроводностью и может сохранять целостность конструкции в течение длительного времени.

Когда древесина нагревается примерно с 280 °C, на ее поверхности образуется обугленный слой, который тлеет и изолирует сердцевину, затрудняя поступление кислорода внутрь, что замедляет процесс горения [4, 5].

Но пока в России только думают о перспективах высотного строительства, зарубежные архитекторы поражают своими фантазиями в этой области. Эта идея наиболее активно реализуется в таких странах, как Финляндия, Германия, Англия, Австрия [1–3].

С конца прошлого тысячелетия в мировой строительной практике наметилась тенденция к возведению высотных зданий, несущие конструкции которых были выполнены из монолитного железобетона. Однако с увеличением темпов строительства увеличился выброс вредных веществ в атмосферу, особенно на начальных этапах строительства [6–8]. В поисках экологически чистых на всех этапах, экономичных и простых в обработке материалов особое внимание было уделено использованию древесины.

Основной целью статьи является определение целесообразности использования деревянных элементов в качестве несущих конструкций. Для достижения этой цели необходимо провести сравнительный анализ концептуальных решений по строительству многоэтажного здания, состоящего в основном из деревянных элементов. Основой для разработки исследуемых моделей является существующее многоэтажное здание, выполненное из традиционного строительного материала в виде монолитных железобетонных элементов [9].

Материалы и методы. Для эксперимента было решено взять в качестве эталонного сооружения 16-этажное офисное здание размером в плане 27×44 м, расположенное в Санкт-Петербурге [9]. Основные характеристики несущей конструкции здания:

- здание имеет центральное ядро жесткости, выполненное из монолитных железобетонных конструкций толщиной 220 мм,
- поперечное сечение несущих колонн здания составляет 500×500 мм,
- потолки от пола до пола также выполнены из монолитных железобетонных конструкций толщиной 220 мм,
- наружные стены офисного здания являются самонесущими, выполнены из кирпича с толщиной стен 250 мм.

Для сравнительного анализа несущих характеристик были разработаны четыре основные конструктивные системы, в которых древесина реализована в смешанной каркасной системе.

При разработке несущих каркасов деревянных зданий в качестве основных материалов несущих элементов рассматривались следующие:

CLT (Cross Laminated Timber) – главным преимуществом этих панелей является скорость строительства, так как панели поставляются с завода, а затем здание возводится как конструктор. При необходимости вы можете разобрать и собрать его в другом месте.

LVL (Laminated Veneer Lumber) и клееный брус – главное свойство – устойчивость к собственным деформациям: за счет склеивания нескольких досок в одну напряжения в древесине выравниваются.

Для анализа сил и напряжений, возникающих в конструктивных элементах, были разработаны четыре варианта несущих конструкций многоэтажного здания с различными конфигурациями и расположением основных несущих элементов из дерева. Каждый рассматриваемый вариант имеет свой собственный набор структурных элементов, которые объединяются в различные структурные системы [10–14]. Таким образом, из множества возможных вариантов несущих систем были выбраны четыре основные концепции.

Концепция № 1 состоит из несущих элементов, которые выполнены из дерева в виде каркасно-ствольной конструкции. Расположение несущих элементов совпадает с несущей системой эталонного здания из монолитных железобетонных конструкций на рисунке 1(а). Деревянные колонны из клееного бруса выступают в качестве вертикальных несущих элементов. Перекрытия выполнены из панелей СLT. Стоит отметить, что перекрытия из СLT – это единственный тип деревянной конструкции, который повторяется в других концепциях.

Чтобы придать конструкции горизонтальную жесткость, во всех концепциях присутствует

ядро жесткости в виде монолитной шахты лифта и лестничной клетки. Было принято решение оставить материал ядра жесткости из монолитного железобетона в связи с соблюдением требований пожарной безопасности при эвакуации людей в случае пожара согласно и основным положениям Федерального закона РФ №123 от 22.07.2008 г. [15].

Концепция № 2 содержит несущие элементы, изготовленные из дерева с добавлением диафрагм жесткости из панелей СLТ. Эта версия несущей рамы была разработана на основе концепции № 1. Чтобы придать конструкции жесткость, было решено добавить вертикальные диафрагмы жесткости из панелей СLТ на всех этажах здания на рисунке 1 (б). Эти конструктивные элементы находились в двух плоскостях здания, проходящих через центр здания.

Концепция № 3 имеет внешние ограждающие конструкции, выполненные из панелей ССТ. В этом варианте было решено реализовать, помимо вертикальных колонн здания, вариант несущей конструкции здания в виде внешних ограждающих конструкций. Этот тип конструкции изготовлен из панелей ССТ толщиной 350 мм.

На рисунке 1(в) показано, что все элементы концепции № 4 выполнены из дерева с добавлением внешней решетчатой конструкции. За основу взята несущая система концепции 1. Для дополнительной жесткости конструкции добавлена внешняя решетчатая конструкция из деревянных линейных элементов, изготовленных из клееных деревянных балок. Решетчатая конструкция расположена по диагонали между вертикальными наружными колоннами.

Для определения целесообразности реализации многоэтажных деревянных зданий представленные модели расчетов несущей способности конструкции были рассчитаны с использованием программных продуктов трехмерного проектирования с последующими расчетами с помощью Autodesk Robot Structural. При помощи расчетной программы были получены результаты значений изгибающих и внутренних напряжений, возникающих в поперечных сечениях несущих элементов. Для проведения дальнейших исследований, расчет несущей способности в программном комплексе был выполнен для каждого элемента несущих конструкций зданий. Полученные значения результатов поэтажно суммировались для облегчения процесса исследования, после чего был проведен сравнительный анализ несущих характеристик в различных типах конструктивных систем.

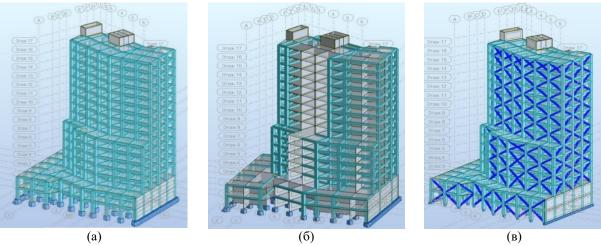


Рис. 1. Разработка проектной модели с использованием Autodesk Robot Structural: а) Концепция № 1; б) Концепция № 2; в) Концепция № 4

Основная часть. Представленные ниже результаты направлены на визуальное отображение работы несущей конструкции многоэтажного

здания в виде графических диаграмм сил и напряжений, возникающих в несущих элементах конструкции под действием приложенных горизонтальных и вертикальных нагрузок.

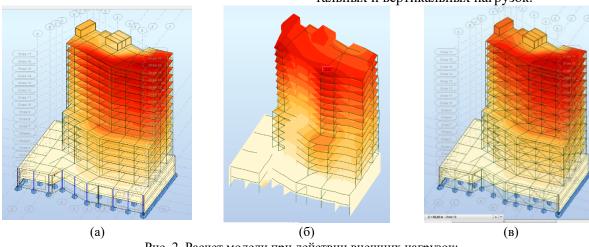


Рис. 2. Расчет модели при действии внешних нагрузок: а) Концепция № 1; б) Концепция № 2; в) Концепция № 4

Расчеты несущей конструкции Концепции 1 показали, что существует равномерное распределение вертикальной нагрузки между элементами от первого до последнего этажа. Согласно диаграмме продольных сил элементов Концепции 1 на рисунке 3(а), можно наблюдать равномерное увеличение вертикальных нагрузок на нижележащие колонны. Согласно представленной диаграмме, на деревянные колонны приходится около 40 % вертикальной нагрузки, в то время как 60 % вертикальной нагрузки приходится на монолитный железобетонный сердечник жесткости.

Но на том же графике на рисунке 3(а) наблюдается неравномерность изгибающих сил, возникающих в несущих деревянных колоннах здания от действия вертикальных и горизонтальных нагрузок в виде воздействия ветра на фасад здания. Это связано с отсутствием вертикальных диафрагм жесткости и наличием шарнирного узла крепления колонны. Как видно на графике,

равномерность увеличения изгибающих усилий сердечника жесткости от верхних этажей до основания здания объясняется прочностью конструкции железобетонного сердечника.

В дополнение к анализу основных усилий, возникающих в несущих элементах Концепции 1, были собраны значения сил поперечного сечения, возникающих в несущих элементах от действия вертикальных и горизонтальных нагрузок. Графическое представление общей картины поперечных усилий показано на рисунке 3(б) в виде диаграммы. Стоит отметить, что поперечные усилия деревянных стен преобладают в нижней части здания и постепенно уменьшаются с увеличением высоты здания. Это объясняется разновидностью планировочных решений на разных ярусах здания. На рисунках № 1 четко проглядываются три яруса, которые отличаются друг от друга площадью этажа и расположением несущих элементов на этаже. Ярусность здания проглядывается на графике в виде скачкообразного уменьшения значений усилий несущих элементов. Это связано с уменьшением несущих элементов на этаже и включением в работу несущих деревянных колонн. На диаграмме поперечных усилий на рисунке 3(б) видно резкое снижение значений поперечных усилий несущих стен и в

тоже время увеличение значений поперечных усилий деревянных колонн. Данные изменения поперечных усилий, возникающих в несущих элементах, иллюстрирует работу разного типа несущих элементов в разных частях здания.

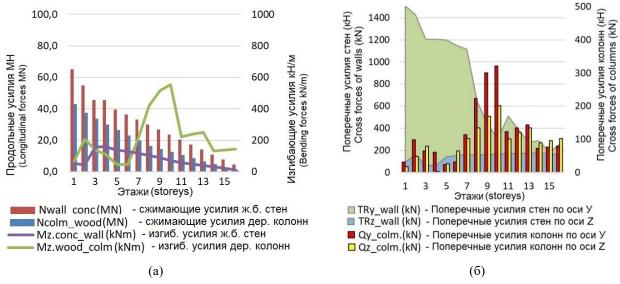


Рис. 3. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 1: а) продольные усилия элементов; б) диаграмма поперечных усилий несущих элементов

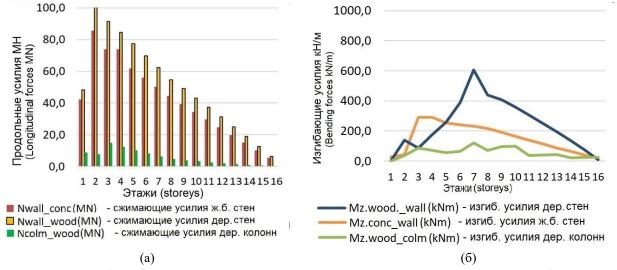


Рис. 4. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 2: а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

Результаты расчетов несущей конструкции Концепции 2 показали значительное увеличение вертикальной нагрузки на элементы на рисунке 4(а). Из-за массивности деревянных панелей СLТ несущая конструкция здания стала тяжелее по сравнению с первым вариантом. Как и в первом варианте, наблюдается равномерное распределение всех вертикальных нагрузок между конструктивными элементами здания от первого этажа до последнего.

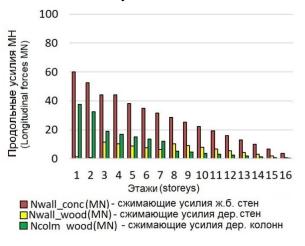
Из-за увеличения массы конструкции происходит увеличение изгибающих усилий в элементах конструкции. Аналогично, как и в первом ва-

рианте, монолитное ядро жесткости имеет равномерное распределение изгибающих усилий по всем этажам здания и в то же время, в меньшей степени, равномерность изгибающих усилий деревянных диафрагм, показанных на рисунке 4(б). Согласно графику изгибающих сил элементов Концепции 2, наблюдается скачок изгибающих сил диафрагм жесткости. Предположительно, это связано с особенностью планировки этажей здания, поскольку планировка этажей в здании имеет три разных варианта. На представленной расчетной схеме видно, что у здания есть три ва-

рианта изменения планировки. Скачок изгибающих сил происходит в точке перехода от одного варианта к другому.

Это происходит из-за воздействия ветровой нагрузки, из-за неравномерного распределения боковых сил. На рисунках 2 показано автоматическое моделирование силы ветра с помощью программного пакета Autodesk Robot.

На рисунке 5(а) показаны результаты испытаний несущей конструкции третьего показанного варианта. Наблюдается небольшое увеличение вертикальной нагрузки на железобетонный сердечник жесткости. Увеличение массы конструкции за счет добавления вторичных несущих элементов было перераспределено между наружными стенами и несущими колоннами.



(a)

Также стоит отметить, что по сравнению с результатами расчетов предыдущих вариантов часть вертикальной нагрузки переместилась с несущих колонн и стержня жесткости на наружные деревянные стены.

Согласно графику продольных сил элементов, показанному на рисунке 5(б), 23 % вертикальной нагрузки приходится на деревянные колонны, 62 % приходится на монолитный железобетонный сердечник жесткости и 15 % приходится на деревянные наружные стены из панелей ССТ. При расчете вертикальной нагрузки учитывался собственный вес конструкций. Это объясняет большой процент восприятия вертикальной нагрузки монолитным сердечником жесткости.

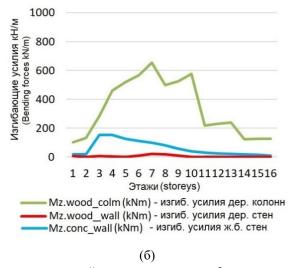


Рис. 5. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 3: а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

После расчета элементов Концепции 4 стоит отметить, что нет никаких изменений с точки зрения вертикальных нагрузок по сравнению с Концепцией 1. Распределение вертикальных нагрузок по этажам имеет аналогичную тенденцию к увеличению от верхних к нижним этажам Концепции 1. Это связано с незначительным весом дополнительных конструкций, которые вносят небольшой вклад в общий вес всей конструкции Концепции 4.

Согласно графику продольных сил элементов Концепции 4 на рисунке 6(а), 40 % вертикальной нагрузки приходится на деревянные колонны, а 60 % приходится на железобетонный сердечник. Решетчатая конструкция в данном случае является вспомогательным элементом несущей конструкции, выполняющим роль стабилизатора, распределяющего приложенные силы между элементами конструкции.

Расчет представленной конструкции был выполнен с использованием программного пакета Autodesk Robot Structural с учетом характеристик

используемых материалов и нормативных предельных значений в соответствии с нормативной документацией.

Полученные результаты поперечных сечений несущих элементов соответствуют современным противопожарным требованиям. Для надежной эксплуатации всей конструкции здания в условиях пожара несущие элементы из дерева должны иметь нормативные показатели огнестойкости. Таким образом, деревянные элементы имеют увеличенное поперечное сечение, учитывая количество обугливания древесины [5, 6].

Согласно диаграмме поперечных сил Концепции № 1, монолитный стержень жесткости вносит больший вклад в общее сопротивление горизонтальным ударам на рисунке 3(б). Но стоит отметить, что стержень жесткости плавно воспринимает поперечные силы от колонн с 8-го этажа. С 8-го по 16-й этажи деревянные колонны способствуют устойчивости несущей конструкции под действием горизонтальной силы ветра.

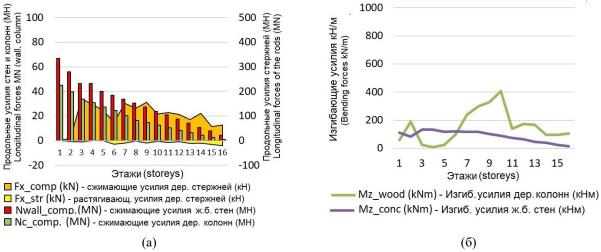


Рис. 6. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 4: а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

Благодаря добавлению диафрагм жесткости в конструкцию Концепции 2 изгибающие моменты между колоннами были равномерно распределены между собой относительно первого варианта.

Стоит отметить, что большую часть нагрузки воспринимают деревянные стены. Общее распределение всей вертикальной нагрузки между элементами на деревянных колоннах составляет 5 %, 40 % приходится на монолитный железобетонный сердечник и 55 % — на деревянные внутренние стены из панелей СLT.

Согласно графику изгибающих сил элементов несущей конструкции 3, из-за небольшого увеличения массы несущей конструкции наблюдается небольшое увеличение изгибающих сил элементов. По сравнению с вариантом 1 наблюдается равномерное увеличение изгибающих усилий несущих деревянных колонн на средних этажах здания.

Аналогичным образом контролируется равномерность распределения значений изгибающих усилий несущих элементов. Значения изгибающих усилий деревянных колонн и монолитного ядра жесткости уменьшились за счет добавления дополнительной жесткости за счет строительства наружных деревянных стен.

Учитывая Концепцию 4, удалось снизить значения изгибающих сил в элементах по сравнению с Концепцией 1 за счет добавления диагональных связей на фасаде здания. Но добиться значительного распределения изгибающих усилий элементов конструкции не удалось. Как и в концепции 1, на рисунке 6(б) наблюдается неравномерность изгибающих усилий на элементах на разных этажах.

Выводы. Согласно представленным диаграммам сил и напряжений несущих деревянных элементов, каждый рассматриваемый вариант несущей конструкции, где древесина выступает в

качестве основного материала, имеет несколько плюсов и минусов.

Например, концепция № 1 имеет равномерное распределение нагрузок между элементами, но в то же время наблюдается неравномерность изгибающих усилий в элементах конструкции. Концепция № 2 благодаря добавлению диафрагм вес строительной конструкции увеличился. Увеличение массивности конструкции увеличивает способность выдерживать боковые ветровые нагрузки, но при этом наблюдается увеличение изгибающих усилий в элементах конструкции. Концепция 3, обладающая равномерным распределением нагрузок, также имеет большой вес деревянных конструкций. Концепция 4 имея небольшой вес конструкции, как Концепция № 1, конструкция имеет хорошее распределение нагрузки между элементами и имеет хорошие показатели несущей способности конструкции.

Таким образом, основой для таких разработок является: поиск оптимальной конструкции несущей конструкции, которая будет сочетать в себе положительные стороны всех вышеперечисленных концепций.

Основываясь на результатах исследований различных конструктивных решений, где в качестве основного несущего материала используется древесина, можно сделать вывод, что использование деревянных элементов в качестве основных несущих конструкций является альтернативным вариантом для железобетонных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Voulpiotis K., Kohler J., Jockwer R., Frangi A. A holistic framework for designing for structural robustness in tall timber buildings. // Engineering Structures. 2021. №227. Pp. 111432.

- 2. Abrahamsen R. Mjøstårnet Construction of an 81 m tall timber building. // Materials 23-Internationales Holzbau-Forum IHF. Garmisch-Partenkirchen, Alemania. 2017. Pp. 3–12 DOI:10.3989/ic.71578.
- 3. Sanner J., Fernandez A., Foster R. River Beech Tower: A Tall Timber Experiment // CTBUH Journal. 2017. Pp. 40–46.
- 4. Malo1 K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnaes M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building «Treet» in Norway // European Journal of Wood and Wood Products. 2016. №74. Pp. 407–424. DOI:10.1007/s00107-016-1022-5
- 5. Tiso M., Just A., Mäger K.N. Behavior of Wooden Based Insulations at High Temperatures // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 729–737.
- 6. Pulakkaa S., Varesa S., Nykänena E., Saarib M., Häkkinena T. Lean production of cost optimal wooden nZEB // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 202–211.
- 7. Ruuska A., Häkkinen T. Material Efficiency of Building Construction // In: Buildings. 2016. №4. Pp. 266–294.
- 8. Häkkinen T., Kuittinen M., Ruuska A., Jung N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // J. Build. Eng. 2015. №4. Pp. 1–13. DOI:10.1016/j.jobe.2015.06.005.
- 9. Konovalov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden

- structures. // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. Bristol. 2019. №2. Vol. 698. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022062M.
- 10.Ramage M., Foster R., Smith S., Flanagan K., Bakker R. Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure // J. Archit. 2017. №22. Pp. 104–122 DOI:10.1080/13602365.2016.1276094.
- 11. SOM. Timber Tower Research Project // Ski Owings Merrill LLP. 2013. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.
- 12. Köhler J. Reliability of Timber Structures, in Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering // ETH Zurich: Zurich. 2006. Pp. 237. DOI:10.2788/052881.
- 13.Fryer B., Foster R., Ramage M. Size effect of large scale timber columns // Materials WCTE 2018 World Conf Timber Eng. 2018.
- 14. Jockwer R., Frohlich R., Wydler J., Voulpiotis K., Schabel J., Frangi A. Deformation behavior of highly loaded elements in tall timber buildings // Materials WCTE 2018 World Conf. Timber Eng. 2018.
- 15. Xiuyu L., Hao Z., Qingming Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures // Material 2012 International Symposium on Safety Science and Technology. Procedia Engineering. 2012. №45. Pp. 643–648. DOI:10.1016/J.PROENG.2012.08.216.

Информация об авторах

Коновалов Михаил Александрович, аспирант высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, к.10.

Поступила 10.03.2022 г. © Коновалов М.А., 2022

Konovalov M.A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com

THE USE OF WOODEN STRUCTURES AS AN ALTERNATIVE REPLACEMENT FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN A MULTI-STOREY BUILDING

Abstract. Wooden structures are a substitute for such concepts as environmental friendliness and naturalness, therefore reinforced concrete structures are currently the main building material for the construction of multi-story buildings in Russia. The idea of building wooden multi-storey buildings is becoming more and more relevant every year. The emergence of new technologies and materials make this area of construction promising. Possible variants of structural systems using wooden elements are considered, based on the existing experience of using wooden structures as load-bearing elements of structures. The existing office building in St. Petersburg is taken as a basis. It is built using reinforced concrete structures. Calculations show, the proposed variants of building models using wooden structures are not inferior in physical, mechanical, and load-bearing indicators to a similar building made of reinforced concrete structures, moreover they surpasses in some cases. The experimental part of the work is aimed at the complete replacement of reinforced concrete structures with wooden ones. The results could make the construction of such structures profitable, but at the

same time reducing the time for construction. Confirmation of this fact can be observed on successfully implemented multi-story buildings in European countries.

Keywords: multi-storey construction, wooden construction, wooden building structures, structural systems, wood, unique structure.

REFERENCES

- 1. Voulpiotis K., Kohler J., Jockwer R., Frangi A. A holistic framework for designing for structural robustness in tall timber buildings. Engineering Structures. 2021. No. 227. Pp. 111432.
- 2. Abrahamsen R. Mjøstårnet Construction of an 81 m tall timber building. Materials 23-Internationales Holzbau-Forum IHF. Garmisch-Partenkirchen, Alemania. 2017. Pp. 3–12 DOI:10.3989/ic.71578.
- 3. Sanner J., Fernandez A., Foster R. River Beech Tower: A Tall Timber Experiment. CTBUH Journal. 2017. Pp. 40–46.
- 4. Malo1 K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnaes M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building «Treet» in Norway. European Journal of Wood and Wood Products. 2016. No. 74. Pp. 407–424. DOI:10.1007/s00107-016-1022-5.
- 5. Tiso M., Just A., Mäger K.N. Behavior of Wooden Based Insulations at High Temperatures. Energy Procedia. 2016.Vol. 96. Pp. 729–737.
- 6. Pulakkaa S., Varesa S., Nykänena E., Saarib M., Häkkinena T. Lean production of cost optimal wooden nZEB. Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 202–211.
- 7. Ruuska A., Häkkinen T. Material Efficiency of Building Construction. In: Buildings. 2016. No. 4. Pp. 266–294.
- 8. Häkkinen T., Kuittinen M., Ruuska A., Jung N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings. J. Build. Eng. 2015. No. 4. Pp. 1–13. DOI:10.1016/j.jobe.2015.06.005.

- 9. Konovalov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden structures. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. Bristol. 2019. No. 2. Vol. 698. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022062M.
- 10.Ramage M., Foster R., Smith S., Flanagan K., Bakker R. Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure. J. Archit. 2017. No. 22. Pp. 104–122 DOI:10.1080/13602365.2016.1276094.
- 11.SOM. Timber Tower Research Project. Ski Owings Merrill LLP. 2013. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.
- 12.Köhler J. Reliability of Timber Structures, in Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. ETH Zurich: Zurich. 2006. Pp. 237. DOI:10.2788/052881.
- 13.Fryer B., Foster R., Ramage M. Size effect of large scale timber columns. Materials WCTE 2018 World Conf Timber Eng. 2018.
- 14. Jockwer R., Frohlich R., Wydler J., Voulpiotis K., Schabel J., Frangi A. Deformation behavior of highly loaded elements in tall timber buildings. Materials WCTE 2018 World Conf. Timber Eng. 2018.
- 15.Xiuyu L., Hao Z., Qingming Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures. Material 2012 International Symposium on Safety Science and Technology. Procedia Engineering. 2012. No. 45. Pp. 643–648. DOI:10.1016/J.PROENG.2012.08.216.

Information about the authors

Konovalov, Mikhail A. Postgraduate student. E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29, room 10.

Received 10.03.2022

Для цитирования:

Коновалов М.А. Использование деревянных конструкций в качестве альтернативной замены железобетонным конструкциям в многоэтажном здании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 17—24. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

For citation:

Konovalov M.A. The use of wooden structures as an alternative replacement for reinforced concrete structures in a multi-storey building. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 17–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-25-34

^{1,}*Радайкин О.В., ¹Сабитов Л.С., ²Клюев С.В., ³Ахтямова Л.Ш., ⁴Аракчеев Т.П., ¹Дарвиш А.

¹Казанский государственный энергетический университет
²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
³Донской государственный технический университет
⁴ООО «ГК «ЭПЦ-Гарант»
*E-mail: olegxxii@mail.ru

ТОЧНОСТЬ ЧИСЛЕННОГО ДИАГРАММНОГО МЕТОДА РАСЧЁТА СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В доступных для анализа источниках не поясняется почему в них принята именно такая точность (погрешность) численного диаграммного метода расчёта стержневых железобетонных элементов (расчётное и предельно допустимое значения погрешности), именно такой контрольный параметр для её оценки. Окончательно сложившегося подхода к оценке погрешности рассматриваемого метода пока не существует. То, что присутствует в литературе не имеет под собой строгой теоретической основы. Попытаться выправить эту ситуацию призвана данная статья. Для этого привлечены математическая теория численных методов, метрология и теория железобетона. Разработана классификация погрешностей, возникающих при определении истинного значения контрольного параметра, интегрально характеризующего напряжённо-деформированное состояние элемента (неустранимые погрешности (\approx 12, %) — погрешности дискретной нелинейной деформационной модели и неточностей в исходных данных, погрешности численного диаграммного метода (\approx 5 %), вычислительные погрешности (\approx 0 %)). В качестве такого параметра принята кривизна оси железобетонного стержня. Сделан вывод о том, что максимальное значение допустимой погрешности численного диаграммного метода, которое характеризует точность, не должно превышать 5% и может быть скорректировано в сторону уменьшения (повышения точности) за счёт уточнения погрешностей расчётной модели и экспериментальной базы.

Ключевые слова: армированный бетон, нелинейная деформационная модель, диаграммный метод, диаграммы деформирования, численный метод, погрешность.

Введение. Bcë более широкое распространение последние годы в области проектирования железобетонных конструкций приобретает численный диаграммный метод расчёта элементов (по стержневых называемой нелинейной деформационной Тому веские причины: он модели). есть позволяет учитывать физическую нелинейность материалов, производить расчёты по обеим группам предельных состояний по единым формулам, а также получать напряжённосостояние деформированное (НДС) рассматриваемых элементов на всех этапах нагружения: от нуля и до разрушения. Метод легко алгоритмизируется относительно автоматизируется на ЭВМ. При использовании любого численного метода, в том рассматриваемого, важными являются вопросы о точности (погрешности), устойчивости, сходимости, корректности метода и о начальном приближении. Данная статья посвящена исследованию точности (погрешности).

В техничке выделяют абсолютную погрешность

$$\Delta_X = |X' - X| \le [\Delta_X], \tag{1}$$

и относительную

$$\delta_X = \left| \frac{X' - X}{X'} \right| \cdot 100\% \le \left[\delta_X \right], \tag{2}$$

где X и X' — соответственно фактическое и опорное значение какого-либо параметра; Δ_X , δ_X — расчётные значения соответственно абсолютной и относительной погрешностей; $\left[\Delta_X\right]$, $\left[\delta_X\right]$ — предельно допустимые значения соответственно абсолютной и относительной погрешностей

В такой записи формулы (1) и (2), к сожалению, встречаются редко: в доступных литературных источниках разделение на расчётные и предельно допустимые величины погрешностей не производится, что, на наш взгляд, не вполне удобно. Исключение составляет, например, учебное пособие [1].

Отталкиваясь от классификации, обычно рассматриваемой в учебно-методической литературе по численным методам решения математических уравнений, типы погрешностей по их источникам и причинам для рассматриваемых в статье вопросов можно сформулировать следующим образом:

1. Неустранимые погрешности:

- 1.1. Погрешности, возникающие в ходе идеализации объекта исследований (стержневого элемента) путём построения его математической модели. На эти погрешности в определённой мере можно повлиять учётом факторов действительной работы железобетонного стержня в реальных условиях эксплуатации. Касаемо нелинейной деформационной модели диаграммного метода к таким факторам можно отнести: совместное рассмотрение сразу несколько сечений стержня, равномерно проведённых вдоль его длины; учёт деформаций сдвига в зонах совместного действия М и Q и т.д.
- 1.2. Неточности в исходных данных: при определении геометрии, нагрузок, физико-механических свойств материалов и т.д. Эти факторы обычно учитываются соответствующими коэффициентами надёжности, принятыми по нормам.
- 2. Погрешности метода расчёта. Практически все нелинейные задачи железобетона не решаются аналитически, поэтому для этого прибегают к численным методом например, к численному диаграммному методу. Отсюда возникает погрешность метода.
- 3. Вычислительные погрешности: 3.1. Погрешности, возникающие при выполнении арифметических действий над приближёнными числами. 3.2. При вычислении значений функций.

3.3. При округлении чисел при вводе данных, выполнении арифметических действий и при выводе данных. 3.4. Погрешности, вызванные ограниченностью разрядной сетки вычислительных устройств.

Оценке точности численного диаграммного метода в литературе за редким исключением практически не уделяется должного внимания [2–6]. Несмотря на это, на рынке компьютерного программного обеспечения инженерных расчётов представлен довольно широкий спектр программных комплексов, в которых реализован численный расчёт нелинейных задач железобетона, в том числе с применением нелинейной деформационной модели. Как в этих программах решены вопросы точности, сходимости, начального приближения и устойчивости, к сожалению, не поясняется.

Далее приведём несколько формул-оценок из различных источников, но для удобства понимания и сравнения перепишем их в единых обозначениях, а также преобразуем под формат формул (1) и (2). При этом смысл, который авторы вкладывали в свои формулы, не нарушится.

Одна из первых оценок приведена в работе [7] в виде относительного среднеквадратического отклонения приращения элементов вектора деформаций на двух смежных итерациях:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{3}} \left[\left(\frac{\varepsilon_{z,k} - \varepsilon_{z,k+1}}{\varepsilon_{z,k} + \varepsilon_{z,k+1}} \right)^2 + \left(\frac{\chi_{x,k} - \chi_{x,k+1}}{\chi_{x,k} + \chi_{x,k+1}} \right)^2 + \left(\frac{\chi_{y,k} - \chi_{y,k+1}}{\chi_{y,k} + \chi_{y,k+1}} \right)^2 \right] \leq \left[\delta \right], \tag{3}$$

где $\mathcal{E}_{z,k}, \mathcal{E}_{z,k+1}$ — относительные деформации стержня вдоль оси Оz соответственно на k-й текущей и (k-1)-й итерациях; $\chi_{x,k}, \chi_{x,k+1}, \chi_{y,k}, \chi_{y,k+1}$ — кривизны продольной оси стержня относительно осей Ох и Оу на соответствующих итерациях расчёта; δ — относительная погрешность метода; δ — её предельное допустимое значение.

Выражение (3) называется также условием остановки итерационной последовательности.

В рассматриваемой статье говорится, что при предельно допустимой относительной погрешности $[\delta]$ = 0,001, «как показали многочисленные расчёты, достигается хорошая стабилизация напряжённо-деформированного состояния в нормальном сечении за 10...30 итераций».

Эту же оценку погрешности можно найти, например, в работе [8]. В монографии [9] формулу (3) несколько откорректировали, но не принципиально.

К сожалению, эта формула не имеет теоретического обоснования так, в справочной литературе чего-то похожего не обнаружено, а термин

«относительное среднеквадратическое отклонение приращения» не обладает математической строгостью. То есть оценки типа (3) приняты её авторами по произволу, по каким-то своим, не понятным читателю, соображениям.

Наиболее подходящая для наших исследований оценка точности приведена в монографии [10]:

$$\delta = \left| \frac{\varepsilon_{b,k} - \varepsilon_{b,k-1}}{\varepsilon_{b,k}} \right| < [\delta],$$

$$\delta = \left| \frac{\chi_{k-1} - \chi_{k}}{\chi_{k}} \right| < [\delta], [\delta] = 0,03.$$
(4)

Предельно допустимая погрешность по этой формуле в три раза ниже, чем по (6), и в 30 раз ниже, чем по (3) – вновь без обоснований почему.

Иной подход предложен в работе [11]. Согласно ему, относительная погрешность равна:

$$\delta = \frac{\left|\sum_{i} E_{i} A_{i} \Delta y_{i}^{2}\right|}{\sum_{i} \left|E_{i} A_{i} \Delta y_{i}^{2}\right|} \leq \left[\delta\right] = 4\varepsilon_{M} , \qquad (5)$$

где E_i — модель деформаций і-ой малой полоски сечения; A_i — её площадь; Δy_i — расстояние от центра полоски до центра тяжести всего сечения; $\varepsilon_M = 1,0842 \cdot 10^{-19}\,$ для арифметики с плавающей точкой, реализованной в процессорах i486 и старше.

Выражение (5) к точности численного диаграммного метода отношения в общем-то не имеет. По сути, оно определяет погрешность, вызванную ограниченностью разрядной сетки вычислительных устройств.

В своих работах [12–14] при рассмотрении изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных стержневых элементов в качестве параметра, по которому даём оценку точности диаграммного метода, мы используем кривизну изогнутой оси стержня $\chi = \sqrt{\chi_x^2 + \chi_y^2}$. Будем дальнейшие рассуждения вести относительного него.

Методика. Пусть χ — истинное значение (теоретически установленное опорное значение) отыскиваемого параметра, $\tilde{\chi}$ — его значение, соответствующего принятой расчётной модели (точнее: дискретной нелинейной деформационной модели), $\tilde{\chi}$ — значение, получаемое численным диаграммным методом в предположении отсутствия округлений, $\tilde{\chi}$ — приближение к решению, получаемое при реальных вычислениях. Тогда

погрешность,
$$\Delta_2 = \tilde{\lambda}_{...} - \text{погрешность метода,} \qquad (6)$$

$$\Delta_3 = \tilde{\lambda}_{...} - \text{вычислительная}$$
 погрешность.

 $\Delta_1 = \tilde{\lambda}_1 -$ неустранимая

Полная погрешность $\Delta_0 = \tilde{\lambda}_0$, равная разности между реально получаемым и точным решениям задачи:

$$\Delta_0 = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \le \lceil \Delta \rceil,$$

при этом

$$[\Delta_1] + [\Delta_2] + [\Delta_3] = [\Delta], \ \Delta_1 \le [\Delta_1],$$

$$\Delta_2 \le [\Delta_2], \ \Delta_3 \le [\Delta_3].$$

$$(7)$$

Аналогичные формулы можно построить для относительной погрешности:

$$\delta_{0} = \delta_{1} + \delta_{2} + \delta_{3} \leq [\delta], \text{ при этом}$$

$$[\delta_{1}] + [\delta_{2}] + [\delta_{3}] = [\delta], \ \delta_{1} \leq [\delta_{1}],$$

$$\delta_{2} \leq [\delta_{2}], \ \delta_{3} \leq [\delta_{3}].$$

$$(8)$$

Истинное значение отыскиваемого параметра — это теоретическая идеализация опорного значения, установить которую зачастую в силу неразвитости теории не представляется возможным. Поэтому на

практике в качестве опорного значения можно использовать принятое значение искомой величины в виде результата хорошо поставленного эксперимента, имеющего, однако, свои погрешности и неопределённости измерений.

Результаты. Погрешность первого типа раскладывается на две составляющие:

$$\Delta_1 = \Delta_{11} + \Delta_{12}, \ \delta_1 = \delta_{11} + \delta_{12},$$
 (9)

где Δ_{11} , δ_{11} — погрешность математической модели; Δ_{12} , δ_{12} — погрешность из-за неточности в исходных данных.

На Δ_{11} , δ_{11} влияют сразу несколько точность аппроксимации экспериментальных диаграмм бетона и стали, некоторое нарушение гипотезы плоских сечений за границами упругости, не учёт напряжений и деформаций в поперечном направлении и т.д. Оценить влияние этих факторов весьма проблематично. Достаточно одного примера, чтобы это понять. Так, известен такой факт, что при нагрузках, близких моменту трещинообразования, вид аппроксимации диаграммы деформирования бетона весьма существенно влияет на значения параметров НДС изгибаемого железобетонного элемента (по нашим оценкам до 40 % при одних и тех же значениях R_{bt} , ε_{bt2} и E_b [7]). А при нагрузках перед разрушением это влияние снижается практически до нуля. То есть имеет место сложная, нелинейная закономерность.

Погрешность Δ_{12} определяется ГОСТами на соответствующих параметров измерение исходных данных. Например, согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности контрольным образцам» погрешность измерения линейных размеров не погрешность превышать 1 %, (собственного определения массы образцов – не более 0,1 %. По ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы Правила испытаний нагружением. оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» нагружение выполняется с погрешностью не более 5 % от величины контрольной нагрузки. В среднем относительная погрешность получается $\delta_{12} = [\delta_{12}] \approx 1 + 0.1 + 5 = 6.1\%$ При этом использовать математическую погрешность которой больше погрешности в исходных данных, теряет всякий смысл. Поэтому мы в праве потребовать от неё, выполнялось условие $\delta_{11} \leq \delta_{12}$ тогда $\delta_{11} = [\delta_{11}] \leq [\delta_{12}] \approx 6.1\%$ Таким образом, относительная погрешность первого типа приближённо равна $\delta_1 = [\delta_1] = [\delta_{11}] + [\delta_{12}] \approx 12,2\%$. При этом следует отметить, что значения погрешности одной и той же величины, принимаемой в расчётах по первой либо второй группе предельных состояний, должны отличаться. Очевидно, что для второй группы предельно допустимая погрешность должна быть больше, чем по первой. Изучению этого вопроса будет посвящена отдельная публикация.

Погрешность Δ_3 , δ_3 можно принять по [5]: $\Delta_3 = 1,0842 \cdot 10^{-19}$, $\delta_3 = 1,0842 \cdot 10^{-19}$. При этом в сравнении с первым типом эта погрешность $\Delta_3 \approx 0$ ($\delta_3 \approx 0$) и ей можно поэтому пренебречь.

Более подробно займёмся точностью численного диаграммного метода, то есть оценкой для Δ_2 , δ_2 . Эта погрешность имеет два источника:

$$\Delta_2 = \Delta_{21} + \Delta_{22}, \ \delta_2 = \delta_{21} + \delta_{22},$$
(10)

где Δ_{21} , δ_{21} — погрешность, которая возникает при вычислении параметров НДС сечения, зависящих от численного интегрирования эпюры растягивающих и/или сжимающих напряжений в бетоне (либо функции секущего модуля деформаций); Δ_{22} , δ_{22} — погрешность итерационного вычисления управляющего параметра алгоритма численного диаграммного метода — в нашем случае погрешность итерационного вычисления кривизны $\tilde{\zeta}_{11}$.

 Δ_{21} , δ_{21} возникает Погрешность вычислении жёсткости бетонного сечения, предельных значений продольной силы или изгибающего момента, кривизны на данной стержневое др. При ЭТОМ армирование, что в аналитической постановке диаграммного метода, ЧТО учитывается одинаково - дискретно, поэтому влияние на погрешность метода не оказывает. Тогда на примере изгибаемого элемента для бетонной части его прямоугольного сечения можно записать следующие формулы жёсткости и момента, воспринимаемого этим сечением:

$$D_{bx} = b \int_{0}^{h} E_{b}^{\text{sec}} (y_{0} - y)^{2} dy,$$

$$M_{bx} = b \int_{0}^{h} \sigma_{b} (y_{0} - y) dy -$$
(11)

аналитически,

$$D'_{bx} = \Delta_h b \sum_{i} E_b^{\text{sec}} (y_0 - y)^2 ,$$

$$M_{\mathit{bx}}' = \Delta_{\mathit{h}} b \sum_{\mathit{i}} \sigma_{\mathit{b}} \left(y_{\mathit{0}} - y \right)$$
 — численно,

где D_{bx} , D'_{bx} – жёсткость бетонной части полученная соответственно сечения. аналитическим и численным интегрированием (промежуточный результат расчёта); M_{hx} , M'_{hx} – момент, воспринимаемый бетоном (один из конечных результатов расчёта); b, h — ширина и высота бетонного прямоугольного сечения; $E_b^{\text{sec}} = E_b^{\text{sec}}(y)$, $E_{b.i}^{\text{sec}}$ – секущий модуль деформаций бетона в конкретной фибре сечения; $\sigma_b = \sigma_b(y)$, $\sigma_{b,i}$ – напряжения в данной фибре у – координата бетона; этой относительно выбранного центра координат; y_0 — расстояние от начала координат до центра тяжести приведённого сечения; Δ_h – высота полосок, на которые разбивается сечения для выполнения процедуры численного интегрирования.

При этом абсолютная и относительная погрешности численного интегрирования будет равны $\Delta_{21}^D = \left| D_{bx} - D_{bx}' \right|$, $\Delta_{21}^M = \left| M_{bx} - M_{bx} \right|$,

$$\delta_{21}^{D} = \left| \frac{D_{bx} - D_{bx}'}{D_{bx}'} \right|, \ \delta_{21}^{M} = \left| \frac{M_{bx} - M_{bx}'}{M_{bx}'} \right|.$$

Функции $E_b^{\rm sec} = E_b^{\rm sec} \left(y \right)$ и $\sigma_b = \sigma_b \left(y \right)$ могут быть аппроксимированы полиномом нулевой, первой и четвёртой степени и соответственно для вычисления (11) используют формулы численного интегрирования прямоугольников (левых, правых и срединных), трапеций и Симпсона. На примере левых прямоугольников:

$$D'_{bx} = \Delta_h b \sum_{i=0}^{n-1} E_{b,i}^{\text{sec}} (y_0 - y_i)^2 ,$$

$$M'_{bx} = \Delta_h b \sum_{i=0}^{n-1} \sigma_{b,i} (y_0 - y_i) .$$
(12)

Погрешность с учётом [7] равна:

$$\Delta_{21}^{D} = \max_{y \in [0,h]} \left| \frac{\partial}{\partial y} \left[E_{b}^{\text{sec}} (y) \times (y_{0} - y)^{2} \right] \right| \frac{n \Delta_{h}^{2}}{2},$$

$$\Delta_{21}^{M} = \max_{y \in [0,h]} \left| \frac{\partial}{\partial y} \left[\sigma_{b} (y) \times (y_{0} - y) \right] \right| \frac{n \Delta_{h}^{2}}{2}.$$
(13)

Для Δ_{21}^{M} производная

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\sigma_b \left(y \right) \times \left(y_0 - y \right) \right] = \frac{\partial}{\partial y} \left[E_b^{\text{sec}} \left(y \right) \times \varepsilon_b \left(y \right) \times \left(y_0 - y \right) \right] = \frac{\partial}{\partial y} \left[E_b^{\text{sec}} \left(y \right) \times \varepsilon_b^{\text{max}} \frac{\left(y_0 - y \right)}{\left(y_0 - h \right)} \times \left(y_0 - y \right) \right] = \frac{\partial}{\partial y} \left[E_b^{\text{sec}} \left(y \right) \times \left(y_0 - y \right)^2 \times \frac{\varepsilon_b^{\text{max}}}{\left(y_0 - h \right)} \right] = \frac{\partial}{\partial y} \left[E_b^{\text{sec}} \left(y \right) \times \left(y_0 - y \right)^2 \right] \times \frac{\varepsilon_b^{\text{max}}}{\left(y_0 - h \right)}.$$

Тогда $\Delta_{21}^M = \Delta_{21}^D imes \frac{\mathcal{E}_b^{\max}}{\left(y_0 - h\right)}$. Для кривизны $\chi_{bx} = \frac{M_{bx}'}{D_{bx}'}$, заметим, что абсолютная погрешность равна $\Delta_{21}^\chi = \frac{\Delta_{21}^M}{\Delta_{21}^D} = \frac{\mathcal{E}_b^{\max}}{\left(y_0 - h\right)}$. Дальнейшие рассуждения будем вести на

примере погрешности Δ_{21}^M , так как погрешности всех прочих величин можно выразить через эту. Поэтому запишем $\Delta_{21} = \Delta_{21}^M$. Максимум производная функции $f(y) = \sigma_b(y) \times (y_0 - y)$ достигает в точке с

координатами y=h, $\varepsilon_h = \varepsilon_h^{\text{max}}$:

$$\begin{split} \frac{\partial}{\partial y} \Big[f(y) \Big] &= \frac{\partial}{\partial y} \Big[\sigma_b \left(y \right) \times \left(y_0 - y \right) \Big] = \frac{\partial}{\partial y} \Big[\sigma_b \left(y \right) \Big] \times \left(y_0 - y \right)^2 + \\ &+ \sigma_b \left(y \right) \times 2y = \frac{\partial}{\partial \varepsilon_b} \Big[\sigma_b \left(\varepsilon_b \right) \Big] \times \frac{\varepsilon_b^{\text{max}}}{\left(y_0 - h \right)} \times \left(y_0 - y \right)^2 + \sigma_b \left(y \right) \times 2y \,, \\ \frac{\partial}{\partial y} \Big[f(h) \Big] &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon_b} \Big[\sigma_b \left(\varepsilon_b^{\text{max}} \right) \Big] \times \frac{\varepsilon_b^{\text{max}}}{\left(y_0 - h \right)} \times \left(y_0 - h \right)^2 + \sigma_b \left(h \right) \times 2h = E_b^{\text{sec}} \left(\varepsilon_b^{\text{max}} \right) \times \varepsilon_b^{\text{max}} \times \left(y_0 - h \right) + \\ &+ \sigma_b \left(h \right) \times 2h = \sigma_b \left(h \right) \times \left(y_0 - h \right) + \sigma_b \left(h \right) \times 2h = \sigma_b \left(h \right) \times \left(y_0 + h \right) = \sigma_{b,n} \times \left(y_0 + h \right) \,. \end{split}$$

Таким образом, погрешность равна:

$$\Delta_{21} = \left| \sigma_{b,n} \times (y_0 + h) \times \frac{n\Delta_h^2}{2} \right|,$$

$$\delta_{21} = \frac{\Delta_{21}}{M'_{bx}} = \frac{\Delta_{21}}{\Delta_h b \sum_{i} \sigma_{b,i} (y_0 - y_i)}.$$
(14)

Видно, что значение первой составляющей погрешности численного диаграммного метода и соответственно погрешности метода в целом зависит от параметров, которые можно разделить на две группы:

1 — параметры, которые задаются до начала расчёта: габариты сечения — b, h, количество разбиений сечения на элементарные площадки (полоски) — n;

2 — параметры, которые заранее неизвестны и определяются только в конце расчёта (итерации): напряжения в крайней фибре бетона — $\sigma_{b,n}$, результирующее усилие, воспринимаемого бетонным сечением — M_{bx}' , положение нейтральной оси — y_0 .

Присутствие в формулах (17) параметров 2-й группы не даёт возможности заранее предугадать значение погрешности Δ_{21} (δ_{21}) и распространить её зависимость от количества разбиений — $\Delta_{21} = f(n)$, $\delta_{21} = \varphi(n)$ — на все расчётные случаи железобетонного сечения, то есть для каждого случая будет своя функция, зависящая сразу от нескольких аргументов: $\Delta_{21} = F(n,b,h,A_s,A_s',M,R_b,R_s,y_0,...)$, $\delta_{21} = \Phi(n,b,h,A_s,A_s',M,R_b,R_s,y_0,...)$. Получение этих зависимостей может представлять определённый научный интерес, но для практики

их ценность, если и не равна нулю, то, по крайней мере, неоднозначна.

Теперь дадим оценку для погрешностей Δ_{22} , δ_{22} итерационного вычисления кривизны $\tilde{\lambda}_{n}$. Далее для краткости индекс и верхнюю тильду опустим и будем писать χ .

В самом общем виде для стержневых элементов, в которых помимо прочих деформаций происходит изгиб, постановка задачи для решения её диаграммным методом состоит в том, чтобы решить уравнение вида:

$$\chi = g(\chi),\tag{15}$$

с корнем t в интервале [a;b]. При этом в качестве границ интервала, как показывает опыт расчётов, можно принять a=-0,1, b=0,1 практически для любых железобетонных элементов. Функция g предполагается непрерывной на этом интервале. Попутно отметим, что при центральном растяжении либо сжатии χ =0. Поэтому в качестве управляющего параметра алгоритма нужно принять другую величину. Под эту роль лучше всего подходит осевая жёсткость сечения B_1 = $v_bE_bA_b$ + $v_sE_sA_s$.

Решим уравнение (15) численным методом простой итерации. Так, если известен какой-либо член последовательности χ_k , например, $\chi_0 \in [a;b]$, то χ_k +1 можно взять $g(\chi_k)$. Здесь k=0,1,2...n соответственно номер текущей итерации и общее количество итераций. Тогда рекуррентная формула метода имеет вид:

$$\chi_{k+1} = g(\chi_k). \tag{16}$$

Если существует конечный предел $\lim_{k\to\infty}\chi_k=z$ и функция g непрерывна в точке z,

переходом к пределу в равенстве (16) получим $z=g\left(z\right)$, то есть число z является корнем уравнения (15). Если $z\in\left[a;b\right]$, то в силу единственности корня на отрезке $\left[a;b\right]$ z совпадает с t.

Вычисления по формуле (16) проиллюстрированы на рис. 1.

Построим графики функций из левой и правой частей уравнения (15), то есть линии y=yи $y=g(\chi)$. Они должны пересекаться в точке с абсциссой t. Взяв некоторое число γ_0 , вычислим $g(\chi_0)$ и получим на кривой $y=g(\chi)$ точку A_0 . Линия проекции этой точки на ось Оу пересечёт прямую y= χ в точке B_1 . Проекция B_1 на ось $O\chi$ даёт χ_1 . Из равенства треугольников $\Delta OB_1 \gamma_1$ и $\Delta OB_1 g(\gamma_0)$ геометрически $\chi_1 = g(\chi_0)$. Проекция χ_1 на кривую $y=g(\gamma)$ даёт точку A_1 . Линия проекции этой точки на ось Oy пересечёт прямую $y=\chi$ в точке B_2 . Проекция B_2 на ось Ох даёт χ_2 . Из равенства треугольников $\Delta OB_2\chi_2$ И $\Delta OB_2 g(\chi_1)$ геометрически $\chi_2 = g(\chi_1)$. И т.д. Через какое-то

количество итераций п величина $\chi_i = \chi_n$ настолько близко подойдёт к t, что её можно буде считать ответом. Это количество шагов будет определять точность приближения $\Delta_2 > 0$.

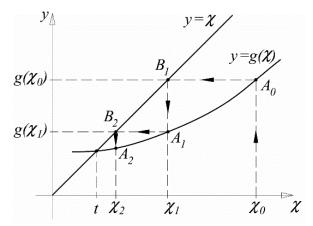


Рис. 1. К численному методу простой итерации для отыскания кривизны

Таким образом, полная погрешность диаграммного метода равна:

$$\Delta_{2} = \Delta_{21} + \Delta_{22} = \left| \sigma_{b,n} \times (y_{0} + h) \times \frac{n\Delta_{h}^{2}}{2} \right| + \left| \chi_{k} - \chi_{k-1} \right| \leq \left[\Delta_{2} \right],$$

$$\delta_{2} = \delta_{21} + \delta_{22} = \frac{\left| \sigma_{b,n} \times (y_{0} + h) \times \frac{n\Delta_{h}^{2}}{2} \right|}{\Delta_{h} b \sum_{i} \sigma_{b,i} \left(y_{0} - y_{i} \right)} + \left| \frac{\chi_{k-1} - \chi_{k}}{\chi_{k}} \right| \leq \left[\delta_{2} \right].$$

$$(17)$$

Особый практический интерес в данной работе представляет определение предельно допустимых значений погрешностей $[\Delta_2]$, $[\delta_2]$. В теории железобетона он в принципе не рассматривается, а в метрологии, как показывает анализ литературы [15], он остаётся всё ещё до конца не решённым. Утверждается, что «в рамках метрологии обосновать выбор значения допустимой погрешности невозможно» Тем не менее изложим свои соображения на этот счёт.

Сразу проясним, что погрешность расчёта физических величин, которые используются в алгоритме диаграммного метода характеризуют НДС железобетонной конструкции, не должна превышать предельно погрешности допустимой измерения физических величин c помощью соответствующих приборов и оборудования.

При этом непосредственно кривизну, жёсткость, момент и т.п. параметры не измеряют. Это всё расчётные величины. В экспериментах с железобетонными конструкциями при действии на них статической нагрузки измерению подлежат по сути только лишь три типа параметров:

1 — нагрузки (иногда ещё и реакция опор) — с помощью механических или электрических приборов: манометрами, динамометрами, датчиками давления и т.п.;

2 – геометрия – с помощью рулеток, линеек, штангенциркулей и т.п.;

3 — изменения геометрии по мере нагружения, то есть перемещения и деформации — с помощью прогибомеров, тензометров и т.п.

Очевидно, что для определения $[\Delta_2]$, $[\delta_2]$ воспользоваться допусками онжом соответствующих ГОСТов - по аналогии с погрешностями исходных данных. Так, ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные железобетонные бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости (с Поправкой)» предельно допустимая относительная погрешность при определении нагрузки составляет 2 %. При этом ГОСТ 10180-2012 регламентирует погрешность при определении нагрузки от собственного веса ограничивать 0,1 %. Принимаем наибольшее значение $\left[\delta_2^N\right]=2$ %. Согласно тому же ГОСТу 10180-2012 предельно допустимая относительная погрешность измерения линейных размеров равна $\left[\delta_2^L\right]=1$ %. По упомянутому выше ГОСТу 8829-2018 предельно допустимая относительная погрешность измерения деформаций и перемещений равна $\left[\delta_2^\varepsilon\right]=3$ %.

Запишем зависимость кривизны χ от параметров каждого из трёх типов. Так, известно такое выражение:

$$\chi = \frac{\varepsilon_{b,n} + \varepsilon_s}{h_0} \,, \tag{18}$$

где величина относительных деформаций в бетоне и арматуре зависит от уровня нагрузки: $\varepsilon_{b,n} = f_1(N)$, $\varepsilon_s = f_2(N)$.

С другой стороны, известно также такое выражение:

$$\chi = \frac{M_x}{D_x} \,. \tag{19}$$

Тогда $\frac{\mathcal{E}_{b,n}+\mathcal{E}_{s}}{h_{0}}=\frac{M_{x}}{D_{x}}$, откуда следует

$$\mathcal{E}_{b,n} + \mathcal{E}_s = \frac{M_x}{D_x} h_0$$
 или $f_1(N)$, $f_2(N) \sim \frac{M_x}{D_x} h_0$.

Тогда по правилу сложения погрешностей будем иметь:

$$[\delta_2] = \min(2\lceil \delta_2^{\varepsilon} \rceil + \lceil \delta_2^{L} \rceil; \lceil \delta_2^{N} \rceil + 3\lceil \delta_2^{L} \rceil). \quad (20)$$

Подставляя численные значения погрешностей в формулу (34), получим:

$$[\delta_2] = \min(2 \cdot 0.03 + 0.01; 0.02 + 3 \cdot 0.01) \cdot 100\% = \min(7\%; 5\%) = 5\%$$

Таким образом: $[\delta_2] = 5\%$.

Предельно допустимое значение полной погрешности $[\Delta_0]$, $[\delta_0]$ должно быть ниже погрешность эксперимента $\left[\Delta_{\text{exp}}\right]$, $\left[\delta_{\text{exp}}\right]$, определяется изменчивостью которая уже результатов (соответственно получаемых среднеквадратическим отклонением от среднего и коэффициентом вариации). Из своего опыта и из доступной литературы $\left[\delta_{\rm exp}\right] \approx 10....20\,\%$. $\delta_2 \approx 0$ Тогда учётом можно приближённую оценку предельной погрешности математической модели

$$[\delta_{11}] \approx [\delta_{exp}] - [\delta_{12}] - [\delta_2] = 15 - 6, 1 - 5 = 3,9 \%.$$
 (21)

Согласно этой формуле к адекватности в целом и погрешности в частности расчётной модели предъявляются достаточно жёсткие требования, которые можно тем не менее ослабить за счёт повышения точности численного метода. Так, если принять $\left[\delta_2\right]=1\%$, тогда $\left[\delta_{11}\right]=7,9\%$.

Выводы. Таким образом, точность численного диаграммного метода не может быть принята произвольно. Максимальное значение допустимой погрешности $\left[\delta_2\right]$, которое характеризует точность, не должно превышать 5% и может быть скорректировано в сторону уменьшения (повышения точности) за счёт уточнения погрешностей расчётной модели и эксперимента.

Заключение. Дальнейшим развитием данных исследований послужит исследование

сходимости численного диаграммного метода расчёта железобетонных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Гвоздев В.Д. Прикладная метрология: точность измерений. М.: МИИТ. 2011, 72 с.
- 2. Schäfer M. Computational Engineering Introduction to Numerical Methods. Berlin-Heidelberg-New York: Springer. 2020, 325 p.
- 3. Boldo S., Faissole F., Chapoutot A. Round-off Error Analysis of Explicit One-Step Numerical Integration Methods // 24th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, Jul 2017, London, United Kingdom [Electronic resource]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01581794 (дата обращения 16.02.2022)
- 4. Wael M. Hassan Numerical error assessment in nonlinear dynamic analysis of structures // HBRC Journal. 2019. Vol. 15, No 1. Pp. 1–31.
- 5. Corriou J.-P. Numerical Methods of Optimization. Cham: Springer. 2019, 311 p.
- 6. Jadran Čarija, Mijo Nikolić, Željana Nikolić. Overview of the numerical methods for the modelling of reinforced concrete structures // Zajednički temelji. 2021. Pp. 15–21.
- 7. Байков В.Н., Додонов М.И., Расторгуев Б.С., Фролов А.К., Мухамедиев Т.А. Общий случай расчета прочности элементов по нормальным сечениям // Бетон и железобетон. 1987. № 5. С. 1618.
- 8. Евдокимова Т.С. Напряженнодеформированное состояние и расчет прочности кососжимаемых фиброжелезобетонных

элементов: дисс. канд. техн. наук. СПб, 2017. 150 с.

- 9. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчёт железобетонных конструкций из тяжёлого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. Монография. М.: Изд-во АСВ. 2011, 352 с.
- 10. Дыховичный А.А. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Киев: Будівельник. 1978, 108 с.
- 11. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Лешкевич O.H. Особенности расчета статически неопределимых железобетонных конструкций с физической учетом геометрической И нелинейности методом конечных элементов // Вестник полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. 2004. № 1. C. 66-73.
- 12. Соколов Б.С., Радайкин О.В. К построению единой методики расчёта прочности, жёсткости и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов с учётом совместного действия изгибающих моментов и

- перерезывающих сил с применением нелинейной деформационной модели // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2014 г.: сб. науч. тр. РААСН. Курск: Изд-во Деловая полиграфия. 2015. С. 589-596.
- 13. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Проектирование бетонных, железобетонных, каменных и армокаменных элементов и конструкций с применением диаграммных методов расчёта: монография. М.: Изд-во АСВ. 2019, 194 с.
- 14. Радайкин О.В. Прочность железобетонных элементов прямоугольного профиля при косом внецентренном сжатии с применением нелинейной деформационной модели // Строительство и реконструкций. 2020. № 1. С. 31–39.
- 15. Гвоздев В.Д. Допустимая погрешность измерений: выбор значения // Законодательная и прикладная метрология. 2013. №1. С. 44–48.

Информация об авторах

Радайкин Олег Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечение предприятий, строительства зданий и сооружений. E-mail: olegxxii@mail.ru. Казанский государственный энергетический университет. Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Сабитов Линар Салихзанович, кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечение предприятий, строительства зданий и сооружений. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru. Казанский государственный энергетический университет. Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Клюев Сергей Васильевич, кандидат технических наук, начальник УНИР. E-mail: Klyuyev@yandex.ru. ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ахтямова Лейсан Шамильевна, аспирант кафедры сопротивления материалов. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Аракчеев Тимур Павлович, заместитель руководителя. E-mail: epc420107@mail.ru. OOO «ГК «ЭПЦ-Гарант». Россия, 420107, Республика Татарстан, г. Казань, Петербургская ул., д. 55, литера 3 офис 14.

Дарвиш Анас, аспирант кафедры энергообеспечение предприятий, строительства зданий и сооружений. E-mail: olegxxii@mail.ru. Казанский государственный энергетический университет, Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Поступила 17.02.2022 г.

© Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Клюев С.В., Ахтямова Л.Ш., Аракчеев Т.П., Дарвиш А., 2022

¹,*Radaykin O.V., ¹Sabitov L.S., ²Klyuev S.V., ³Ahtjamova L.Sh., ⁴Arakcheev T.P., ¹Darvish A.

¹Kazan State Power Engineering University

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

³Don State Technical University

⁴LLC «GC «EPC-Garant»

*E-mail: olegxxii@mail.ru

ACCURACY OF THE NUMERICAL DIAGRAM METHOD FOR CALCULATING BAR REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Abstract. The sources available for analysis do not explain why they adopted exactly such an accuracy (error) of the numerical diagram method for calculating core reinforced concrete elements (calculated and maximum permissible error values), such a control parameter for its evaluation. There is no definitive approach to estimating the error of the method under consideration yet. The available literature does not have a strict theoretical basis. The article is intended to try to correct this situation. For this purpose, the mathematical theory of numerical methods, metrology and the theory of reinforced concrete are involved. The classification of errors arising in determining the true value of the control parameter that integrally characterizes the stress-strain state of the element has been developed (unavoidable errors (≈ 12 , %) – errors of the discrete nonlinear deformation model and inaccuracies in the initial data, errors of the numerical diagram method (≈ 5 %), computational errors (≈ 0 %)). The curvature of the axis of the reinforced concrete rod is taken as such a parameter. It is concluded that the maximum value of the permissible error of the numerical diagram method, which characterizes the accuracy, should not exceed 5% and can be adjusted to decrease (increase accuracy) by clarifying the errors of the computational model and experimental base.

Keywords: reinforced concrete, nonlinear deformation model, diagram method, deformation diagrams, numerical method, error.

REFERENCES

- 1. Gvozdev V.D. Applied metrology: measurement accuracy [Prikladnaya metrologiya: tochnost' izmerenij]. Moscow: MIIT, 2011. 72 p. (rus)
- 2. Schäfer M. Computational Engineering Introduction to Numerical Methods. Berlin-Heidelberg-New York: Springer. 2020, 325 p.
- 3. Boldo S., Faissole F., Chapoutot A. Round-off Error Analysis of Explicit One-Step Numerical Integration Methods. 24th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, Jul 2017, London, United Kingdom [Electronic resource]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01581794 (date of application)
- 4. Wael M. Hassan Numerical error assessment in nonlinear dynamic analysis of structures. HBRC Journal. 2019. Vol. 15. No 1. Pp. 1–31.
- 5. Corriou J.-P. Numerical Methods of Optimization. Cham: Springer. 2019, 311 p.
- 6. Jadran Čarija, Mijo Nikolić, Željana Nikolić. Overview of the numerical methods for the modelling of reinforced concrete structures. Zajednički temelji. 2021. Pp. 15-21.
- 7. Baykov V.N., Dodonov M.I., Rastorguev B.S., Frolov A.K., Mukhamediev T.A. General case of calculating the strength of elements by normal sections [Obshchij sluchaj rascheta prochnosti

- elementov po normal'nym secheniyam]. Concrete and reinforced concrete. 1987. No. 5. Pp. 16–18.
- 8. Evdokimova T.S. Stress-strain state and strength calculation of obliquely compressible fibroreinforced concrete elements: diss. candidate of technical sciences [Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i raschet prochnosti kososzhimaemyh fibrozhelezobetonnyh elementov: diss. kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, 2017. 150 p. (rus)
- 9. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Calculation of reinforced concrete structures made of heavy concrete by strength, crack resistance and deformations. Monograph [Raschyot zhelezobetonnyh konstrukcij iz tyazhyologo betona po prochnosti, treshchinostojkosti i deformaciyam. Monografiya]. M.: Publishing House of the ASV, 2011 352 p. (rus)
- 10. Dykhovichny A.A. Statically indeterminate reinforced concrete structures [Staticheski neopredelimye zhelezobetonnye konstrukcii]. Kiev: Budivelnik, 1978. 108 p. (rus)
- 11. Lazovsky D.N., Glukhov D.O., Leshkevich O.N. Features of calculation of statically indeterminate reinforced concrete structures taking into account geometric and physical nonlinearity by the finite element method [Osobennosti rascheta staticheski neopredelimyh zhelezobetonnyh konstrukcij s uchetom geometricheskoj i fizicheskoj nelinejnosti metodom konechnyh elementov].

Vestnik of Polotsk State University. Series B: Applied Sciences, 2004, No. 1. Pp. 66–73. (rus)

12. Sokolov B.S., Radaykin O.V. To build a common method of measuring firmly-STI, stiffness and fracture toughness bendable concrete elements taking into account the joint action of bending moments and shear forces with the use of nonlinear deformation model [K postroeniyu edinoj metodiki prochnosti, raschyota zhyostkosti treshchinostojkosti izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s uchyotom sovmestnogo dejstviya izgibayushchih momentov i pererezyvayushchih sil s primeneniem nelinejnoj deformacionnoj modeli]. Fundamental research of architecture on the scientific development of architecture, urban planning and from the construction industry of the Russian Federation in 2014 Kursk: Publishing house Business printing, 2015. Pp. 589–596. (rus)

13. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. Design of concrete, reinforced concrete, stone

and reinforced stone elements and structures with the use of diagram calculation methods: monograph [Proektirovanie betonnyh, zhelezobetonnyh, kamennyh i armokamennyh elementov i konstrukcij s primeneniem diagrammnyh metodov raschyota: monografiya]. Moscow: Publishing House of the ASV, 2019. 194 p. (rus)

14. Radaykin O.V. Strength of reinforced concrete elements of a rectangular profile under oblique off-center compression using a nonlinear deformation model [Prochnost' zhelezobetonnyh elementov pryamougol'nogo profilya pri kosom vnecentrennom szhatii s primeneniem nelinejnoj deformacionnoj modeli]. Construction and Reconstruction, 2020, No. 1. Pp. 31–39. (rus)

15. Gvozdev V.D. Permissible measurement error: choice of value [Dopustimaya pogreshnost' izmerenij: vybor znacheniya]. Zakonodatelnaya i prikladnaya metrologiya, 2013, No. 1. Pp. 44–48. (rus)

Information about the authors

Radaykin, Oleg V. PhD, Assistant Professor. E-mail: olegxxii@mail.ru. Kazan State Power Engineering University, Kazan, 51 Krasnoselskaya str., 420066, Russia.

Sabitov, Linar S. PhD, Assistant. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru. Kazan State Power Engineering University, Kazan, 51 Krasnoselskaya str., 420066, Russia.

Klyuev, Sergey V. PhD, Head of the UNIR. E-mail: Klyuyev@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Akhtyamova, Leysan S. Postgraduate student of the Materials Resistance Department. E-mail: sabitov-kgasu@mail.ru . Don State Technical University. Russia, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Arakcheev, Timur P. Deputy head. E-mail: epc420107@mail.ru . LLC "GC "EPC-Garant". Russia, 420107, Republic of Tatarstan, Kazan, Peterburgskaya str., 55, litera 3 office 14.

Darvish, Anas, Postgraduate student. E-mail: olegxxii@mail.ru. Kazan State Power Engineering University, Kazan, 51 Krasnoselskaya str., 420066, Russia.

Received 17.02.2022

Для цитирования:

Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Клюев С.В., Ахтямова Л.Ш., Аракчеев Т.П., Дарвиш А. Точность численного диаграммного метода расчёта стержневых железобетонных элементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 25–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-25-34

For citation:

Radaykin O.V., Sabitov L.S., Klyuev S.V., Ahtjamova L.Sh., Arakcheev T.P., Darvish A. Accuracy of the numerical diagram method for calculating bar reinforced concrete elements. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-25-34

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

^{1,2,}*Коркина Е.В., ¹Шмаров И.А., ^{1,2}Войтович Е.В.

¹Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук ²НИУ Московский государственный строительный университет *E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДНЕВНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Аннотация. Естественное освещение помещений зданий имеет важное морфофункциональное значение, так как организм человека сформировался в природной среде. В современных условиях при недостатке естественного освещения используется дополнительное освещение искусственными источниками света, что приводит к затратам на электроэнергию. Длительность использования естественного освещения зависит от многих факторов, в том числе от светового климата местности. В настоящей работе предлагается подход к предварительной оценке времени использования естественного освещения при учете различий в световом климате. Расчеты естественной освещенности на открытой горизонтальной поверхности проводятся для трех городов РФ (Сочи, Москва, Санкт-Петербург) на основе актинометрических справочных данных с использованием светового эквивалента солнечной радиации для всех месяцев года по часам светового дня. В расчете используется суммарная солнечная радиация для ясного и облачного неба при почасовом учете вероятности солнечного сияния. Из специализированной литературы выбрано значение критической наружной естественной освещенности. На основе полученных рассчитанных данных по распределению освещенности на горизонтальной поверхности и значению критической освещённости составлена таблица времени окончания утром и наступления вечером критической освещенности для каждого рассматриваемого города и месяца года. Так, в Сочи предполагаемое время использования естественного освещения на 4 часа больше, чем в Москве, и на 7 часов больше, чем в Санкт-Петербурге. Данный подход можно использовать для предварительной оценки длительности использования естественного освещения в помещениях зданий. Дальнейшие работы авторов будут посвящены уточнению данного подхода.

Ключевые слова: естественное освещение помещений зданий, световой эквивалент солнечной радиации, искусственное освещение, экономия энергии, сумерки, критическая наружная естественная освещенность.

Введение. При проектировании современных зданий особое внимание уделяется вопросам энергосбережения. Одним из параметров, рассматриваемых в качестве потенциального источника сбережения энергии, является естественное освещение помещений зданий [1, 2]. При достаточном уровне естественного освещения происходит экономия электроэнергии на искусственное освещение [3, 4]. Следует также учитывать, что естественное освещение помещений зданий имеет важное морфофункциональное значение, так как организм человека сформировался в природной среде [5, 6]. Поэтому важно повышать точность расчётов и нормирования естественного освещения. Так, учёт ресурсов светового климата [2, 7], свойственного различным регионам РФ, будет способствовать повышению времени использования естественного освещения [8–10], что является полезным для организма человека, особенно в городских условиях, и к сокращению времени использования искусственного освещения, что обеспечит экономию электрической энергии [11-12]. В данной работе рассматривается подход к расчету естественной

освещенности с учётом светового климата местности, на основе чего предварительно определяется время выключения утром и включения вечером искусственного освещения.

Естественная освещённость обладает большой изменчивостью в течение светового дня, поэтому её непосредственные измерения требуют специальной аппаратуры. Для получения надежных климатических данных такие измерения должны производиться по крайней мере в течение 10-летнего периода [13, 14]. Одним из методов, с помощью которого можно получить информацию о световом режиме того или иного географического пункта без постановки специальных наблюдений над естественной освещенностью, может служить пересчет данных актинометрических измерений в освещенность с применением светового эквивалента солнечной радиации.

Световым эквивалентом солнечной радиации называют отношение величины освещенности в тысячах люксов к одновременному значению интенсивности радиации [14]. Существует ряд математических моделей расчета светового эквивалента, которые показывают различную

точность [2, 13, 15]. В данной работе рассматривается экспериментально полученная на территории РФ величина светового эквивалента.

Экспериментальному определению величины светового эквивалента посвящены исследования [13, 14, 16]. В Метеорологической обсерватории МГУ [13, 16] одновременно с регистрацией естественной освещенности проводились как измерения светового эквивалента рассеянной и суммарной радиации для условий Москвы, так и его теоретические расчеты для различных метеорологических условий. В работе [14] в основном предметом изучения был световой эквивалент суммарной радиации, причем оказалось, что величина его на территории РФ мало меняется в зависимости от условий наблюдений, пределы колебаний ее составляют ±5 %.

Для удобства пересчета значений радиации в величины освещенности результаты измерений светового эквивалента прямой, суммарной и рассеянной радиации в работе [14] классифицировались по условиям облачности, соответственно

тем градациям, которые приняты в практике актинометрических наблюдений. При этом выяснилось, что данные, относящиеся к различной облачности, могут быть объединены вместе по группам в зависимости от степени закрытости солнечного диска облаками [14]. В работе [14] приводится таблица 1 для нахождения значения эквивалента суммарной радиации для ясного и малооблачного неба, указано, что эти данные хорошо согласуются в разных районах РФ. Также указывается, что для средней облачности и пасмурной погоды световой эквивалент для сум-

марной радиации составляет 72
$$\frac{\text{Тыс.лк}}{\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}}$$
 или 104 лм/Вт. В таблице 1 значения световых эквивалентов из работы [14] переведены из $\left[\frac{\text{тыс.лk}}{\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}}\right]$ в [лм/Вт].

Tаблица I Световые эквиваленты суммарной радиации для ясного и малооблачного неба, лм/Вт [14]

$h_{ m e}$, град	Световой эквивалент, лм/Вт	$h_{ m e}$, град	Световой эквивалент, лм/Вт
5–6	86	23-26	96
7–11	89	27-33	98
12–14	91	34-37	99
15–16	92	38-45	101
17–18	94	46-65	102
19–22	94	66-75	104

Данные таблицы 1 используются далее для пересчета значений суммарной солнечной радиации в освещённость.

Методы. Исследования наружной освещенности на основе поступающей солнечной радиации проводятся для городов Сочи (43,35°с.ш.), Москва (55,75°с.ш.), Санкт-Петербург

(59,57°с.ш.). Пересчет значений суммарной солнечной радиации в освещенность проводится для 15-го числа каждого месяца года. При этом для выбора значений светового эквивалента согласно таблице 1 угловая высота Солнца рассчитывается для конкретного города, даты и времени по известным формулам [19]:

$$\sin h_{e}(t_{e}) = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \Omega(t_{e}), \qquad (1)$$

по таблице 1;

$$\cos \Psi_{\rm e}(t_{\rm e}) = \frac{\sin h_{\rm e}(t_{\rm e}) \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos h_{\rm e}(t_{\rm e}) \cdot \cos \phi},\tag{2}$$

где ϕ — широта местности, град., δ — склонение Солнца, град., $\Omega(t_{\rm e})$ — часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня, град.; $t_{\rm e}$ - истинное солнечное время, ч.

Освещенность на горизонтальной поверхности для ясных и малообрачных дней для каждого часа рассчитывается по формуле [20]:

$$E^{s}(t_{e}) = 0.397 \cdot I^{s}(t_{e}) \cdot K^{s}(h_{e}(t_{e})), \tag{3}$$

где $K^s(h_{\rm e}(t_{\rm e}))$ — световой эквивалент для малооблачных и ясных дней, $\frac{{
m Tыс.лк}}{{
m kan/cm}^2\cdot{
m мин}}$, зависящий от угловой высоты Солнца и, следовательно, от истинного солнечного времени; принимается

 $I^{s}(t_{\rm e})$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени

(середина часового интервала t_e), при ясном и малооблачном небе, МДж/(м²·ч);

0,397 — переводной коэффициент из $M \coprod \frac{M}{M} (M^2 \cdot \mathbf{q})$ в кал/(см²·мин).

Освещенность для облачных дней определяется из соотношения [20]:

$$E^{o\delta}(t_e) = 0.397 \cdot I^{o\delta}(t_e) \cdot K^{o\delta}, \tag{4}$$

где $K^{o \delta}$ — световой эквивалент для облачных дней;

 $I^{ob}(t_{\rm e})$ — суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени (середина часового интервала $t_{\rm e}$), при облачности большой балльности (от 6 баллов) и пасмурном небе, МДж/м².

С учетом (3) и (5) горизонтальная наружная освещенность выражается следующим образом [20]:

$$E(t_{\rm e}) = s(t_{\rm e}) E^{\rm g}(t_{\rm e}) + (1-s(t_{\rm e})) E^{\rm o o}(t_{\rm e})\,,$$
 (5) где $s(t_{\rm e})$ – вероятность солнечного сияния для конкретного города, месяца и часа дня принимается согласно справочнику [17].

Значения поступающей суммарной солнечной радиации $I^s(t_{\rm e})$ и $I^{o \delta}(t_{\rm e})$ приведены в

справочной литературе [17] для 15-го числа каждого месяца года по часам светового дня. Для этих же дней далее проводятся расчёты естественной освещенности.

Результаты. На рисунках 1—3 представлены значения освещенности, клк, рассчитанные по формуле (5) по часам светового дня для всех месяцев года для городов: Сочи, Москва, Санкт-Петербург. На графиках проведена линия критической освещенности 5 клк, которая обозначает время наступения гражданских сумерек [1, 18].

Из графиков рис. 1-3 видно, что в г. Сочи 15 декабря критическая освещенность заканчивается в 8 ч 42 мин, а наступает в 16 ч 18 мин. В то время, как в г. Москве: в 10 ч 30 мин и в 14 ч 24 мин. В г. Санкт-Петербурге освещенность в рассматриваемый день ниже 5 клк. Таким образом, предполагаемое время работы использования естественного освещения в Сочи на 4 часа больше, чем в Москве, и на 7 часов больше, чем в Санкт-Петербурге. В таблице 2 приведено время окончания и наступления критической освещённости для рассматриваемых городов и всех месяцев года.

Освещенность на горизонтальной поверхности в г. Сочи

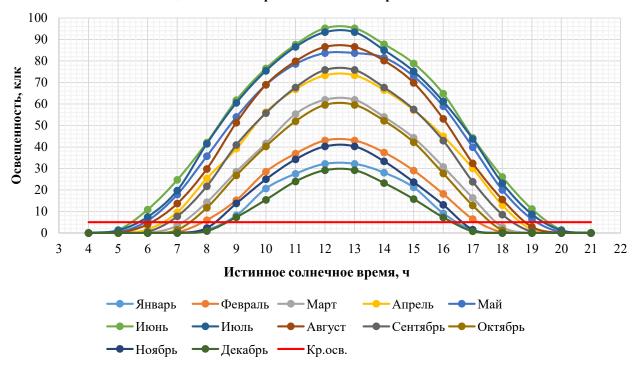


Рис. 1. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Сочи, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия – критическая наружная освещённость, равная 5 клк



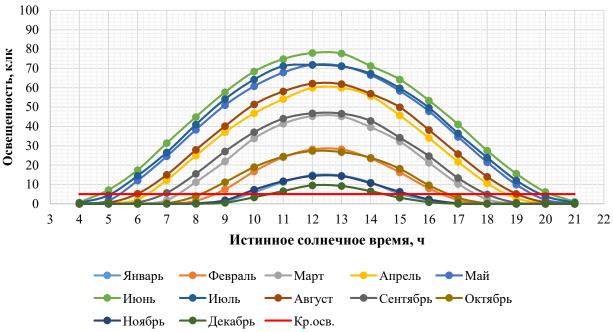


Рис. 2. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Москве, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия – критическая наружная освещённость, равная 5 клк

Освещенность на горизонтальной поверхности в г. С-Пб

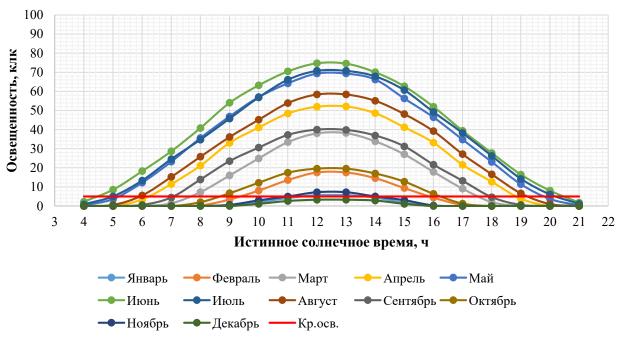


Рис. 3. Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Санкт-Петербурге, клк, для 12-ти месяцев года. Горизонтальная линия — критическая наружная освещённость, равная 5 клк

38

Декабрь

Таблица 2

Санкт-Петербург Сочи Москва Месяц года, Окончание Начало су-Окончание Окончание Начало Начало 15-ое число сумерек мерек сумерек сумерек сумерек сумерек Январь 8 ч 36 мин 16 ч 24 мин 9 ч 48 мин 15 ч 11 ч 30 мин 13 ч 36 мин Февраль 7 ч 54 мин 17 ч 6 мин 8 ч 36 мин 16 ч 36 мин 9 ч 24 мин 15 ч 48 мин 7 ч 12 мин 7 ч 24 мин 17 ч 36мин 7 ч 36 мин 17 ч 30 мин 17 ч 48 мин Март 18 ч 48 мин Апрель 6 ч 30 мин 18 ч 36 мин 6 ч 18 мин 18 ч 42 мин 6 ч 1 2мин Май 5 ч 54 мин 19 ч 6 мин 5 ч 24 мин 19 ч 30 мин 5 ч 12 мин 19 ч 48 мин 5 ч 24 мин 19 ч 30 мин 4 ч 42 мин 20 ч 6 мин 4 ч 24 мин 20 ч 24 мин Июнь 19 ч 48 мин 20 ч 6 мин Июль 5 ч 42 мин 19 ч 24 мин 5 ч 6 мин 5ч 5 ч 48 мин Август 6 ч 12 мин 18 ч 42 мин 6ч 19 ч 19 ч 12 мин 6 ч 42 мин 18 ч 18 мин 6 ч 54 мин Сентябрь 18 ч 7ч 18 ч Октябрь 7 ч 24 мин 17 ч 36 мин 8 ч 12 мин 16 ч 36 мин 8 ч 36 мин 16 ч 12 мин 15 ч 18 мин 8 ч 18 мин 16 ч 36 мин 9 ч 36 мин 14 ч Ноябрь 11ч

10 ч 30 мин

Время окончания утром и наступления вечером критической освещности для 12-ти месяцев года для трех городов с различным световым климатом

Таким образом, показана возможность определения времени окончания критической освещенности утром и её начала вечером, что может быть предварительной оценкой времени использования естественного освещения. Для точной оценки следует проводить расчеты для конкретного помещения с учетом количества, размеров, ориентации и конфигурации светопроемов, а также с учётом видимого из расчетной точки участка небосвода.

8 ч 42 мин

16 ч 18 мин

Выводы. Таким образом, в работе проведен обзор расчетов освещённости по актинометрическим данным, выбраны данные для определения светового эквивалента. Проведены исследования наружной освещенности на горизонтальной поверхности на основе справочных данных по солнечной радиации для трех городов РФ с различным световым климатом: Сочи, Москва, Санкт-Петербург. Составлена таблица времени окончания утром и начала вечером критической освещенности, которая может служить предварительной оценкой времени использования естественного освещения. Однако при дальнейших разработках следует учитывать, какая доля естественного света от небосвода попадает в расчетную точку конкретного помещения в зависимости от параметров самого помещения, что и будет рассмотрено в последующих работах авторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбаренко Е.В. Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности // Жилищное строительство. 2021. № 6. С. 42–50.

2. Соловьёв А.К., Нгуен Т.Х.Ф. Метод расчёта параметров светового климата по световой эффективности солнечного излучения // Светотехника. 2018. № 5. С. 21–24

14 ч 24 мин

- 3. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №3(40). С. 156–164
- 4. Fang Y., Cho S. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance // Solar Energy. 2019. Vol. 191. Pp. 7–18. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.039
- 5. Бартенбах К. Свет и здоровье. Часть 2 // Вестник международной академии наук (русская секция). 2020. № 1. С. 44-53
- 6. Ри М., Фигуэро М., Баллоу Д. Циркадная фотобиология: новые горизонты практической и теоретической светотехники // Полупроводниковая светотехника. 2012. №4. С. 12–17
- 7. Земцов В.А., Соловьёв А.К., Шмаров И.А. Яркостные параметры стандартного неба МКО в расчётах естественного освещения помещений и их применение в различных светоклиматических условиях России // Светотехника. 2016. N 6. C.55–61
- 8. Горбаренко Е.В., Пантелеева Е.А. Оценка метеорологических условий, приводящих к понижению уровней естественной освещенности до критических значений. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 6 (1030). С. 15–18.
- 9. Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Martine K., Kantermann T., Aarts MPJ., Zemmouri N., Appelt S., Norton B. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp. 423–442. DOI:10.1177/1477153519869758

10.Maltais L.G., Gosselin L. Daylighting 'energy and comfort' performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front // Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 14. Pp. 61–72. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.012

11.Du T., Jansen S., Turrin M., Andy van den Dobbelsteen. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates // Journal of Building Engineering. 2021. № 39. 102198. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102198

12.Земцов В.А., Шмаров И.А., Земцов В.В. Коэффициент неравномерной яркости стандартного облачного неба МКО в новых национальных стандартах // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 6 (1006). С. 12–14.

13. Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А. Естественная освещенность горизонтальной и вертикальных поверхностей по данным наблюдений МО МГУ // Строительство и реконструкция. 2018. № 4 (78). С. 53–63.

14. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 238 с.

15.Фыонг Н.Т.Х., Соловьёв А.К. Определение световой эффективности солнечной радиации для Вьетнама при проектировании объектов

строительства // Экономика строительства и природопользования. 2018. № 2 (67). С. 137–143.

16.Gorbarenko E.V., Shilovtseva O.A. Solar power resources of Moscow // In International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2013. Vol.2. No.6. Pp. 28–35.

17. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6, вып. 1-34. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1989—1998. 792 с.

18. Киреев Н.Н. Роль освещения в экономике промышленного здания. В кн. Естественное освещение и инсоляция зданий. Издательство литературы по строительству: Москва, 1968. С. 84–97.

19.Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Гагарин В.Г., Шмаров И.А. Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий // Жилищное строительство. 2017. №6. С. 27–33.

20. Методические рекомендации по расчёту специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. ФГБУ «ГГО им. А.И. Войекова». Росгидромет: С-Петербург. 2017. 160 с.

Информация об авторах

Коркина Елена Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: elena.v.korkina@gmail.com. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., 21.

Шмаров Игорь Александрович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией. E-mail: shmarovigor@yandex.ru. ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., 21.

Войтович Елена Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: e.voitovich@mail.ru. НИУ Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 09.03.2022 г.

© Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В., 2022

^{1,2},*Korkina E.V., ¹Shmarov I.A, ^{1,2}Voitivich E.V.

¹Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

²Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

*E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

RESEARCH OF TIME OF CRITICAL ILLUMINATION TO ASSESS THE DURATION OF DAYTIME ILLUMINATION

Abstract. Natural lighting of buildings has an important morphofunctional value, since the human body is formed in the natural environment. In modern conditions, additional lighting with artificial light sources is used with a lack of natural lighting, this leads to energy costs. The duration of the use of day light depends on many factors, including the light climate of the region. In this paper, authors propose an approach to the preliminary assessment of the time of use of day lighting, taking into account differences in the light climate.

Calculations of day illumination on an open horizontal surface are carried out for three cities of the Russian Federation (Sochi, Moscow, St. Petersburg) on the basis of actinometric reference data using the light equivalent of solar radiation for all months of the year by daylight hours. The calculation uses the total solar radiation for clear and cloudy skies with hourly accounting for the probability of sunshine. The value of critical outdoor natural illumination is selected from the specialized literature. Based on the calculated data obtained on the distribution of illumination on a horizontal surface and the value of critical illumination, a table of the end time in the morning and the begin time of intermediate light in the evening for each city and month of the year under consideration is compiled. Therefore, in Sochi, the estimated time of using day light is 4 hours longer than in Moscow, and 7 hours longer than in St. Petersburg. This approach can be used for a preliminary assessment of the duration of the use of day light. Further works of the authors will be devoted to clarifying this approach.

Keywords: Day lighting of premises of buildings, the light equivalent of solar radiation, artificial lighting, energy saving, intermediate light, critical outdoor natural illumination.

REFERENCES

- 1. Gorbarenko E.V. Possible differences in the normative and actual values of natural illumination caused by the failure to take into account real cloud conditions [Vozmozhnye razlichiya v normativnyh i dejstvitel'nyh znacheniyah estestvennoj osveshchennosti, vyzvannye neuchetom real'nyh uslovij oblachnosti]. Housing construction. 2021. No. 6. Pp. 42–50. (rus)
- 2. Soloviev A.K., Nguyen T.H.F. Method of calculating the parameters of the light climate by the light efficiency of solar radiation [Metod raschëta parametrov svetovogo klimata po svetovoj effektivnosti solnechnogo izlucheniya]. Lighting equipment. 2018. No. 5. Pp. 21–24. (rus)
- 3. Korzhneva T.G., Ushakov V.Ya., Ovcharov A.T. Taking into account the natural light resource when optimizing the energy consumption of the room [Uchet resursa estestvennogo sveta pri optimizacii energozatrat pomeshcheniya]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2013. No. 3(40). Pp. 156–164. (rus)
- 4. Fang Y., Cho S. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. Solar Energy. 2019. Vol. 191. Pp. 7–18. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.0395.
- 5. Bartenbach K. Light and health. [Svet i zdorov'e]. Part 2. Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian section). 2020. No. 1. Pp. 44–53. (rus)
- 6. Ri M., Figuero M., Ballou D. Circadian photobiology: new horizons of practical and theoretical lighting engineering [Cirkadnaya fotobiologiya: novye gorizonty prakticheskoj i teoreticheskoj svetotekhniki]. Semiconductor lighting engineering. 2012. No. 4. Pp. 12–17. (rus)
- 7. Zemtsov V.A., Soloviev A.K., Shmarov I.A. Brightness parameters of the standard MKO sky in calculations of natural lighting of premises and their application in various light-climatic conditions of Russia [Yarkostnye parametry standartnogo neba MKO v raschyotah estestvennogo osveshcheniya

- pomeshchenij i ih primenenie v razlichnyh svetoklimaticheskih usloviyah Rossii]. Lighting equipment. 2016. No. 6. Pp. 55–61. (rus)
- 8. Gorbarenko E.V., Panteleeva E.A. Assessment of meteorological conditions leading to a decrease in natural light levels to critical values. [Ocenka meteorologicheskih uslovij, privodyashchih k ponizheniyu urovnej estestvennoj osveshchennosti do kriticheskih znachenij]. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2020. No. 6 (1030). Pp. 15–18. (rus)
- 9. Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Martine K., Kantermann T., Aarts MPJ., Zemmouri N., Appelt S., Norton B. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp. 423–442. DOI:10.1177/1477153519869758
- 10. Maltais L.G., Gosselin L. Daylighting 'energy and comfort' performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front. Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 14. Pp. 61–72. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.012
- 11. Tiantian Du, Sabine Jansen, Michela Turrin, Andy van den Dobbelsteen. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates. Journal of Building Engineering. 2021. No. 39. 102198. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102198
- 12. Zemtsov V.A., Shmarov I.A., Zemtsov V.V. The coefficient of uneven brightness of the standard cloudy sky of the MKO in the new national standards. BST: [Koefficient neravnomernoj yarkosti standartnogo oblachnogo neba MKO v novyh nacional'nyh standartah.]. Bulletin of Construction Machinery. 2018. No. 6 (1006). Pp. 12–14. (rus)
- 13. Gorbarenko E.V., Shilovtseva O.A. Natural illumination of horizontal and vertical surfaces according to observations of the Moscow State University MO. [Estestvennaya osveshchennost' gorizontal'noj i vertikal'nyh poverhnostej po dannym nablyudenij MO MGU]. Construction and reconstruction. 2018. No. 4 (78). Pp. 53–63. (rus)

14. Barteneva O.D., Polyakova E.A., Rusin N.P. The mode of natural illumination on the territory of the USSR. [Rezhim estestvennoj osveshchennosti na territorii SSSR]. L.: Hydrometeoizdat, 1971. 238 p. (rus)

15. Phuong N.T.H., Soloviev A.K. Determination of the luminous efficiency of solar radiation for Vietnam in the design of construction projects. [Opredelenie svetovoj effektivnosti solnechnoj radiacii dlya V'etnama pri proektirovanii ob"ektov stroitel'stva]. Economics of construction and environmental management. 2018. No. 2 (67). Pp. 137–143. (rus)

16. Gorbarenko, E.V., Shilovtseva, O.A. Solar power resources of Moscow. In International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2013. Vol.2. No. 6. Pp. 28–35.

17. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. [Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR] Series 3. Long-term data. Parts 1-6, issue 1-34. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1989–1998. 792 p. (rus)

18. Kireev N.N. The role of lighting in the economy of an industrial building [Rol' osveshcheniya v ekonomike promyshlennogo zdaniya]. In the book. Natural lighting and insolation of buildings. Publishing House of literature on construction: Moscow, 1968. 84–97 p. (rus)

19. Korkina E.V., Gorbarenko E.V., Gagarin V.G., Shmarov I.A. Basic ratios for calculating solar radiation exposure to the walls of detached buildings. [Osnovnye sootnosheniya dlya rascheta oblucheniya solnechnoj radiaciej sten otdel'no stoyashchih zdanij]. Housing construction. 2017. No. 6. Pp. 27–33. (rus)

20. Methodological recommendations for the calculation of specialized climatic characteristics for servicing various sectors of the economy. [Metodicheskie rekomendacii po raschyotu specializirovannyh klimaticheskih harakteristik dlya obsluzhivaniya razlichnyh otraslej ekonomiki. FGBU «GGO im. A.I. Vojekova»]. FSBI "GGO named after A.I. Voyekov". Roshydromet: St. Petersburg, 2017. 160 p. (rus)

Information about the authors

Korkina, Elena V. PhD. E-mail: elena.v.korkina@gmail.com. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Shmarov, Igor A. PhD. E-mail: shmarovigor@yandex.ru. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21.

Voitovich, Elena V. PhD. E-mail: e.voitovich@mail.ru. Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russian Federation, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 09.03.2022

Для цитирования:

Коркина Е.В., Шмаров И.А., Войтович Е.В. Исследования времени наступления критической освещённости для оценки длительности дневного естественного освещения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

For citation:

Korkina E.V., Shmarov I.A., Voitivich E.V. Research of time of critical illumination to assess the duration of daytime illumination. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-43-56 *Березкин С.А.*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет E-mail: berezkin.s.official@gmail.com

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПЕРВОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА АСТРАХАНИ (1767–1769 ГГ.)

Аннотация. История масштабной программы по реконструкции городов и строительству по «образцовым» проектам во II половине XVIII века достаточно изучена в фундаментальных трудах советских исследователей. Однако локальный контекст по регулированию планировочной структуры отдельных городов пограничных губерний продолжает быть актуальным благодаря новым открытиям и по причине стремительной деградации историко-архитектурной среды. В данной статье на основе комплексного анализа письменных и иконографических источников обобщены и доработаны сведения о создании первого Высочайше утвержденного генерального плана Астрахани в 1760-х гг. Выявлены этапы разработки и авторы проектных решений, в научный оборот введены новые архивные материалы и их описание. Обозначена доля участия и вклад архитектора Андрея Меньшова, астраханского губернатора Н.А. Бекетова и главного архитектора «Комиссии о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы» А.В. Квасова. Анализ процесса разработки генерального плана представлен не только в градостроительном аспекте, но и в архитектурном, с указанием рекомендаций и регламентов по строительству жилых зданий, основанных на принципах регулярности и ансамблевости.

Ключевые слова: генеральный план Астрахани, регулярная планировка, «образцовые» проекты, архитектор Андрей Меньшой (Меньшов), архитектор А.В. Квасов.

Введение. История региональной архитектуры все чаще становится объектом исследования в рамках выявления локальной идентичности архитектурно-пространственной среды. Среди прочих центров бывших губерний особенно выделяется Астрахань, крупный город на пересечении торговых путей и культур Запада и Востока. Современный облик исторического центра был сформирован на протяжении XIX – нач. XX вв., но основа регулярной планировки была заложена первым генеральным планом города, Высочайше утвержденным в 1769 году. Поэтому данный период нуждается в детальном изучении для выявления общероссийских процессов в архитектурно-градостроительной сфере и локальных особенностей при реализации на месте.

Во второй половине XVIII века произошла смена парадигмы градостроительного развития, обусловленная предшествующими реформами и поиском новых принципов градорегулирования. Главным центром апробации новых решений и создания основ государственного управления над процессами проектирования и строительства стала новая столица – Санкт-Петербург, чему посвящено большое количество научных трудов и публикаций [1–5]. Как отметил С.В. Семенцов, планировочные приемы Петербурга стали образцовыми, поэтому были использованы при разработке новых генеральных планов для провинциальных городов, в результате чего «была сформирована уникальная Санкт-Петербургская градостроительная школа» [5]. Фундаментальной базой для исследования реконструкции российских

городов и масштабного жилого строительства во второй половине XVIII века является книга Е.А. Белецкой, Н.Л. Крашенинниковой, Л.Е. Чернозубовой и И.В. Эрн [6], а также монография С.С. Ожегова [7]. Градостроительные аспекты данного периода были структурно изложены в книгах В.А. Шкварикова и В.А. Лаврова [8, 9]. Отдельного внимания заслуживают монография «Москва и сложившиеся русские города XVIII – первой половины XIX веков» [10], статьи М.В. Золотаревой [11] и А.А. Гудкова [12].

Анализ проектных решений первого генерального плана Астрахани был дан в публикациях В.Ф. Шилкова [13], А.И. Осятинского [14, 15] и В.П. Никитина [16]. Историю создания этого градостроительного документа открыла для научного сообщества Е.В. Гусарова [17]. Обобщение данной темы было зафиксировано в монографии С.С. Рубцовой [18], а также дополнено в недавней статье, посвященной «образцовой» архитектуре эпохи классицизма в Астрахани [19]. Постепенный сбор сведений и графических материалов позволил значительно расширить знания о приведении старинного русского города к регулярной планировочной системе, но вопросы и спорные утверждения еще остаются. В том числе это касается определения действительного автора генплана. Также исследователи часто разделяли градостроительные и архитектурные аспекты изучения данной темы, хотя в эпоху масштабных реформ эти вопросы решались параллельно.

Целью представленного исследования является комплексный анализ и переосмысление истории создания первого Высочайше утвержденного плана Астрахани, выявление градостроительных и архитектурных решений, а также введение в научных оборот новых материалов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) выявлены письменные источники и иконографические материалы; 2) установлены этапы разработки градостроительного документа и имена авторов; 3) описаны проектные планы города 1760-х гг.; 4) обозначены особенности и значимость первого Высочайше утвержденного генплана Астрахани в контексте общероссийской истории градостроительства и развития планировочной структуры города. Объектом исследования является комплекс проектных материалов и законодательных актов 1760-х гг., связанных с разработкой первого генерального плана Астрахани.

Материалы и методы. Основой для исследования послужили проектные планы города и чертежи жилых зданий 1767, 1768 и 1769 гг. из фондов Российского государственного исторического архива (РГИА). Комплексный анализ библиографических и архивных источников, сравнение письменных сведений и графических листов позволили выявить историю разработки и утверждения генерального плана Астрахани, а также долю участия исторических личностей.

Основная часть. Масштабная работа над составлением генеральных планов для городов Российской Империи была обусловлена трагическими событиями в Твери. В 1763 году пожаром была уничтожена большая часть города. Для решения проблемы стихийной застройки и предотвращения подобных бедствий в том же году издается указ Екатерины II «О сделании всем городам, их строению и улицам специальных планов по каждой губернии особо» [20]. Реализация была поручена созданной в 1762 году «Комиссии для устройства городов Санкт-Петербурга и Москвы» (Комиссии о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы), где все проектные работы выполнял профессиональный коллектив под руководством архитектора А.В. Квасова [6]. Представители Комиссии активно взаимодействовали с руководством губерний для достижения поставленных императрицей целей.

С 1763 года главой Астраханской губернии был назначен Никита Афанасьевич Бекетов. Образованный и дальновидный человек, выпускник Сухопутного кадетского корпуса, участник Семилетней войны, он руководил делами пограничной губернии на протяжении 10 лет (1763–1773 гг.). В 1764 году Н.А. Бекетов инициировал первый этап градостроительных преобразований,

направленный на модернизацию Астраханского Кремля, и вместе с главой артиллерийского и инженерного ведомства А.Н. Вильбоа написал «Рассуждение об Астраханской крепости» [17]. Окончательный проект был подготовлен Комиссией о рассмотрении крепостей в сентябре 1765 года. Параллельно с этим процессом губернатор привлек специалиста в области архитектуры. В письме от 15 августа 1765 года, адресованному Г.Г. Орлову, сменившему Вильбоа, Никита Афанасьевич указывает, что малый масштаб чертежа плана города в составе документации по Астраханской крепости не позволяет подробно рассмотреть территорию и вносить изменения в проекты застройки жилых кварталов. «Поправление же по местоположению здешних улиц – как оное единственно по Высочайшей воле на меня положено – и не назначено. А прибывшей архитектор толко что вновь оной план окончал со всякою верностию, полагая при том, как и вновь Астрахани впредь строением быть должно...» [17]. В рассматриваемый период вопросами топографической фиксации территории и подготовки проектов застройки занимались военные инженеры. Инициатива губернатора вызвала опасение руководителя астраханской инженерной команды В.В. Левина, который в письме Д.И. Дебоскету указывает, что Н.А. Бекетов учредил «особливую экспедицию», которую отдал «под управление ... архитектора», и велел ему «снять со всего города Астрахани план, как он ныне есть, с назначиванием по правления улиц и домов, полагая, что от Кремля города в длину до реки Кутумовы, в ширину от Волги до канала быть каменному строению, а деревянное вынесть за канал» [17]. В этом письме указано имя архитектора – Андрей Меньшой (Меньшов).

Известно, что А. Меньшов служил в Канцелярии от строений, а с 1759 года был архитекторским помощником Ф.Б. Растрелли [21]. В списке «всех учеников, коих я настаивал в архитектуре за 48 лет и кои моим попечением состоят на службе Её Императорского Величества в чине архитекторов» великий зодчий I половины XVIII века фиксирует имя: «Иван Меньшой, при Конторе строений» [21]. Документальным подтверждением участия Андрея Меньшова в грандиозных проектах Ф. Растрелли является чертеж северного фасада Воскресенского Смольного собора с подписью «Андрей Меньшой» [22]. Польский исследователь Зигмунт Батовский в 1939 году так описал этот графический лист: «детальное воспроизведение бокового фасада храма на очень большом чертеже (1,72 × 1,44 м), выполненном тушью в 1760 году одним из «гезелей архитектуры», который на этой копии убедительно,

хотя и чересчур крупно, показал изобилие лепного декора куполов, послужившее поводом к выполнению головок херувимов на всех ярусах» [22]. Сопоставление данных показывает, что другое имя в списке учеников Растрелли — неточность в записях мастера.

Достоверных сведений о том, когда Андрей Меньшов прибыл в Астрахань не найдено. Но второй масштабной работой архитектора стала разработка проектов планировки для новых казачьих станиц на правом берегу Волги. Впервые идею о заселении пустующих земель от Черного Яра до Астрахани предложил губернатор В.Н. Татищев в обращении к Правительствующему Сенату в 1742 году. В этом же году была заложена Енотаевская крепость [23]. Данную инициативу по созданию укрепленных «городков» продолжил губернатор Н.А. Бекетов, что было необходимо для безопасного пути проезжающим людям и почтовой службе. Осенью 1763 года от Астрахани до Царицына было проведение первичное обследование территории с фиксацией строений (жилых домов, форпостов, почтовых станций, ватаг), географических объектов и расстояний между ними [23]. После издания Высочайшего рескрипта Екатерины II от 26 марта 1765 года губернатор принимает решение о создании пяти казачьих поселений. В апреле того же года для точного измерения расстояний между форпостами по дороге от Астрахани до Черного Яра и составления геодезической подосновы был командирован архитекторский помощник Я.И. Шнейдер [23]. Для станиц Лебяжинской, Замьяновской, Сероглазинской, Ветлянинской и Грачевской архитектором А. Меньшовым (вместе с помощником) были составлены проекты планировок с указанием домовладельческих участков: «для порядочного строения к разводу под дворы мест и учреждению улиц» [23]. Строительство разрешалась строго по назначенному плану и под наблюдением архитектора. Было рекомендовано строить турлучные дома (мазанки), для чего в станицы направили казаков, знающих традиционные приемы домостроения такой конструктивной системы.

Разрушительный пожар в Астрахани, случившийся 17 августа 1767 года, стал трагической мотивацией к ускорению градостроительного проектирования. Выгорела большая часть застройки Белого города, в Кремле сгорели: флигель «счетной экспедиции», деревянные крыша и крыльца губернской канцелярии. Ведомость сгоревших государственных и частновладельческих строений демонстрирует масштаб бедствия: де-

ревянные строения и 4 церкви Спасо-Преображенского монастыря; каменных зданий — 17, в том числе посольский двор, три гостиных двора (русский, армянский и индийский), здание под Астраханским магистратом, а также собственный дом губернатора Бекетова; деревянных домов — 314; 4 фабрики; 238 каменных лавок и 197 деревянных; 4 деревянных шалаша [24].

Именно в этом году был подготовлен первый комплект проектной документации к генеральному плану. В фондах Российского государственного исторического архива автором статьи было выявлено три графических листа с подписью «Архитектор Андрей Меньшой», «Ноябрь 1767 года. Астрахань». Впервые материалы по данной теме на основе большого количества письменных источников были опубликованы в статьях искусствоведа Е.В. Гусаровой [17], а также описан «Чертеж обывательским трем дворам, одному большому, двум маленьким...» [25, 26]. Данный чертеж вызвал живой интерес в научном сообществе, но его атрибуция была не вполне ясна. Недавно обнаруженный план города и проект домамазанки открывают полноценный замысел архитектора.

Проект Андрея Меньшого предполагал формирование новых кварталов в междуречье (территории между рекой Кутумом на севере и Каналом на юге) и упорядочивание сгоревшей застройки Белого города (рис. 1). Главная градостроительная ось была намечена по вершине бугра от Пречистенских ворот Кремля до берега Кутума, где зафиксирован вновь проектируемый мост на сваях. На пересечении с основными перпендикулярными улицами были заложены две площади: круглая - с дорогой восточнее иностранного (индийского и армянского) гостиного двора (совр. Театральный переулок), и колбообразной формы – с новой улицей от угла подворья купцов Лошкаревых до берега Канала. Под углом к главной улице была заложена новая, по оси дороги от Глухой башни (на плане Меньшова обозначена как Ретчетые ворота) Белого города через солончак к улице за Каналом (совр. ул. Кирова).

Помимо рациональных планировочных связей в этом решении заметно влияние губернатора Н.А. Бекетова, который особо ратовал за сохранение недавно построенной дороги через солончак. Главные улицы и северную набережную Канала планировалось застроить сплошными трёхэтажными домами по образцовому проекту, что свидетельствует о стремлении к общим градостроительным приемам, разработанным столичной Комиссией.

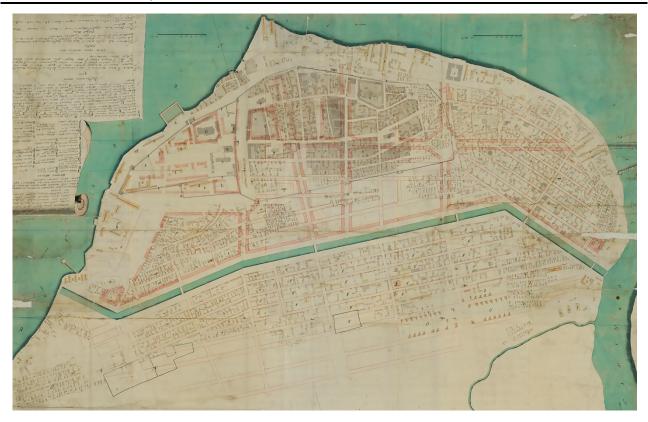


Рис. 1. План города Астрахани. Архитектор Андрей Меньшой. Ноябрь 1767 года. [РГИА. Ф.1293. Оп.168. Астраханская губерния. Д.27]. Публикуется впервые

А. Меньшов сохранил регулярные кварталы Старо-Армянской слободы и четкую структуру заканальной части с прямоугольными кварталами. Выровняв ширину шести кварталов от берега канала, архитектор запроектировал линию кварталов более широких. Именно эти габариты были сохранены в последующем расширении территории на юг по генеральному плану А. Дигби 1801 года. На генплане 1767 года изображены вновь проектируемые жилые дома с Г-образным планом.

Появление первого урегулирования застройки было подготовлено при губернаторе В.Н. Татищева специалистами Инженерной команды под руководством инженера-майора Петра Кутузова. В 1746 году был составлен проект с визирующей подписью инженера-поручика Данилы Менделеева [26]. Поверх фиксационного топографического плана города вычерчены прямоугольные кварталы предполагаемой планировки, «улицы сделаны шире и прямее» [27]. В эти же годы начались масштабные работы по строительству Астраханского Большого канала, что позволило осушить заболоченные солончаки и укрепить берега. В том же 1746 году началась застройка территории южнее канала: «заложено совсем новое большее предместье, в коем по большей части живут Армяне» [27]. Иррегулярные кварталы Старой Армянской слободы, вытянутые с северо-востока на юго-запад, заменили подчиненные особенностям прямоугольные,

ландшафта и береговой линии канала от слияния с Кутумом.

Главная заслуга архитектурной «экспедиции» под руководством А. Меньшова заключается в детальной фиксации существующего на тот момент состояния застройки. Были нанесены границы всех домовладельческих участков и сами строения: каменные, деревянные и строящиеся; обывательские сады. Указаны основные градостроительные части города (Кремль, Белый город, национальные слободы: Старая и Новая Армянские, Татарская, Безродная) и кварталы, сгоревшие 17 августа 1767 года. Вероятно, что при составлении геодезической подосновы были использованы планы, составленные астраханской инженерной командой. Но значение рассматриваемой работы сложно переоценить, ведь это документальная фиксация хаотичной планировки Астрахани до масштабных преобразований екатерининской эпохи.

Сравнивая изображение зданий на плане с гравированными панорамами города второй половины XVIII века [28], можно сделать вывод, что основной массив застройки составляли деревянные одноэтажные дома с двускатной крышей. Большинство каменных обывательских домов было расположено в районе Старой Армянской слободы, также отмечено 11 каменных строений в Новой Армянской слободе, и строящийся армянский храм Петра и Павла. В этой же слободе,

на южном берегу Канала располагался дом губернатора Н.А. Бекетова, «которой без всякаго прекословия первейшим во всем городе назваться может» [28]. Посетивший Астрахань через пару лет ученый Самуил Гмелин особо выделил строения национальных слобод за Каналом: «Как Татарские и Армянские, так и находящиеся между ними Российские домы построены все попорядку. Они имеют неравную ширину, да и стоят один от другова с нарочитом разстоянии а не так как в протчих предместиях, где и не дивно, что они мало по малу от одного только пожара все изтребилися», «улицы ... широки и прямы» [28], хотя застройка по преимуществу деревянная.

К проекту генерального плана Астрахани были разработаны «образцовые» проекты жилых зданий. Основным типом для застройки главных улиц и набережной Канала были выбраны каменные дома блокированного типа («сплошные»), что соотносится с подобным решением старших коллег (А.В. Квасова и П.Р. Никитина) для Твери

в 1763 году [6]. Сам архитектор обозначил свой проект так: «Чертеж обывательским трем дворам, одному большому, двум маленьким, при которых полагается в нижнем этаже быть лавкам, над оными покои для житья наемщиком, а верхний останется для хозяина» (рис. 2), и указал стоимость большого дома длиной по красной линии 14 саженей (29,87 м) - 8729 руб. 40 коп., в малого дома в 7 саженей (14,94 м) – 4 364 руб. 70 коп. Трехэтажное каменное здание по своему функциональному наполнению напоминает доходный дом: полуподвальные «погреба» предназначались под складские нужды; на первом этаже размещались торговые лавки, вход в которые осуществлялся через коридор-галерею; верхние этажи предполагались жилыми: для сдачи в наем и проживания владельца. Средняя продольная стена отделяет лавки от «апартаментов» первого этажа, на втором этаже жилые помещения от кухни и хозяйственных комнат, на третьем этаже стена отделяет парадную анфиладу помещений от параллельной анфилады с окнами во двор.

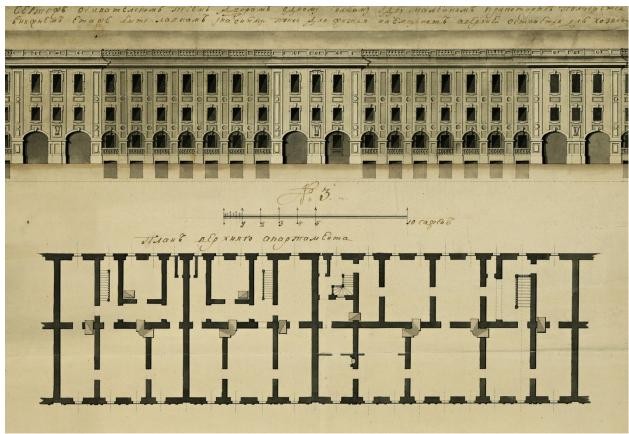


Рис. 2. Чертеж обывательским домам. Архитектор Андрей Меньшой. Ноябрь 1767 года. Фрагмент (фасад и план третьего этажа). [РГИА. Ф. 1293. Оп.166. Астраханская губерния. Д.73]

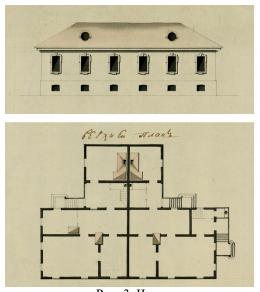
В решении фасада архитектор использовал приемы аннинского барокко (по классификации Е.Р. Возняк [29, 30]). Вертикальные членения представлены лопатками с прямоугольными филенками и вписанными окружностями, которые подчеркивали горизонтальные членения вместе с

прямоугольными рамками между оконными проемами по вертикали. Полуциркульные проемы первого этажа венчают замковые камни и ограждают балюстрады. Плоские архивольты опираются на импосты условных пьедесталов. Прямоугольные оконные проемы оформляют плоские наличники с ушками (на уровне третьего этажа

проемы имеют более вытянутую форму, а ушки чуть приспущены от верхних углов), а сверху венчают замковые камни. Тоном и венчающим карнизом выделены части фасада в три оси над двумя проемами до уровня земли с трехцентровым сводом. У этих частей отличается пластика лопаток (формы образуются выступающими элементами, а не нишами), а выше венчающего карниза расположен аттик с характерным декором. Между ними фасад в семь осей выделяют ограждающие балюстрады коридора-галереи и венчающего парапета, также архитектор показал проемы полуподвального помещения погребов.

Другой проект представлял собой чертежи для двух блокированных домов-мазанок с единым фасадом по красной линии (рис. 3). Со стороны уличного фронта дома воспринимались как одно здание в шесть осей и четырехскатной крышей с двумя круглыми слуховыми окнами. Окон-

ные проемы обрамлены наличниками с чуть приспущенными от верхних углов ушками и венчающими замковыми камнями. Нижний край наличника выделяет немного выступающий вниз фартук. Архитектор приводит стоимость строительства дома на каменных погребах – 2412 руб. 44 коп. (этот вариант зафиксирован на чертеже фасада) и без погребов на одном каменном фундаменте – 1213 руб. 24 коп. В планировочном решении здание имеет Т-образную форму, где показаны варианты с одним и двумя входами, основной объем составляют три помещения, а вглубь двора уведены кухня и хозяйственная комната. На территории участка при каждом доме есть хозяйственная постройка с общей каменной стеной. Выбор блокированного типа застройки, каркасной конструкции и дешевых строительных материалов позволял значительно экономить средства и время на строительство.



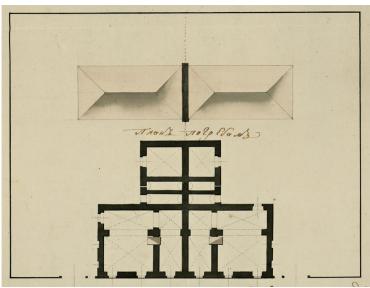


Рис. 3. Чертеж дома мазанки. Архитектор Андрей Меньшой. Ноябрь 1767 года (отредактированный лист с чертежами). [РГИА. Ф.1293. Оп.166. Астраханская губерния. Д.74]

Мазанковое строительство соответствовало общей концепции создания образцовых проектов (подобные чертежи разрабатывали и для Петербурга в начале XVIII века [6]), но для Астрахани мазанки были не просто выгодным решением для реализации градостроительных реформ, но традиционным способом домостроительства. Найденный в фондах РГИА чертеж демонстрирует архитектурно-планировочные решения первого архитектора Астрахани, которые он мог применять при проектировании жилых зданий в новых кварталах на юге Ново-Армянской слободы.

Довести проект до Высочайшего утверждения Андрей Меньшов не смог, он скончался в Астрахани 6 января 1768 года, по поводу чего сокрушался губернатор Бекетов: «без него же не только выстроение целого города, но и одного

порядочного дома приступить кажется с надежностью не можно» [31]. Подготовленные архитектурной «экспедицией» чертежи были отправлены в Петербург, где коллектив под руководством А.В. Квасова, рассмотрев исходный план города Астрахани, «исправя и расположа по своему мнению» [32], составил генеральный план, который был Высочайше утвержден 26 мая 1768 года (рис. 4). Расположение казенных и публичных зданий соответствует проектным предложениям архитектора А. Меньшова и губернатора Н.А. Бекетова: основные государственные учреждения - на территории Кремля; новые здания гостиных дворов для русских и иностранных (армянских и индийских) купцов - на прежнем месте; адмиралтейства - также юго-западнее крепости на берегу Волги, но с подчинением конфигурации комплекса общей градостроительной системе; таможни - возле православной церкви Петра и Павла; главного госпиталя — в юго-восточной части Старой Армянской слободы. Детальная прорисовка зданий в Кремле на плане Меньшова была заменена на условные участки под строительство: губернаторского дома, оберкомендантского дома, рыбной конторы, здания магистрата, артиллерийского цейхгауза, прови-

антских складов, а на территории бывшего Житного двора — торговых лавок. По инициативе губернатора Троицкий монастырь в Кремле был упразднен в 1764 году и его помещения приспособлены для гарнизонной школы (которая и зафиксирована на планах), располагавшейся здесь с 1765 по 1785 год [33].



Рис. 4. План города Астрахани, Высочайше конфирмованный 26 мая 1768 года. Архитектор А.В. Квасов. [РГИА. Ф.1399. Оп.1. Д.253]

Квасовским проектом предполагалось разделить междуречье рвом меридионального направления, который формировал восточную границу города. Крепостные стены Белого города сохранять не планировалось. Характерной для проектов команды А. Квасова стала система с большими площадями [13]. Для Астрахани они были намечены, как на территории сгоревшего Белого города, так и в Татарской и Новой Армянской слободах. Главную площадь расположили между русским и иноземным гостиными дворами. Круглую площадь (намеченную А. Меньшовым) сместили по Большой улице до пересечения с улицей в створе стены Спасского монастыря (совр. ул. Коммунистическая). Такой композиционный прием включил объемно-пространственную доминанту прошлого - храм Рождества Богородицы, перестроенный в начале XVIII века, что соответствовало классическому принципу ансамблевости [11]. Южнее была намечена площадь ромбовидной формы на пересечении с улицей, идущей от ворот Адмиралтейства параллельно набережной канала. В заканальной части были

сформированы три большие площади (центральная – рядом со строящейся армянской церковью Петра и Павла). Комиссия разработала регулярно-геометрическую сетку улиц, которая включала проектные решения Меньшова, но смело игнорировала реальные условия. Так в южных слободах, сохранив ширину кварталов (первых четырех линий от набережной), перебили перпендикулярные направления от набережной Канала ровными линиями улиц, исходящих из города строго на юг. Этот композиционный прием предполагал снос и перестройку первых отрегулированных кварталов под острым углом, что могло вызвать затруднения для массового жилого строительства.

В городе разрешалось только каменное строительство, а деревянное выносилось в национальные слободы [34]. За городом (в предместьях и форштадте) разрешалось строить деревянные или мазанковые дома на каменном полуподвальном этаже (на погребах) или низком каменном фундаменте. Выбор конструктивной системы и декоративного оформления парадных фасадов был предложен на усмотрение губернатора и жителей при обязательном использовании «образцовых» проектов для города Твери. Без фундаментов разрешалось строить хозяйственные постройки на дворовой территории: сараи, ледники, конюшни. Расстояние между служебными зданиями должно было быть не меньше 8, 5 метром (4х саженей), а длина по фасаду — не более 25,6 метров (12ти саженей). Для покрытия крыши указано было использовать: для каменных зданий — металлические листы или черепицу (на первое время допускалось крыть гонтом или тесом), для деревянных

домов – гонт или тес (категорически запрещалось крыть соломой или хворостом). Разделение кварталов, высотные регламенты и поддержание симметрии при перспективном восприятии улиц также было назначено под наблюдение губернатора. В своем представлении от 11 июля 1768 года к «Комиссии о строении Санкт-Петербурга и Москвы» Н.А. Бекетов указывает, что в астраханский магистрат были присланы чертежи и сметы на разные типы жилых домов, и необходимо организовать общественное собрание жителей и узнать «сколко по которому плану строитца охотников будет» [31]. Он определил, что сплошными домами будет застроена Большая улица (совр. Советская) и северная набережная Канала напротив Армянской слободы (очередная отсылка к проекту Меньшова). Этот тип дома был предназначен для астраханских купцов первой гильдии. Купцы второй и третьей гильдий должны были выбрать дома «по меньшим планам» [31].

Помимо общего контроля над строительными работами губернатор должен был создать казенные заводы, наладить производство и поставку по реке строительных материалов [32]. Никита Афанасьевич велел директору астраханских казенных садов, Н.Л. Бекетову найти бугор для добычи глины и производства кирпича (рекомендуя рассмотреть бугор, позже названный Паробичевым, где располагалась Садовая контора); саратовскому воеводе предписал восстановить завод в Золотовской волости по заготовке извести; комендантам Царицына и Дмитриевска найти людей, которые захотят добывать и доставлять плитной камень в Астрахань; каторжных колодников, отправленных в Дмитриевск для тески плитного камня, необходимого для строительства Канала, направить «наиприлежнейшим образом каменную теску производить, по данному от архитекторскаго помощника лекалу» [31]. Все адресаты должны были доложить стоимость расходов на заготовку, производство и транспортировку материалов.

В 1768 году произошло несколько стихийных бедствий, которые еще больше ухудшили состояние города: 4 июня большое половодье прорвало канальную перемычку с Кутумом, в результате чего водой затопило большую часть кварталов Заканалья, а после крупный пожар, уничтоживший 11 сентября застройку Старой Армянской слободы [35, 36].

Критический анализ проектных решений разработанного Комиссией плана вынудил губернатора Н.А. Бекетова направить доношение с описанием препятствий к реализации утвержденного градостроительного документа. Основная критика была направлена на планировочную систему, игнорирующую существующие регулярные кварталы за Каналом в угоду геометрической перпендикулярности плана за счет ровных меридиональных улиц, намеченных от города в южные предместья. В результате чего в Армянских слободах подлежало сносу «лучшее в городе каменное и деревянное строение» [32]. Особо выделил губернатор нерациональность изменения оси улицы, взамен недавно достроенной «немалым коштом до получения плана» дороги через солончак [32]. Вместе с доношением в столицу был направлен новый план, иллюстрирующий исправления Н.А. Бекетова при максимальном сохранении планировочного каркаса ранее утвержденного генплана. Данный лист был найден автором статьи в фондах РГИА (рис. 5). Судя по графическому оформлению, реализацией идей Бекетова занималась та же архитектурная «экспедиция», что работала под руководством А. Меньшова. Вероятно, после смерти архитектора её возглавил помощник – Яков Шнейдер. Об этом свидетельствует и то, что именно Шнейдер доставил губернатору окончательный вариант генерального плана [31], доработанный в Комиссии и Высочайше утвержденный 26 марта 1769 года.

На предложенном к утверждению плане обозначен перенос рва, разделяющего город от восточного форштадта (района Старой Армянской слободы). Губернатор посчитал, что во избежание убытка водяной ров стоит заменить на палисадник или небольшой сухой канал и сдвинуть его западнее. В Комиссии утвердили данное решение, указав, что проектом и не предполагалось создание водяного рва, и для экономии лучше будет сделать сухой канал. В итоговом проекте архитектурная команда А.В. Квасова изменила конфигурацию кварталов в районе современной улицы Калинина, придав перекресткам геометрически правильную форму и создав небольшую площадь вокруг Воздвиженской церкви. Также Комиссия зафиксировала улицу на месте дороги через солончак и заменила жилые кварталы в юго-западной части Заканалья на обывательские

сады, так как данная территория затапливалась. Сохранить перпендикулярность относительно набережной улицы в юго-западной части (совр.

ул. Дарвина) столичные проектировщики не посчитали нужным.



Рис. 5. План гор. Астрахани (отредактированный лист с выделением кварталов под каменные и деревянные строения по плану, Высочайше конфирмованному 26 марта 1769 года). [РГИА. Ф.1293. Оп.168. Астраханская губерния. Д.25]. Публикуется впервые

В архитектурно-строительном направлении губернатор Бекетов утвердил, чтобы «каменное строение производить в городе вне знатных кварталах по одному этажу, а прочия службы строить мазанками» [32]. В Комиссии отметили, что мазанковое строительство будет еще лучше деревянного в противопожарном отношении, но сохранила свои требования к разрывам между хозяйственными постройками в 8,5 метров, а каждый корпус должен быть не более 25,6 метров по длине фасада. Парадные фасады по красной линии должны были соответствовать «образцовым» проектам для тверских домов.

Гостиные дворы (русский, армянский и индийский), «построенные по Азиятскому обычаю» [32], губернатор Бекетов предложил разобрать, хороший материал использовать повторно, а негодный — для защебнивания новых фундаментов для казенных зданий. Для торговли предлагалось строить дома с лавками на первых этажах «по Европейскому обряду» [32]. По этому вопросу Комиссия высказалась категорически против, ссылаясь на законы о контроле над товарами для взимания пошлин и противопожарные нормы относительно размещения торговых помещений в деревянных домах. Что касается обветшавших стен

и башен Белого города и Житного двора, то проект архитектурной команды Квасова не предполагал их сохранение, но материал и щебень было рекомендовано использовать для казенных строений, а не для частных лиц, как предлагал Н.А. Бекетов.

26 марта 1769 года доработанный архитекторами «Комиссии о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы» генеральный план Астрахани был Высочайше утвержден Екатериной II [31]. Подлинный план также подписали граф Захар Чернышёв и Николай Чичерин. Копия графического листа из фондов РГИА заверена архитектором Алексеем Квасовым, а в описании зафиксирован интересный момент относительно ширины астраханских улиц: «каменные домы вышедшие по конфирмованному плану в улицы о которых Астраханской Губернатор представляет, чтоб их здания с ними деревянные домы не расширяя улицы навсегда оставить по прежнему но как те улицы самые уские и не больше 6 сажень а в предместиях ... деревянные домы, то за опасноситию пожарного случая Комиссия и ныне полагает при перестройках оных домов в свое время какую бы ни было улицы зделать по конфирмованному плану в восемь сажень, и оставить до такого случая как в докладе предписано» [37]. Так дискуссия губернатора Бекетова и членов Комиссии о расширении улиц в заканальной части с 12,8 до 17 метров была обозначена даже в итоговой версии градостроительного документа.

Выводы. Данное исследование представляет собой переосмысление на новом уровне истории разработки и утверждения первого Высочайше конфирмованного плана Астрахани. Недавно обнаруженные архивные материалы (графические листы) дополнили ранее опубликованные сведения и в рамках комплексного анализа помогли сделать следующие выводы.

- 1. Благодаря решительным действиям губернатора Н.А. Бекетова Астрахань вошла в список первых городов, для которых был разработан генеральный план в рамках работы «Комиссии о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы» (в том же 1769 году был утвержден генеральный план и для столичного Санкт-Петербурга).
- 2. Анализ письменных источников и графических материалов из фондов РГИА показал, что авторами первого генплана Астрахани 1769 года стоит считать архитектора А.В. Квасова и губернатора Н.А. Бекетова. В тоже время большой вклад в подготовку этого плана внесли специалисты астраханской инженерной команды, а также архитектурная «экспедиция» под руководством архитектора А. Меньшова (а позже архитекторского помощника Якова Шнейдера). Андрей Меньшой (Меньшов) продолжил дело военных инженеров 1740-х гг. по урегулированию планировочной структуры Астрахани и вместе с «экспедицией» создал геодезическую подоснову с фиксацией существующих на 1767 год домовладельческих участков и строений, разработал первую концепцию для нового плана города.
- 3. Генплан 1769 года заложил планировочный каркас исторического центра города (на месте сгоревшей застройки Белого города). Намеченная система улиц и площадей была основана на принципах регулярности и ансамблевости, при сложной композиции тяготела к прямоугольно-перпендикулярной системе. В стремлении к геометрической эстетике предложенный Комиссией план игнорировал сложившуюся регулярную застройку южных предместий, что вынудило губернатора направить запрос на доработку главного градостроительного документа. Н.А. Бекетов аргументированно настаивал на изменении генерального плана Астрахани для привязки к реальным условиям и оптимизации градостроительных решений.
- 4. В архитектурно-строительном аспекте было предусмотрено: зонирование территории по социально-экономическому и визуально-пространственному признаку (разделение кварталов

- на каменные в городе и деревянные в предместьях); некоторые регламенты для хозяйственных построек и ориентирование на «образцовые» проекты для Твери. Размежевание новых кварталов на владельческие участки отдавалось на волю губернатора в частном порядке, выбор фасадного решения и строительных материалов могрешаться обывателям самостоятельно из предложенных вариантов. По инициативе губернатора в предместьях предпочтение отдавалось мазанковому строительству, что свидетельствует о понимании региональных особенностей и работе в общей парадигме «образцового» домостроения.
- 5. Административно-хозяйственная воля губернатора Н.А. Бекетова способствовала привлечению опытных специалистов, организации проектных и строительных процессов и налаживанию производства и поставки необходимых конструктивных и отделочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Семенцов С.В. О методах градостроительного формирования Санкт-Петербурга 1703-1740 годов // Петербургские чтения-95: Материалы научной конференции. 1995. С. 84–88.
- 2. Семенцов С.В. Об особенностях генерального проектирования Санкт-Петербурга 1740-1790-х годов // Петербургские чтения-95: Материалы научной конференции. 1995. С. 88–91.
- 3. Sementsov S., Pukharenko Y. Patterns of origin, formation and spatial movement of the center of Saint-Petersburg in the 1703–1730s // E3S Web of Conferences 2019 Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. 2020. Vol. 164. p. 04028. DOI: 10.1051/e3sconf /202016404028
- 4. Zolotareva M. New trends of urban development in Russia in the 18th century // Journal of Architecture and Urbanism. 2017. Vol.41 (1). Pp. 71–77. DOI: 10.3846/20297955.2017.1296792
- 5. Семенцов С.В. Градостроительная деятельность Анны Иоанновны в Санкт-Петербурге: необходимость ликвидации последствий пожаров и развитие наследия Петра Великого. 1736—1740 гг. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Искусствоведение. 2014. № 1. С. 173—195.
- 6. Белецкая Е.А., Крашенинникова Н.Л., Чернозубова Л.Е., Эрн И.В. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII-XIX вв. М.: Госстройиздат, 1961. 206 с.
- 7. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII-XIX веках. М.: Стройиздат, 1984. 168 с.

- 8. Шквариков В.А. Очерк истории планировки и застройки русских городов. М.: Гос. издво лит. по стр-ву и архитектуре, 1954. 204 с.
- 9. Лавров В.А. Развитие планировочной структуры исторически сложившихся городов. М.: Стройиздат, 1977. 176 с.
- 10. Русское градостроительное искусство: Москва и сложившиеся русские города XVIII первой половины XIX веков / Рос. акад. архитектуры и строит. наук, НИИ теории архитектуры и градостроительства; Под общ. ред. Н.Ф. Гуляницкого. М.: Стройиздат, 1998. 440 с.
- 11. Золотарева М.В. Управление городским строительством во второй половине XVIII в. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 3. С. 121–131. DOI: 10.21285/2227-2917-2017-3-121-131
- 12. Gudkov A. Main Trends in Urban Planning in Russia in the Late 18th Early 19th Century // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953. 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012010
- 13. Шилков В.Ф. Работы А.В. Квасова и И.Е. Старова по планировке русских городов // Архитектурное наследство. 1953. № 4. С. 30–34.
- 14. Осятинский А.И. Градостроительное значение первого утвержденного плана Астрахани // Вопросы архитектуры и графики: Доклады XXII научной конференции. 1964. С. 51–55.
- 15. Осятинский А.И. Строительство городов на Волге. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1965. 191 с.
- 16. Никитин В.П. Этапы формирования планировочной структуры Астрахани с XVI по XIX в. // Вопросы охраны, реставрации и пропаганды памятников истории и культуры. 1979. № 78. С. 87–105.
- 17. Гусарова Е.В. История создания и авторы первого «Высочайше конфирмованного» генплана Астрахани по документам архива ВИ-МАИВиВС // Бранденбурговские чтения. Вып. 2: Письменные памятники в музейных собраниях. 2007. С. 39–49.
- 18. Рубцова С.С. Градостроительная эволюция Астрахани, в 2-х книгах. Книга 1: Строительная история. Ульяновск: Ульяновский дом печати, 2017. 448 с.
- 19. Рубцова С.С. «Образцовая» архитектура исторического поселения Астрахань // Астраханские краеведческие чтения. 2021. Вып. XIII. С. 365–373.
- 20. Полное собрание законов Российской империи. 1-ое собр. Т. XVI: С 28 июня 1762 года по 1765. СПб.: Типография II отделения Собственной Е.И.В. канцелярии, 1830. 1018 с.
- 21. Зодчие Москвы времени барокко и классицизма (1700-1820-е годы) / Гос. науч.-исслед.

- музей архитектуры им. А.В. Щусева ; Сост. и науч. ред. А.Ф. Крашенинников. М.: Прогресс-Традиция, 2004. 304 с.
- 22. Батовский 3. Архитектор Растрелли о своих творениях: материалы деятельности мастера с 65 иллюстрациями. СПб.: Студия Александра Зимина, 2000. 118 с.
- 23. Бирюков И.А. История Астраханского казачьего войска. Часть 1. Саратов: Астраханское казачье войско, 1911. 727 с.
- 24. Сборник старинных бумаг, хранящихся в Музее П.И. Щукина. Ч. 8. Москва: Т-во тип. А.И. Мамонтова, 1901. 438 с.
- 25. Гусарова Е.В. История создания и авторы первого «Высочайше конфирмованного» генплана Астрахани // Архитектурное наследство. 2009. №.50. С. 235–254.
- 26. Гусарова Е.В. Астраханские находки: История, архитектура, градостроительство Астрахани XVI-XVIII вв. по документам из собраний Петербурга. СПб.: Нестор-История, 2009. 492 с.
- 27. Полунин Ф.А. Географический лексикон Российского государства. М., 1773. 479 с.
- 28.Гмелин С.Г. Путешествие по России для изследования трех царств естества. Ч. 2: Путешествие от Черкаска до Астрахани и пребывание в сем городе: с начала августа 1769 по пятое июня 1770 года. Санктпетербург: При Имп. Акад. наук, 1777. 361 с.
- 29. Возняк Е.Р. Закономерности формообразования деталей фасадов эпохи барокко в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 5–12.
- 30. Возняк Е.Р. Закономерности формообразования фасадов зданий и их элементов в Санкт-Петербурге XVIII века: диссертация ... доктора архитектуры: 05.23.20. Санкт-Петербург, 2017.
- 31. РГИА. Ф.1310. Оп.1. Дела. Д.53. О планах городу Астрахани. 1768 г.
- 32. Полное собрание законов Российской империи. 1-ое собр. Т. XVIII: 1767–1769. СПб.: Типография II отделения Собственной Е.И.В. канцелярии, 1830. 1033 с.
- 33. Астраханский Троицкий собор. История его и современное состояние // Астраханские епархиальные ведомости. 1880. № 5. С. 70–74.
- 34.РГИА. Ф.1399. Оп.1. Д.253. Планы города Астрахани и Астраханской крепости. Л.1.
- 35.РГАДА. Ф.248. Оп.160. Д.1490. План города Астрахани, с указанием районов, затопленных во время разлива рек. 1768 г.
- 36.РГИА. Ф.1293. Оп.168. Астраханская губерния. Д.25. План гор. Астрахани.
- 37.РГИА. Ф.1399. Оп.1. Д.254. План города Астрахани (копия высоч. конфирмов.). 1769 г.

Информация об авторах

Березкин Сергей Александрович, аспирант кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: berezkin.s.official@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

Поступила 19.01.2022 г. © Березкин С.А., 2022

Berezkin S.A.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering E-mail: berezkin.s.official@gmail.com

STAGES OF DEVELOPMENT AND ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING SIGNIFICANCE OF THE FIRST GENERAL PLAN OF ASTRAKHAN (1767–1769)

Abstract. The history of a large-scale program of urban reconstruction and construction on model projects in the second half of the 18th century has been sufficiently studied in the fundamental works of Soviet researchers. However, the local context of regulating the planning structure of border towns continues to be actual topic due to new discoveries and the rapid degradation of the historical and architectural environment. This article summarizes and refines information about the creation of the first Highly approved general plan of Astrakhan in 1760s based on a comprehensive analysis of written and iconographic sources. Stages of development and authors of design solutions are identified. New archival materials and their description are introduced into scientific circulation. The share of participation and contribution of the architect Andrey Menshov, the Astrakhan governor Beketov N.A. and Kvasov A.V. – the chief architect of the "Commission for the Stone Construction in Saint Petersburg and Moscow" is specified. The analysis of the process of designing the general plan in urban planning and architectural aspects with indicating of recommendations and regulations for construction of residential buildings based on principles of regularity and ensemble is presented.

Keywords: general plan of Astrakhan, regular layout, «exemplary» projects, architect Andrey Menshoy (Menshov), architect A.V. Kvasov.

REFERENCES

- 1. Sementsov S.V. On the methods of urban planning formation of Saint-Petersburg in 1703-1740 [O metodah gradostroitel'nogo formirovaniya Sankt-Peterburga 1703-1740 godov]. Peterburgskie chteniya-95: Materials of the scientific conference. 1995. Pp. 84–88. (rus)
- 2. Sementsov S.V. On the features of the general designing of Saint-Petersburg in the 1740s-1790s [Ob osobennostyah general'nogo proektirovaniya Sankt-Peterburga 1740-1790-h godov]. Peterburgskie chteniya-95: Materials of the scientific conference. 1995. Pp. 88–91. (rus)
- 3. Sementsov S., Pukharenko Y. Patterns of origin, formation and spatial movement of the center of Saint-Petersburg in the 1703-1730s. E3S Web of Conferences 2019 Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. 2020. Vol. 164. p. 04028. DOI: 10.1051/e3sconf/202016404028
- 4. Zolotareva M. New trends of urban development in Russia in the 18th century. Journal of Architecture and Urbanism. 2017. Vol.41 (1). Pp. 71–77. DOI: 10.3846/20297955.2017.1296792
- 5. Sementsov S.V. Urban-planning activities of Empress Anna Ioannovna in Saint-Petersburg: need of eliminating the consequences of numerous fires led to development of Peter the Great's heritage.

- 1736–1740 [Gradostroitel'naya deyatel'nost' Anny Ioannovny v Sankt-Peterburge: neobhodimost' likvidacii posledstvij pozharov i razvitie naslediya Petra Velikogo. 1736–1740 gg.]. Vestnik of Saint Petersburg University. Arts. 2014. Issue 1. Pp. 173–195. (rus)
- 6. Beletskaya E.A., Krasheninnikova N.L., Chernozubova L.E., Ern I.V. «Exemplary» projects in residential development of Russian cities of the 18th 19th centuries [«Obrazcovye» proekty v zhiloj zastrojke russkih gorodov XVIII-XIX vv.]. Moscow: Gosstroiizdat, 1961. 206 p. (rus)
- 7. Ozhegov S.S. Typical and repeated construction in Russia in the 18–19th centuries [Tipovoe i povtornoe stroitel'stvo v Rossii v XVIII-XIX vekah]. Moscow: Stroiizdat, 1984. 168 p. (rus)
- 8. Shkvarikov V.A. An essay on the history of layout and construction of Russian cities [Ocherk istorii planirovki i zastrojki russkih gorodov]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1954. 204 p. (rus)
- 9. Lavrov V.A. Development of the planning structure of historically formed cities [Razvitie planirovochnoj struktury istoricheski slozhivshihsya gorodov]. Moscow: Stroiizdat, 1977. 176 p.
- 10.Gulyanickij N.F. (ed.) Russian town-planning art: Moscow and the established Russian cities of the XVIII the first half of the XIX centuries

[Russkoe gradostroitel'noe iskusstvo: Moskva i slozhivshiesya russkie goroda XVIII – pervoj poloviny XIX vekov]. Moscow: Stroyizdat, 1998. 440 p. (rus)

11.Zolotareva M.V. Management of town development in the second half of XVIII century. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. 2017. Vol. 7. No. 3. Pp. 121–131. (rus) DOI: 10.21285/2227-2917-2017-3-121-131

12.Gudkov A. Main Trends in Urban Planning in Russia in the Late 18th Early 19th Century. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953, p. 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012010

13. Shilkov V.F. Works of A.V. Kvasov and I.E. Starov on the layout of Russian cities [Raboty A.V. Kvasova i I.E. Starova po planirovke russkih gorodov]. Arhitekturnoe nasledstvo. 1953. Issue 4. Pp. 30–34. (rus)

14.Osyatinsky A.I. Urban planning significance of the first approved plan of Astrakhan [Gradostroitel'noe znachenie pervogo utverzhdennogo plana Astrahani]. Voprosy arhitektury i grafiki: Reports of the XXII Scientific Conference. 1964. Pp. 51–55. (rus)

15.Osyatinsky A.I. Construction of cities on the Volga [Stroitel'stvo gorodov na Volge]. Saratov: Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 1965. 191 p. (rus)

16. Nikitin V.P. Stages of formation of the planning structure of Astrakhan from the XVI to the XIX century [Etapy formirovaniya planirovochnoj struktury Astrahani s XVI po XIX v.]. Voprosy ohrany, restavracii i propagandy pamyatnikov istorii i kul'tury. 1979. No. 78. Pp. 87–105. (rus)

17.Gusarova E.V. The history of creation and the authors of the first «Highly confirmed» general plan of Astrakhan according to the documents of the archive of the Military-Historical Museum of Artillery, Engineer and Signal Corps [Istoriya sozdaniya i avtory pervogo «Vysochajshe konfirmovannogo» genplana Astrahani po dokumentam arhiva VIMAIViVS]. Brandenburgovskie chteniya. Issue 2: Written monuments in museum collections. 2007. Pp. 39–49. (rus)

18.Rubtsova S.S. The city-planning evolution of Astrakhan. Book 1. Construction history [Gradostroitel'naya evolyuciya Astrahani. Kniga 1: Stroitel'naya istoriya]. Ulyanovsk: Ulyanovsk House of Printing, 2017. 448 p. (rus)

19.Rubtsova S.S. «Exemplary» architecture of the historical settlement of Astrakhan [«Obrazcovaya» arhitektura istoricheskogo poseleniya Astrahan']. Astrahanskie kraevedcheskie chteniya. 2021. Issue XIII. Pp. 365–373. (rus)

20.Complete Collection of Laws of the Russian Empire [Polnoe Sobranie Zakonov Rossijskoj Imperii]: 1st sobr. Vol. XVI: From June 28, 1762 to 1765. St. Petersburg: Printing Office of the Second Department of His Imperial Majesty's Own Chancellery, 1830. 1018 p. (rus)

21.Krasheninnikov A.F. (ed.) Architects of Moscow during the Baroque and Classicism (1700-1820s) [Zodchie Moskvy vremeni barokko i klassicizma (1700-1820-e gody)]. Moscow: Progress-Tradiciya, 2004. 304 p. (rus)

22.Batovskij Zigmunt. Architect Rastrelli about his creations: materials of the master 's activity with 65 illustrations [Arhitektor Rastrelli o svoih tvoreniyah: materialy deyatel'nosti mastera s 65 illyustraciyami]. St. Petersburg: Studio of Alexander Zimin, 2000. 118 p. (rus)

23.Biryukov I.A. History of the Astrakhan Cossack Troops [Istoriya Astrahanskogo kazach'ego vojska]. Part 1. Saratov: Astrahanskoe kazach'e vojsko, 1911. 727 p. (rus)

24. Collection of ancient papers stored in the Museum of P.I. Shchukin [Sbornik starinnyh bumag, hranyashchihsya v Muzee P. I. SHCHukina]. Part 8. Moscow: A.I.Mamontov Printing Company, 1901. 438 p. (rus)

25.Gusarova E.V. The history of creation and the authors of the first «Highly confirmed» general plan of Astrakhan [Istoriya sozdaniya i avtory pervogo «Vysochajshe konfirmovannogo» genplana Astrahani]. Arhitekturnoe nasledstvo. 2009. Issue 50. Pp. 235–254. (rus)

26.Gusarova E.V. Astrakhan finds: History, architecture, urban planning of Astrakhan of the XVI-XVIII centuries, according to documents from the collections of St. Petersburg [Astrakhanskiye nakhodki: Istoriya, arkhitektura, gradostroitel'stvo Astrakhani XVI-XVIII vv. po dokumentam iz sobraniy Peterburga]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2009. 492 p. (rus)

27.Polunin F.A. The geographical lexicon of the Russian state. Moscow, 1773. 479 p. (rus)

28.Gmelin S.G. Journey through Russia for the exploration of the three kingdoms of nature. Part 2: Travel from Cherkask to Astrakhan and stay in this city: from the beginning of August 1769 to the fifth of June 1770 [Puteshestvie po Rossii dlya izsledovaniya trekh carstv estestva. CH. 2: Puteshestvie ot CHerkaska do Astrahani i prebyvanie v sem gorode: s nachala avgusta 1769 po pyatoe iyunya 1770 goda]. In St. Petersburg: Under the Imperial Academy of Sciences, 1777. 361 p. (rus)

29.Voznyak E.R. Regularities of element morphogenesis on the facades referring to the baroque period in Saint-Petersburg [Zakonomernosti formoobrazovaniya detalej fasadov epohi barokko v

Sankt-Peterburge]. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 3 (56). Pp. 5–12. (rus)

- 30. Voznyak E.R. Regularities of morphogenesis on facades of buildings and their elements in Saint-Petersburg of the XVIII century [Zakonomernosti formoobrazovaniya fasadov zdanij i ih elementov v Sankt-Peterburge XVIII veka]: dissertation ... Doctor of Architecture. Saint-Petersburg, 2017. (rus)
- 31.The Russian State Historical Archive [RGIA]. Fund 1310. Inventory 1. Case 53. About the plans for the city of Astrakhan. 1768. (rus)
- 32.Complete Collection of Laws of the Russian Empire [Polnoe Sobranie Zakonov Rossijskoj Imperii]: 1st sobr. Vol. XVIII: 1767–1769. St. Petersburg: Printing Office of the Second Department of His Imperial Majesty's Own Chancellery, 1830. 1033 p. (rus)
- 33.Astrakhan Trinity Cathedral. Its history and current state [Astrahanskij Troickij sobor. Istoriya

- ego i sovremennoe sostoyanie]. Astrahanskie eparhial'nye vedomosti. 1880. No. 5. Pp. 70–74. (rus)
- 34.The Russian State Historical Archive [RGIA]. Fund 1399. Inventory 1. Case 253. Plans of the city of Astrakhan and the Astrakhan fortress. Sheet 1. (rus)
- 35.The Russian State Archive of Ancient Acts [RGADA]. Fund 248. Inventory 160. Case 1490. Plan of the city of Astrakhan, indicating areas flooded during the flood of rivers. 1768. (rus)
- 36.The Russian State Historical Archive [RGIA]. Fund 1293. Inventory 168. Astrakhan gubernia. Case 25. Plan of the city of Astrakhan. (rus)
- 37. The Russian State Historical Archive [RGIA]. Fund 1399. Inventory 1. Case 254. Plan of the city of Astrakhan (copy of the Highly confirmed plan). 1769. (rus)

Information about the authors

Berezkin, Sergey A. Postgraduate student. E-mail: berezkin.s.official@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya st., 4.

Received 19.01.2022

Для цитирования:

Березкин С.А. Этапы разработки и архитектурно-градостроительная значимость первого генерального плана Астрахани (1767–1769 гг.) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 43–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-43-56

For citation:

Berezkin S.A. Stages of development and architectural and urban planning significance of the first general plan of Astrakhan (1767–1769). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 43–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-43-56

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-57-69

^{1,2,*}Ишмухаметова К.В., ²Спирина О.Ф., ²Десяткина А.В.

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова ²Уфимский государственный нефтяной технический университет *E-mail: ikv23@mail.ru

КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЭКОПРОСТРАНСТВ ГОРОДА УФЫ

Аннотация. В статье поднимается актуальный на сегодняшний день вопрос формирования экосознания у жителя современного мегаполиса через городскую среду. Авторы исследования провели анализ предпосылок появления экокластеров в существующих общественных пространствах города Уфы. Используя опыт в формировании отечественных и зарубежных экологичных общественных пространств, а также опираясь на теоретические труды по формированию «личного» публичного пространства, авторы предлагают кластерную модель «лично-публичной» системы общественных экопространств города Уфы.

Основой модели послужили социо-пространственные паттерны взаимоотношений горожан на различных масштабных уровнях в системе публичных пространств города. В модели заложены принципы и методы проектирования общественных пространств на всех уровнях в соответствии с авторской концепцией «дом-мир». Предложенная модель описывает иерархическую многоуровневую систему общественных экопространств, встроенных либо в существующие общественные пространства города Уфы, либо активизирующие ресурсные и потенциальные локации города. В модели заложен принцип партисипации как условия развития и жизнестойкости экопространств города. Авторы рассматривают горожанина города как активного соучастника формирования экопространств через экопрактики. В структуре модели заложен аспект ментальной особенности восприятия пространства как «дома», то есть личного, приватного, и как внешнего «мира», то есть стороннего, окружающего «дом». Модель предполагает не только масштабируемость экопространств, но и различную степень восприятия жителями города уровня приватности этих пространств. Принципы формирования экопрастранств, заложенные в модели, обусловлены стремлением расширить понятие «дом» до границ города.

Каждый уровень модели представлен через социально-функциональный сценарий экопространства, входящего в экокластер Уфы, и визуализирован в виде вариативного проектного решения для города.

Ключевые слова: экоревитализация, устойчивое развитие, общественное пространство, экокластер, экопросвещение, зеленый город, устойчивый город.

Введение. Современные тенденции развития Уфы заключаются в большей степени в изоляции городской среды от природной: обширные зеленые территории Уфы не несут рекреационных функций и обладают низким уровнем благоустройства. Деградация уникальных природных ландшафтов, загрязнение воздуха, водных и прибрежных ресурсов, проблемы утилизации бытовых отходов, появление в городе заброшенных, необлагороженных и пустующих территорий, превращающихся в замусоренные маргинальные пространства и несанкционированные парковки, – последствия формирования города как крупного промышленного центра [1–3].

Научно-техническая революция показала новый возможный путь — коэволюция природы и общества, в которой экологический фактор становится катализатором переосмысления социальной ценности природы, поиска способов реорганизации общественной жизнедеятельности, новых форм эковоспитания горожан, переориентации их мировоззрения, творческой и социальной

активности на решение экологических проблем. В городской среде экопреобразование может начаться с общественных пространств.

Достичь этих целей будет возможно с помощью создания системы экокластеров. Кластерный подход выбирается как наиболее прогрессивный: общая открытая среда, сочетающая в себе бизнес, образование и культуру, направлена на создание новых взаимоотношений и обмен инновационными идеями. Экоосознанность — это новая культура, которая станет основной идеей экокластеров и поможет оздоровить городское пространство, создать экопозитивную обстановку в городе, в которой люди смогут реализовать свои инициативы и развить экопривычки, осознать свои возможности и свою ответственность в формировании городской среды [1—4].

Целью данной статьи является выявление системного кластерного подхода для формирования экологических общественных пространств города на примере крупного мегаполиса Уфы, а также определение общего принципа работы

этой системы как единой экокластерной модели. Объект исследования — общественные пространства города Уфы, имеющие явный и скрытый экопотенциал. Предмет исследования — система экокластеров в структуре города Уфы.

Задачи исследования:

- выявить систему общественных пространств города как единой модели взаимосвязанных экокластеров;
- определить принцип работы экокластерной модели общественных пространств города.

Материалы и методы. Характерной особенностью последнего десятилетия является применение в исследовании междисциплинарного подхода. Авторы рассматривают город как сложный социокультурный организм, постоянно развивающийся и интегрирующий системы отношений своих горожан. В исследовании применялись комплексный, ландшафтно-экологический подходы, а также элементы подходов из гуманитарных наук, таких как социология и городская антропология [5]. Взаимовлияния формы, образа и социокультурной наполненности общественного пространства на характер поведения человека в публичном пространстве изучено в работах Сета М. Лоу, В. Глазычева, К. Линча, Я. Гейла [5–8] и других. Рассмотрение городской среды в единстве внешних и внутренних связей, заведомо предполагающих вариативность форм, выявление структурности связей города (функциональных, социокультурных, социопространственных, социоэкологичных и прочих) представлено в работах структуралистов, таких как К. Леви-Строс, Р. Барт [9, 10], а также в методике проектирования, предложенной К. Александером через формирования структурных связей «открытой системы города», названной им системой городских паттернов [11–13]. Изучение вопроса городской среды как архитектурного контекста для проектирования и реконструкции территории, сохранение культурных кодов среды, а также внедрение уже существующих культурных кодов в формирование новых общественных пространств города, представлено в работах Т.А. Смолицкой, А.В. Крашенинникова, П. Родькина, Д. Замятина, В.А. Нефедова, Р. Транчика [14–18]. Вопрос городской морфологии и характера землепользования внутри городской территории представлен в трудах М. Конзена, Л. Мамфорда [19, 20]. Вопросы этики использования природных ресурсов и гармоничного «симбиоза» человека и природы были поставлены и проработаны в трудах А. Леопольда, Я. Мак-Харга [21, 22], а также В. Вернадского с точки зрения «разумного», патерналистического отношения к Земле и человека как части экосистемы планеты [23].

В исследовании были использованы методы градостроительного, ретроспективного и графоаналитического анализа, фотофиксация.

Основная часть. Для развития Уфы как современного экоустойчивого города необходимо не только оздоровить и ревитализировать городскую среду, но и развить стойкую экосознательность у его жителей таким образом, чтобы это было комфортно, естественно и не вызывало отчуждения [2]. В системе пространств города именно общественные пространства, как места публичной активности и взаимовлияний всего «городского» [6] и горожанина, в рамках исследования рассмотрены как потенциальные локации размещения экопространств внутри них.

На основе анализа ресурсов Уфы и опыта формирования общественных экопространств мира и России были выявлены необходимые основные пять видов публичных пространств на территориях города: микро-, мини-, миди- и суперкластеры, а также связи между ними.

К микрокластерам относятся территории дворовых пространств, миникластеры расположатся на территориях школ. Мидикластеры включат в себя различные центры микрорайонов и районов: парки, скверы, университетские пространства. Территории суперкластеров охватят наиболее крупные и наиболее проблемные места Уфы: лесопарки, загрязненные промышленные территории, протяженные овраги, прибрежные территории. Связь между ними обеспечат линейные экопространства: улицы, бульвары, аллеи, которые послужат переходными рекреационными территориями.

Для наиболее четкого формирования структуры системы экокластеров и удобства ее понимания была разработана вертикально-горизонтальная концепция «дом-мир» [24]. Концепция отражает последовательную сценарность жизни человека в новых общественных пространствах с заботой о его комфорте. «Дом-мир» — это путь развития человека через городскую среду [3].

Подсистемы «дом» и «мир» отличаются разными подходами к формированию пространств, сценариев и функций внутри них, при этом такой контраст создает возможность максимально разнообразного и выгодного использования территорий (рис. 1).

Подсистема экопространств «дом» с вертикальной иерархией взаимодействия. Подсистема «дом» – это локальные общественные пространства с трехуровневой вертикальной ментальной и функциональной связью между собой, включающей территории дворов, школ и общественных центров микрорайонов. Концепция «дома» состоит в «поэтапности» (продвижению

вверх по этажам) образования у человека экопривычек и реализации экоинициатив в городской среде. Система включает в себя три последовательных уровня: пространство эколичности, пространство экотрансформаций и пространство экосоциализации [26, 29].

Пространство эколичности формируется как локальное место с самой высокой степенью приватности, это зона комфорта человека с ограниченным количеством социальных взаимодействий. В таком пространстве с низкой степенью

непредсказуемости возникает максимально тесная психологическая связь между средой и человеком. На степень комфорта человека в его личном пространстве влияет глубина вторжения в знакомые ему процессы и сценарии. Для того, чтобы не нарушить изначальную привязанность, в пространстве эколичности предлагается деликатное внесение экорешений, которое бы оздоравливало существующие процессы, направляя их в «зеленое» русло, при этом не изменяя глобально их сути и не добавляя кардинально новый и незнакомый функционал [27, 28].

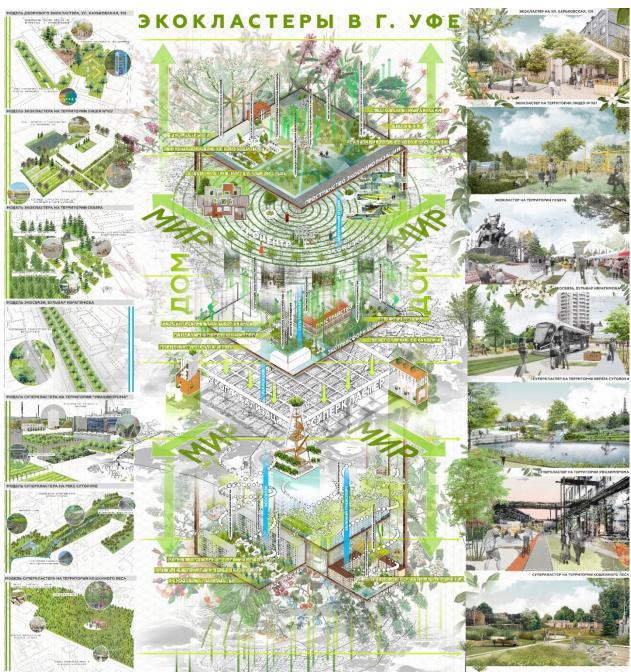


Рис. 1. Концепция формирования системы экокластеров «Дом-мир»

К таким эковнедрениям можно отнести:

- увеличение биоразнообразия кустовых и цветочных растений;
- применение дорожных экопокрытий только в местах, требующих замены или обновления существующих;

- оборудование тактильной экоплитки для людей с OB3;
- установка уличного освещения на солнечной энергии;
- структурирование и зонирование мест для цветочных посадок жителей двора, инициативное создание грядок, низких ограждений и ящиков для растений из вторичных материалов;
- озеленение общих внутриподъездных площадок с помощью растений самих жителей;
- оборудование балконных садов по выращиванию микрозелени и съедобных растений;
- размещение горшковых хвойных растений, которые в новогодние праздники жители забирают домой и наряжают, а после снова возвращают в открытую среду;
- установка контейнеров компостинга с возможностью использования сырья для удобрения дворовых растений и других нужд;
- установка контейнеров сбора вторсырья вместо контейнеров смешанного сбора и оборудование пространства для возможности сортировки на улице;
- установка табличек с информацией о сортировке вторсырья и компостировании;
- размещение стеллажей фримаркета обмена вещами, фудшеринга – обмена продуктами в подъездах и во дворах;
- строительство детских экоплощадок из вторичных экологически чистых материалов с возможностью зимнего использования;
- возведение каркасных павильонов, мест отдыха из вторсырья (старых деревянных оконных рам, досок) и фасадных ячеек Гретцеля (генерация солнечной энергии для освещения дворового пространства в темное время суток);
- проведение «соседских вечеров» по обсуждению проблем дворовых пространств, путей

их решения, а также обсуждение новых инициатив и возможностей их внедрения.

Первая ступень системы «дом» решается как разделенные по функциональным зонам камерные пространства, создающие «квартиры» с «комнатами» со своими сценариями внутри: «комната» садоводства, «комната» отдыха и общения с соседями, детская «комната», «комната» сортировки вторсырья и т.д. Разработка наполнения каждого двора осуществляется с участием жителей (рис. 2).

Второй уровень системы «дом» — это пространство экотрансформаций, что относится и к организации самих пространств, и к трансформации экосознательности человека.

Новая ступень системы — это движение от базовых потребностей, которые остаются удовлетворенными после «прохождения» первого уровня «дома», к последовательно возникающим потребностям в получении нового опыта (физического и ментального) и знаний. Пространство экострансформаций расширяет границы «личного», включая новые социальные связи и совместные активности, необходимые человеку для «прохождения» данного этапа [24].

Кластеры экотрансформаций образуются на базе территорий школ, формируя локальные общественные пространства для жителей квартала. На данный момент несмотря на то, что каждый житель имеет право заниматься спортом, гулять с детьми и без на школьной территории, знает об этом далеко не каждый, так как эти территории ассоциируются с заборами, за границу которых нельзя проникать. Экокластеры второго порядка системы «дом» возрождают школьные пространства, привлекая жителей экоспортивными и образовательными зонами.





Рис. 2. Экопространство двора

Трансформация пространств школ будет происходит следующим образом:

- демонтаж ограждений и использование их как основы для создания трансформируемых пространств и МАФов;
- монтаж тактильной экоплитки для повышения инклюзивности пространств;
- проектирование переносных трансформируемых мультифункциональных конструкций из металла ограждений для создания пространств

опытов, обсуждений, возведения теплиц, грядок и т. д.

- создание городских минизон экологического туризма на озелененных пространствах с деревьями и кустарниками, где в весенне-летнеосенний сезон возможно изучение растений и животных (птиц и насекомых) и наблюдение за циклами их жизни, создание опытных площадок посредством переносных МАФов, а в зимнее время оборудование лыжной трассы;
- установка контейнеров для сбора вторсырья и компостирования с опытной площадкой обучения сортировке отходов;
- размещение грядок и теплиц с возможностью обучения основам огородничества в городской среде, теплицы предполагают трансформи-

рование каркаса с образованием откидных посадочных мест для проведения лекций (также возможно использование откидных конструкций для временного или постоянного размещения переносных горшков с растениями);

- возведение трансформируемых трибун возле спортивных площадок, которые также возможно использовать как пространства лекториев и мастер-классов на открытом воздухе;
- проведение летних (время наименьшей нагрузки на территорию) экопрактик-интенсивов для школьников и всех желающих.

Школьные территории превращаются в постоянно трансформирующиеся пространства, подстраивающиеся под нужды обучающихся детей и взрослых в данный период времени (рис. 3).





Рис. 3. Экокластер на территории школы

Пространства экосоциализаций — это заключительная ступень локальных пространств в системе «дом». Это пространства соучастия с высокой степенью непредсказуемости, где наполнение и результат деятельности зависит от целой группы людей [30].

Эти пространства развиваются как центры микрорайонов на базе скверов, парков, террито-

рий университетов и т.д. с бо́льшим потоком стечения людей. Пространственно от двух предыдущих уровней они отличаются в первую очередь открытостью и проницаемостью, предоставляя посетителям свободу действий.

Ступень экосоциализации — это место дискуссий, совместной работы, применения опыта и реализации творческого потенциала (рис. 4).





Рис. 4. Пространство локального центра микрорайона

Развитие территорий предполагается следующим образом:

оборудование поверхностей для возможности передвижения лиц с ОВЗ с помощью тактильных экоплиток, а также введения тактильных указателей;

- организация площадок и мероприятий для создания временных павильонов и инсталляций из вторичного сырья, мусора и других материалов, привлекающих внимание к ответственному обращению с ресурсами;
- размещение веганских кафе и ресторанов, выращивающих продукцию на собственной территории, либо получающих ее от локальных фермеров;
 - проведение экофестивалей;
- проведение сезонных ярмарок для локальных производителей в качестве программы поддержки малого бизнеса;

- благоустройство рекреационных зон для отдыха и пикников;
- создание зон коворкинга с проницаемыми минипавильонами на солнечной энергии;
- создание детских игровых экокомплексов, использующих ландшафт и зеленые насаждения.

Экосвязи – нити, соединяющие экопространства между собой и полностью пронизывающие город. Такими связями являются улицы, бульвары и аллеи (рис. 5).



Рис. 5. Экосвязь

Для их экологизации предлагается проведение следующих мероприятий:

- использование экопокрытий при ремонте и замене существующих;
- организация сети выделенных велодорожек в качестве программы поддержки зеленого транспорта;
- введение меловой ботаники при использовании долговечных материалов для экопросвещения горожан;
 - очистка загрязненных территорий;
- введение современного благоустройства, установка малых архитектурных форм из экологически чистых и вторичных материалов;
- установка панелей экоинформирования о состоянии городской среды;
- увеличение количества и качества озеленения;
 - введение мобильного озеленения;
- замена остановочных павильонов на «умные» павильоны, работающие от солнечной энергии;
- введение освещения на солнечных батареях;
 - использование системы ливневых садов;
- возвращение в Уфу самого экологичного вида транспорта трамваев, восстановление

связи между южной и северной частями города, прокладывание новых маршрутов.

Подсистема экопространств «мир» с горизонтальной иерархией взаимодействия. Подсистема «мир» представляет собой общественные пространства с горизонтальной связью между собой. Это суперкластеры, каждый из которых является индивидуальной уникальной единицей в городской среде, транслирующей одну из глобальных мировых экологических проблем (лесопарковые территории как проблемы обезлесивания, набережные — загрязнение водных ресурсов и т. д.) и пути её решения. Это пространства экоглобализации [31, 32].

Суперкластеры — это большие общественные пространства, сочетающие в себе широкий функциональный и сценарный набор (в том числе и систему организации пространства вида «дом» в переработанных вариациях), для жителя — финал формирования экоосознанности с переходом с локального уровня на глобальный с переключением на мировой опыт решения масштабных проблем.

Один из видов суперкластеров — это промышленный кластер (рис. 6), отражающий проблему промышленного загрязнения территорий, воздуха и др.



Рис. 6. Промышленный суперкластер

Восстановление территории и создание суперкластера будет происходит с помощью следующих мероприятий:

- расчистка территории;
- вывоз и утилизация химических отходов;
- нейтрализация веществ, сохранившихся в почве, до безопасного уровня;
- повышение уровня транспортной доступности;
- использование пригодных вторичных материалов с завода для благоустройства;
- проведение лекций, воркшопов, фестивалей;
- восстановления озеленения, введение мобильного озеленения;
- введение системы городского садоводства;
- появление детских площадок в промышленном контексте;
- аренда помещений локальным малым бизнесом;
- введение рекреационных зон отдыха, зон коворкинга;
- введение модульной системы благоустройства;
- устройство центра исследования промышленных загрязнений окружающей среды на базе бывших цехов;
- организация музея промышленных катастроф.

Прибрежный или водный суперкластер – пространство, связанное с темой загрязнения водных ресурсов и их исчезновения в городской среде.

Для организации водного суперкластера предполагаются следующие экомероприятия:

- очистка территории от бытового мусора;
- организация системы дождевой канализации и очистка поверхностного стока;
- укрепление склонов с помощью системы террас;

- организация системы каскадных ливневых садов с высадкой очищающих воду растений на склонах оврага;
- организация безбарьерного доступа к воле:
- расчистка диких зарослей деревьев, облагораживание растений;
 - сохранение естественного дикого берега;
- природоохранные мероприятия, касающиеся животного биоразнообразия реки;
- размещение детской площадки, включающей в себя источники воды, каналы и шлюзы, подпитываемые рекой;
- организация детской «станции» генерации электричества посредством движения воды;
- появление сети мостов и пирсов для наблюдения за рекой, взаимодействия с ней, проведения медитаций и йоги на воде;
- введение модульного благоустройства с отражающими поверхностями, имитирующими отражения в воде;
- организация информационного павильона из прозрачных материалов с датчиками чистоты воды;
- организация образовательного центра бережного использования водных ресурсов;
- проведение эколекций и встреч на тему загрязнения поверхностных вод (рис. 7).

Суперкластер в лесном контексте отражает проблемы обезлесивания, загрязнения территорий, бесконтрольной вырубки деревьев, учащения пожаров (рис. 8).

Преобразование леса в суперкластер будет происходит следующим образом:

- вырубка сухостойных деревьев, уборка валежника и использование материалов для создания деревянного модульного благоустройства;
 - очистка территорий от мусора;
- организация большой рекреационной зоны с экопутями, вело- и лыжными дорожками через ручьи и скалы;

- организация веревочного парка для детей и взрослых;
 - деревянная детская экоплощадка;
- обучающая площадка осознанного туризма;
 - открытый музей цикла древесной жизни;
- центр изучения лесного биоразнообразия и микроорганизмов;
 - введение информирующих табличек;
- организация детского минизоопарка диких животных, неспособных жить в естественной среде;
- зона деревянного рукоделия: мастерклассы по созданию домиков/скворечников для животных из древесины;
 - оборудование зоны для выгула собак;
- арт-объекты, информирующие о теме обезлесивания.



Рис. 7. Прибрежный суперкластер



Рис. 8. Суперкластер на территории леса

Суперкластеры, как лицо нового «зеленого образа города», будут привлекательны не только для местных жителей, но и для туристов, поэтому для них особенно важно внедрение узнаваемого дизайн-кода для формирования брендинга города. Единый код может обеспечить система модульного благоустройства [4].

Модули должны отражать экотематику пространств и быть узнаваемыми для Уфы, при этом они должны не только функционально, но и внешне подстраиваться под среду, так как каждый из суперкластеров должен максимально сохранять индивидуальность и визуальную идентичность внутри своей тематики (рис. 9).

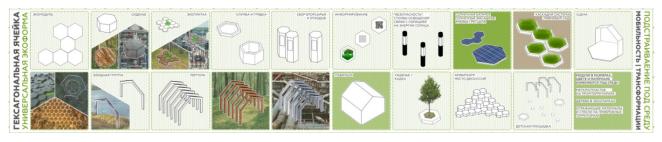


Рис. 9. Система модулей

Для получения четкого сценария проектирования экокластеров на территориях города было необходимо структурировать сформированные методы и принципы.

В приведенной таблице представлены методы создания общественных экопространств в поэтапной системе «дом-мир» (табл. 1).

Таблица 1

Методы проектирования экокластеров

Типология метафор экокластеров	Социально-функциональный сценарий	Методология проектирования
«Пространство эколичности» в системе «дом» – территории дворовых пространств	Тихий отдых, общение с со- седями. Ежедневное время- провождение с детьми возле дома. Благоустройство сво- его двора, уход за растени- ями. Сортировка вторсырья.	 четкое разделение пространства по камерным функциональным зонам; насыщение уличной мебелью, сделанной из вторичных материалов; организация детских игровых экоплощадок; организация зон сортировки отходов и установка контейнеров раздельного сбора мусора, установка контейнеров компостинга; организация зон городского садоводства; установка освещения на солнечной энергии.
«Пространство экотрансформаций» в системе «дом» — школьные территории	Обучение экопрактикам — экообразование для школьников и горожан. Ведение городского огородничества. Проведение летних экоинтенсивов для детей и взрослых.	 демонтаж ограждений, использование их в создании трансформируемого благоустройства; создание опытных площадок наблюдения за местной флорой и фауной, в зимнее время – пространство для лыжных трасс; оборудование грядок и трансформируемых теплиц с пространствами обучения городскому огородничеству; возведение трансформируемых трибун для спортивных мероприятий и проведения мастерклассов и эколекций.
«Пространство экосо- циализации» в системе «дом» — территории скверов, парков, уни- верситетские простран- ства, внутрикварталь- ные пустыри — центры микрорайонов	Пространство отдыха на открытых территориях. Место для встреч и дискуссий. Пространства коворкинга. Проведение экофестивалей, ярмарок. Место для реализации творческого потенциала.	 установка уличной мебели для проведения экофестов и ярмарок; установка павильонов коворкинга, работающих на солнечных батареях; организация площадок экоинсталляций и перфомансов; благоустройство рекреационных зон отдыха; создание игровых детских экокомплексов с использованием ландшафта и зеленых насаждений; устройство кафе растительного здорового питания.
«Экосвязь» как переходная линия между системами «дом» и «мир» — улицы, бульвары, аллеи	Временный отдых в рекреационных зонах. Передвижение по городу с помощью «зеленых» видов транспорта.	 организация сети трамвайного сообщения; организация обособленных велодорожек; установка МАФов из экоматериалов для временного отдыха; оборудование системы ливневых садов; установка мобильного озеленения; установка панелей экоинформирования о состоянии городской среды; установка остановочных павильонов, работающих от солнечной энергии.
Суперкластер в системе «мир» – промышленные территории, лесопарки и лесные массивы на территории города, прибрежные зоны, большие особо загрязненные территории	Привлечение туристического потока. Публичные места отдыха и досуга в различном средовом контексте. Экоинформирование горожан о мировых экологических проблемах и наглядные пути их решения.	 включение тех же методов, что используются в программе «дом»; очистка территорий; модульное благоустройство; обустройство тематических детских площадок; расположение образовательных и исследовательских экоцентров; организация тематических экомузеев; установка тематических арт-объектов и информационных табличек.

Выводы. Концепция «дом-мир», предлагаемая авторами статьи, является альтернативой сложившегося в Уфе подхода к существующей пространственной организации общественных

пространств. «Дом-мир» представляет собой единую динамичную систему новых экопространств, которые оздоровляют и перезапускают

публичные городские территории, с максимальной отдачей работают на обеспечение комфорта и включение жителя в среду, а также на развитие Уфы как устойчивого экоосознанного города.

Рассмотренная концепция является основой для работы кластерно-сетевой модели экологичных общественных пространств города Уфы. Предложенная модель системы экопространств является органичным внедрением в повседневные практики горожан Уфы, не противоречит менталитету уфимца, его культурным традициям и представлениям.

Данная модель представляет собой динамичную систему и может развиваться, и совершенствоваться. В общественных пространствах города закладываются первичные минимальные условия для запуска экопрактик горожан. Сеть экопространств становится частью экосистемы города, и из каждодневных экопривычек способна перерасти в жизненно важную для энергоэффективного и «здорового» функционирования всех городских систем.

Предложенная модель решает следующие городские проблемы Уфы:

- объединяет разрозненные зеленые пространства города (парки, скверы, зеленые бульвары, лесопарки, а также потенциальные ресурсные зеленые территории города) в единую сеть зеленых территорий города;
- экоревитализирует заброшенные и деградированные территории города, включая их в сеть зеленых территорий города, запуская в них процессы экоактивации;
- формирует стабильные условия функционального использования бывших промышленных территорий города;
- расширяет перечень функционального использования сложившихся публичных пространств города, делая их максимально эффективными и востребованными горожанами;
- стабилизирует экологическую обстановку города;
- повышает уровень жизнестойкости Уфы в рамках концепции устойчивого развития горолов:
- создает условия для формирования новой экономической ниши малого бизнеса экобизнеса;
- формирует экоосознаность горожан через личную ответственность его резидентов за свой город;
- формирует особый зеленый культурный код города как элемента культурного ландшафта Уфы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Спирина О.Ф., Ишмухаметова К.В., Десяткина А.В. Актуальность развития системы экокластеров в городе Уфе // Проблемы строительного комплекса России. Материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. 487 с.
- 2. Десяткина А.В., Спирина О.Ф., Ишмухаметова К.В. Метод экологического урбанизма в формировании системы экокластеров // Материалы 71-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Том 2. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. 571 с.
- 3. Ишмухаметова К.В., Спирина О.Ф., Десяткина А.В. Система экокластеров в городе Уфе // Актуальные проблемы науки и техники-2020. Материалы XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Уфа, 2020. 431 с.
- 4. Спирина О.Ф., Гайсина А.Х., Шаяхметова К.Р., Актуальность архитектурных подходов в экоревитализации промышленного города // Сб. материалов 70-й Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. № 13. С. 364–367.
- 5. Сета М. Лоу Пласа. М.: StrelkaPress, 2016. 352 с.
- 6. Глазычев В. Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды. М.: Наука, 1984. 180 с.
- 7. Линч К. Образ города / Перевод с англ. В. Л. Глазычева. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.
- 8. Гейл Я. Города для людей. М.: Альпина Паблишер, 2012. 263 с.
- 9. Леви-Строс К. Структурализм и экология [Электронный ресурс]. URL: http://www.gramotey.com/?open_ file=1269082365 (дата обращения: 21.01.2022)
- 10. Барт Р. Структурализм как деятельность [Электронный ресурс]. URL: http://www.philosophy.ru/library/barthes/struct. html (дата обращения: 21.01.2022)
- 11. Alexander C.A. The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe. Berkeley, Calif.: Center for Environmental Structure, 2002. 697 p.
- 12. Alexander C.A. The timeless way of buildings. New York: Oxford University Press, 1979. 576 p.
- 13. Александр К. Язык шаблонов. Города. Здания. Строительство. М.: Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2020. 1096 с.

- 14. Смолицкая Т.А. Городской культурный ландшафт: традиции и современные тенденции развития. М.: Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2018. 272 с.
- 15. Крашенинников А. В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды. М.: Курск, 2020. 209 с.
- 16. Родькин П. Бренд–идентификация территорий. Территориальный брендинг: новая прагматичная идентичность. М.: Совпадение, 2016. 248 с.
- 17. Замятин Д. Геокультурный брендинг городов и территорий. СПб.: Алетейя, 2020. 668 с.
- 18. Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Полиграфист, 2002. 295 с.
- 19. Conzen M.R.G. Alnwick. Northumberland: a study in town-plan analysis. London: Institute of British Geographers Publication, 1969. 131 p.
- 20. Mumford L. The culture of cities. London: Secker and Warburg, 1945. 530 p.
- 21. Leopold A. The land ethic // A sand Country Almanac. NY: Oxford University Press, 1949. Pp. 201–226.
- 22. McHarg I. Design with Nature. NY: Natural History Press, 1969. 212 p.
- 23. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2012. 576 с.
- 24. Шляков А.В. Нарратив Дома в пространстве культуры оседлости и номадности // Вестник КемГУ. 2014. №2 (58) Т.2. С. 219–222.

- 25. Whitehand J.V.R. Urban morphology and planning: the case of fringe belts // Cities. 2004. №21. Pp. 275–289.
- 26.Лефевр А. Идеи для концепции нового урбанизма // Социологическое обозрение. 2002. Т. 2. № 3. С. 19–26.
- 27.Colding J., Barthel S., Snep R., Van der Knapp W., Ernstson E. Urban green commons: insights on urban common property systems // Global Environmental Change. 2013. №23. Pp. 1039–1051.
- 28. Hopkins M. I.W. The ecological significance or fringe belts // Urban morphology. 2012. №16. Pp. 41–54.
- 29.Hopkins M. I.W. Reflections on «How we view cities: a green-space enigma? // Urban morphology. 2018. №22. Pp. 75–76.
- 30.Marcus M. B., Pont L. Towards a socio-ecological spatial morphology: integrating elements of urban morphology and landscape ecology // Urban morphology. 2019. Vol. 23. №2. Pp. 115–124.
- 31.Forman R., Godron M. Landscape Ecology. New York: Wiley, 1986. 619 p.
- 32.Dramstad W., Olson J., Forman R. Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning. Washington, DC: Harvard University Graduate School of Design, Island Press and the American Society of Landscape Architects, 1996. 80 p.

Информация об авторах

Ишмухаметова Ксения Валерьевна, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. Е-mail: ikv23@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46. Старший преподаватель кафедры архитектура. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Спирина Ольга Федоровна, доцент кафедры архитектура. E-mail: spirina.flo@gmail.ru. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Десяткина Алена Вячеславовна, студент бакалавр кафедры архитектура. E-mail: spirina.flo@gmail.ru. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Поступила 01.02.2022 г.

© Ишмухаметова К.В., Спирина О.Ф., Десяткина А.В., 2022

^{1,2},*Ishmukhametova K.V., ²Spirina O.F., ²Desyatkina A.V.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov ²Ufa State Petroleum Technological University *E-mail: ikv23@mail.ru

CLUSTER MODEL OF THE SYSTEM OF PUBLIC ECO-SPACE OF THE UFA CITY

Abstract. The article raises the topical issue of the formation of eco-consciousness in a resident of a modern metropolis through the urban environment. The authors analyzed the prerequisites for the appearance of eco-clusters in the existing public spaces of the city of Ufa. Using the experience in the formation of domestic and foreign eco-friendly public spaces and relying on theoretical works on the formation of a "personal" public space, the authors propose a cluster model of a "personal-public" system of public eco-spaces of the city of Ufa. The model is based on socio-spatial patterns of citizens' relationships at various large-scale levels in the

system of public spaces of the city. The model contains the principles and methods of designing public spaces at all levels in accordance with the author's concept of "house-world". The proposed model describes a hierarchical multilevel system of public ecospaces embedded either in the existing public spaces of the city of Ufa, or in activating the resource and potential locations of the city. The model lays down the principle of participation as a condition for the development and resilience of the ecospaces of the city. The authors consider the citizen of the city as an active participant in the formation of ecospaces through ecopractics. The structure of the model includes an aspect of the mental peculiarity of the perception of space as a "home"- personal, private, and as an external "world" - an outside, surrounding "home". The model assumes the scalability of ecospaces and a different degree of perception by city residents of the level of privacy of these spaces. The principles of the formation of eco-spaces laid down in the model are due to the desire to expand the concept of "home" to the boundaries of the city. Each level of the model is presented through a socio-functional scenario of the ecospatial space included in the Ufa ecocluster and visualized as a variable design solution for the city.

Keywords: ecorevitalization, sustainable development, public space, ecocluster, ecoenlightenment, green city, sustainable city.

REFERENCES

- 1. Spirina O.F., Ishmukhametova K.V., Desyatkina A.V. The relevance of the development of the system of ecoclusters in the city of Ufa [Aktual'nost' sozdania eco ciusterov v gorode Ufa] Problems of the building complex of Russia. Proceedings of the XXIX All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the 75th anniversary of the victory in the Great Patriotic War. Ufa: UGNTU Publishing House, 2020. 487 p. (rus)
- 2. Desyatkina A.V., Spirina O.F., Ishmukhametova K.V. The method of ecological urbanism in the formation of a system of ecoclusters [Metod ekologiheskogo urbanizma v formirovanii sistemi ekoklasterov] Proceedings of the 71st scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists of USPTU. Volume 2. Ufa: UGNTU Publishing House, 2020. 571 p. (rus)
- 3. Ishmukhametova K.V., Spirina O.F., Desyatkina A.V. The system of ecoclusters in the city of Ufa [Sistema ekoklasterov v gorode Ufa] Actual problems of science and technology-2020. Materials of the XIII International scientific-practical conference of young scientists. Ufa, 2020. 431 p. (rus)
- 4. Spirina O.F., Gaisina A.Kh., Shayakhmetova K.R., Relevance of architectural approaches in the ecorevitalization of an industrial city [Aktual'nost' arhitekturnih podhodov v ekorevitalizacii promishlenogo goroda] Sat. materials of the 70th Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists of USPTU. Ufa: UGNTU Publishing House, 2019. No. 13. Pp. 364–367. (rus)
- 5. Seth M. Low Plaza [Plasa] M.: StrelkaPress, 2016. 352 p. (rus)
- 6. Glazychev V.L. Socio-ecological interpretation of the urban environment [Socio-ekologiheskaia intrepritacia gorodskoi sredi] M.: Nauka, 1984. 180 p. (rus)

- 7. Lynch K. The image of the city [Obraz goroda] Translated from English. V. L. Glazychev. M.: Stroyizdat, 1982. 328 p. (rus)
- 8. Gale I. Cities for people [Goroda dla ludei] Moscow: Alpina Publisher, 2012. 263 p. (rus)
- 9. Levi-Strauss K. Structuralism and ecology [Sructuralizm i ekologia]. URL: http://www.gramotey.com/?open_file=1269082365 (date of treatment: 27.01.2022)
- 10. Bart R. Structuralism as an activity [Sructuralizm kak deiatel'nost']. URL: http://www.philosophy.ru/library/barthes/struct. html (date of treatment: 27.01.2022)
- 11. Alexander C.A. The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe. Berkeley, Calif.: Center for Environmental Structure, 2002. 697 p.
- 12.Alexander C. A. The timeless way of buildings. New York: Oxford University Press, 1979. 576 p.
- 13.Alexander K.A Pattern Language. Cities. Building. Construction. [Iazik shablonov. Goroda. Zdania. Stroitel'stvo] M.: Art. Lebedev Studio Publishing House, 2020. 1096 p. (rus)
- 14. Smolitskaya T.A. Urban cultural landscape: traditions and modern development trends [Gorodskoi kul'turnii landshaft: tradicii I sovremennii tendencii razvitia]. Moscow: Publishing house "LI-BROCOM", 2018. 272 p. (rus)
- 15. Krasheninnikov A.V. Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment [Kognetivniaia urbanistika: arhitipi i prototipi gorodskoi sredi]. Moscow: Kursk, 2020. 209 p. (rus)
- 16. Rodkin P. Brand-identification of territories. Territorial branding: a new pragmatic identity [Brend-identifikacia territorii. Teritorial'nii brending: novaia pragmatichnaia identichnost']. Moscow: Coincidence, 2016. 248 p. (rus)
- 17.Zamyatin D. Geocultural branding of cities and territories [Geokulturnii brending gorodov i territorii]. St. Petersburg: Aleteya, 2020. 668 p. (rus)

- 18. Nefedov V.A. Landscape design and environmental sustainability [Landshaftnii dizain i sredovaia ustoichivost']. St. Petersburg: Polygraphist, 2002. 295 p. (rus)
- 19. Conzen M.R.G. Alnwick. Northumberland: a study in town-plan analysis. London: Institute of British Geographers Publication, 1969. 131 p.
- 20. Mumford L. The culture of cities. London: Secker and Warburg, 1945. 530 p.
- 21. Leopold A. The land ethic. A sand Country Almanac. NY: Oxford University Press, 1949. Pp. 201–226.
- 22. McHarg I. Design with Nature. NY: Natural History Press, 1969. 212 p.
- 23. Vernadsky V.I. Biosphere and noosphere [Biosfera i nanosfera] Moscow: Iris-press, 2012. 576 p. (rus)
- 24. Shlyakov A.V. The narrative of the House in the space of the culture of settlement and nomadism [Narativ Doma v prostranstve kul'turi osedlosti i nomadnosti] Vestnik KemGU. 2014. No.2 (58) Vol.2. Pp. 219–222. (rus)
- 25. Whitehand J.V.R. Urban morphology and planning: the case of fringe belts. Cities. 2004. No. 21. Pp. 275–289.

- 26. Lefevre A. Ideas for the concept of new urbanism [Idei dla koncepcia novogo urbanizma] Sociological Review. 2002. Vol. 2. No. 3. Pp. 19–26. (rus)
- 27. Colding J., Barthel S., Snep R., Van der Knapp W., Ernstson E. Urban green commons: insights on urban common property systems. Global Environmental Change. 2013. No. 23. Pp. 1039–1051.
- 28. Hopkins M. I.W. The ecological significance or fringe belts. Urban morphology. 2012. No. 16. Pp. 41–54.
- 29. Hopkins M. I.W. Reflections on «How we view cities: a green-space enigma? Urban morphology. 2018. No. 22. Pp. 75–76.
- 30. Marcus M. B., Pont L. Towards a socio-ecological spatial morphology: integrating elements of urban morphology and landscape ecology. Urban morphology. 2019. Vol. 23. No. 2. Pp. 115–124.
- 31. Forman R., Godron M. Landscape Ecology. New York: Wiley, 1986. 619 p.
- 32.Dramstad W., Olson J., Forman R. Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning. Washington, DC: Harvard University Graduate School of Design, Island Press and the American Society of Landscape Architects, 1996. 80 p.

Information about the authors

Ishmukhametova, Ksenia V. Senior lecturer. Postgraduate student. E-mail: ikv23@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46; Ufa State Petroleum Technological University. Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1.

Spirina, Olga F. Assistant professor. E-mail: spirina.flo@gmail.com. Ufa State Petroleum Technological University. Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1.

Desyatkina, Alena V. Bachelor student. E-mail: alendesy.work@gmail.com. Ufa State Petroleum Technological University. Russia, 450064, Ufa, Kosmonavtov st., 1.

Received 01.02.2022

Для цитирования:

Ишмухаметова К.В., Спирина О.Ф., Десяткина А.В. Кластерная модель системы общественных экопространств города Уфы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 57–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-57-69

For citation:

Ishmukhametova K.V., Spirina O.F., Desyatkina A.V. Cluster model of the system of public eco-space of the Ufa city. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 57–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-57-69

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-70-82 *Вайтенс А.Г., Митягин С.Д.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет *E-mail: avaytens@gmail.com

РЕННОВАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В САНКТ-ПЕТРБУРГЕ В 2000-х ГОДАХ: ПРОБЛЕМАТИКА, ПОИСКИ РЕШЕНИЙ, РЕАЛИЗАЦИЯ

Аннотация. Тема реновации промышленных территорий и предприятий в Санкт-Петербурге является одной из ключевых для современной городской архитектурно-градостроительной практики. Большинство этих территорий находятся вблизи исторического центра и потому являются важным территориальным резервом для развития города. Однако реновация этих территорий и предприятий носит фрагментарный и выборочный характер. Это объясняется отсутствием единой городской стратегии этих преобразований и заинтересованности инвесторов. Следствием этого может стать реальная угроза потери уникального промышленного наследия Санкт-Петербурга.

Одним из методов решения этих проблем может стать изучение истории и особенностей формирования этого наследия, и на основе этого выявление проблем преобразования промышленных территорий. Поиски решения этих проблем могут быть в направлении изучения проектного опыта этих преобразований, в частности конкурсного опыта Санкт-Петербурга.

Предметами обсуждения в данной статье являются результаты проектного опыта и реализации преобразований промышленных территорий и зданий, с выявлением положительных и отрицательных сторон этого опыта.

К результатам статьи относится необходимость разработки градостроительных концепций преобразования различных промышленных территорий Санкт-Петербурга с привлечением, как руководства города, так и населения окружающих районов и потенциальных инвесторов. Результатом этих предложений может стать единая общегородская стратегия преобразования и развития промышленных территорий.

Ключевые слова: промышленные территории, исторические особенности их развития, проекты реновации промышленных территорий, результаты реализации этих проектов.

Введение. В процессе градостроительного развития Санкт-Петербурга существенное влияние на формирование его функционально-планировочной структуры постоянно оказывали как общие, так частные специфические особенности условий размещения территорий промышленных предприятий. К основным видам производств, развитие которых определялось географическим положением в городе, транспортными условиями и социально-политическими требованиями обеспечения текущих актуальных экономических задач государственного строительства, относились судостроение, транспортное и тяжелое машиностроение, портовая деятельность, логистика и склады, переработка сырьевых товаров, пищевая и легкая промышленность, фармацевтика, другие виды промышленности, ориентированные на использование преимуществ водного транспорта на стыке Балтийского моря и речной системы Европейской части страны, а также трудовых ресурсов, рост которых обеспечивался государственно-политической ролью города.

При этом по мере роста вовлекаемых в градостроительную деятельность территорий происходило перемещение промышленных территорий на окраины города в основном по берегам русел дельты р. Невы и Финского залива. Устаревшие основные фонды оставались в центральных районах и создавали актуальные и реальные предпосылки реновации этих промышленных зон. Анализ процесса миграции промышленных территорий на городскую периферию и опыта функционально-градостроительной реновации исторически ценных участков неэффективно используемой городской среды составляет серьезную методологическую проблему, решение которой отражается в последовательно подготавливаемых проектах существующего Генерального плана города.

Материалы и методы. В начале XVIII в. в Санкт-Петербурге крупные предприятия, такие как Адмиралтейская верфь, Литейный и Монетный дворы располагались непосредственно в центральных частях формировавшейся Российской столицы. В дальнейшем, к середине и концу XVIII в., в результате деятельности Комиссии каменного строения Петербурга и Москвы, наметилась тенденция сдвига промышленных предприятий из центральных районов на городские окраины (рис. 1).

Перемещение промышленности из центра Санкт-Петербурга на его окраины становилось все более заметным уже к началу XIX в. Предприятия играли все меньшую роль в застройке городского центра и все большую — в формировании его периферии [13]. Поскольку почти все

строившиеся предприятия нуждались в водных ресурсах, как в плане снабжения, так и в произ-

водственных целях, то промышленные территории и предприятия тяготели к Неве, свободным берегам ее притоков и русел дельты (рис. 2).

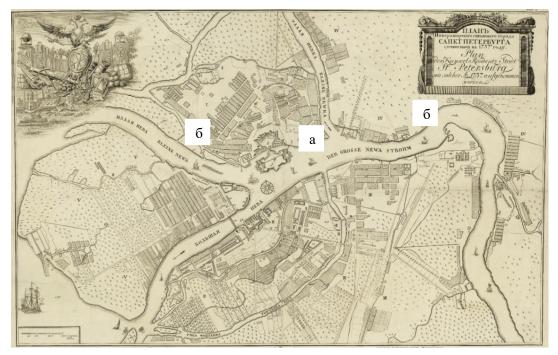


Рис. 1. План Санкт-Петербурга 1737 г. с показом промышленных территории того времени

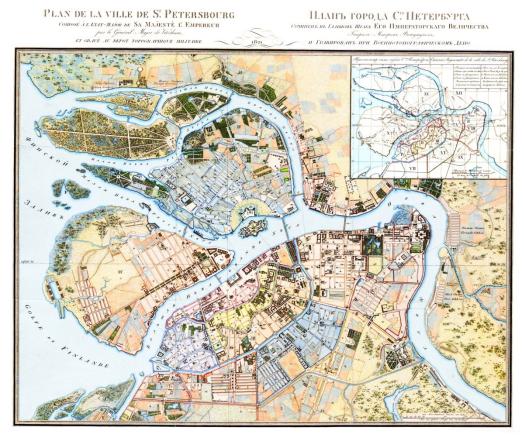


Рис. 2. План Санкт-Петербурга 1821 г. с показом промышленных территорий

Выборгская сторона, которая уже в начале XVIII в. приобрела репутацию промышленного района города, к середине XIX в. закрепила за со-

бой эту функцию. Здесь были расположены сахарные, кожевенные заводы, бумагопрядильные фабрики. Наибольшая их концентрация сложилась на берегу Большой Невки [1] (рис. 3).

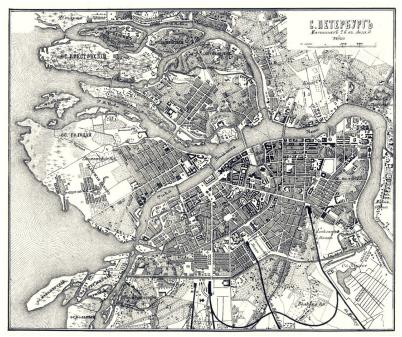


Рис. 3. План Санкт-Петербурга конца XIX в. с показом промышленных территорий

Изменению в размещении промышленности способствовало и строительство Обводного канала (1803 – 1837). Вдоль него к середине XIX в. сформировалась промышленно-складская зона, позднее определенная существующим Генеральным планом как «серый пояс» Санкт-Петербурга. Уже к середине XIX в. сложилась четкая картина размещения промышленных территорий и предприятий по районам: Каретная часть (Лиговка, Обводный) – 72 предприятия, Нарвская часть – 62 предприятия, Васильевский остров - 57 предприятий, Выборгская часть – 34, Петербургская - 36, Московская - 27 [13] (рис. 4). Водная ориентация промышленных территорий, характерная для Петербурга, получила развитие и в советский период развития города.

К концу XIX в. промышленные территории и предприятия начали тяготеть к городским

транспортным магистралям — основным — радиального направления и второстепенным, соединяющим основные магистрали и железнодорожные пути в единую систему. Развивался многоотраслевой характер промышленности с переориентацией ее на железнодорожные связи. [13]. В советский период, в связи с развитием тяжелой промышленности, эти тенденции получили дальнейшее развитие

Таким образом, в настоящее время можно говорить о существовании в городе нескольких «серых поясов», расположенных вдоль Невы, ее притоков и Обводного канала, а также в системе главных магистралей городского значения (территории Кировского завода и Электросилы) (рис. 5).



Рис. 4. Водная ориентация промышленных территорий План Санкт-Петербурга конца XIX в



Рис. 5. Современные границы промышленных территорий Санкт-Петербурга (по районам)

В советский период промышленного развития города (1920-е — 1991 гг.) производственные территории активно расширялись. Экстенсивный рост промышленных территорий регулировался Генеральными планами развития Ленинграда 1935, 1948, 1966 годов. О реновации исторически освоенных территорий промышленного назначения и их функциональном преобразовании в этих планах речи не шло.

Основная часть. Действующий Генеральный план Санкт-Петербурга рассматривает промышленные территории как серьезный резерв градостроительных преобразований с изменением их функционального назначения на жилые, общественно-деловые и промышленно-деловые зоны (рис. 5).

Комитетом по промышленной политике Администрации Санкт-Петербурга в 2019 г. был разработан Паспорт промышленных зон Санкт-Петербурга (6 издание) в котором были приведены данные по территориям промышленных зон, находящихся в границах города [7]. В этом документе представлены площади 22 промышленных территорий. Их общая площадь составила 9358 га или приблизительно 93,6 км². Территориальные резервы по этим промышленным территориям составляют 1911 га или 19,11 км², т.е. приблизительно 20 % от общего числа промышленных территорий. Эти цифры свидетельствуют о больших инвестиционных возможностях реновации этих территорий (рис. 5).

По опыту планирования реновации промышленных территорий в функциональном отношении преобразуемые участки распределяются между жилыми и общественно-деловыми зонами и промышленными зонами, где производственная функция частично остается. В зависимости от районов, где эти промышленные территории находятся, под общественно-деловые зоны могут быть использовано от 7 до 35 % этих территорий, под жилые – от 25 до 35 %, под промышленные – от 6 до 24 % от общей величины этих территорий [8].

Эти преобразования в структуре Генерального плана Санкт-Петербурга стали возможными в силу отрицательных особенностей экономического развития России и Санкт-Петербурга в 1990-е гг. Многие предприятия, прежде всего легкой промышленности (текстильной и обувной), а позднее и тяжелой, начали утрачивать свое промышленное значение и постепенно перестали выпускать свойственную им продукцию. В то же время, промышленные территории продолжали оставаться уже в частном владении. Процесс реформирования «серых поясов» в Санкт-Петербурге начался приблизительно с конца 1990-х гг. и до настоящего времени полностью еще не завершился.

К настоящему времени становятся ясными существующие проблемы преобразования этих территорий в Санкт-Петербурге. Поскольку

большинство этих территорий находятся в центральных районах города — Василеостровском, Выборгском, Адмиралтейском, Невском и Кировском — эти территории обладают значительной рыночной ценностью (рис. 5). Многие из этих исторических промышленных комплексов, находящихся на этих территориях, имеют охранные статусы, что часто препятствует размещению в них современных функций [12]. Как следствие — у Санкт-Петербурга нет единой градостроительной концепции по реновации этих территорий и реконструкции бывших промышленных предприятий, находящихся на них.

Серьезным методологически оправданным шагом в этом направлении стал объявленный в 2016 г. Международный архитектурно-градостроительный конкурс на Концепцию преобразования селитебно-промышленного «серого пояса» Санкт-Петербурга, расположенного вдоль Обводного канала (рис. 6). На территории свыше 4000 га было выбрано три характерные площадки в западной части, на берегу р. Екатерингофки, в центральной части, в системе Лиговского пр. (территория «Волковская») и в восточной части вблизи набережной Невы (территория «Французский ковш») [9].

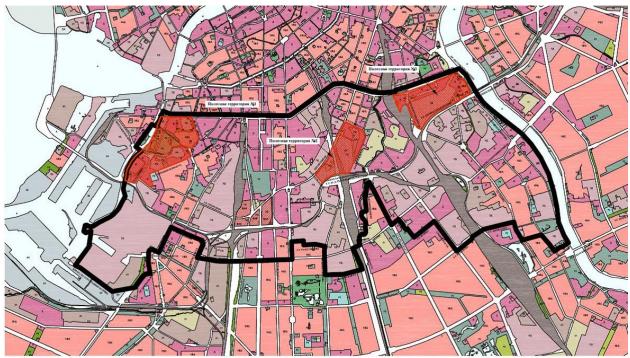


Рис. 6. Территория «Серого пояса» Санкт-Петербурга южнее Обводного канала с показом пилотных территорий для конкурса 2016 г.

По всем предложенным территориям были представлены интересные результаты с размещением не только жилых функций, но и возможностей рекреации, образовательных, производственных и офисных учреждений в соотношении 40 % - 30 % и 30 % соответственно (рис. 7, 8, 9).

Однако результаты этого конкурса не стали предметом широкой дискуссии жителей города, владельцев участков и представителей девелоперского сообщества. Этих представителей пока не удалось заинтересовать градостроительными и инвестиционным возможностями большей части территорий, которые реально были выявлены в результате конкурса. Планирование предполагает последовательность и долгосрочность. Все известные проекты реконструкции промышленных зон развиваются десятилетиями. Этот процесс, в особенности применительно к данному типу исторически застроенных территорий, требует неоднократных рассмотрений и обсуждений

на самых разных уровнях — от общественности и городских властей до профессиональных архитектурных сообществ.

Серьезной проблемой в этой области являются охранные ограничения, существующие для бывших промышленных зданий и территорий, прежде всего, стилевые и высотные. Также не очень ясно, какие функции, кроме жилых, могут быть размещены на этих территориях. Ведь музеефикация и арендные помещения для офисов вряд ли будут для этих территорий и зданий повсеместно рентабельны. Отдельная тема – сохранение части производственных функций на бывших предприятиях. В то же время, подобное сохранение типично для современных зарубежных примеров реновации бывших промышленных зон [14]. Эти проблемы стали серьезными препятствиями для реновации бывших промышленных территорий Санкт-Петербурга.

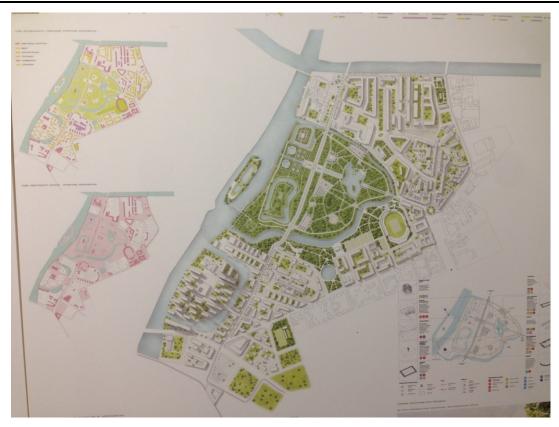


Рис. 7. Территория «Екатерингоф». Авторский коллектив «Рождественка» (Москва)

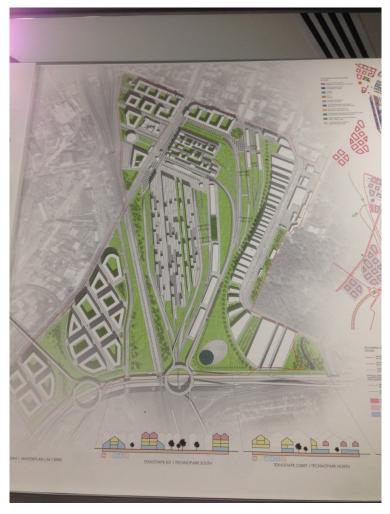


Рис. 8. Территория «Волковская» Авторский коллектив «044» (Санкт-Петербург)



Рис. 9. Территория «Французский ковш». Авторский коллектив «Герасимов и партнеры, Tchoban Voss, Speech»

В качестве отрицательного примера можно привести бывшее предприятие резиновой промышленности «Красный треугольник», занимающий обширную территорию вдоль Обводного канала и находящее в основной части сегодня в заброшенном состоянии. К настоящему времени удалось реконструировать только часть корпу-

сов, выходящих на набережную Обводного канала (рис. 10). В результате банкротства «Треугольника» в 2002 г. бывшие цеха этого предприятия были распроданы множеству мелких собственников. Это сильно затруднило реализацию реновации этих территорий и приспособление бывших цехов под новые функции.



Рис. 10. Бывшее предприятие «Красный треугольник». Отреставрированный

Наиболее завершенным объектом реновации стал реконструированный комплекс бывшей

Невской бумагоприядильной мануфактуры А.Л. Штиглица, выходящей на Синопскую набережную Невы, в корпусах которого в начале 2000-х гг. был размещен Городской документационный

центр (рис. 11). В одном из корпусов этой мануфактуры было сохранено прядильно-ниточное производство, характерное для этого предприятия и выпускающее эксклюзивную продукцию, пользующуюся спросом.



Рис. 11. Бывшая Невская бумагопрядильная мануфактура А.Л .Штиглица. В настоящее время Единый документационный Центр Санкт- Петербурга

Другим завершенным примером является территория Главной водопроводной станции Санкт-Петербурга, расположенной на Шпалерной улице и застроенная в конце XIX в. в формах кирпичной архитектуры. В 1990-х гг. рассматривались варианты переноса станции и размещения здесь элитного жилья, впрочем, с сохранением

водонапорной башни. Однако, сложность и высокая стоимость для города этого переноса, побудила оставить в неприкосновенности этот утилитарный комплекс [12]. Сегодня в части объектов комплекса водонапорной станции размещается музейная экспозиция «Мир воды», проводятся образовательные программы экологической направленности (рис. 12).



Рис. 12. Водонапорная башня бывшей Водопроводной станции Санкт-Петербурга. В настоящее время «Музей воды»

Также успешным примером реновации промышленной территории является бывший завод «Севкабель», находящийся между Кожевенной линией Васильевского острова и Финским заливом (рис. 13).



Рис. 13. Бывший завод «Севкабель». В настоящее время Многопрофильный общественный центр

Проектирование реновации этой территории началось в 2000-х гг. В бывших корпусах этого предприятия разместился музей современного искусства «Эрарта». В одном из цехов, где раньше производились катушки для кабелей,

были созданы пространства для лекций, выставок и фестивалей (рис. 14). На территории бывшего «Севкабеля» был сохранен цех, где производство кабелей было сохранено.

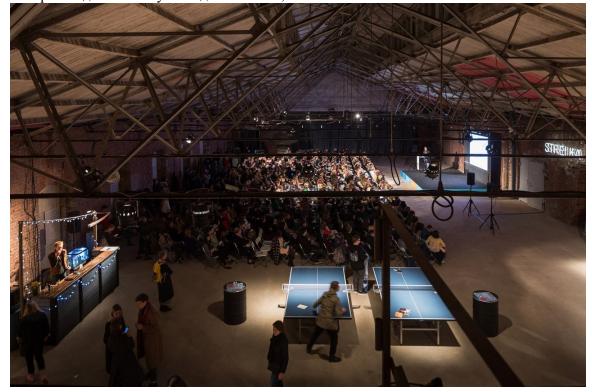


Рис. 14. Бывший завод «Севкабель». Пространство для лекций и выставок в бывшем цехе

В середине XIX в. на набережной Обводного канала было построен газовый завод для производства газа для городского освещения с тремя газгольдерами. Впоследствии, необходимость газа для городского освещения отпала. Газгольдеры использовались в основном как склады, а в

1990-х гг. появились идеи об их сносе [15]. Лишь в начале 2000-х гг. начались работы по реконструкции самого крупного из них. В нем был размещен Планетарий (рис. 15), в других объектах комплекса - креативные пространства и автосалоны.



Рис. 15. Бывший газгольдер (1860-е гг.) В настоящее время Городской планетарий

Выводы. Приведенные примеры показывают, что заинтересованность застройщиков в реновации бывших промышленных территорий является основной предпосылкой для реализации этих дорогостоящих преобразований. Вероятно, на уровне города должны разрабатываться общие концепции преобразования отдельных «серых поясов» Санкт-Петербурга. Они смогут ответить на вопросы: какие бывшие промышленные территории и в какой последовательности следует преобразовывать? Где бывшие промышленные функции могут быть сохранены, а где это нецелесообразно? Какие функции на преобразованных территориях размещать, исходя из общегородских и местных районных потребностей? Также важны вопросы – что при этих преобразованиях сохраняется, что сносится, что приспосабливается для новых функций? Ответы на эти вопросы пока еще не ясны [13].

2. Необходимо проведение ряда архитектурно-градостроительных конкурсов, подобных конкурсу 2016 г., на разные территории с последующим широким обсуждением в прессе и в социальных сетях, а также на правительственном (городском) уровне. При этом функциональное

зонирование не должно ограничиваться только жильем. В условиях конкурсов на каждой территории должно быть установлено определенное соотношение по функциям - жилым, общественным, рекреационным, как это было в конкурсе 2016 г. В этих соотношениях должны быть учтены потребности окружающих районов в зрелищных, спортивных, музейных и рекреационных функциях, а также потребностях развивающегося малого и среднего бизнеса. Поскольку администрация города регулирует территориальное развитие в подведомственных районах, инициативы по преобразованию промышленных территорий и сооружений должны исходить от нее. На основе этих инициатив и предложений могут быть созданы условия архитектурно-градостроительных конкурсов на реновацию бывших промышленных территорий в разных районах города. Без разработки подобных стратегий и предложений уникальное наследие промышленного зодчества Санкт-Петербурга будет с течением времени в большой мере утеряно, а город не сможет разместить необходимые функции - общественно-деловые, культурные, рекреационные и музейные в центральных районах, обеспечивающие качественные улучшения уникальной городской среды Санкт-Петербурга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Гринцевич О.С. Проекты планировки Петербурга второй половины XX начало XX веков // Архитектурное наследство. 1959. №9. С. 51–61.
- 2. Ефимов А.В. Архитектурно-строительная реконструкция промышленных предприятий // Архитектура СССР. 1984. №4. С. 78–79.
- 3. Ковалев А.Я. Проблемы сохранения памятников промышленного зодчества // Архитектура СССР 1971. №11. С. 41–44.
- 4. Кондратьева Ю.О. Принципы преобразования архитектурной среды промышленно-селитебного района Обводного канала. Автореф. дисс. канд. арх. СПб, 2000. 24 с.
- 5. Кудрявцева Т.П. Проблема промышленного строительства в России конца XVIII начала XIX веков // Архитектурное наследство. 1972. №21. С. 83–88.
- 6. Лелина В.И. Проблемы охраны памятников индустриального зодчества в условиях действующих предприятий Санкт-Петербурга // Петербургские чтения 98-99. СПб.: 1999. С. 689—692.
- 7. Паспорт промышленных зон Санкт-Петербурга. 6 изд. СПб.: Комитет по промышленной политике Администрации СПб, 2019.

- 8. Паспорт промышленных зон Санкт-Петербурга. 5 изд.СПб.: Комитет по промышленной политике Администрации СПб, 2017.
- 9. Серый пояс. Преобразование. Международный архитектурно- градостроительный конкурс на концепцию преобразования южной части территории исторического селитебно-промышленного пояса Санкт-Петербурга. СПб.: «ИД «Балтикум», 2016. 179 с.
- 10.Штиглиц М.С. Петербургские промышленные предприятия XVIII XIX веков // Памятники истории и культуры Санкт-Петербурга. Исследования и материалы. СПб.: Политехника. 1994. С. 82–104.
- 11. Штиглиц, М.С. Промышленная архитектура Петербурга. СПб.: Нева, 1996, 132с.
- 12.Штиглиц М.С. Проблемы реновации и перепрофилирования промышленных комплексов Санкт-Петербурга // Петербургские чтения 98-99. СПб.: 1999. С. 692–695.
- 13.Штиглиц, М.С. Промышленная архитектура Петербурга в сфере «индустриальной археологии». СПб.: «Белое и Черное», 2003.
- 14. Denkmalpflege Hamburg. Fabriken. Hamburg, 1992.
- 15.Fedorov S. Gasbehalten bauten Denkmaler der Industriearchitectur des XIX Jahrhunderts in St-Petersburg // Architectura. Zeitscrift für Geschichte der Baukunst. Band 21. 1991.

Информация об авторах

Вайтенс Андрей Георгиевич, доктор архитектуры, профессор кафедры градостроительства, советник РААСН. E-mail: avaytens@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Митягин Сергей Дмитриевич, доктор архитектуры, профессор, профессор кафедры градостроительства, Действительный член РААСН. E-mail: msd710@ mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Поступила 27.01.2022 г.

© Вайтенс А.Г., Митягин С.Д., 2022

*Vaytens A.G., Mityagin S.D.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering *E-mail: avaytens@gmail.com

RENOVATION OF INDUSTRIAL TERRITORIES IN ST. PETERSBURG IN THE 2000S: PROBLEMS, SEARCH FOR SOLUTIONS, IMPLEMENTATION

Abstract. The topic of renovation of industrial territories and enterprises in St. Petersburg is one of the key issues for modern urban architectural and urban planning practice. Most of these territories are located near the historical center and therefore are an important territorial reserve for the development of the city. However, the renovation of these territories and enterprises is fragmentary and selective. This is due to the lack of a unified urban strategy for these transformations and the interest of investors. The consequence of this may be a real threat of the loss of the unique industrial heritage of St. Petersburg. One of the methods of solving these problems can be the study of the history and features of the formation of this heritage and identification of problems of transformation of industrial territories. The search for solutions to these problems

may be in the direction of studying the project experience of these transformations, in particular the competitive experience of St. Petersburg. The subjects of discussion in this article are the results of project experience and the implementation of transformations of industrial areas and buildings, with the identification of positive and negative sides of this experience. The results of the article include the need to develop urban planning concepts for the transformation of various industrial territories of St. Petersburg with the involvement of both the city's leadership and the population of surrounding areas and potential investors. The result of these proposals may be a unified citywide strategy for the transformation and development of industrial areas.

Keywords: industrial territories, historical features of their development, renovation projects of industrial territories, the results of the implementation of these projects.

REFERENCES

- 1. Grintsevich O.S. Planning projects of St. Petersburg in the second half of the XX early XX centuries [Proekty planirovki Peterburga vtoroj poloviny XX nachalo XX vekov]. Architectural heritage.1959. No. 9. Pp. 51–61. (rus)
- 2. Efimov A.V. Architectural and construction reconstruction of industrial enterprises [Arhitekturno-stroitel'naya rekonstrukciya promyshlennyh predpriyatij]. Architecture of the USSR. 1984. No. 4. Pp. 78–79.
- 3. Kovalev A.Ya. Problems of preservation of monuments of industrial architecture [Problemy sohraneniya pamyatnikov promyshlennogo zodchestva]. Architecture of the USSR 1971. No. 11. Pp. 41–44. (rus)
- 4. Kondratieva Yu.O. Principles of transformation of the architectural environment of the industrial and residential area of the Obvodny Canal [Principy preobrazovaniya arhitekturnoj sredy promyshlenno-selitebnogo rajona Obvodnogo kanala]. Autoref.. diss. kand. arch. SPb, 2000. 24 p.
- 5. Kudryavtseva T.P. The problem of industrial construction in Russia of the late XVIII early XIX centuries [Problema promyshlennogo stroitel'stva v Rossii konca XVIII nachala XIX vekov]. Architectural heritage. 1972. No. 21. Pp. 83–88 (rus)
- 6. Lelina V.I. Problems of protection of monuments of industrial architecture in the conditions of operating enterprises of St. Petersburg. [Problemy ohrany pamyatnikov industrial'nogo zodchestva v usloviyah dejstvuyushchih predpriyatij Sankt-Peterburga]. Petersburg Readings 98-99. St. Petersburg: 1999. Pp. 689–692. (rus)
- 7. Passport of industrial zones of St. Petersburg. [Pasport promyshlennyh zon Sankt-Peterburga] 6th ed. St. Petersburg: Committee on Industrial Policy of the Administration of St. Petersburg, 2019.

- 8. Passport of industrial zones of St. Petersburg. [Pasport promyshlennyh zon Sankt-Peterburga] 5th ed. St. Petersburg: Committee on Industrial Policy of the Administration of St. Petersburg, 2017.
- 9. Gray belt. Transformation. International architectural and urban planning competition for the concept of transformation of the southern part of the territory of the historical residential and industrial belt of St. Petersburg. [Seryj poyas. Preobrazovanie. Mezhdunarodnyj arhitekturno- gradostroitel'nyj konkurs na koncepciyu preobrazovaniya yuzhnoj chasti territorii istoricheskogo selitebno-promyshlennogo poyasa Sankt-Peterburga]. St. Petersburg: "Baltikum Publishing House", 2016. 179 p.
- 10.Stiglitz M.S. Petersburg industrial enterprises of the XVIII–XIX centuries [Peterburgskie promyshlennye predpriyatiya XVIII XIX vekov]. Monuments of history and culture of St. Petersburg. Research and materials. St. Petersburg: Polytechnic.1994. Pp. 82–104. (rus)
- 11.Stiglitz M.S. Industrial architecture of St. Petersburg. [Promyshlennaya arhitektura Peterburga]. St. Petersburg: Neva, 1996, 132 p. (rus)
- 12. Stiglitz M.S. Problems of renovation and reprofiling of industrial complexes of St. Petersburg. [Problemy renovacii i pereprofilirovaniya promyshlennyh kompleksov Sankt-Peterburga]. St. Petersburg Readings 98-99. St. Petersburg: 1999. Pp. 692–695. (rus)
- 13.Stiglitz M.S. Industrial architecture of St. Petersburg in the field of "industrial archeology" [Promyshlennaya arhitektura Peterburga v sfere «industrial'noj arheologii»]. St. Petersburg: "White and Black", 2003. (rus)
- 14. Denkmalpflege Hamburg. Fabriken. Hamburg, 1992.
- 15.Fedorov S. Gasbehalten bauten Denkmaler der Industriearchitectur des XIX Jahrhunderts in St-Petersburg. Architectura. Zeitscrift für Geschichte der Baukunst. Band 21. 1991.

Information about the authors

Vaytens, Andrey G. Doctor of Architecture. E-mail: avaytens@gmail.com. Professor of the Department of Urban Planning, Adviser to the RAASN. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

Mityagin, Sergey D. Doctor of Architecture. E-mail: msd710@mail.ru. Professor of the Department of Urban Planning, Academic member of the RAASN. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

Received 27.01.2022

Для цитирования:

Вайтенс А.Г., Митягин С.Д. Ренновация промышленных территорий в Санкт-Петрбурге в 2000-х годах: проблематика, поиски решений, реализация // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 70–82. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-70-82

For citation:

Vaytens A.G., Mityagin S.D. Renovation of industrial territories in st. Petersburg in the 2000s: problems, search for solutions, implementation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 70–82. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-70-82

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-83-93 *Шербина Е.В., Нгуен Т.К.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет *E-mail: scherbinaev@mgsu.ru, grado@mgsu.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ РАЗВИТИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация. Показана возрастающая роль туристического бизнеса в экономическом развитии государства, в том числе стран и городов Азиатско-Тихоокеанского региона, обладающих благоприятными природными условиями для развития прибрежных туристических курортов. Отмечена уязвимость международного туризма при чрезвычайных ситуациях, вызванных пандемией. Определены факторы негативного воздействия индустрии туризма на природный комплекс, которое особенно проявляется в прибрежной зоне, испытывающей значительную антропогенную нагрузку, что необходимо учитывать при размещении объектов туристической индустрии в планировочной структуре города.

Сформулированы основные принципы (достаточность ресурсов, ограниченность ресурсов, инфраструктурная целостность и поддержание экологического равновесия природной системы), положенные в основу построения модели градостроительного баланса территории прибрежного города с ориентацией на индустрию туризма. Предложенная модель основана на рассмотрении особенности пространственного развития территорий приморских городов, ориентированных на туристический бизнес.

На основе сформулированной модели выполнена оценка потенциала градостроительного развития территории г. Туйхоа (Вьетнам) на основе туристической индустрии. Получены оценки природного комплекса, инженерной и транспортной инфраструктур, социальной сферы, которые позволяют оценить туристический поток не более 54000 туристов, при котором обеспечивается устойчивое развитие города.

Ключевые слова: территориальное планирование, градостроительное проектирование, системный подход, индустрия туризма, устойчивое развитие.

Введение. В настоящее время туризм позиционируется как отрасль, приносящая значительные доходы в государственной и местный бюджеты, поэтому она все чаще рассматривается в качестве перспективного направления развития городских и сельских поселений. Следует отметить стремительные тенденции развития индустрии туризма, которая для многих городов, регионов и стран утвердилась как градо- и бюджета-формирующая основа территориального развития. Исследования в области развития туризма показывают, что эффективность функционирования туристических курортов определяется многими факторами, среди которых основными являются климатические условия, комфортность проживания туристов, транспортная связность территории и её насыщенность сопутствующими центрами притяжения отдыхающих. При этом отмечается интерес к различным видам туризма, среди которых наиболее распространенным является оздоровительный туризм с включением познавательной функции: посещение различных исторических и культурных достопримечательностей, в том числе производственных [1–3].

Развитию территорий рекреационных зон в аспекте туризма посвящены работы многих исследователей по различным вопросам. В работах Самойлова К.И. дается оценка мирового опыта

развития курортных зон, где подчеркивается, что данная проблема относится к междисциплинарной, и её решение должно основываться на внедрении современных тенденций развития не только рекреационной среды, но и смежных научных сферах деятельности [4]. Исследования Маргина О.Б., Сычева С.Л., Афанасьевой Э.П., Енинина А.Е. посвящены развитию курортных зон и районов, таких как, Кавказские Минеральные Воды и Калининградская область [5-8]. Архитектурным аспектам в развитии прибрежных территорий посвящена работа Ильичевой Д.А. [9]. Исследования особенностей транспортной инфраструктуры на примере курортов Египта приведены в работе [10]. Современное исследования базируются на градостроительных, архитектурных и экологических подходах, касающиеся туристического развития рекреационных территорий, но в них недостаточно рассмотрены вопросы формирования планировочной структуры курортного города с учетом туристического потока и градостроительного баланса территории. Следует также отметить не достаточное количество публикаций о развитии прибрежных городов Вьетнама, которые обозначены приоритетным социально-экономическим направлением развития Республики Вьетнам [11].

Цель исследования — разработать теоретическую модель градостроительного развития территории прибрежного города Вьетнама на основе ресурсных потенциалов (экологического, территориального, социального). Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: сформулировать основные принципы построения модели; выявить ресурсы, влияющие на развитие прибрежного туризма; определить зависимости между параметрами модели градостроительного развития города. Объектом исследования выбран город Туйхоа как аналоговый объект прибрежной зоны южной центральной части прибрежного региона Вьетнама приоритетного для развития прибрежного туризма Вьетнама.

развития прибрежных Анализ туристических курортов Европы «первого поколения», которые появились на севере континента с конца 18 века, характеризуется стагнацией, за исключением нескольких крупных многофункциональных или небольших и самобытных направлений, которые стали эндемическими. Это отчасти обусловлено продажами доступных пакетных туров Средиземноморье И другие курорты c благоприятным теплым климатом и длительным

курортным сезоном в Египте, Вьетнаме, Таиланде. Важным наблюдением служит и тот факт, работы ПО модернизации что туристической инфраструктуры не всегда положительным приводят результатам, повышающим их посещаемость, а в некоторых случаях приветствуется не местным сообществом, свидетельствует что необходимости изучения причин этого, лежащих в области социальных наук [12]. Следует отметить, что социальная составляющая играет важную роль при принятии градостроительных решений, особенно в части планировочного размещения объектов туристической индустрии.

Многие развивающиеся страны Азии имеют протяженную береговую линию с уникальным биоразнообразием и экосистемами. Здесь расположены одни из лучших туристических объектов, такие как пляжи, коралловые рифы и фауна. В последние десятилетия, как показано в таблице 1, такие страны, как Таиланд, Индонезия и Филиппины, пользуясь этими богатыми прибрежными атрибутами, стали свидетелями экспоненциального роста в их туристическом секторе [13, 14].

Таблица 1 Развитие туризма в странах Азии (по данным Всемирной туристской организации ООН по туризму 2018)

	Длина бере-	Количество меж-	Поступления от	Путешествия и	Прогнозируемые
Строно	говой линии,	дународных тури-	международного	индустрия ту-	Ежегодные темпы
Страна	, ,	стов (тыс. чел)	туризма,	ризма, %	роста (ВВП),
	(км)	(2016 г.)	(\$ млн.)	ВВП	(2013-2022)
Thailand	3219 (6)	32,588 (1)	49,871 (1)	9.0(3)	6.7 (1)
Indonesia	54716 (1)	9,963 (7)	11,349 (7)	3.1 (12)	5.3 (9)
Malaysia	4675 (5)	26,757 (2)	18,074 (6)	7.2 (4)	4.4 (12=)
Mauritius	177 (21)	1,275 (13)	1,572 (12)	11.3 (2)	4.4 (12=)
Sri Lanka	1340 (15)	2,051 (10)	3,518 (10)	3.9 (10)	6.1 (4=)
India	7000 (3)	14,569 (4)	22,427 (3)	2.0 (19)	6.4(2)

«На долю туризма приходится почти 10 % мирового ВВП, при этом только Азиатско-Тихоокеанский регион принимает 308 миллионов туристов в год» (UNWTO 2017) [15]. По сравнению с глобальными оценками туризма в Восточной Азии и Тихоокеанском регионе наблюдались самые большие темпы роста, где такие страны, как Вьетнам, продемонстрировали рост туризма более чем в 7 раз. Эти тенденции свидетельствуют о растущей привлекательности стран с высоким биоразнообразием экосистем.

В настоящее время отмечается кризис в туристическом секторе, снижение иностранных туристов в Азиатско-Тихоокеанском регионе составило — 84 %, это первый регион, пострадавший от последствий пандемии, и регион с самым высоким уровнем ограничений на поездки, действующих в настоящее время,

зафиксировано наибольшее снижение числа прибытий в 2020 году (на 300 миллионов меньше). На Ближнем Востоке и в Африке зафиксировано снижение на 75 %.

В Европе отмечено 70 %-ное снижение числа прибытий, в абсолютном выражении 2020 году число международных туристов сократится более чем на 500 миллионов человек. В Северной Южной Америке наблюдалось %-ное снижение числа международных туристов. Эксперты Всемирной туристической организации при ООН (UNWTO) в основном считают, что мировой туризм после глобальных потерь в отрасли, связанных с пандемией COVID-19, сможет восстановить свой уровень не 2023 года (Всемирная туристская организация ООН Организация ООН по туризму 2021).

Пандемия COVID-19 показала последствия эпидемиологических рисков в планировании развития туризма, что указывает на необходимость развития внутреннего туризма, например, в России отмечен существенный рост в весенний и летний периоды 2021 г. А также из анализа социальной инфраструктуры курорта Сочи следует необходимость дополнительного развития медицинских учреждений, которые должны быть рассчитаны на обслуживание местного населения и туристов [2].

Исследования антропогенных воздействий туристической деятельности в прибрежных районах показало, что чрезмерная нагрузка приводит к разрушению уникальных экосистем. Прибрежная зона — это динамическая система суши и моря, включающая экосистему морской, береговой и сухопутной подсистем. Морская подсистема характеризуется меняющейся глубиной воды и движением отложений, волнами, приливами и отливами, а также морскими средами обитания, например, коралловые рифы. Прибрежная подсистема включает в себя пляж, берег, естественные и искусственные системы защиты побережья. Подсистема суши примыкает к побережью и в основном характеризуется топографией, грунтовыми и поверхностными водами, средами обитания, такими как лесные, водно-болотные угодья, дюны, и урбанизированная среда. Прибрежная зона является динамичной, поскольку она подвергается постоянному взаимодействию между волнами, ветром и землей, вызывая эрозию пород, движение и отложение осадков. Далее, энергия приливов и ветров вызывает движение воды в виде течений, скорость которых меняется ежедневно и достигает высокой интенсивности во время штормов. Это приводит к перемещению и переносу таких материалов, как ил, песок и органические вещества. Динамичный характер территории, а также антропогенное давление и воздействия со стороны инфраструктуры и услуг, таких как порты, гавани, промышленная деятельность, рыболовство, сельское хозяйство и туризм, повышают уязвимость территории к стихийным бедствиям [12–15].

Прибрежный туризм способствует созданию новых рабочих мест, что стимулирует рост численности населения, и влечет за собой необходимость увеличения жилого фонда (жилых территорий), развития транспортной и инженерной инфраструктур, повешения антропогенной нагрузки на экосистему. При этом территориальный и экологический потенциалы относятся к ограниченным ресурсам, что необходимо учитывать при решении задач пространственно-территориального развития города.

Методика. При решении задачи территориального развития города на основе туристического бизнеса использовался системный подход, в котором город рассматривается как социо-природно-антропогенная система, включающая социальную, природную, техногенную, экономическую подсистемы, а также подсистему управления, взаимосвязанные между собой [16, 17].

М.В. Перькова, А.Г. Большаков, Ю.М. Моисеев [18–19] в контексте теории разрешения градостроительного конфликтов развития отмечали, что для повышения эффективности территориального планирования и управления региональной территорией системы проанализировать все возможные сценарии пространственного поведения развития, потребления ресурсов. определяет Это целесообразность использования ресурсной на основе баланса природных, модели социальных, территориальных и экономических ресурсов города в градостроительном балансе территорий.

В работе использованы данные открытых источников научно-технической литературы и статистические данные, опубликованные на официальных сайтах государственных органов Вьетнама.

Основная часть. Современные исследования в области градостроительства показывают, что решение задач территориального развития поселений должно опираться на системный анализ. За основу построения модели территориального развития города, ориентированного на приоритет туристической индустрии, принята обобщенная модель устойчивой среды жизнедеятельности, которая включает критические и мотивирующие подсистемы: социальную, экологическую, экономическую, антропогенную и систему управления. Каждая из подсистем связана с другими подсистемами. Социальные факторы учитываются в градостроительном проектировании путем использования нормативов показателей социальных потребностей, которые применяются при проектировании и оценки городской среды. При этом в социологии под нормой понимается уровень удовлетворения потребностей людей, который с одной стороны может быть достигнут с учетом экономических возможностей общества, с другой максимально отвечает интересам населения.

При разработке модели территориального развития города на основе индустрии туризма мы руководствовались следующими сформулированными принципами.

1. Принцип достаточности ресурсов. Этот принцип имеет целевое значение, так как предполагает, что город обладает ресурсами

достаточными для развития нового направления – индустрии туризма.

- 2. Принцип ограниченности территориальных ресурсов городской территории. Данный принцип предусматривает, что при градостроительном планировании следует рассчитывать только на ресурсы, находящиеся в пределах территориальных границ города, которые конечны. Действие данного принципа направлено на максимально эффективное использование и возобновление ресурсов.
- 3. Принцип инфраструктурной целостности определяет комплексный подход к решению вопросов жизнеобеспечения города: питьевой и технической водой, системой сбора и очистки фекальных и сточных вод, энергоснабжения и другим; транспортного обслуживания населения; социальной, торговой, медицинской инфраструктурами.
- 4. Принцип поддержания экологического равновесия природной системы. логистической модели В.И. Арнольда состояние управляемой природной системы восстановлению на определенный момент времени может быть представлено $Q_i(t)$ функцией:

$$Q_i(t) = P_i(t) - C_i(t), \tag{1}$$

где $P_i(t)$ — потенциал природной системы к восстановлению в момент времени t, $C_i(t)$ – интенсивность потребления природных ресурсов времени Интенсивность момент t. потребления природных ресурсов зависит от многих факторов, таких как выбросы и сбросы загрязняющих веществ в воздух и водные количества потребления объекты, рекреационной нагрузки и других, которые, в зависят конечном счете. OT численности населения.

Природный ресурс территории в контексте развития прибрежного туризма определяется:

- климатическими условиями, которые определяют длительность курортного сезона;
 - размером прибрежной пляжной зоны;
- экологической ёмкостью территории: природным каркасом территории, наличием природных достопримечательностей; способностью экосистемы к самовосстановлению.

Следует отметить немаловажное значение местных производств сельскохозяйственной продукции. Оценка климатического комфорта представляет область самостоятельных исследований, в качестве основных показателей используют среднюю температуру дня, °С. Периоды со средней температурой ниже 15 °С и

°C 38 превышающие относятся неблагоприятным пляжного ДЛЯ периоды со средней температурой воздуха 15-32 °C считаются благоприятными. Количество солнечных дней: чем выше этот показатель, тем длительнее курортный сезон, и территория ДЛЯ развития прибрежного благоприятна курортного туризма. До сих пор нет точного стандарта количества солнечных дней для курортных городов. прибрежных согласно актуальным исследованиям, количество солнечных дней в известных курортных городах часто превышает 200 дней в году, количество солнечных часов в году обычно достигает более 2000 часов. Например, Сочи — 211/2174; Анапа -286/2494; Ялта -270/2250. Если количество солнечных дней в году невелико (менее 180 дней в году), то такие территории характеризуются сезонностью, что имеет свои недостатки в части занятости сотрудников курортного сервиса. Во многих странах этот период используется для проведения санитарно-технических работ и предоставления отпусков.

К неблагоприятным климатическим условиям относится сезон дождей/тайфунов, который отмечается в странах с тропическим климатом. Например, г. Ханой (Вьетнам) период с самой высокой средней температурой года (25-29 ° C) и самым высоким средним количеством осадков в году (от 165-274 мм) продолжается с мая по октябрь.

Согласно принципам 1 и 2 территориальная модель на основе достаточности и ограниченности ресурсов может быть представлена следующим выражением:

$$A \in \sum A_p, \sum A_N, \sum A_A, \sum A_U, \sum A_R, \sum A_B,$$
 (2)

где A — общая площадь городской территории, A_p — суммарная площадь жилых территорий, A_N — суммарная площадь локальных курортных урбанизаций, A_A — суммарная площадь производственных территорий, объектов инженернотранспортной инфраструктуры, A_U — суммарная площадь рекреационных зон, A_R — суммарная площадь административно-деловых зон, A_B — суммарная площадь земель сельскохозяйственного назначения.

На стадии градостроительного зонирования площадь территорий за исключением земель сельскохозяйственного назначения и рекреационных зон может быть определена с использованием нормативов градостроительного проектирования, установленных для каждой функциональной зоны:

$$A = \begin{cases} \sum n_{pi} N_{pi} \\ \sum n_{Ni} N_{Ni} \\ \sum n_{Ai} N_{Ai} \\ \sum n_{Ri} N_{Ri} \end{cases} , \tag{3}$$

где n_{pi} , n_{Ni} , n_{Ai} , n_{Ri} — нормативы градостроительного проектирования, устанавливаемые в зависимости от численности населения, плотности застройки в расчете на 1000 человек; N_{pi} , N_{Ni} , N_{Ai} , N_{Ri} — численность постоянного и временного населения жилых территорий, курортных урбанизаций, территорий объектов инженерно-транспортной инфраструктуры, административно-деловых зон, соответственно. Очевидно, что суммарное значение всех зон не может превышать общую площадь курортного города (А). Тогда совместное решение уравнений 1-3 позволит определить максимально допустимую численность туристов, при которой обеспечивается устойчивое развитие курортного города. Однако, получить однозначное решение невозможно, так как представленная модель относится к динамическим моделям, в которой входящие в неё параметры изменяются во времени. Увеличение потока туристов способствует образованию новых рабочих мест практически во всех производственных секторах, что влечет за собой увеличение численности как трудоспособного, так и нетрудоспособного населения, следовательно, возникает необходимость увеличения жилого фонда и других объектов образовательного и социально-бытового обслуживания. В настоящее время нет точных данных о количестве сотрудников, занятых в туристическом бизнесе, их количество зависит от уровня комфорта предприятия в котором будут размещены туристы. В отелях экономического класса количество сотрудников составляет 0,5-1 сотрудник на 1 номер; в отелях средней ценовой категории от 3-4 звёзд на 1-1,5 сотрудника; для первоклассных отелей от 1,5 до 2 сотрудников на 1 номер. Как правило, отели в Азии сосредоточены на предоставлении лучших услуг, имея при этом дешевую рабочую силу, что позволяет иметь самое большое количество сотрудников на номер в мире. Например, в Бангкок Шангри-Ла 1073 сотрудника обслуживают 697 номеров (1,54:1), в отеле Полуостров (Peninsula) в Гонконге работает 655 сотрудников на 300 номеров (2:1) [20]. Из этого следует необходимость разработки прогнозов занятости населения в туристическом бизнесе, что позволит обеспечить точность прогнозирования и градостроительного планирования.

Учитывая курортную направленности туризма, важным территориальным ресурсом, лимитирующим туристический поток, служит вместимость пляжной зоны, площадь которой S_{π} должна быть достаточной для удовлетворения потребностей туристов и местного населения. Для оценки этого ресурса также применима методика определения размера пляжной зоны, основанная на использовании нормативных параметров. В соответствии с установленным нормативом и учетом загруженности пляжа (K_z) потребность в пляжах может быть определена:

$$S_n \geq (N_n K_z) S N$$
, (4) где S_{Π} – площадь пляжей, м²; N_{Π} – количество отдыхающих, чел; K_z – коэффициент загрузки пляжа, который зависит от категории пляжа;

дыхающих, чел; K_z – коэффициент загрузки пляжа, который зависит от категории пляжа; SN — нормативное значение минимальной площади береговой зоны на 1 человека/туриста, м².

Таким образом, при разработке схем градостроительного зонирования и планирования численность единовременного туристического потока становится одним из основных показателей для разработки плана пространственного развития территории. Учитывая многокритериальность динамической системы, решение задачи может быть получено в результате итерационного вариантного проектирования, алгоритм которого представлен на рисунке 1.

На основании сформулированной модели была проведена оценка имеющегося потенциала города Туйхоа для развития индустрии туризма. В результате установлено, что тропический муссонный климат, характеризующийся средней годовой температурой 26,5 °C, количеством солнечных дней - 235 в год, продолжительностью сухого сезона – 8 месяцев, благоприятен для развития курортного туризма. Качество морской воды находятся в допустимых пределах с точки зрения сохранения окружающей среды, а также здоровья человека [21].

Город Туйхоа имеет береговую линию протяженностью около 17 км, общей площадью около 110 га; постоянное население города на 2019 год составляло 200617 человек. Тогда, допуская, что 50 % береговой линии будет занято пляжами, согласно формуле 4, при коэффициенте одновременной загрузки пляжей общего пользования 0,2 и норме площади - 5 м²/чел, максимальное количество дополнительных единовременных посетителей на пляже составит около 200 000 человек.

Инженерная инфраструктура: в настоящее время в городе Туйхоа существует централизованная система водоснабжения, включающая водозаборную скважину и станцию подготовки воды производительностью 28 000 м³/день [22]. Норма водопотребления в городе на человека составляет 110 л/чел [24]. Соответственно, имеющийся резерв достаточен для 53928 человек. Критическим фактом является отсутствие современных водоочистных сооружений в городе, что может привести к резкому ухудшению санитарной

обстановки, и ставит решение этой проблемы на первое место.

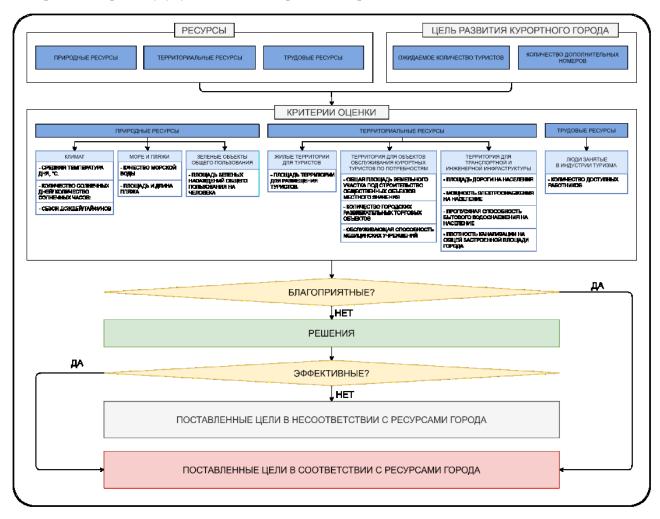


Рис. 1. Алгоритм оценки принимаемых решений

Система медицинского обслуживания города состоит из 16 больниц, поликлинических медицинских пунктов и частных клиник, чтобы обеспечить потребности людей и туристов в медицинском обследовании и лечении. Общее количество коек — 550 коек, на тысячу человек постоянного населения приходится 2,74 койки, что превышает норму 2,4 койки/1000 человек, образуя резерв для оказания медицинских услуг отдыхающим. Развитие туризма создаст благоприятные предпосылки для увеличения профильных частных медицинских учреждений с ориентацией на бальнеологические формы туризма.

Улично-дорожная сеть города соответствует стандартам городских дорог. Общая площадь проезжей части: 3 781 386 м². Исходя из нормы площади проезжей части - 13 м² на человека, численность населения может возрасти ориентировочно на 90260 человек.

Природный каркас города образуют зоны рекреационного назначения. Горные и лесные районы в основном сосредоточены на северо-западе города. В городе Туйхоа имеют небольшие

парки, такие как парк Дьен Хонг, парк Нгуен Хюэ и другие. Общая площадь зеленых насаждений города Туйхоа составляет 1 910 629 м². Нормативная площадь зеленых насаждений общего пользования во Вьетнаме составляет 6 м² (ниже российского стандарта в 12 м²) [25], тогда увеличение численности населения может составлять 117800 человек. Однако это значение должно быть уточнено на основе принципа 4 с учетом рекреационной нагрузки и способности к самовосстановлению экосистемы. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что наиболее значимым (ограничивающим) фактором территориального развития города и туризма, как градообразующей функции, выступает инженерная система водоснабжения и водоотведения. Существующий ресурс водоснабжения в настоящее время достаточен для обеспечения 54 000 человек, включая единовременное количество туристов и местных жителей. Отсутствие очистных сооружений представляет

серьезную угрозу санитарно-гигиенической обстановке и наносит ущерб окружающей среде. Определение площади производственной территории в планировочной структуре города для размещения очистных сооружениях различного

типа представляет первоочередную задачу для обеспечения устойчивого функционирования туристической индустрии и экологической безопасности территории.

Tаблица 2 Комплексная оценка факторов, определяющих развитие туристической индустрии

	Факторы	Показатели	Норматив	Расчетное	Потенциальное количество туристов, чел.
	Водоснабже- ние	Водопотребление/чел.	110 л/чел./день	139,5 л/чел./день	53928
Антропогенные	Водоотведение	Мощность очистных сооружений поверхностного стока	-	Отсутствуют	-
Ант		Мощность фекальных очистных сооружений	-	Использование индивидуальных септиков	-
	Улично-дорож- ная сеть	Площадь проезжей ча- сти/чел.	13 м ² /чел.	18,8 м ² /чел.	90260
Социально-экономиче-	Трудовые ресурсы	Количество человек занятые в индустрии туризма	По соотношению работники/ туристы: 1,5:2	Количество доступных рабочих в городе: 3715 чел.	зависит от коли- чества туристов
Социально-	Медицинское обслуживание	Общее количество коек на население	2,4 койки / 1000 человек	2,74 койки / 1000 че- ловек	28549
еские	Прибрежная зона	Площадь пляжей/чел.	5 м ² /чел.	27,4 м ² /чел.	199852
Экологические	Природный каркас	Площадь зеленых насаждений общего пользования/ чел.	6 м ² /чел.	9,5 м²/чел.	117800

Увеличение туристического потока позволит создать дополнительные рабочие места. По приближенным оценкам соотношение между количеством рабочих и количеством туристов составляет 1,5:2. Следует отметить, что в эту цифру не входит количество людей, работающих в ресторанах, развлекательных заведениях, производстве сувениров и других сопутствующих сервисах, поэтому занятость людей в сфере туризма может достигать соотношения 3:2 (3 рабочих на 2 туриста). Согласно статистическим данным, количество людей трудоспособного возраста в городе Туйхоа составляет 143 441 человек, из них количество безработных — 3715

человек, что составляет 2,59 % [26]. Таким образом, цель развития туризма города Туйхоа - до 54 000 человек, из которых ожидается привлечение 34 000 рабочих.

Согласно стандарту TCVN 4449: 1987 «Градостроительное планирование — стандарты проектирования» [25], минимальная площадь земельного участка для курортных целей составляет 60 м² на отдыхающего; минимальная жилая площадь на одного человека — 12 м² / человека. Следовательно, чтобы разместить дополнительное количество людей, необходимо иметь площадь резервных земель города около 161 га. По данным оценки в 2020 г. площадь резервных зе-

мель города Туйхоа в настоящее время составляет 659,56 га, что достаточно для строительства курортов, жилых зон и объектов социальной и инженерной инфраструктуры. Полученные результаты служат основой разработки генерального плана города, который позволит обеспечить планомерное и сбалансированное развитие территории города.

Выводы. Ориентация прибрежных городов Вьетнама на развитие курортного туризма обоснована и имеет достаточный природный, социальный и территориальный потенциалы. В работе определены факторы негативного воздействия индустрии туризма на природный комплекс территории, это влияние особенно проявляется в прибрежной зоне, испытывающей значительную антропогенную нагрузку, что необходимо учитывать при размещении объектов туристической индустрии.

Сформулированы основные принципы (достаточности ресурсов, ограниченности ресурсов, инфраструктурной целостности и поддержания экологического равновесия природной системы), которые положены в основу построения модели градостроительного баланса территории прибрежного города с ориентацией на индустрию туризма.

Предложенная модель позволяет на стадии градостроительного планирования оценить максимальный поток туристов, при котором будет обеспечено устойчивое развитие города, определить площадь территорий курортных туристических зон, необходимых для комфортного и безопасного размещения туристов в планировочной структуре города.

На основе сформулированной модели выполнена оценка потенциала градостроительного развития территории г. Туйхоа (Вьетнам) с ориентацией на туристическую индустрию. Получены оценки природного комплекса, инженерной и транспортной инфраструктур, социальной сферы, которые позволяют оценить туристический поток не более 54 000 человек. Это означает, что если цель развития туризма в городе не превышает 54 000 человек, то развитие туризма будет соответствовать стандарту устойчивого развития, исходя из ресурсного потенциала территории. При этом показана необходимость совершенствования инженерной системы, критическим фактом является отсутствие современных водоочистных сооружений в городе, что может привести к резкому ухудшению санитарной обстановки, и ставит решение этой проблемы на первое место.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Щербина Е.В., Егорова С.П. Градостроительные аспекты развития индустрии туризма // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2019. №4. DOI: 10.34031/article 5cb1e65ee16de2.46800338.
- 2. Baranova A., Kegeyan S. Urban planning of the resort infrastructure in modern conditions // MATEC Web of Conferences. 2018. No. 193. 01027. DOI: 10.1051/matecconf/201819301027.
- 3. Caamano F.I., Suarez M.A. The Value Assessment and Planning of Industrial Mining Heritage as a Tourism Attraction: The Case of Las Medulas Cultural Space // Land. 2020. No. 9. 404. DOI: 10.3390/land9110404.
- 4. Самойлов К. И., Омаров К.Р. Мировой опыт развития курортных зон // Наука и образование сегодня. 2017. № 5(16). С. 96-99.
- 5. Маргин О.Б. Градостроительное развитие курортов: на примере района Кавказских Минеральных Вод: автореферат дис. ... кандидата архитектуры: 18.00.04 / Моск. архитектурный ин-т. Москва, 1998. 24 с.
- 6. Енин А.Е., Азизова-Полуэктова А.Н. Архитектурная туристско-рекреационная система: структура, свойства, отношения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 1. С. 139-147.
- 7. Афанасьева Э.П. Особенности развития туризма в прибрежных зонах Калининградской области // Псковский регионологический журнал. 2014. № 18. С. 68-77.
- 8. Кропинова Е.Г., Белова А.В., Афанасьева Э.П. Устойчивый туризм альтернатива развития прибрежных городов (на примере малых городов Калининградской области) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 7. С. 104–113.
- 9. Ильичёва Д.А. Зарубежный опыт использования прибрежных территорий // Архитектура и современные информационные технологии. 2016. № 3 (36). С. 10.
- 10. Щербина Е.В., Тарек А.Э.С.М.Ю. Анализ транспортно-планировочной структуры приморских рекреационных районов Египта // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 20–24.
- 11. Премьер-министр Вьетнама. Решение № 201/QD-TTg Генеральный план развития туризма Вьетнама до 2020 года, видение до 2030 года. [Электронный ресурс]. URL: https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=165512 (дата обращения: 02.01.2022).
- 12. Shaw G., Agarwal S. Chapter 1. Introduction: The Development and Management of Coastal Resorts: A Global Perspective // Managing Coastal Tourism Resorts: A Global Perspective, edited by Sheela Agarwal and Gareth Shaw, Bristol, Blue

Ridge Summit: Channel View Publications. 2007. Pp. 1–18. DOI: 10.21832/9781845410742-004.

- 13. Sandhu S.C, Kelkar V., Sankaran V. Resilient coastal cities for enhancing tourism economy: integrated planning approaches // ADBI Working Paper. 2019. No. 1043. Pp. 1–54.
- 14. Всемирная организация развития туризма ООН. [Электронный ресурс]. URL: https://ria.ru/20210721/turizm-1742252942.html (дата обращения: 02.01.2022)
- 15. Всемирная туристическая организация UNWTO. [Электронный ресурс]. URL: https://www.unwto.org/news/2020-worst-year-intourism-history-with-1-billion-fewer-international-arrivals (дата обращения: 02.01.2022)
- 16. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5-12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12
- 17. Shcherbina, E.V., Gorbenkova E.V., Belal A. Rural Areas: Critical Drivers for Sustainable Development // IFAC PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Pp. 786–790. DOI:10.1016/j.ifacol.2018.11.195
- 18. Перькова М.В. Методика выявления и разрешения градостроительных противоречий развития на региональном уровне // Вестник БГТУ им. Шухова. 2018. № 4. С. 62–71 DOI: 10.12737/article 5ac24a37101504.60580272 M.V.
- 19. Перькова М.В., Большаков А.Г. Теоретическая модель развития региональной системы расселения // Вестник БГТУ им. Шухова. №1. 2017. С. 105–112. DOI: 10.12737/24093
- 20. Bharath M. J., Gary K. Vallen. The Traditional Hotel Industry. USA. 2013. No. 1. Pp. 1–29.

- 21. Нгуен Т.М.Д, Зыонг Т.О. Оценка текущего состояния водной среды в прибрежной зоне провинции Фуйен методом экспресс-оценки GEF/UNDP/IMO // Научный журнал, Университет Фуйен. 2017. № 14. С. 54–64. [Электронный ресурс]. URL: https://123docz.net/document/6999867-danh-gia-thuc-trang-moi-truong-nuoc-vung-ven-bien-tinh-phu-yen-bang-phuong-phap-danh-gia-nhanh-cuagef-undp-imo.htm (дата обращения: 02.01.2022)
- 22. Народный комитет города Туйхоа. Отчет № 519 / BC-UBND «Обзор и оценка городов второго уровня для города Туйхоа» // Народный комитет города Туйхоа. 2020.
- 23. Министерство строительства Вьетнама. Постановление № 1210/2016/UBTVQH13 «Постановление о классификации городов» / Министерство строительства Вьетнама. Ханой. 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Nghi-quyet-1210-2016-UBTVQH13-phan-loai-do-thi-316418.aspx (дата обращения: 02.01.2022)
- 24. Министерство строительства Вьетнама. Стандарт Вьетнама № TCVN 4449: 1987 «Планирование городского строительства Стандарт проектирования» / Министерство строительства Вьетнама. Ханой. 1987. 96 с. [Электронный ресурс]. URL: https://vanbanphapluat.co/tcvn-4449-1987-quy-hoach-xay-dung-do-thi-tieu-chuan-thiet-ke (дата обращения: 02.01.2022)
- 25. Статистическое управление города Туйхоа. Результаты переписи населения и жилого фонда. Туйхоа. 2020.

Информация об авторах

Щербина Елена Витальевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства. E-mail: scherbinaEV@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Нгуен Тхань Кам, магистр архитектуры, аспирант кафедры градостроительства. E-mail: ncvgasu@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 20.01.2022 г.

© Щербина Е.В, Нгуен Т.К., 2022

*Scherbina E.V., Nguyen T.K.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) *E-mail: scherbinaev@mgsu.ru, gado@mgsu.ru

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF TOURIST TERRITORIES BASED ON THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract: The paper presents the increasing role of the tourism business in the state's economic development, including the countries and cities of the Asia-Pacific region. These regions have favorable natural con-

ditions for developing coastal tourist resorts. In addition, the article also demonstrates the impact of the pandemic on tourism activities around the world. The factors of the tourism industry's negative impact on the natural complex have been identified. It is especially evident in the coastal zone, experiencing a significant anthropogenic load and must be considered when placing tourism-related objects in the city's planning structure. The basic principles (sufficiency of resources, limited resources, infrastructural integrity and maintenance of the natural system's ecological balance) are formulated, which serve as the foundation for developing a model of the coastal city territory's urban planning balance with a focus on the tourism industry. The proposed model is based on considering the features of the spatial development of coastal city regions, focused on the tourism business. Based on the formulated model, the potential's assessment for urban development of the coastal city Tuy Hoa (Vietnam) is carried out on the basis of the tourism industry. The natural complex's estimates, engineering and transport infrastructures, and the social sphere have been obtained, which allow to estimate the tourist flow of no more than 54,000 tourists, ensuring the sustainable development of the city.

Keywords: territorial planning, urban planning, systems approach, tourism industry, sustainable development.

REFERENCES

- 1. Shcherbina E.V., Egorova S.P. Urban planning aspects of the tourism industry development [Gradostroitel'nyye aspekty razvitiya industrii turizma]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. DOI: 10.34031 / article 5cb1e65ee16de2.46800338. (rus)
- 2. Baranova A., Kegeyan S. Urban planning of the resort infrastructure in modern conditions. MATEC Web of Conferences. 2018. 01027. DOI: 10.1051/matecconf/201819301027.
- 3. Caamano F.I., Suarez M.A. The Value Assessment and Planning of Industrial Mining Heritage as a Tourism Attraction: The Case of Las Medulas Cultural Space. Land. 2020. No. 9. 404. DOI: 10.3390/land9110404.
- 4. Samoilov, K.I., Omarov K.R. World experience in the development of resort areas [Mirovoy opyt razvitiya kurortnykh zon]. Science and education today. 2017. No. 5(16). Pp. 96–99. (rus)
- 5. Margin O.B. Urban development of resorts: On the example of the Caucasian Mineralnye Vody region [Gradostroitel'noye razvitiye kurortov: Na primere rayona Kavkazskikh Mineral'nykh Vod]. Abstract of the thesis. Candidate of Architecture: 18.00.04 / Moscow Architectural Institute. Moscow. 1998. 24 p. (rus)
- 6. Enin A.E., Azizova-Poluektova A.N. Architectural tourism and recreation system: structure, properties, relations [Arkhitekturnaya turistskorekreatsionnaya sistema: struktura, svoystva, otnosheniya]. South of Russia: ecology, development. 2017. Vol. 12. No 1. Pp. 139–147 (rus)
- 7. Afanaseva E.P. Features of the development of tourism in the coastal zones of the Kaliningrad region [Osobennosti razvitiya turizma v pribrezhnykh zonakh kaliningradskoy oblasti]. Pskov regional journal. 2014. No. 18. Pp. 68–77. (rus)
- 8. Kropinova E.G., Belova A.V., Afanaseva E.P. Sustainable tourism an alternative to the development of coastal cities (on the example of small

- towns in the Kaliningrad region) [Ustoychivyy turizm al'ternativa razvitiya pribrezhnykh gorodov (na primere malykh gorodov kaliningradskoy oblasti)]. Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University. 2015. No.7. Pp. 104–113 (rus)
- 9. Ilyicheva D.A. Foreign experience in the use of coastal areas [Zarubezhnyy opyt ispol'zovaniya pribrezhnykh territoriy]. Architecture and modern information technologies. 2016. No. 3 (36). Pp. 10 (rus)
- 10. Shcherbina E.V., Tarek Awad El Sayed Mohamed Yousef. Analysis of transport-planning structure of Egyptian coastal recreational areas [Analiz transportno-planirovochnoy struktury pribrezhnykh rekreatsionnykh zon Yegipta]. Bulletin of MGSU. 2009. No. 1. Pp. 20–24. (rus)
- 11. Prime Minister of Vietnam Decision No. 201/QD-TTg Vietnam Tourism Master Plan 2020, Vision 2030. URL: https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=165512 (Vietnamese) (date of treatment: 02.01.2022)
- 12. Shaw G., Agarwal S. Chapter 1. Introduction: The Development and Management of Coastal Resorts: A Global Perspective. Managing Coastal Tourism Resorts: A Global Perspective, edited by Sheela Agarwal and Gareth Shaw, Bristol, Blue Ridge Summit: Channel View Publications. 2007. Pp. 1–18. DOI: 10.21832/9781845410742-004.
- 13. Sandhu S.C, Kelkar V., Sankaran V. Resilient coastal cities for enhancing tourism economy: integrated planning approaches. ADBI Working Paper. 2019. No. 1043. Pp. 1–54.
- 14. UN World Tourism Development Organization. URL: https://ria.ru/20210721/turizm-1742252942.html (date of treatment: 02.01.2022)
- 15. World Tourism Organization UNWTO. URL: https://www.unwto.org/news/2020-worst-year-in-tourism-history-with-1-billion-fewer-international-arrivals (date of treatment: 02.01.2022)
- 16. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Socionatural-technogenic system of sustainable living environment [Sotsial'no-prirodno-tekhnogennaya

- sistema ustoychivoy sredy zhiznedeyatel'nosti]. Industrial and civil construction. 2019. No. 6. Pp. 5–12. DOI: 10.33622 / 0869-7019.2019.06.5-12 (rus)
- 17. Shcherbina, E.V., Gorbenkova E.V., Belal A. Rural Areas: Critical Drivers for Sustainable Development. IFAC PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Pp. 786–790. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.195
- 18. Perkova M.V. Methodology for identifying and resolving urban development contradictions at the regional level [Methodology for identifying and resolving urban development contradictions at the regional level]. Bulletin of BSTU im. Shukhova. 2018. No. 4. Pp. 62–71. DOI: 10.12737/article 5ac24a37101504.60580272 M.V. (rus)
- 19. Perkova M.V., Bolshakov A.G. A theoretical model of the development of a regional settlement system [Teoreticheskaya model' razvitiya regional'noy sistemy rasseleniya]. Bulletin of BSTU im. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 105–112. DOI: 10.12737 / 24093. (rus)
- 20. Bharath M. J., Gary K. Vallen. The Traditional Hotel Industry. USA. 2013. No. 1. Pp. 1–29.
- 21. Nguyen T.M. D, Duong T.O. Assessment of the current state of the aquatic environment in the coastal zone of Phu Yen province using the rapid assessment method GEF / UNDP / IMO. Scientific journal, Phu Yen University. 2017. No. 14. Pp 54—

- 64. URL: https://123docz.net/document/6999867-danh-gia-thuc-trang-moi-truong-nuoc-vung-ven-bien-tinh-phu-yen-bang-phuong-phap-danh-gia-nhanh-cua-gef-undp-imo.htm (Vietnamese) (date of treatment: 02.01.2022)
- 22. People's Committee of Tuy Hoa. Report No. 519 / BC-UBND "Review and assessment of secondtier cities for the city of Tuy Hoa". People's Committee of the city of Tuy Hoa. 2020. (Vietnamese)
- 23. Ministry of Construction of Vietnam. Ordinance No. 1210/2016 / UBTVQH13 "Ordinance on the classification of cities". Ministry of Construction of Vietnam. Hanoi. 2016. URL: https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Nghi-quyet-1210-2016-UBTVQH13-phan-loai-do-thi-316418.aspx (Vietnamese) (date of treatment: 02.01.2022)
- 24. Ministry of Construction of Vietnam. Vietnamese Standard TCVN 4449: 1987 Urban Planning Design Standard. Ministry of Construction Vietnam. Hanoi. 1987. 96 p. URL: https://vanbanphapluat.co/tcvn-4449-1987-quy-hoach-xay-dung-dothi-tieu-chuan-thiet-ke (Vietnamese) (date of treatment: 02.01.2022)
- 25. Statistical Office of Tuy Hoa City. Results of the population and housing census. Tuy Hoa. 2020. (Vietnamese)

Information about the authors

Scherbina, Elena V. DSc, Professor. E-mail: scherbinaEV@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU). Russian, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Nguyen, Thanh Cam. Postgraduate Student. E-mail: ncvgasu@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU). Russian, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 20.01.2022

Для цитирования:

Щербина Е.В., Нгуен Т.К. Методические подходы развития туристических территорий с учетом принципов устойчивого развития // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 83–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-83-93

For citation:

Scherbina E.V., Nguyen T.K. Methodological approaches to the development of tourist territories based on the principles of sustainable development. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 83–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-83-93

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-94-102

 1,* Трубицын М.А., 1 Фурда Л.В., 1 Воловичева Н.А., 1 Япрынцев М.Н., 2 Кузин В.И., 2 Коломыцев Е.Е.

 1 Белгородский государственный национальный исследовательский университет 23AO «ПКФ «НК», *E -mail: troubitsin@bsu.edu.ru

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА КЛИНКЕРНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты изучения влияния модифицирующих добавок $CaAl_2O_4$ (CA) и $CaAl_4O_7$ (CA₂), а также борной кислоты на процессы фазообразования клинкерных минералов. Расчет содержания сырьевых компонентов в шихте проводили с учетом получения высокоглиноземистого клинкера с содержанием Al_2O_3 71–72 масс. % и CaO 27–28 масс. %. Согласно диаграмме состояния системы $CaO-Al_2O_3$ данное массовое соотношение предполагает формирование двух кальций-алюминатных фаз: СА 64 масс. % и СА2 36 масс. %. В качестве исходного сырья использованы мел марки M-90 и технический глинозем марки Γ -0. Термообработку порошковых смесей с различной концентрацией модифицирующих добавок проводили в интервале температур 1250–1350 $^{\circ}C$ с изотермической выдержкой 1 и 2 часа. Установлено, что при введении в шихту $0.5~\%~H_3BO_3$ проектное соотношение фаз СА и CA_2 достигается после термообработки 1350 °С в течение 2 часов. Увеличение содержания борной кислоты до 1,0 % позволяет получать фазовый состав клинкера, близкий к проектному при 1250 °C и продолжительности выдержки 1 час. Показано, что введение в шихту добавки ВГЦ оказывает влияние на количественный фазовый состав исследуемых продуктов. Установлена корреляция между количеством вводимого ВГЦ и снижением содержания непрореагировавшего α-оксида алюминия в образцах, термообработанных при 1350 °C в течение 1 часа.

Ключевые слова: моноалюминат кальция, диалюминат кальция, термообработка, высокоглиноземистый цемент, фазообразование, модифицирование, борная кислота.

Введение. Кальций-алюминатные цементы с высоким содержанием оксида алюминия (более 70 %) в настоящее время находят широкое применение в строительной, горнодобывающей, огнеупорной и металлургической отраслях промышленности [1]. В последние годы особо чистые высокоглиноземистые цементы используют в качестве гидравлических связующих при изготовлении огнеупорных литьевых композиционных масс нового поколения [2].

Мировым лидером в производстве кальцийалюминатных цементов, включая высокоглиноземистые цементы (ВГЦ), является компания Imerys Aluminates (Kerneos) (Франция). Среди российских предприятий можно назвать Пашийский металлургическо-цементный завод (ПМЦЗ) и Боровичский комбинат огнеупоров АО «БКО» [3, 4]. Однако, эта продукция производится ограниченными партиями, а высокоглиноземистые цементы АО «БКО» преимущественно используются для собственных нужд при выпуске огнеупорных бетонов. Основными способами производства ВГЦ являются полное плавление сырьевой смеси и спекание. В данных процессах образование клинкера происходит преимущественно за счет реакций в твердой фазе [1, 5]. Особо чистые высокоглиноземистые цементы получают

спеканием во вращающихся печах (в случае многотоннажного производства), а также в туннельных или камерных печах (при среднетоннажном производстве) [6, 7].

Разработка состава и технологии получения особо чистого ВГЦ предполагает проведение исследований процесса синтеза клинкерных минералов, выявление факторов, определяющих условия формирования и температурные области устойчивости целевых фаз CaAl₂O₄ (CA) и CaAl₄O₇ (CA₂), определение технологических и физико-механических характеристик готового продукта [8–13].

Ранее в работе [14] представлены результаты экспериментальных исследований по изучению процессов фазообразования СА и СА₂ из порошковых смесей в интервале температур обжига 1250–1450 °C с изотермической выдержкой 1 и 2 часа. В качестве прекурсоров использованы мел марки М-90 и технический глинозем марки Г-0. Полная трансформация прекурсоров в целевые фазы СА и СА₂ была достигнута после термообработки при 1450 °C с изотермической выдержкой в течении 2 часов, а фактические массовые соотношения этих фаз составили 64 % и 36 % соответственно. Было показано, что процесс фор-

мирования целевых продуктов СА и СА $_2$ из дисперсных порошков оксида алюминия и карбоната кальция с увеличением температуры и времени изотермической выдержки определяется преимущественно диффузией более подвижных катионов Са $^{2+}$, высвобождаемых в процессе деградации фазы С $_{12}$ А $_7$ в области высоких концентраций оксида алюминия.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния некоторых модифицирующих добавок на процессы фазообразования СА и ${\rm CA_2}$ при получении высокоглиноземистого клинкера.

Методология. При расчете содержания сырьевых компонентов в шихте исходили из требования получения высокоглиноземистого клинкера с содержанием Al_2O_3 71–72 масс. % и CaO 27–28 масс. %. Данное массовое соотношение в диаграмме состояния системы CaO - Al_2O_3 предполагает наличие двух кальций-алюминатных фаз CA и CA₂ [15, 16]. Проектируемый фазовый состав клинкера — 64 масс. % CA и 36 масс. % CA₂.

В качестве исходных сырьевых материалов использовали мел марки M-90 и технический глинозем марки Г-0. Химический состав исходного сырья представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исходного сырья

Наименование				Массова	я доля,%		
материала	Al_2O_3	SiO ₂	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na ₂ O	Другие
Глинозем Г-0	98,60	0,02	0,015	следы	следы	0,10	1,26
Мел М-90	0,10	0,10	0,08	CaCO ₃	- 98,60	следы	1,12

Более подробная характеристика исходных сырьевых материалов представлена в работе [14].

Как известно, инициаторами образования новых фаз могут выступать вводимые в ограниченном количестве близкие по природе химические вещества в качестве «затравки». Источником веществ-инициаторов фазообразования в нашем исследовании являлся высокоглиноземистый цемент марки NK-CEM 72 (далее ВГЦ) с содержанием Al_2O_3 70,50 масс. %. По минералогическому составу ВГЦ представлен двумя фазами: СА и СА2. Содержание данных фаз составляет 78,5 и 21,5 масс. % соответственно.

Одним из технологических приемов понижения рабочей температуры фазообразования служит введение добавок, обеспечивающих раннее появление микрорасплавов. Это интенсифицирует диффузию катионов и анионов в зону реакции. В качестве добавки такого типа нами была выбрана борная кислота марки х. ч. [1]. Выбор Н₃ВО₃ был также обоснован способностью кислоты обеспечивать удаление нежелательных примесей оксида натрия. Na₂O образует с борной кислотой борат натрия с последующей возгонкой этого соединения при температурах выше 1350 °C [17].

Фазовый состав материалов определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Ultima IV (Rigaku Япония) с использованием СиК α -излучения (λ = 1,54056 Å), схема съемки Брэгга-Брентано, со скоростью сканирования 2 град/мин в диапазоне углов 2 θ от 10 до 70, с шагом сканирования 0,02°. Идентификация пиков проводилась с использованием базы данных PDF-2. Экспериментальные дифрактограммы обрабатывали с помощью программы

PDXL (Rigaku Corporation) с уточнением по методу Ритвельда. Соотношение фаз рассчитывали методом корундовых чисел.

Синтез клинкерных минералов проводили следующим образом. Дозировку сырьевых компонентов и модифицирующих добавок осуществляли весовым методом порционного взвешивания на лабораторных технических весах. Гомогенизацию сырьевой смеси проводили путем перемешивания в барабане лабораторной шаровой мельницы рабочим объемом 2 л в течение 60 мин.

Готовую порошковую смесь увлажняли дистиллированной водой до пастообразного состояния и гомогенизировали при помощи верхнеприводной лопастной мешалки. Далее полученную массу помещали в полипропиленовые формы диаметром 40 мм и высотой ~ 30 мм с последующим виброуплотнением в течение 10–20 сек. Сформованные образцы предварительно выдерживали при комнатной температуре в течение 8 часов, а затем в сушильном шкафу с принудительной конвекцией при температуре 120 °C в течение 2 часов.

Высушенные образцы-брикеты помещали в высокотемпературную печь Nabertherm LHT 02/17 на корундовую плиту-подложку и подвергали термообработке по следующему режиму: скорость нагрева 250 °C в час, первая изотермическая выдержка при температуре 900 °C в течение 30 мин с целью обеспечения полного разложением карбоната кальция (мела) до оксида кальция; вторая изотермическая выдержка при заданных максимальных температурах (1250, 1300 и 1350 °C) в течение 1 или 2 часов.

Основная часть. На начальном этапе исследований была проведена оценка влияния добавки

борной кислоты на синтез клинкерных фаз. Для этого были приготовлены образцы с содержанием $\rm H_3BO_3$ в исходной смеси равным 0,5 и 1,0 масс. % по вышеуказанной методике. Термообработку проводили при 1250, 1300 и 1350 °C с изотермической выдержкой при максимальных температурах в течение 1 и 2 часов.

Полученные образцы исследовали методом рентгенофазового анализа. Процессы фазообразования образцов аналогичного состава без добавки борной кислоты подробно описаны в работе [14]. Результаты влияния добавки Н₃ВО₃ в исходной шихте на процессы фазообразования представлены на рисунках 1, 2, и в таблице 2.

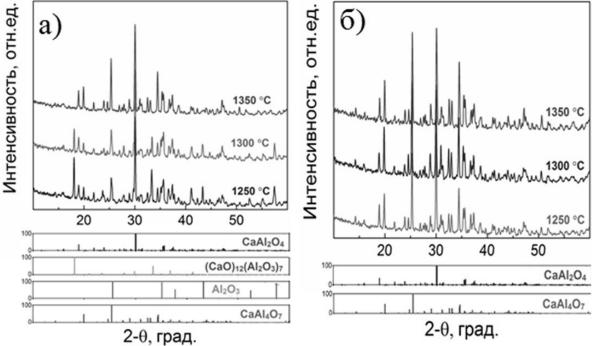


Рис. 1. Порошковые рентгеновские дифрактограммы термообработанных образцов с добавлением 0,5 масс. % Н₃ВО₃, изотермическая выдержка 1 час (а) и 2 часа (б)

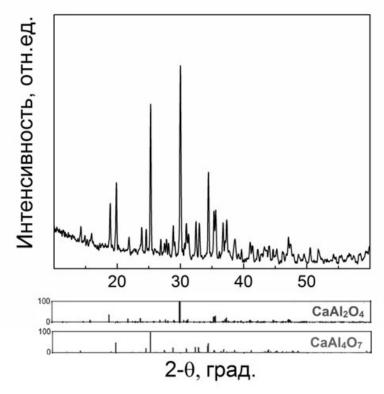


Рис. 2. Порошковые рентгеновские дифрактограмма образца с добавлением 1 масс. % H₃BO₃, изотермическая выдержка 1 час при 1250 °C

Таблица 2

ω	Максимальная	Время		Содержание	фаз, % масс	
(H ₃ BO ₃), %	температура, °С	изотермической выдержки, ч	CA	CA_2	$C_{12}A_{77}$	α-Al ₂ O ₃
0,5	1250	1	64,1	13,5	16,2	15,5
		2	76,6	24,4	-	-
	1300	1	54,1	14,1	7,6	14,8
		2	70,7	29,3	-	-
	1350	1	78,8	21,2	-	-
		2	68,7	31,3	-	-
1,0	1250	1	67,7	32,3	-	-
		2	62,1	27,9	-	-
	1300	1	67,6	32,4	-	-
		2	66,3	33,7	-	-
	1350	1	68,0	32,0	-	-

66,0

Влияния режимов и времени термообработки на концентрации фаз в образцах

Из данных рисунка 1а и таблицы 2 видно, что после термообработки при 1250 °C с изотермической выдержкой 1 час в образце, содержащем 0,5 % Н₃ВО₃, уже присутствуют целевые фазы CA и CA₂, а также α -Al₂O₃ и промежуточная фаза С₁₂А_{77.} Повышение температуры обработки до 1300 °C не приводит к изменению концентрации альфа-оксида алюминия (~15 масс. %), содержание фазы $C_{12}A_7$ снижается с 16 до 8 масс. %. В то же время увеличение продолжительности изотермической выдержки до 2 часов позволяет получать образцы, включающие только две целевые фазы – СА и СА2, независимо от максимальной температуры обжига (рис. 16 и табл. 2). В случае обжига при 1350 °C содержание фаз СА и CA_2 в клинкере близко к проектному.

Повышение концентрации H_3BO_3 в исходной шихте до 1,0 % позволяет получать образцы, с проектным соотношением СА и СА₂ уже при 1250 °С и продолжительности выдержки 1 час (рис. 2, табл. 2). Дальнейшее увеличение температуры и продолжительности изотермической выдержки не приводят к изменению качественного и количественного фазового составов.

Таким образом, приведенные выше данные подтверждают, что введение борной кислоты смещает процессы фазообразования в низкотемпературную область. По нашему мнению, это объясняется появлением в системе достаточного количества расплава и, как следствие, происходит интенсификация диффузионных процессов.

На следующем этапе исследований была проведена оценка влияния добавки ВГЦ на синтез клинкерных фаз. Ранее были изучены процессы фазообразования СА и СА $_2$ из порошковых смесей CaCO $_3$ -Al $_2$ O $_3$ с добавкой ВГЦ 5 % в интервале температур 1250–1450 °C [14]. Согласно полученным данным после обработки при 1300 °C

образцы не содержали заметных количеств оксида кальция, но одновременно происходило снижение содержания оксида алюминия и формирование $C_{12}A_7$. Было показано, что увеличение температуры обработки в диапазоне 1300-1350 °C не приводит к существенному изменению фазового состава образцов.

С учетом вышеизложенного, в настоящем исследовании термообработку порошковых смесей с добавками ВГЦ, равными 5; 7,5 и 10 масс. %, проводили при температуре 1350 °С с выдержкой в течение 1 и 2 часов. Для сравнения использовали эталонный образец без добавки ВГЦ, синтезированный при тех же условиях. Полученные материалы изучали методом рентгенофазового анализа. Так как все образцы имели сопоставимый фазовый состав, то в качестве примера на рисунке 3 приведена порошковая рентгеновская дифрактограмма эталонного образца, согласно которой основными компонентами получаемых клинкеров являются целевые фазы CA и CA2, а также α -оксид алюминия и $C_{12}A_7$.

Характер изменения фазового состава образцов при различных концентрациях ВГЦ в экспериментальной шихте приведен в таблице 3 и на рисунке 4.

Как следует из таблицы 3, введение ВГЦ оказывает существенное влияние на изменение содержания оксида алюминия при изотермической выдержке 1 час. Содержание α -Al₂O₃ в эталонном образце составляет 32,6 %, а в диапазоне концентраций ВГЦ 5–10 % доля оксида алюминия понижается с 17,4 до 7,2 %. Соответственно наблюдается возрастание содержания моноалюмината кальция с 35,2 % (эталон) до 60,1–68,5 %. Аналогичный характер изменения содержания α -Al₂O₃ отмечается и при увеличении изотермической выдержки до 2 часов.

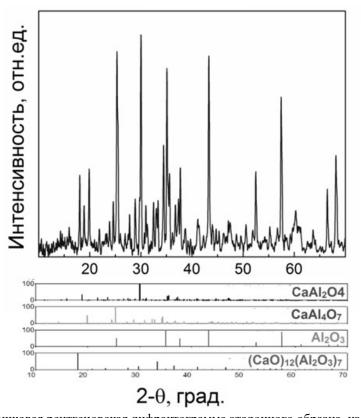


Рис. 3. Порошковая рентгеновская дифрактограмма эталонного образца, изотермическая выдержка 1 час при 1350 °C

Таблица 3
Влияние концентрации добавок ВГЦ на синтез клинкерных фаз

Время в			Количество добавки, масс.%					
при 135	50 °C, ч	Без добавки	5	7,5	10			
		ВГЦ						
1	Al_2O_3	32,6	17,4	9,1	7,2			
	CA	35,2	60,1	62,5	68,5			
	CA ₂	27,1	17,3	21,5	20,2			
	$C_{12}A_7$	5,1	5,6	6,9	4,4			
2	Al_2O_3	12,7	15,3	-	4,0			
	CA	66,6	57,5	75,1	62,8			
	CA ₂	13,7	21,2	22,2	17,2			
	C ₁₂ A ₇	8,0	5,9	3,6	17,5			

Из рисунка 4 видно, что по мере возрастания доли вводимой добавки ВГЦ также наблюдается ярко выраженная тенденция к повышению суммарного содержания целевых фаз СА и СА $_2$ при изотермической выдержке 1 час. В случае увеличения продолжительности термообработки до 2 часов подобная зависимость отсутствует. В то же время зафиксирован экстремум суммарной доли СА и СА $_2$, соответствующий содержанию ВГЦ 7,5 %.

Согласно полученным данным, введение в сырьевую смесь кальций-алюминатных соединений способствует ускорению процессов образования целевых фаз. Это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что вводимые кальций-алюминатные добавки могут выступать в качестве центров кристаллизации СА и СА₂.

Выпуск и испытания опытно-промышленных партий высокоглиноземистого клинкера на производственном участке компании ЗАО «ПКФ «НК» (г. Старый Оскол) в целом подтвердили результаты лабораторных экспериментальных исследований. Шихта включала технический глинозем марки Г-0, мел марки М-90 и модифицирующие добавки - 5% ВГЦ и 0,5% Н₃ВО₃. Из шихты готовили брикеты по принятой на предприятии технологии, и обжигали в промышленной камерной печи при 1350°C с выдержкой при максимальной температуре 8 часов. Полученный клинкер подвергали дроблению и тонкому помолу до остатка на сите №008 не более 10% (рис. 5). Усреднённый фазовый состав клинкера – 67% СА и 33%СА2.

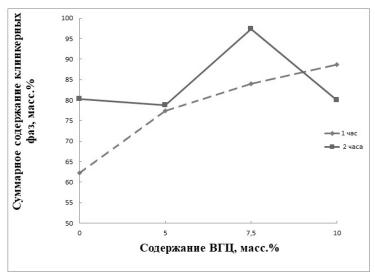


Рис. 4. Зависимость суммарного содержания целевых клинкерных фаз CA и CA₂ от концентрации ВГЦ, изотермическая выдержка 1 и 2 часа при 1350 °C

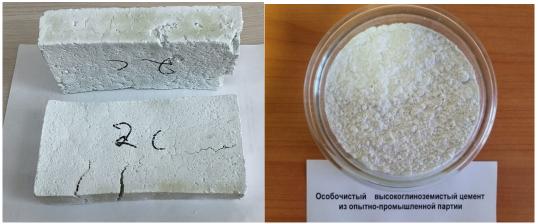


Рис. 5. Опытно-промышленная партия: а – клинкер; б – высокоглиноземистый цемент

Выводы. Установлено, что при введении в шихту 0,5 % H_3BO_3 проектное соотношение фаз СА и СА2 достигается после термообработки при 1350 °С в течение 2 часов. Увеличение содержания борной кислоты до 1,0 % позволяет получать фазовый состав клинкера, близкий к проектному при 1250 °С и продолжительности выдержки 1 час. Дальнейшее повышение температуры обработки и времени выдержки не приводят к изменению качественного и количественного фазового составов высокоглиноземистого клинкера.

Показано, что введение в шихту добавки ВГЦ оказывает влияние на количественный фазовый состав исследуемых продуктов. Установлена корреляция между количеством вводимого ВГЦ и снижением содержания непрореагировавшего α -оксида алюминия в образцах, термообработанных при 1350 °C в течение 1 часа. Выявлена тенденция к повышению суммарного содержания целевых фаз СА и СА $_2$ по мере возрастания доли вводимой добавки ВГЦ.

В случае увеличения продолжительности термообработки до 2 часов подобная зависи-

мость отсутствует. Зафиксирован максимум суммарной доли СА и СА₂, соответствующий содержанию ВГЦ 7,5 %.

Проведена опытно-промышленная апробация результатов экспериментальных исследований на производственном участке компании ЗАО «ПКФ «НК» (г. Старый Оскол).

Источник финансирования. Работа выполнена в НИУ БелГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения от 14.12.2020 г. № 075-11-2020-038 о реализации комплексного проекта «Создание импортозамещающего производства компонентов матричных систем и теплотехнических композиционных материалов нового поколения на их основе» согласно Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218.

Работа выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Технологии и Материалы НИУ «БелГУ».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Кузнецова Т.В., Талабер Й. Глиноземистый цемент. М.: Стройиздат. 1988. 272 с.
- 2. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors // A Review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
- 3. Маргишвили А.П., Русакова Г.В., Гвоздева И.А., Алекссев П.А., Кузнецова О.С. Новые низко- и ультранизкоцементные огнеупорные бетоны производства ОАО "Боровичский комбинат огнеупоров" для металлургии и стекольной промышленности // Новые огнеупоры. 2008. №3. С. 121–126.
- 4. Илякин А.В., Баранов П.А., Поспелова Е.И., Амурзаков А.Н. Новое поколение магнезиальных торкрет-масс ООО "Группа "Магнезит" // Новые огнеупоры. 2008. №7. С. 17.
- 5. Krivoborodov Yu., Samchenko S. Synthesis of high alumina cement based on metallurgy wastes // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. №2. Pp 1–7.
- 6. Штиннессен И., Бур А., Кокеджей-Лоренц Р. Высокочистый высокоглиноземистый цемент; производство и свойства // Новые огнеупоры. 2003. № 8. С. 22–27.
- 7. Migal' V.P., Skurikhin V.V., Gershkovich S.I. et al. Production and Equipment Hign-Alumina Cembor Cements for Low-Cement Refractory Concretes// Refractories and Industrial Ceramics. 2012. Vol. 53. №1. Pp. 4–8. DOI https://doi.org/10.1007/s11148-012-9452-z.
- 8. Zawrah M.F., Shehata A.B, Kishar E.A., Yamani R.N. Synthesis, hydration and sintering of calcium aluminate nanopowder for advanced applications//Comptes Rendus Chimie. 2011. Vol.14. № 6. Pp. 611–618.
- 9. Park Y.J., Kim Y.J. Effects of crystals structures on luminescent properties of Eu doped Ca-Al-O systems // J. Ceram. Int. 2007. 2843.

10.Hofmeister A.M., Wopenka B., Locock A.J. Spectroscopy and structure of hibonite, grossite, and

CaAl₂O₄: Implications for astronomical environments// Geochimicaet Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68. № 21. Pp. 4485–4503. DOI https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.03.011.

11.Iftekhar S., Grins J., Svensson G.et al. Phase formation of CaAl₂O₄ from CaCO₃-Al₂O₃ powder mixtures//Journal of the European Ceramic Society. 2008. Vol. 28. Pp. 747–756. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2007.08.012.

12.Rades S., Hodoroaba V.-D., Salge T., Wirth T., Lobera M.P., Labrador R.H., Natte K., Behnke T., Grossa T., Unger W. E. S. High-resolution imaging with SEM/T-SEM, EDX and SAM as a combined methodical approach for morphological and elemental analyses of single engineered nanoparticles // RSC Advances. 2014. Vol. 91. №4. Pp. 49577–49587. DOI https://doi.org/10.1039/C4RA05092D.

13.Bhattacharyya S., Prasad B. Studies on phase formation in high alumina cement by varying manufacturing parameter and effect of those phases in refractory castable. Rourkela. 2013. 66 p.

14. Трубицын М.А., Япрынцев М.Н., Фурда Н.А., Воловичева Н.А., Кузин В.И., Зубащенко Р.В. Влияние режимов термообработки на процесс синтеза кальций-алюминатных фаз в технологии особо чистого высокоглиноземистого цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. Т. 7. № 2. С. 84–93.

15.Jerebtsov D.A., Mikhailov G.G. Phase diagram of CaO-Al₂O₃ system // Ceramics International. 2001. №27. Pp. 25–28.

16.Hai-yan Yu, Yong-pan Tian, Xiaolin Pan, Gan-feng Tu. Mineral transition and formation mechanism of calcium aluminate compounds in CaO-Al₂O₃-Na₂O system during high-temperature sintering // International Journal of Minerals Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. №7. Pp. 925–932. DOI:10.1007/s12613-019-1951-1.

17.Gürel S. B., Altun A. Reactive alumina production for the refractory industry // Powder Technology. 2009. Vol. 196. Pp. 115–121. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.07.007.

Информация об авторах

Трубицын Михаил Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Фурда Любовь Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Воловичева Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Япрынцев Максим Николаевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ЦКП «Технологии и материалы НИУ «БелГУ». E-mail: yaprintsev@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85.

Кузин Владислав Игоревич, генеральный директор. ЗАО «ПКФ «НК». Россия, 309515, г. Старый Оскол, пл-ка Монтажная, проезд Ш-6, зд. 1.

Коломыцев Евгений Егорович. Начальник цеха. E-mail: Kolomycew@thmnk.com. ЗАО «ПКФ «НК». Россия, 309515, г. Старый Оскол, пл-ка Монтажная, проезд Ш-6, зд. 1.

Поступила 07.04.2022 г.

© Трубицын М.А., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Япрынцев М.Н., Кузин В.И., Коломыцев Е.Е., 2022

¹,*Trubitsin M.A., ¹Furda L.V., ¹Volovicheva N.A., ¹Yapryntsev M.N., ²Kuzin V.I., ²Kolomytsev E.E.

¹Belgorod National Research University ²ZAO « PKF «NK» *E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE PROCESSES OF SYNTHESIS OF CLINKER MINERALS OF HIGH ALUMINA CEMENT

Abstract. The article presents the results of studying the effect of modifying additives $CaAl_2O_4$ (CA) and $CaAl_4O_7$ (CA_2), as well as boric acid on the processes of phase formation of clinker minerals. The calculation of the content of raw materials in the charge is carried out taking into account the production of high-alumina clinker with the participation of Al_2O_3 71–72 wt.% and CaO 27–28 wt.%. In accordance with the state diagram of the CaO– Al_2O_3 system, the mass amount accumulates in two calcium aluminate phases: CA 64 wt.% and CA_2 36 wt.%. Chalk grade M-90 and commercial alumina grade G-0 are used as feedstock. Heat treatment of powder mixtures with different concentrations of modifying additives is carried out in the temperature range of 1250 - 1350°C with isothermal holding for 1 and 2 hours. It has been established that when 0.5 % H_3BO_3 is introduced into the charge, the design ratio of the CA and CA_2 phases appears after heat treatment at 1350 °C for 2 hours. An increase in the content of boric acid to 1.0 % allows to obtain a phase clinker composition close to the design one at 1250 °C and a holding time of 1 hour. It has been shown that the introduction of HAC additives into the mixture affects the quantitative phase composition of products. A correlation is established between the amount of HAC introduced and the decrease in the content of unreacted α -alumina in samples heat-treated at 1350 °C for 1 hour.

Keywords: calcium monoaluminate, calcium dialuminate, heat treatment, high alumina cement, phase formation, modification, boric acid.

REFERENCES

- 1. Kuznecova T.V., Talaber J. Alumina cement [Glinozemistyj cement]. M.: Strojizdat, 1988. 272 p. (rus)
- 2. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors. A Review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
- 3. Margishvili A.P., Rusakova G.V., Gvozdeva I.A., Alekssev P.A., Kuznecova O.S. New low- and ultra-low-cement refractory concretes produced by JSC «Borovichi Refractory Plant» for metallurgy and glass industry [Novye nizko- i ul'tranizkocementnye ogneupornye betony proizvodstva OAO «Borovichskij kombinat ogneuporov» dlya metallurgii i stekol'noj promyshlennosti]. New refractories. 2008. No 3. Pp. 121–126. (rus)
- 4. Ilyakin A.V., Baranov P.A., Pospelova E.I., Amurzakov A.N. New generation of magnesia gunning mixes of «Group «Magnezit» [Novoe pokolenie

- magnezial'nyh torkret-mass OOO «Gruppa «Magnezit»]. New refractories. 2008. No 7. Pp. 17. (rus)
- 5. Krivoborodov Yu., Samchenko S. Synthesis of high alumina cement based on metallurgy wastes. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. No 2. Pp. 1–7.
- 6. Shtinnessen I., Bur A., Kokedzhej-Lorenc R. High purity high alumina cement; production and properties [Vysokochistyj vysokoglinozemistyj cement; proizvodstvo i svojstva]. New refractories. 2003. No 8. Pp. 22–27. (rus)
- 7. Migal' V.P., Skurikhin V.V., Gershkovich S.I. et al. Production and Equipment Hign-Alumina Cembor Cements for Low-Cement Refractory Concretes. Refractories and Industrial Ceramics. 2012. Vol. 53. No 1. Pp. 4–8.
- 8. Zawrah M.F., Shehata A.B, Kishar E.A., Yamani R.N. Synthesis, hydration and sintering of

calcium aluminate nanopowder for advanced applications. Comptes Rendus Chimie. 2011. Vol.14. No 6. Pp. 611–618.

- 9. Park Y.J., Kim Y.J. Effects of crystals structures on luminescent properties of Eu doped Ca-Al-O systems. J. Ceram. Int. 2007. P. 2843.
- 10. Hofmeister A.M., Wopenka B., Locock A.J. Spectroscopy and structure of hibonite, grossite, and CaAl2O4: Implications for astronomical environments. Geochimicaet Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68. No 21. Pp. 4485–4503.
- 11. Iftekhar S., Grins J., Svensson G.et al. Phase formation of CaAl₂O₄ from CaCO₃-Al₂O₃ powder mixtures. Journal of the European Ceramic Society. 2008. Vol. 28. Pp. 747–756.
- 12. Rades S., Hodoroaba V.-D., Salge T., Wirth T., Lobera M.P., Labrador R.H., Natte K., Behnke T., Grossa T., Unger W. E. S. High-resolution imaging with SEM/T-SEM, EDX and SAM as a combined methodical approach for morphological and elemental analyses of single engineered nanoparticles. RSC Advances. 2014. Vol. 91. No 4. Pp. 49577–49587.
- 13. Bhattacharyya S., Prasad B. Studies on phase formation in high alumina cement by varying

manufacturing parameter and effect of those phases in refractory castable. Rourkela, 2013. 66 p.

- 14. Trubicyn M.A., Yapryncev M.N., Furda N.A., Volovicheva N.A., Kuzin V.I., Zubashchenko R.V. Influence of heat treatment modes on the process of synthesis of calcium aluminate phases in the technology of spesially pure high aluminum cement [Vliyanie rezhimov termoobrabotki na process sinteza kal'cij-alyuminatnyh faz v tekhnologii osobo chistogo vysokoglinozemistogo cementa]. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2022. Vol. 7. No 2. Pp. 84–93. (rus)
- 15. Jerebtsov D.A., Mikhailov G.G. Phase diagram of CaO-Al₂O₃ system. Ceramics International. 2001. No 27. Pp. 25–28.
- 16. Hai-yan Yu, Yong-pan Tian, Xiaolin Pan, Gan-feng Tu. Mineral transition and formation mechanism of calcium aluminate compounds in CaO-Al₂O₃-Na₂O system during high-temperature sintering. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. No 7. Pp. 925–932.
- 17. Gürel S. B., Altun A. Reactive alumina production for the refractory industry. Powder Technology. 2009. Vol. 196. Pp. 115–121.

Information about the authors

Trubitsin, Mikhail A. PhD, Professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Furda, Lyubov V. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Volovicheva, Natalya A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Yaprintsev, Maksim N. PhD, researcher of Center «Technologies and materials of the NRU «BelSU». E-mail: yaprintsev@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Kuzin, Vladislav I. General Director. ZAO «PKF «NK». Russia, 309515, Stary Oskol, f. Montagnaya, Sh-6, 1.

Kolomytsev, Evgeniy E. Head of the industrial department. ZAO «PKF «NK». E-mail: Kolomycew@thmnk.com. Russia, 309515, Stary Oskol, f. Montagnaya, Sh-6, 1.

Received 07.04.2022

Для цитирования:

Трубицын М.А., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Япрынцев М.Н., Кузин В.И., Коломыцев Е.Е. Влияние модифицирующих добавок на процессы синтеза клинкерных минералов высокоглиноземистого цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 94–102. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-94-102

For citation:

Trubitsin M.A., Furda L.V., Volovicheva N.A., Yapryntsev M.N., Kuzin V.I., Kolomytsev E.E. influence of modifying additives on the processes of synthesis of clinker minerals of high alumina cement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 94–102. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-94-102

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110

*Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: durykhinandrey@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрено влияние внутренних напряжений в теле заготовки на изменение ее геометрических параметров во время фрезерной обработки детали из термоупрочненного алюминия с низкой жесткостью конструкции, а также методика процесса фрезерной обработки подобных деталей, позволяющая снизить влияние внутренних напряжений отливки на точность получаемых размеров.

Произведены измерения геометрических параметров выборки исследуемых деталей после черновой и чистовой обработки. На основе изучения полученных данных предложена методика снижения влияния внутренних напряжений заготовки на получаемый размер, заключающаяся в изменении конфигурации заготовки для черновых и получистовых проходов.

Рассмотрена возможность интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку, для получения приближенных значений отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах обработки. Произведено моделирование напряжений заготовки с первичной и новой конфигурациями. Изучены результаты конечно-элементного анализа, произведенного с использованием САПР Siemens NX. Проведено сравнение полученных данных.

Установлено, что использование методики с увеличением жесткости заготовки на этапе черновой и получистовой обработки приводит к снижению влияния коробления отливки на величину отклонений итоговых размеров детали, что приводит к уменьшению времени обработки, путем сокращения количества чистовых проходов, а также времени старения заготовки после чернового снятия припуска.

Ключевые слова: фрезерование, фрезерная обработка, нежесткий элемент, тонкая стенка, алюминиевый сплав, деформации, метод конечных элементов.

Введение. Нежесткая деталь — деталь, которая деформируется до такой степени, что в свободном состоянии выходит за пределы допусков размеров и/или формы и расположения, относящихся к детали в закрепленном состоянии.

Влияние остаточных напряжений сказывается на точности детали через их перераспределение в заготовке по мере ее обработки и в готовой детали. Основной причиной возникновения остаточных напряжений является неоднородность деформированного состояния ввиду различного изменения объема в разных зонах тела.

В процессе предварительной обработки при черновой обдирке отливки и, особенно, при неравномерном снятии припуска, происходит перераспределение остаточных напряжений, сопровождаемое короблением заготовки. Для релаксации напряжений и прекращения процесса коробления заготовки после обработки подвергают естественному или искусственному старению. Естественное старение производится несколько суток, месяцев или даже лет [1, 2].

Для получения деталей с необходимыми параметрами точности используют методику обработки с несколькими получистовыми и чистовыми проходами для нивелирования коробления

заготовки после черновой обработки и естественного старения [3].

Целью данной работы являлось определение технологического подхода для процесса фрезерной обработки, который приведет к снижению деформаций заготовки в процессе производства, что положительно скажется на величине отклонений контролируемых размеров и снижению времени обработки, а также применение методики интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку, для получения приближенных значений отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах обработки.

Методология. Изучение технологического подхода и методики моделирования построено на примере обработки детали «Фланец», применяемой в авиастроительной отрасли (рис. 1).

Материал исследуемой заготовки B95.T1 — закаленный сплав алюминия, содержащий в составе цинк, магний и медь, в искусственно состаренном состоянии при t=125 °C [4].

Габариты изделия $448\times360\times195$ мм. Средняя толщина стенок $5\pm0,5$ мм.

Структурные изменения материала заготовки, сопровождаются перераспределением остаточных напряжений [5].

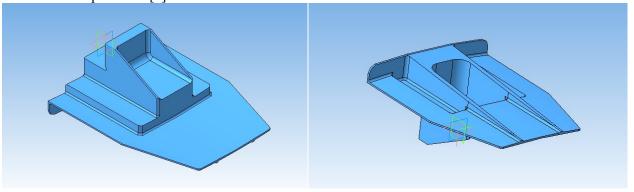


Рис. 1. Общий вид детали «Фланец»

Контроль готовой детали производится на поверочном столе, применяется измерительное оборудование с использованием комплексного ПО Autodesk PowerInspect.

Моделирование фрезерной обработки выполнено в САПР NX САМ с использованием стратегии «Cavity Mill» (глубинное фрезерование по уровням) в автоматическом режиме с постоян-

ным остаточным припуском для черновых проходов 5 мм, для получистовых 0,3 мм и с окончательной контурной обработкой.

Основная часть. Базовый технологический процесс подразумевает снятие основной массы припуска при черновой обработке за одну операцию концевого фрезерования с остаточным припуском 5 мм, и последующим естественным старением на открытом воздухе в течении 7–10 дней [6] (рис. 2).

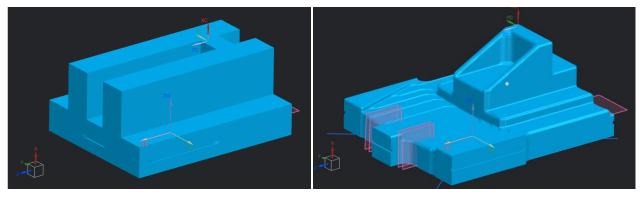


Рис. 2. Заготовка после черновой обработки

При снятии припуска с заготовок, имеющих остаточные напряжения, распределение последних изменяется. После снятия заготовки деформируются до наступления равновесного состояния оставшихся в них остаточных напряжений. Уровень остаточных напряжений и величина снимаемого припуска прямо пропорционально деформации заготовки.

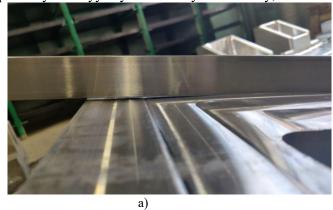
Возникающие непосредственно при обработке концевыми фрезами остаточные напряжения также вызывают деформации заготовок после их раскрепления. Наиболее существенны деформации для маложестких заготовок с несимметричным профилем, для которых осуществляется снятие разных по величине припусков с противоположных сторон с противоположных сторон которых снимаются разные припуски. Предварительные измерения базовой поверхности в продольном (рис. 3а) и поперечном (рис. 3а, 3б) направлениях после операции черновой обработки на первом установе показали, что заготовка теряет свои первоначальные геометрические параметры. Это указывает на изменения внутренних напряжений в теле заготовки.

Последующее прослабление заготовки путем снятия материала изменяет отклонения поверхностей в большую сторону. Черновая обработка обратной стороны заготовки приводит к аналогичным результатам. Дальнейшая получистовая и чистовая обработка направлена на приведение деформируемых элементов обрабатываемой заготовки к требуемым параметрам допусков на детали. Базовый технологический процесс

подразумевает дальнейшую обработку в 8 установов, с перебазированием заготовки на другую сторону для каждой получистовой и чистовой операции.

Для исключения деформации заготовки в сторону удаленного материала используют комбинированную вакуумную объёмную оснастку,

фрезы малого диаметра на чистовых проходах. Эти методы снижают вероятность деформации заготовки, при этом увеличивая основное и вспомогательное время обработки детали [7].



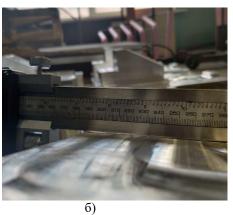


Рис. 3. Изменение геометрии базовой плоскости после черновой обработки: а) поперечный прогиб в сторону снятого материала, б) продольный прогиб в сторону снятого материала

Контроль параметров готовой детали выполняются на поверочном столе с использованием комплексного ПО Autodesk PowerInspect, который позволяет выводить отчет об измерениях в виде карты точек с величинами отклонений [8—10] (рис. 4, 5).

Производится измерение радиальной поверхности $R = 1735^{+0.3}$ мм.

Анализируя данные, полученные при измерении, можно сделать выводы о том, что максимальные значения отклонений увеличиваются к верхнему краю детали, достигают значения - 0,723 мм. Такой результат согласовывается с полученными данными после предварительного измерения после первого чернового прохода.

Наиболее достоверные методы изучения внутренних напряжений – механические, но при их использовании происходит разрушение или

повреждение исследуемой заготовки, при этом также подразумевается проведение ряда измерений, для получения объемной картины исследования. Принимая во внимание дороговизну заготовки и детали, подобные методы в описываемом случае применить не имеется возможности. Аналитические методы сравнительно просто реализуются только для моделей простой геометрической формы [11].

Для исследования снижения влияния внутренних напряжений заготовки на получаемый размер, заключающийся в изменении конструкции заготовки для черновых и получистовых проходов, использован метод интерпретирования отклонений размера в перемещение узлов детали при нагружении, используя САПР Siemens NX и программный модуль Nastran для конечноэлементного анализа [12].

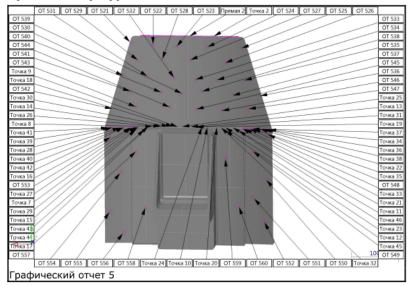


Рис. 4. Карта точек измерения PowerInspector

Раст 5 (Опорные эл	тементы: Точка	47. Tour	a 7)			
. ac. o (onophbic si	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,293	-0,707	-0,70
1 444103111114	0,500	0,000	1755,000	1754,255	-0,707	-0,70
Раст 6 (Опорные эл	пементы: <i>Точка</i>	47, Точк	a 8)			
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,284	-0,716	-0,71
Раст 7 (Опорные эл	тементы: <i>Точка</i>	47, Точк	a 9)			
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,277	-0,723	-0,72
			- 40)			
Раст 8 (Опорные эл		47, Точк				
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено	Отклонение	Ошибка
Расстояние	0,300	0,000	1735,000	1734,378	-0,622	-0,62
Pact 9 (Ononuble at	TOWNER TOURS	47 Tour	a 11\			
Раст 9 (Опорные эл		 _		Измерено	Отилонение	Ouusera
	+Доп.	-Доп.	Номинал	Измерено 1734 538	Отклонение	Ошибка
Раст 9 (Опорные эл Расстояние		 _		Измерено 1734,538	Отклонение -0,462	
Расстояние	+Доп. 0,300	-Доп. 0,000	Номинал 1735,000			
Расстояние	+Доп. 0,300 элементы: <i>Точк</i>	-Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12)	1734,538	-0,462	-0,46
Расстояние	+Доп. 0,300	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп.	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал	1734,538 Измерено	-0,462	-0,46 Ошибка
Расстояние Раст 10 (Опорные з	+Доп. 0,300 элементы: <i>Точк</i> +Доп.	-Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12)	1734,538	-0,462	-0,46 Ошибка
Расстояние Раст 10 (Опорные з	+Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300	-Доп. 0,000 ка 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено	-0,462	-0,46 Ошибка
Расстояние Раст 10 (Опорные з	+Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463	-0,462 Отклонение -0,537	-0,46 Ошибка -0,53
Расстояние Раст 10 (Опорные з	+Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300	-Доп. 0,000 ка 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено	-0,462	-0,46 Ошибка -0,53 Ошибка
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з	+Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп.	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000 ка 13) Номинал	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено	-0,462 Отклонение -0,537	-0,46 Ошибка -0,53
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з	+Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300	-Доп. 0,000 (a 47, Точ -Доп. 0,000 (a 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000 ка 13) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено	-0,462 Отклонение -0,537	-0,46 Ошибка -0,53
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з	+Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 ЭЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300	-Доп. 0,000 (a 47, Точ -Доп. 0,000 (a 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000 ка 13) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено	-0,462 Отклонение -0,537	-0,46 Ошибка -0,53
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з	+Доп. 0,300	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000 ка 13) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено 1734,365	-0,462 Отклонение -0,537 Отклонение -0,635	-0,46 Ошибка -0,53 Ошибка -0,63
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з Расстояние Раст 12 (Опорные з	+Доп. 0,300	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 ка 12) Номинал 1735,000 ка 13) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено 1734,365	-0,462 Отклонение -0,537 Отклонение -0,635 Отклонение	-0,46 Ошибка -0,53 Ошибка -0,63
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з Расстояние Раст 12 (Опорные з Расстояние	+Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 О,300	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 Ка 12) Номинал 1735,000 Ка 13) Номинал 1735,000 Ка 14) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено 1734,365	-0,462 Отклонение -0,537 Отклонение -0,635 Отклонение	-0,46 Ошибка -0,53 Ошибка -0,63
Расстояние Раст 10 (Опорные з Расстояние Раст 11 (Опорные з Расстояние Раст 12 (Опорные з	+Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 РЛЕМЕНТЫ: ТОЧК +Доп. 0,300 О,300	-Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000 (а 47, Точ -Доп. 0,000	Номинал 1735,000 Ка 12) Номинал 1735,000 Ка 13) Номинал 1735,000 Ка 14) Номинал 1735,000	1734,538 Измерено 1734,463 Измерено 1734,365	-0,462 Отклонение -0,537 Отклонение -0,635 Отклонение	-0,46 Ошибка -0,53 Ошибка -0,63

Рис. 5. Отчет PowerInspector с результатами измерения

Так как моделирование распределения остаточных напряжений внутри заготовки достаточно осложнено, используется приведение напряженного состояния заготовки к полученным значениям результатов измерения детали из партии способом внешнего нагружения, с соблюдением закрепления детали при измерении на поверочном столе.

Этот метод интерпретирования позволяет получать приближенные значения отклонений геометрических параметров детали с изменением конструктивных элементов при известных параметрах исходной детали.

Производится моделирование нагрузки на исходную деталь [13–16]. Ограничения определяются базированием заготовки при контроле на поверочном столе. Нагрузка определяется методом подбора исходя из результатов измерений.

В качестве граничного условия, для ограничения смещения модели твердого тела используется жесткая заделка по поверхности опорного фланца. Применяемая нагрузка - геометрически распределенная сила по исследуемому элементу (рис. 6). Сила определена эмпирическим методом и составляет F=1800 H.

Согласно заданным условиям производится решение системы уравнений линейного статиче-

ского анализа методами NX Nastran, для определения напряженно-деформированного состояния контролируемого изделия.

Результат нагружения детали — перемещение узлов детали на исследуемом конструктивном элементе приближен к значениям и положению отклонений из отчета Autodesk PowerInspect, полученным при контрольной операции изготовления (рис. 7).

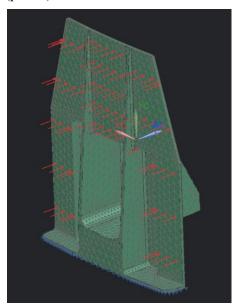


Рис. 6. Схема нагружения исследуемой детали

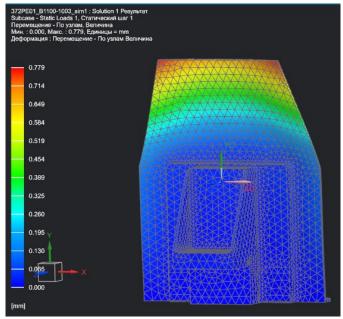


Рис. 7. Интерпретация отклонений размеров детали в НДС как деталь с нагружением

Уменьшение отклонений предполагается путем добавления ребер жесткости на поверхности заготовки, в сторону которой происходит перераспределение внутренних напряжений при черновом и получистовом снятии основного припуска, для удержания напряженно-деформированного состояния заготовки в ходе обработки, с последующим удалениям на финальных этапах обработки [17] (рис. 8).

Влияние параметров добавленных элементов жесткости на величину отклонений в данной статье не рассматривается.

Конечно-элементный анализ для детали с измененной конструкцией производится аналогично детали с исходной конструкцией при одинаковых параметрах граничных условий и нагружения (рис. 9).

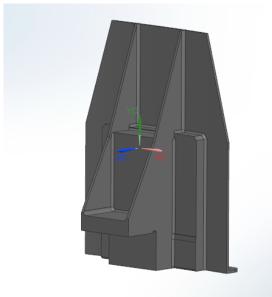


Рис. 8. Измененная конструкция заготовки для черновых и получистовых проходов

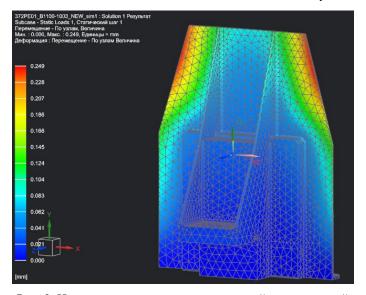


Рис. 9. Нагружение заготовки с измененной конструкцией

Результат конечно-элементного анализа детали с измененной конструкцией отображает перераспределение зон нагружения и снижение максимальных значений перемещения узлов детали. Максимальные значения перемещения узлов составляет 0,249 мм.

Для сравнения результатов отклонений, производится обратное интерпретирование полученных значений перемещений узлов к значениям, полученным при измерении детали на поверочном столе для детали с измененной конструкцией. Результат сравнения значений с исходным значением отклонения ($\Delta \approx 0.723$ мм) отображает, что снижение отклонений заготовки при применении ребер жесткости для заготовки может достигать 65 %.

Выводы. 1. Предложенный метод интерпретирования внутренних напряжений заготовки во внешнюю нагрузку позволяет теоретически получать приближенные значения отклонений геометрических параметров на промежуточных этапах и позволяет корректировать стратегию механической обработки в направлении минимизации погрешности в ходе этапа отладки технологии при отсутствии возможности непосредственной обработки или при выполнении пробной обработки.

- 2. Показано, что использование методики с увеличением жесткости промежуточных заготовок на этапе черновой и получистовой обработки приводит к снижению влияния коробления отливки на величину отклонений итоговых размеров детали.
- 3. Уменьшение погрешности контролируемых размеров на промежуточных операциях обработки приводит к уменьшению всего времени обработки, за счет сокращения необходимого количества чистовых проходов, а также времени старения заготовки после чернового снятия припуска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Арендарчук А.В., Астафьев А.А, Башнин Ю.А. Термическая обработка в машиностроении: справочник. М.: Машиностроение, 1980. 776 с.
- 2. Даниленко Е.А. Анализ причин возникновения погрешностей формы и размера при фрезеровании нежестких заготовок // Научный альманах. 2021. №2-1(76). С. 11–16.
- 3. Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А. Резание материалов: учебник. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. 356 с.
- 4. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. 944 с.

- 5. Бачурин А.С., Бобин К.Н., Матвеев К.А., Курлаев Н.В. Численное моделирование влияния припуска на величину остаточных напряжений в деталях летательных аппаратов после закалки // Вестник СибГАУ. 2013. №3 (49). С. 123–127.
- 6. Блюмберг В.А., Зазерский Е.И. Справочник фрезеровщика. Л.: Машиностроение, 1984. 288 с.
- 7. Маданов А.В., Нейчев А.Ф. Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства // Проблемы науки. 2015. №1 (1). С. 14–16
- 8. .Медведев Ф.В., Таликин С.А. Контроль и технологическое базирование заготовок сложной геометрии на станках с ЧПУ с применением системы PowerINSPECT OMV // Вестник ИрГТУ. 2010. №5 (45). С. 32–36.
- 9. Delcam's Power INSPECT OMV provides "an invaluable tool" for Makino-NCMT. [Электронный ресурс]. Системные требования: Интернет браузер. URL: https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/4678-delcam-s-powerinspect-omv-provides-aninvaluable-tool-for-makino-ncmt (дата обращения 15.12.2021)
- 10. Hong G. Research on on-machine Measurement Technology based on PowerINSPECT // New Technology & New Process. 2013
- 11. Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М., Пономарев И.И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М: Наука. Физматлит, 1996. 240 с.
- 12. Ключников С.И. Использование системы MSC/Nastran для моделирования перераспределения внутренних напряжений при фрезеровании изделий // Вестник ИрГТУ. 2006. №4 (28). С. 15–16.
- 13. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
- 14. Fuh K., Wu C., A residual-stress model for the milling of aluminum alloy (2014-T6) // J Mater Process Technol. 1995. №51(1–4). Pp. 87–105.
- 15. Болотеин А.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния деталей после механической обработки средствами компьютерного моделирования // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2014. №1(28). С. 54–60.
- 16. Хусаинов Р.М., Мубаракшин И.И., Сабиров А.Р. Исследование упругих деформаций при обработке на вертикально-фрезерных станках // Науно-технический вестник Поволжья. 2015. №5. С. 304-308.

17. Патент 3381362/08, Российская Федерация, МПК В 23 С 3/00. Способ обработки не-

жестких плоских деталей / Шестов Н.М., Кочетов Н.Н.; заявл. 15.10.1981; опубл. 20.04.1997, Бюл. №3. 5 с.

Информация об авторах

Дурыхин Андрей Андреевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: durykhinandrey@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шрубченко Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.02.2022 г.

© Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., 2022

*Durykhin A.A., Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: durykhinandrey@mail.ru

REDUCING THE INFLUENCE OF INTERNAL STRESSES IN THE WORKPIECE DURING THE PROCESSING FLEXIBLE PARTS

Abstract. The article considers the influence of internal stresses in the body of the workpiece on the change in its geometric parameters during milling of a part made of heat-strengthened aluminum with low structural rigidity. In addition, the method of milling such parts is shown. It allows to reduce the influence of internal stresses of the casting on the accuracy of the obtained dimensions. Measurements of the geometric parameters of the sample of the studied parts after roughing and finishing are made. Based on the study of the data obtained, a method is proposed to reduce the effect of internal stresses on the resulting size of the workpiece, which consists in changing the configuration of the workpiece for roughing and semi-finishing passes. The possibility of interpreting the internal stresses of the workpiece into an external load is considered in order to obtain approximate values of deviations of geometric parameters at intermediate stages of processing. Stress modeling of the workpiece with primary and new configurations is performed. The results of finite element analysis performed using Siemens NX CAD are studied. The obtained data are compared. It has been established that the use of a technique with an increase in the rigidity of the workpiece at the stage of roughing and semi-finishing leads to a decrease in the effect of warping of the casting on the magnitude of deviations in the final dimensions of the part. This leads to a decrease in processing time by reducing the number of finishing passes, as well as the aging time of the workpiece after rough removal of the allowance.

Keywords: milling, mill cutting, non-rigid element, thin wall, aluminum alloy, deformation, finite element method.

REFERENCES

- 1. Arendarchyk A.V., Astafiev A.A. Bsshnin Y.A. Heat treatment in mechanical engineering [Termicheskaya obrabotka v mashinostroenii]. Moskva: Mashinostrovenive, 1980. 776 p. (rus)
- 2. Danilenko E.A. Analysis of the causes of shape and size errors in the milling of non-rigid workpieces [Analiz prichin vozniknoveniya pogreshnostej formy i razmera pri frezerovanii nezhestkih zagotovok]. Scientific almanac. 2021. No. 2-1(76). Pp. 11–16. (rus)
- 3. Grigoriev S.N., Skhirtladze A.G., Scriabin V.A. Cutting materials [Rezanie materialov]. Penza. Privolzkiy dom znaniy, 2012. 356 p. (rus)

- 4. Dalsky A.M., Kosilova A.G., Meshcheryakova R.K., Suslova A.G. Handbook of a technologist-machine builder [Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya]: Vol. 2, 5th ed., Rev. M.: Mechanical Engineering, 2003. 944 p. (rus)
- 5. Bachurin A.S., Bobin K.N., Matveev K.A., Kurlaev N.V. Numerical modeling of the influence of the allowance on the value of residual stresses in the details of aircraft after hardening [Chislennoe modelirovanie vliyaniya pripuska na velichinu ostatochnyh napryazhenij v detalyah letatel'nyh apparatov posle zakalki]. Bulletin of SibGAU. 2013. No. 3 (49). Pp. 123–127. (rus)
- 6. Blyumberg V.A., Zazersky E.I. Milling machine reference book. [Spravochnik frezerovshchika]. L.: Engineering, 1984. 288 p. (rus)

- 7. Madanov A.V., Nejchev A.F. Analysis of problems in the processing of parts of complex geometry and ways to solve them at the stage of technological preparation of production [Analiz problem pri obrabotke detalej slozhnoj geometrii i putej ih resheniya na etape tekhnologicheskoj podgotovki proizvodstva]. Problemy nauki. 2015. No. 1 (1). Pp. 14–16 (rus)
- 8. Medvedev F.V., Talikin S.A. Control and technological basing of workpieces of complex geometry on CNC machines using the PowerIN-SPECT OMV system [Kontrol' i tekhnologicheskoe bazirovanie zagotovok slozhnoj geometrii na stankah s CHPU s primeneniem sistemy Power-INSPECT OMV]. Bulletin of ISTU.2010. No. 5 (45). Pp. 32–36. (rus)
- 9. Delcam's PowerINSPECT OMV provides "an invaluable tool" for Makino-NCMT. CIMdata.com 2015. URL: https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/4678-delcam-s-powerinspect-omv-provides-aninvaluable-tool-for-makino-ncmt (date of treatment: 15.12.2021)
- 10. Hong G. Research on on-machine Measurement Technology based on PowerIN-SPECT. New Technology & New Process. 2013.
- 11. Klyuchnikov S.I. Using the MSC/Nastran system for modeling the redistribution of internal stresses in the milling of products [Ispol'zovanie sistemy MSC/Nastran dlya modelirovaniya pereraspredeleniya vnutrennih napryazhenij pri frezerovanii izdelij] Bulletin of ISTU.2006. No. 4 (28). Pp.

- 15–16. (rus)
- 12. Chernyshev G.N., Popov A.L., Kozintsev V.M., Ponomarev I.I. Residual stresses in deformable solids [Ostatochnye napryazheniya v deformiruemyh tverdyh telah]. M: Science. Fizmatlit, 1996. 240 p. (rus)
- 13. Goncharov P.S., Artamonov I.A., Khalitov T.F., Denisikhin S.V., Sotnik D.E. NX Advanced Simulation. Engineering analysis [NX Advanced Simulation. Inzhenernyj analiz]. M.: DMK Press, 2012. 504 p.(rus)
- 14. Fuh K., Wu C. A residual-stress model for the milling of aluminum alloy (2014-T6). J Mater Process Technol. 1995. No. 51(1–4). Pp. 87–105.
- 15. Bolotein A.N. Analysis of the stress-strain state of parts after mechanical processing by means of computer simulation [Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya detalej posle mekhanicheskoj obrabotki sredstvami komp'yuternogo modelirovaniya]. Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy. P.A. Solovyov.2014. No. 1(28). Pp. 54–60 (rus)
- 16. Khusainov R.M., Mubarakshin I.I., Sabirov A.R. Investigation of elastic deformations during processing on vertical milling machines [Issledovanie uprugih deformacij pri obrabotke na vertikal'no-frezernyh stankah]. Nauno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2015. No. 5. Pp. 304–308. (rus)
- 17. Shestov N.M., Kochetov N.N. Method for processing non-rigid flat parts. Patent RF, n. 3381362/08, 1997. (rus)

Information about the authors

Durykhin, **Andrey A.** Postgraduate student. E-mail: durykhinandrey@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Hurtasenko, **Andrey V.** PhD. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shrubchenko, Ivan V. Doctor of Technical Sciences. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.02.2022

Для цитирования:

Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. Снижение влияния внутренних напряжений заготовки в процессе обработки нежестких деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 103—110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110

For citation:

Durykhin A.A., Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V. Reducing the influence of internal stresses in the work-piece during the processing flexible parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 103–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-103-110

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118

*Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: nslubim@bk.ru

ИСПЫТАНИЕ КОНФОРМНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ПРЕСС-ФОРМЫ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос изготовления конформных каналов охлаждения для обеспечения эффективного охлаждения композитных металл-металлоплимерных пресс-форм. Приводится краткое описание как конструкции композитной пресс-формы, так и технологии её получения. Конформные каналы охлаждения в композитной пресс-форме выполнены в металлополимерной части, что уменьшает расстояние от поверхности канала охлаждения до охлаждаемой формообразующей поверхности. Экспериментальные исследования приводятся на примере композитной пресс-формы для детали «хомут». Фиксация температурных данных нагрева и охлаждения металлополимерной формообразующей производится с использованием тепловизора. Оценка результатов исследования показала эффективность изготовления конформных каналов охлаждения непосредственно в металлополимерной части пресс-формы. Анализ результатов эксперимента позволил произвести численную оценку эффективности охлаждения и сравнить её с охлаждением композитной пресс-формы, в которой каналы охлаждения выполнены в металлической обойме. Приведена оценка эффективности использования композитной пресс-формы с каналами охлаждения, выполненными в металлополимерной части в контексте экономии основного технологического времени производства партии деталей. В заключении описаны сложности, возникшие в процессе изготовления конформных каналов охлаждения в металлополимерной части и задачи, требующие дальнейших изысканий в технологии изготовления композитных пресс-форм.

Ключевые слова: пресс-форма, композит, охлаждение, канал, металлополимер, матрица, пуансон, эксперимент, теплопроводность.

Введение. В производстве пластиковых изделий всё большее значение играет роль переналаживаемая оснастка. К такой оснастке относятся композитные металл-металлополимерные пресс-формы [1-4]. Основной частью композитной пресс-формы являются формообразующие плиты. Композитная формообразующая плита состоит из металлической обоймы, в которой вместо формообразующей поверхности выполнен колодец для заливки металлополимера. В этот колодец специальным образом помещается мастер модель и другие закладные элементы необходимые для оформления, например, системы охлаждения. После заливки и отверждения металлополимера, а также удаления закладных элементов, получается композитная металл-металлополимерная формообразующая деталь прессформы [5, 6].

На надёжность и производительность прессформ большое влияние оказывает термостатирование прессформы [7, 8]. В классическом варианте [9, 10] каналы охлаждения выполняются механической обработкой. То есть сверлением сквозных отверстий в плите, после чего выходные некоторые отверстия заглушаются, другие соединяются гибкими трубопроводами, а третьи служат для подключения к термостату.

В случае, когда формообразующая поверхность выполняется из металлополимера, который

не смотря на 80 % заполнение алюминием, имеет полимерную диэлектрическую матрицу, а следовательно, и низкую теплопроводность. Таким образом, композитные пресс-формы требуют новых подходов к обеспечению эффективности своего охлаждения.

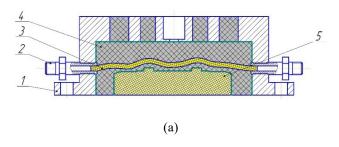
Ранее проведенные исследования показали, что оптимальным решением для организации отвода тепла из полости пресс-формы является обеспечение расстояния от формообразующей поверхности до поверхности канала охлаждения 5 мм. Такое расстояние позволяет обеспечить эффективный отвод тепла при сохранении прочности конструкции. Поперечное сечение канала охлаждения при этом не должно иметь точек концентраторов напряжения, то есть должно иметь профиль круга.

Изготовление металлополимерной формообразующей детали пресс-формы предполагает быструю смену номенклатуры выпускаемых изделий в одной металлической обойме. Это ограничение требует производства комплекта металлических обойм для каждого конкретного изделия с целью обеспечения минимального слоя металлополимера из условия эффективного охлаждения. Инструментальное производство не способно охватить весь перечень выпускаемых изделий и может иметь комплект металлических обойм охватывающих лишь приблизительный

профиль изделий. При этом условие толщины слоя металлополимера в 5 мм, отделяющего формообразующую поверхность от поверхности канала охлаждения, выдержать не удастся. Другими словами, изготовление каналов охлаждения в металлической обойме не решает поставленной цели.

Был разработан способ повышения эффективности системы охлаждения композитных пресс-форм, за счёт изготовления конформных каналов охлаждения [11, 12]. Сущность способа заключается в изготовлении криволинейных каналов охлаждения, заданного сечения и формы. Для этого предлагается изготовить закладные детали в форме каналов охлаждения из выплавляемых материалов аддитивным методом, например, из парафина. Перед заливкой металлополи-

мера в полость металлической обоймы, при получении формообразующей поверхности, помещается выплавляемая закладная деталь оформляющая канал охлаждения. Закладная деталь крепится в полости благодаря штуцерам, которые удерживают закладную деталь в требуемом положении. Затем устанавливается мастер-модель. После отверждения металлополимера, конструкция нагревается до температуры плавления выплавляемого материала, материал закладной канала охлаждения вытекает из металлополимерной части формообразующей детали. Таким образом в металлополимерной части получается криволинейный канал охлаждения заданного профиля с требуемым расположением по отношению к формообразующей поверхности. Разработанная конструкция поясняется рисунком 1.



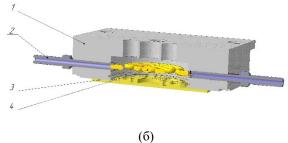


Рис. 1. Схема композитной пресс-формы, продольный разрез (а): 1 — металлическая обойма, 2 — штуцер; 3 — выплавляемая закладная деталь, 4 — металлополимерная формообразующая; схема установки криволинейной закладной детали в полости металлической обоймы (б): 1 — металлическая обойма, 2 — штуцер, 3 — мастер-модель; 4 — выплавляемая закладная деталь

При конструировании пресс-форм для литья термопластов одной из основных задач решаемых конструктором является обеспечение эффективного извлечения готового изделия из полости формы. После того как изделие сформовано оно, как правило, остается в подвижной части формы – пуансоне, со стороны которого чаще всего располагаются элементы выталкивающей системы пресс-формы. Системы выталкивания бывают механическими, пневматическими или комбинированными. Разработанная технология рассчитана на изготовление формообразующих деталей пресс-форм для литья изделий из пластиков, для которых актуальна механическая система выталкивания. Основными элементами механической системы выталкивания изделия являются специальные выталкиватели или сталкивающие плиты. Как правило, усилие, развиваемое выталкивающими механизмами термопластавтомата передающееся на выталкиватели прессформы для освобождения изделия, достаточно велико, поэтому основным критерием при конструировании металлической пресс-формы является условие распределения сил таким образом,

чтобы изделие не потеряло своих форм и размеров (отсутствие следов выталкивателей на изделии, отсутствие перекоса во время съема приводящего к деформации изделия). Предложенная система термостатирования с конформными каналами охлаждения не препятствует изготовлению выталкивающей системы в композитной формообразующей детали пресс-формы. Необходимо только учесть расположение каналов охлаждения в цифровой модели перед выполнением отверстий под толкатели.

В статье приводятся данные о проведённом эксперименте по изготовлению конформного канала охлаждения и его испытания на практике, согласно предложенной технологии изготовления композитной формообразующей плиты пресс-формы.

Материалы и методы. Чтобы оценить эффективность охлаждения формообразующей поверхности с использованием профильных каналов охлаждения была изготовлена композитная пресс-форма для изделия «хомут» (рис. 2).



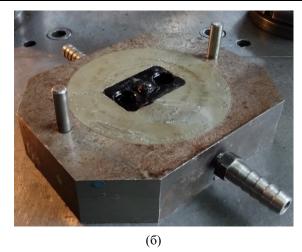


Рис. 2. Закладная выплавляемая деталь в колодце металлической обоймы (а); композитная формообразующая деталь пресс-формы, для изделия хомут (б)

В качестве металлической обоймы использовалась металлическая плита, в которой был выполнен фрезерованием колодец. В колодце была помещена закладная деталь из воска, имеющая профиль сечения в виде круга диаметром 8 мм. Закладная деталь была поджата с двух сторон штуцерами, перемещающимися параллельно плоскости разъёма благодаря резьбовому соединению с металлической обоймой. Далее мастермодель детали «хомут» была установлена в полость колодца, вся конструкция в сборе была помещена в вакуум камеру, где через отверстия выпоров в металлической обойме был залит металлополимер. Металлополимер заливался в полость, образованную мастер-моделью и поверхностью колодца. Отверждение металлополимера осуществлялось при давлении 500 Па, то есть в разряжённом состоянии. Отверждение металлополимера в вакууме позволило обеспечить требуемую плотность металлополимерной части. После отверждения металлополимера композитная формообразующая часть пресс-формы была нагрета до 120 °C в течении 12 часов, что позволило достичь полного отверждения металлополимера, а также извлечь закладную деталь из металлополимерной части пресс-формы.

Пуансон композитной пресс-формы с металлополимерной формообразующей был помещен в изолированный фольгированный короб. Штуцеры металл-металлополимерной пресс-формы были подключены к системе охлаждения термопластавтомата системы MATSUI модели MCD-60RCL [13, 14].

Нагрев формообразующей поверхности производился с использованием промышленного фена имеющего электронную индикацию температуры струи воздуха. Нагрев поверхности путем передачи энергии через нагретый воздух безусловно не может быть достоверным, так как существующие потери энергии вследствие её рассеивания будут искажать результаты эксперимента. Чтобы минимизировать ошибку, для регистрации нагрева и охлаждения поверхности металлополимерной формообразующей использовался тепловизор. На рисунке 3 показан экспериментальный стенд по испытанию системы охлаждения металлополимерной формообразующей с профильными каналами охлаждения.

Регистрация температуры нагрева металлополимерной формообразующей поверхности производилась с течением времени до температуры 130 °C, именно такая температура у полипропиленового расплава впрыскиваемого в пресс-форму. На рисунке 4 показана диаграмма температурных полей металлополимерной формообразующей поверхности. Выдержка при температуре 130 °C составила 20 мин, для обеспечения равномерного прогрева всей металлополимерной части и снижения ошибки эксперимента.



Рис. 3. Стенд для испытания конформной системы охлаждения композитной формообразующей детали пресс-формы: 1 — изолированный короб; 2 — металлическая обойма; 3 — металлополимерная формообразующая; 4 — гибкие трубопроводы системы охлаждения; 5 — тиски; 6 — фен промышленный

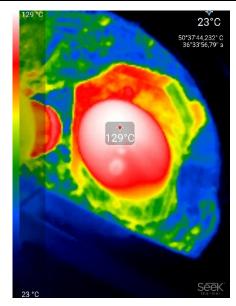


Рис. 4. Диаграмма нагрева композитной формообразующей детали

После выдержки в течении 20 минут при температуре 130 °C был включен термостат инжекционной машины Matsui модель MCD-60RCL. После включения термостата было зафиксировано снижение температуры металлополимерной поверхности формообразующей во времени. Диаграммы температурных полей в различные промежутки времени после включения термостата показаны на рисунке 5.

Установившееся значение температуры поверхности на отметке 55 °C было зафиксировано на 47 секунде (рис. 5(д)). При этой температуре можно произвести извлечение изделия из $\Pi\Phi$.

Снятие показаний осуществлялось путем посекундной расшифровки видеозаписи файла тепловизора. Полученные данные были обработаны, и на основании них была построена графическая зависимость температуры композитной формообразующей от времени охлаждения термостатом. Полученная зависимость представлена на рисунке 6.

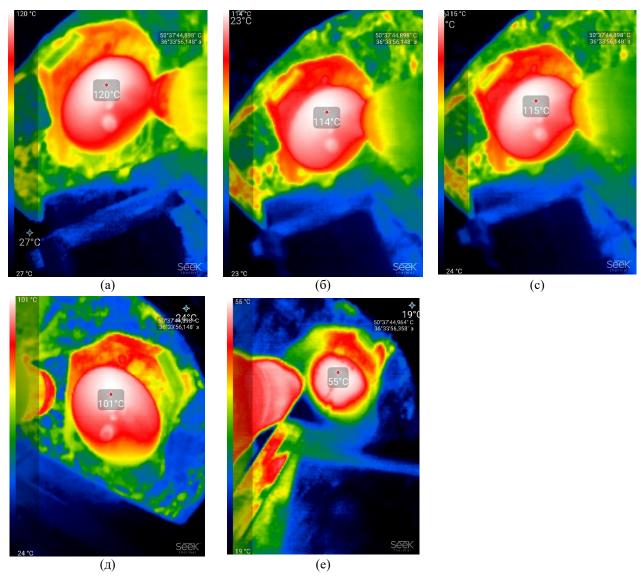


Рис. 5. Изменение температуры поверхности металлополимерной формообразующей с профильным каналом охлаждения: 5 секунда (а); 7 секунда (б); 8 секунда (с); 13 секунда (д); 47 секунда (е)

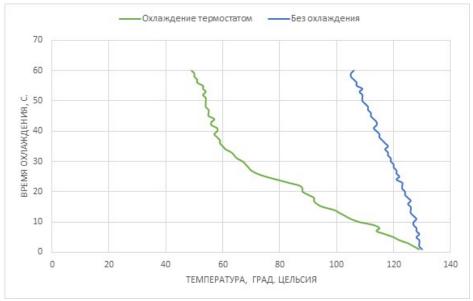


Рис. 6. График температур формообразующих поверхностей с течением времени

Из графика на рисунке 6 видно, что охлаждение формообразующей поверхности прессформы, у которой каналы охлаждения выполнены конформно в металлополимерной части происходит более эффективно, нежели если охлаждение осуществляется за счёт каналов охлаждения расположенных в металлической части.

Температура изделия, при которой оно может быть изъято из пресс-формы обычно составляет 50 °C [15]. Согласно экспериментальным данным, эта температура достигается криволинейным каналом охлаждения через минуту после начала охлаждения. В случае, если канал охлаждения находится в металлической части прессформы, за ту же минуту времени охлаждения, можно наблюдать охлаждение формообразующей поверхности только на 25 °C. При этом характер графика охлаждения показывает практически линейную зависимость, показывающую скорость охлаждения 0,42 °C/сек.

Таким образом, охлаждение формообразующей поверхности композитной пресс-формы, в которой каналы охлаждения выполнены в металлической обойме, до температуры изъятия детали из формы займет 3 мин 10 с, что на 2 мин 10 с дольше, чем если бы охлаждение было организовано за счёт каналов, расположенных в металлополимерной части композитной пресс-формы.

Выводы. Проведенный и описанный в статье эксперимент показал, что изготовление конформных каналов охлаждения с криволинейным профилем, расположенным в металлополимерной части, является более эффективным способом охлаждения композитной пресс-формы. Для формообразующей детали пресс-формы предназначенной для изготовления изделия «хомут», эксперимент показал, что снижение основного

технологического времени на литьё одной единицы детали составит 130 секунд. Композитные пресс-формы рассчитаны на изготовление партий изделий до 1000 штук. Таким образом, при обеспечении эффективного охлаждения получится сократить время производства партии в 1000 штук на более чем 36 часов. Стандартная рабочая смена составляет 8 рабочих часов, то есть экономия составит 4,5 рабочие смены. При этом экономия основного технологического времени производства будет достигнута только за счёт организации более эффективного охлаждения пресс-формы.

Другим фактором является повышение надёжности композитной пресс-формы. Обеспечение эффективного охлаждения позволит снизить термонапряженность работы пресс-формы, а именно её металлополимерной части. Это позволит предотвратить развитие внутренних дефектов металлополимерной части пресс-формы, возникающих из-за наличия микроскопических несплошностей и трещин. Эти дефекты под действием больших перепадов температур будут развиваться в меньшей степени при снижении диапазона изменения температур при работе композитной пресс-формы.

Существуют и вопросы, касающиеся дальнейшего развития технологии изготовления композитных пресс-форм. Размещение выплавляемой закладной в полости обоймы будущей композитной формообразующей детали прессформы, перед её заливкой металлоплимером, доставило некоторые сложности при её позиционировании. Сам материал выплавляемой модели (воск), из-за своей низкой жёсткости под действием температуры окружающей среды незначительно менял свою форму. Поджатие и закреп-

ление закладной детали из воска было затруднено. Вопрос разработки модели выплавляемой закладной детали такой конструкции, которая бы позволила обеспечить её жесткую установку и позиционирование в колодце обоймы прессформы, требует дальнейших исследований и экспериментов. Изменение геометрии как самой закладной детали, так и её расположения, может привести к некорректному функционированию всей системы охлаждения, например, её негерметичности.

Источник финансирования. Данное исследование финансировалось за счет гранта Президента Российской Федерации, грант № МК-4006.2021.4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds // UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
- 2. Wang Y., Yu K.M., Wang C.C.L. Spiral and Conformal Cooling in Plastic Injection Molding // CAD Computer Aided Design. 2016. Vol. 63. Pp. 1–11. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.cad.2014.11.012.
- 3. Пат. 2046714, Российская Федерация, В29С 33/00. Способ изготовления формообразующих элементов пресс-форм / А.В. Семенюк; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма "Сокол" (UA). № 5046862/05; заявл. 09.01.1992; опубл.27.10.1995. 4 с.
- 4. Newman S.T., Zhu Z., Dhokia V., Shokrani A. Process Planning for Additive and Subtractive Manufacturing Technologies // CIRP Annals Manufacturing Technology.2015. Vol. 64. Pp. 467–470. http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109
- 5. Пат. 2631785, Российская Федерация, В22С 9/06. Способ изготовления металлополимерных формообразующих поверхностей матриц и пуансонов пресс-форм / Н.С. Любимый, М.С. Чепчуров; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (RU). № 2016110341; заявл. 21.03.2016; опубл.26.09.2017. Бюл. №27. 6 с.

- 6. Пат. 188720, Российская Федерация, В29С 33/04. Металл-металлополимерная прессформа / Н.С. Любимый; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (RU). № 2018144087; заявл. 12.12.2018; опубл. 22.04.2019. Бюл. №28. 6 с.
- 7. Менгес Г. Как делать литьевые формы. СПб.: Профессия. 2007. 614 с.
- 8. Майникова Н.Ф., Жуков Н.П., Рогов И.В. Моделирование теплопереноса в полимерном материале при фазовом переходе // Вестник ТГТУ. 2008. № 3. С. 490–494.
- 9. Пантелеев А.П., Шевцов Ю.М., Горячев И.А. Справочник по реконструированию оснастки для переработки пластмасс. М.: Машиностроение. 1986. 399 с.
- 10. Osvald T.A. Plastic injection molding. St. Petersburg: Profession, 2006. 712 p.
- 11. Romanovich A.A., Ebrahim A., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Pp. 012060–012068.
- 12. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M. D., Tikhonov A.A., Antsiferov S.I., Chetverikov B. S., Ryazantsev V.G., Brazhnik J., Ridvanov I. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures // Polymers. 2022. Vol. 14. Pp. 340–352. https://doi.org/10.3390/polym14020352
- 13. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds // UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
- 14. Металлополимеры LEO [Электронный ресурс]. URL: http://www.leopolimer.ru/index.htm (дата обращения: 16.03.2022)
- 15. Thompson M.K., Moroni G., Vaneker T., Fadel G., Campbel R., Gibson I., Bernard A., Schulz J., Graf P., Ahuja B., Martina F. Design for Additive Manu-facturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints // CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. Pp. 737–760. http://dx.doi.org/10.1016/j. cirp.2016.05.004.

Информация об авторах

Любимый Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nslubim@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Польшин Андрей Александрович, аспирант кафедры механического оборудования. E-mail: info@polshin.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: lozovaya@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тихонов Александр Андреевич, магистрант. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Герасимов Михаил Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лямина Светлана Андреевна, студент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. E-mail: beardestroyer7@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Голубева Ника Денисовна, студент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. E-mail: beardestroyer7@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.03.2022 г.

© Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д., 2022

*Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.U., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., Golubeva N.D.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: nslubim@bk.ru

TESTING A CONFORMAL COOLING SYSTEM OF A COMPOSITE MOLD

Abstract. The article deals with the issue of manufacturing conformal cooling channels to ensure efficient cooling of composite metal-metalpolymer molds. A brief description of both the design of the composite mold and the technology for its production is given. Conformal cooling channels in the composite mold are made in the metal-polymer part, which reduces the distance from the surface of the cooling channel to the cooled forming surface. Experimental studies are given on the example of a composite mold for the "collar" part. Fixing the temperature data of heating and cooling of the metal-polymer molding is carried out using a thermal imager. Evaluation of the results of the study show the efficiency of manufacturing conformal cooling channels directly in the metal-polymer part of the mold. An analysis of the experimental results allows numerically evaluating the cooling efficiency and comparing it with the cooling of a composite mold, in which the cooling channels are made in a metal cage. An assessment of the efficiency of using a composite mold with cooling channels made in the metal-polymer part in the context of saving the main technological time for the production of a batch of parts is given. In conclusion, the difficulties that arose in the process of manufacturing conformal cooling channels in the metal-polymer part and the tasks that require further research in the technology of manufacturing composite molds are described.

Keywords: mold, composite, cooling, channel, metal polymer, matrix, punch, experiment, thermal conductivity.

REFERENCES

- 1. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
- 2. Wang Y., Yu K.M., Wang C.C.L. Spiral and Conformal Cooling in Plastic Injection Molding. CAD Computer Aided Design. 2016. Vol. 63. Pp. 1–11. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.cad.2014.11.012.
- 3. Semenuk A.V. Method for manufacturing mold forming elements. Patent RF, no. 2046714, 1995
- 4. Newman S.T., Zhu Z., Dhokia V., Shokrani A. Process Planning for Additive and Subtractive Manufacturing Technologies. CIRP Annals Manufacturing Technology.2015. Vol. 64. Pp. 467–470 http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109
- 5. Lubimyi N.S. Chepchurov M.S. Method for manufacturing metal-polymer forming surfaces of matrices and punches of molds. Patent RF, no. 2631785, 2017.

- 6. Lubimyi N.S. Metal-metal-polymer mold. Patent RF no. 188720, 2019.
- 7. Menges G. How to make injection molds [Kak delat' lit'evye formy]. SPb.: Profession. 2007. 614 p. (rus)
- 8. Mainnikova N.F., Zhukov N.P., Rogov I.V. Modeling heat transfer in a polymer material during a phase transition [Modelirovanie teploperenosa v polimernom materiale pri fazovom perekhode]. Bulletin of TSTU. 2008. No. 3. Pp. 490–494. (rus)
- 9. Panteleev A.P., Shevcov U.M., Goryachev I.A. Plastic Recycling Tooling Revamping Guide [Rukovodstvo po modernizacii instrumentov dlya pererabotki plastmass]. Moscow: mechanical engineering. 1986. 399 p. (rus)
- 10. Osvald T.A. Plastic injection molding. St. Petersburg: Profession.2006. 712 p.
- 11. Romanovich A.A., Ebrahim A., Romanovich M. A. Improving the efficiency of the material grinding process. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. 012060
- 12. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M.D., Tikhonov A.A., Antsiferov S.I., Chetverikov

- B.S., Ryazantsev V.G., Brazhnik J., Ridvanov İ. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures. Polymers. 2022. Vol. 14. Iss. 352. Pp. 1–18. https://doi.org/10.3390/polym14020352
- 13. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
- 14. Metal polymers LEO [Metallopolimery LEO]. URL: http://www.leopolimer.ru/index.htm (date of treatment: 16.03.2022)
- 15. Thompson M.K., Moroni G., Vaneker T., Fadel G., Campbel R., Gibson I., Bernard A., Schulz J., Graf P., Ahuja B., Martina F. Design for Additive Manu-facturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints. CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. Pp. 737–760. http://dx.doi.org/10.1016/j. cirp.2016.05.004.

Information about the authors

Lubimyi, Nikolai S. PhD, Associate Professor. E-mail: nslubim@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Polshin, **Andrey A.** Postgraduate student. E-mail: info@polshin.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Lozovaya, Svetlana Yu. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: lozovaya@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Tikhonov, **Aleksandr A.** Master student. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Gerasimov, Mihail D. PhD, Associate Professor. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Lyamina, Svetlana A. Student. E-mail: beardestroyer?@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Golubeva, **Nika D.** Student. E-mail: golubevanika1@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Received 21.03.2022

Для цитирования:

Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д. Испытание конформной системы охлаждения композитной пресс-формы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118

For citation:

Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.U., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., Golubeva N.D. Testing a conformal cooling system of a composite mold. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118