

ISSN 2782-232X (print)
ISSN 2713-0770 (online)

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 1(99)
2022

16+

Научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» посвящен рассмотрению широкого круга вопросов теоретического и практического характера, направленных на решение проблем в области архитектуры, строительства и транспорта. Цель журнала – создать доступное информационно-коммуникационное пространство для обсуждения новых знаний, подходов в данных сферах и внедрения научных и технических достижений в практику.

Журнал выходит 4 раза в год

Наименование и содержание рубрик журнала соответствуют отраслям науки и группам специальностей научных работников Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

- 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)
- 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки)
- 2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)
- 2.1.9 Строительная механика (технические науки)
- 2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки, искусствоведение)
- 2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура, технические науки)
- 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.5.6 Технология машиностроения (технические науки)
- 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки)
- 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки)
- 2.6.17 Материаловедение (по отраслям)
- 2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)

The scientific and information journal "Architecture, Construction, Transport" ("Arkhitektura, stroitel'stvo, transport") addresses a wide range of theoretical and practical issues aimed at solving problems of architecture, construction, and transport. The purpose of the journal is to create an accessible information and communication space for discussing new knowledge and approaches in these areas and introducing scientific and technical achievements into practice.

The journal is published 4 times a year

The name and content of the journal sections correspond to the branches of science and groups of specialties of scientific workers according to the Nomenclature of Scientific Workers' Specialties for which academic degrees are awarded.

- 2.1.1 Construction structures, buildings and facilities (engineering sciences)
- 2.1.2 Bases and foundations, underground structures (engineering sciences)
- 2.1.3 Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and illumination (engineering sciences)
- 2.1.4 Water supply sewerage, construction systems for water resources protection (engineering sciences)
- 2.1.5 Construction materials and products (engineering sciences)
- 2.1.8 Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels (engineering sciences)
- 2.1.9 Structural mechanics (engineering sciences)
- 2.1.11 Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture, engineering sciences, art history)
- 2.1.12 Architecture of buildings and structures. Creative conceptions of architectural activity (architecture, engineering sciences)
- 2.2.5 Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing (engineering sciences)
- 2.5.6 Machine-building technology (engineering sciences)
- 2.5.11 Ground transport and technological means and complexes (engineering sciences)
- 2.5.21 Machines, aggregates and technological processes (engineering sciences)
- 2.6.17 Materials science (by industry)
- 2.9.5 Operation of motor transport (engineering sciences)

Учредители журнала

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (издатель)
Главное управление строительства Тюменской области

Редакционная коллегия

Мальцева Татьяна Владимировна, д. ф.-м. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень – **главный редактор**

Амирзода Ориф Хамид, д. т. н., доцент, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе (Республика Таджикистан)

Арынов Калдыбай Канаевич, доктор архитектуры, профессор, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан (Республика Казахстан)

Асенов Асен Цветанов, PhD, доцент, Русенский университет имени Ангела Кынчева, Русе (Болгария)

Барсуков Владимир Георгиевич, д. т. н., доцент, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

Бартоломей Леонид Адольфович, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Бородинец Анатолий Викторович, д. т. н., профессор, Рижский технический университет, Рига (Латвия)

Ватин Николай Иванович, д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

Волков Андрей Анатольевич, д. т. н., профессор, член-корреспондент РААСН, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

Грдич Зоран, д. т. н., профессор, Нишский университет, Ниш (Сербия)

Гунасекаран Мурали, PhD, доцент, Университет SASTRA, Танджавур (Индия)

Захаров Николай Степанович, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Ковенский Илья Моисеевич, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Мамаян Заруи Генриховна, кандидат архитектуры, профессор, Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван (Республика Армения)

Миронов Виктор Владимирович, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Менендес Пидаль Игнасио, PhD, профессор, Политехнический университет Мадрида, Мадрид (Испания)

Мерданов Шахбуба Магомедкеримович, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Овчинников Игорь Георгиевич, д. т. н., профессор, действительный член Академии транспорта РФ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Панфилов Александр Владимирович, кандидат архитектуры, доцент, Департамент строительства, архитектуры и земельных отношений Администрации города Салехарда, Салехард

Райчик Марлена, д. т. н., профессор, Ченстоховский технологический университет, Ченстохова (Польша)

Сепехри Мехран, PhD, доцент, Технологический университет имени Шарифа, Тегеран (Иран)

Сладковски Александр Валентинович, д. т. н., профессор, Силезский технический университет, Катовице (Польша)

Соколов Владимир Григорьевич, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Тарасенко Александр Алексеевич, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Ци Чэнчжи, д. ф.-м. н., профессор, Пекинский университет гражданского строительства и архитектуры, Пекин (Китай)

Чекардовский Михаил Николаевич, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Редакционный совет

Набоков Александр Валерьевич, к. т. н., доцент, директор Строительного института, Тюменский индустриальный университет – **председатель**

Перегалов Павел Анатольевич, начальник Главного управления строительства Тюменской области

Кучерявый Алексей Александрович, директор ГАУ Тюменской области «Управление государственной экспертизы проектной документации»

Малышкин Александр Петрович, к. т. н., доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет

Нанака Виктор Николаевич, первый заместитель директора АО «ЮТЭК региональные сети»

Бабийчук Михаил Владимирович, председатель Правления СПО Союз «Строители ЯНАО»

Табанакоев Андрей Владимирович, председатель Тюменского отделения Союза архитекторов России

Воронцов Вячеслав Викторович, к. т. н., доцент, проректор Государственного аграрного университета Северного Зауралья

Редакция

Маслова Евгения Анатольевна – редактор
Николаева Юлия Юрьевна – редактор
Николюк Светлана Анатольевна – дизайнер

Адрес редакции

625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2, к. 117
Тюменский индустриальный университет
Телефон (3452) 28-37-50, e-mail: ast@tyuiu.ru

Адрес издателя

625000, Тюмень, ул. Володарского, 38
Тюменский индустриальный университет
Телефон (3452) 28-35-91

Дата выхода: 31.03.2022

Цена свободная

Отпечатано в типографии ООО «Печатник»

625026, г. Тюмень, ул. Республики, 148, корп. 1/2, телефон: (3452) 20-33-86

Journal Founders

FSBEI HE "Industrial University of Tyumen" (publisher)
General Administration of Construction of the Tyumen region

Editorial Board

Tatyana V. Maltseva, D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen – **editor-in-chief**

Orif Kh. Amirzoda, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe (Republic of Tajikistan)

Kaldybay K. Arynov, D. Sc. in Architecture, Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, (Republic of Kazakhstan)

Asen Ts. Asenov, PhD, Associate Professor, "Angel Kanchev" University of Ruse, Ruse (Bulgaria)

Vladimir G. Barsukov, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)

Leonid A. Bartolomey, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Anatoliy V. Borodinec, D. Sc. in Engineering, Professor, Riga Technical University, Riga (Latvia)

Nikolay I. Vatin, D. Sc. in Engineering, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

Andrey A. Volkov, D. Sc. in Engineering, Professor, Corresponding Member of the RAACS, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Zoran Grdić, D. Sc. in Engineering, Professor, University of Niš, Niš (Serbia)

Murali Gunasekaran, PhD, SASTRA Deemed to be University, Thanjavur (India)

Nikolay S. Zakharov, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Ilya M. Kovenskiy, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Zarui G. Mamyán, C. Sc. in Architecture, Professor, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan (Republic of Armenia)

Viktor V. Mironov, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Ignacio Menendez Pidal, PhD, Professor, Madrid Polytechnic University, Madrid (Spain)

Shakhbuba M. Merdanov, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Igor G. Ovchinnikov, D. Sc. in Engineering, Professor, Full Member of the Academy of Transport of Russian Federation, Perm National Research Polytechnic University, Perm;

Alexander V. Panfilov, C. Sc. in Architecture, Associate Professor, Department of Construction, Architecture and Land Relations of the Administration of Salekhard, Salekhard

Marlena Rajchik, D. Sc. in Engineering, Professor, Czestochowa University of Technology, Czestochowa (Poland)

Mehran Sepehri, PhD, Associate Professor, Sharif University of Technology, Tehran (Iran)

Alexander V. Sladkovski, D. Sc. in Engineering, Professor, Silesian University of Technology, Katowice (Poland)

Vladimir G. Sokolov, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Alexander A. Tarasenko, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Chengzhi Qi, D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing (China)

Mikhail N. Chekardovski, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Editorial Council

Alexander V. Nabokov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of the Construction Institute, Industrial University of Tyumen – **Chairman**

Pavel A. Perevalov, Head of the General Administration of Construction of the Tyumen region

Alexey A. Kucheryavy, Director of the State Autonomous Institution of the Tyumen Region "Department of State Expertise of Project Documentation"

Alexander P. Malyshekin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen

Viktor N. Nanaka, First Deputy Director of "UTEK-RS" JSC

Mikhail V. Babiychuk, Chairman of the Board of the SRO Soyuz "Stroiteli YaNAO"

Andrey V. Tabanakov, Chairman of the Tyumen Branch of the Union of Architects of Russia

Vyacheslav V. Vorontsov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Vice-rector of the Northern Trans-Ural State Agricultural University

Edition

Evgeniya A. Maslova – editor
Yuliya Yu. Nikolaeva – editor
Svetlana A. Nikoloyuk – designer

Editorial office

625001, Tyumen, 2 Lunacharskogo St., office 117
Industrial University of Tyumen
Phone (3452) 28-37-50, e-mail: ast@tyuiu.ru

Publisher address

625000, Tyumen, 38 Volodarskogo St.
Industrial University of Tyumen
Phone (3452) 28-35-91

Содержание

Архитектура

Ю. В. Черноусова, А. Н. Федоров

Проект музейно-этнографического комплекса как инструмент развития сельских территорий (на примере села Усалки Тюменской области) 6

С. В. Борисов, Н. А. Коротаев

Православные храмы с многоуровневой структурой богослужебного пространства 25

Строительство

С. В. Максимова, Е. С. Коршикова, Е. И. Вялкова, А. М. Фугаева, А. А. Воронов

Модификация фитосорбентов для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод 42

В. А. Сироткин, И. И. Давыдов

Применение индексного подхода к выбору материала стен для малоэтажного строительства 54

В. Ф. Бай, В. С. Сафарян

Повышение эффективности фундаментов мелкого заложения 65

С. П. Санников, А. В. Мармур

Изменение прочности дорожной одежды при сезонном промерзании и оттаивании конструкции 73

Транспорт

Е. А. Близнякова, А. А. Куликов, А. В. Куликов

Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе 80

Вектор науки

Н. В. Серов, В. А. Курушина

Моделирование влияния положения трубопровода на режим многофазного потока 88

Информация для авторов

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 96

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 98

Люди, события, факты

ВИМ. Точка невозврата пройдена

(интервью с О. С. Кушнир) 100

Путь к науке. Первые шаги

(интервью с О. В. Ашихминым) 103

Положение о XXI конкурсе

«На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2021 год» 107

Contents

Architecture

J. V. Chernousova, A. N. Fedorov

The project of museum and ethnographic complex as a tool for the development of rural areas (using the example of the village Usalka, Tyumen region) 6

S. V. Borisov, N. A. Korotaev

Orthodox churches with a multi-level structure of the liturgical space 25

Construction

S. V. Maksimova, E. S. Korshikova, E. I. Vyalkova, A. M. Fugaeva, A. A. Voronov

Modification of phytosorbents to intensify the treatment of wastewater containing oil products 42

V. A. Sirotkin, I. I. Davydov

Using the index approach to select wall materials for low-rise construction 54

V. F. Baj, V. S. Safaryan

Improving the efficiency of shallow foundations 65

S. P. Sannikov, A. V. Marmur

Changes in pavement strength during seasonal freezing and thawing of the structure 73

Transport

E. A. Bliznyakova, A. A. Kulikov, A. V. Kulikov

Comparative analysis of methods for finding the shortest distance in a graph 80

Vector of science

N. V. Serov, V. A. Kurushina

Modelling the effect of pipeline inclination on the multiphase flow regime 88

Instructions for Authors

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 96

Manuscript preparation guidelines (In English) 98

People, Events, Facts

BIM. The point of no return is passed
(interview with O. S. Kushnir) 100

The road to science. First steps
(interview with O. V. Ashihmin) 103

Regulation of the 21th contest
«For the best achievement in the construction industry of the Tyumen region in 2021» 107

УДК 351.852 (571.12)

2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки, искусствоведение)

ПРОЕКТ МУЗЕЙНО-ЭТНОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛА УСАЛКИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ю. В. Черноусова, А. Н. Федоров
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

THE PROJECT OF MUSEUM AND ETHNOGRAPHIC COMPLEX AS A TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS (USING THE EXAMPLE OF THE VILLAGE USALKA, TYUMEN REGION)

Julia V. Chernousova, Andrey N. Fedorov
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В работе представлен проект музейно-этнографического комплекса (на примере села Усалки Тюменской области), разработанный с целью комплексного развития сельских территорий. Рассмотрены результаты предпроектного анализа территории (общие сведения о селе, типология застройки, специфика деревянной резьбы), определена зона проектирования. Выявлен комплекс текущих проблем населенного пункта (среди них – плохое развитие внутренней инфраструктуры, невысокий уровень качества жилья, недостаточное количество рабочих мест и низкие доходы сельчан) и найдены варианты их решения. В результате проведенного исследования сформировалась основная концепция проекта, включающего объемно-средовое и архитектурно-

Abstract. The paper presents a project of a museum and ethnographic complex (on the example of the village Usalka, Tyumen Region), designed for the comprehensive development of rural areas. The authors considered the results of pre-project analysis of the territory (general information about the village, the typology of development, the specificity of wooden carvings), determined the design area. A set of current problems of the settlement was identified (among them: poor development of internal infrastructure, low level of housing quality, insufficient number of jobs and low incomes of villagers) and options to address them were found. As a result of the study, the main concept of the project, including volume-space and architectural-planning solutions of the developed complex, was

планировочное решения разрабатываемого комплекса. Проект представлен в виде графического материала, планов, фасадов, разрезов, схем.

Ключевые слова: музейно-этнографический комплекс, сельские территории, историческая застройка, общественное пространство, деревянная резьба, деревянная архитектура, культурное наследие

formed. The project is presented in the form of graphic material, plans, facades, sections, diagrams.

Key words: museum and ethnographic complex, rural areas, historical development, public space, wooden carving, wooden architecture, cultural heritage

Введение

Комплексное развитие сельских территорий – одна из главных задач национальной экономики, культуры и туризма в России. В связи с этим ключевым вопросом становится сохранение деревянной архитектуры и исторической среды сельской местности в целом как уникального культурного наследия страны, не имеющего аналогов в мире, что необходимо для развития внутреннего туризма, повышения культурного уровня населения, экономической и социальной активности.

Объекты деревянного зодчества представляют собой недолговечную и утрачиваемую часть архитектурного и историко-культурного наследия, которая требует должного ухода, своевременных работ по восстановлению. Продвижение туристского продукта, просвещение населения и реализация программ, направленных на сохранение и реновацию деревянной застройки, могут способствовать качественному развитию сельских территорий. Неудачная реконструкция может привести к искажению исторической застройки, утрате памятниками архитектуры своей уникальности, идентичности и ценности культурного наследия [1].

Сохранение исторической деревянной застройки в России имеет специфический характер. В границах города практически невозможно найти улицу или квартал с сохранившейся исторической средой, что обусловлено несколькими факторами. С развитием города современные здания постепенно вытесняли деревянные, которые располагались на дорогостоящей земле. Жилье в многоквартирном доме с отоплением и

водоснабжением было более востребованным, в то время как деревянные строения на протяжении нескольких десятилетий для горожан не представляли особой ценности. Еще одна причина – использование облицовочных материалов и уничтожение ценных элементов фасадов деревянных зданий, что тоже связано с отсутствием понимания ценности исторической застройки и низким уровнем культуры населения. В городе сохранить и восстановить деревянную среду уже практически невозможно, а в сельской местности это сделать еще реально.

Предмет и методы исследования

Предметом является разработка проекта музейно-этнографического комплекса для развития сельских территорий на примере с. Усалки Ярковского района Тюменской области. В ходе работы использовался широкий спектр научных методов: анализ, синтез, аналогия, обобщение, сравнительный, хронологический, графической реконструкции, натурных обследований и моделирование.

Результаты

Общие сведения о селе. Усалка – одно из старинных сел Ярковского района, которое находится на расстоянии 11 км от районного центра. Село имеет давнюю историю и указано на карте Чертежной книги Сибири Семена Ремезова, датируемой 1701 годом. В 1763-м здесь проживало 436 сельчан, в 1782-м – 507. Местные жители в основном занимались хлебопашеством, плетением рогож, заготовкой дров, ткачеством и другими ремеслами [2].

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Планировочная структура села имеет линейную форму, которая повторяет излучину реки Усалки. Также можно обнаружить фрагменты «круговой» планировочной структуры. Историческую застройку составили деревянные одноэтажные дома с хозяйственными постройками второй половины XIX – начала XX вв. Единственное исключение – двухэтажная деревянная усадьба местных торговцев Паршуковых [3].

Досоветская застройка с. Усалки сохранилась достаточно полно и отражает цельный, характерный для исторического поселения облик. Вкра-

пления современной застройки в историческую среду незначительны.

Застройка советского периода представлена одноэтажными двухквартирными домами для колхозников, расположена параллельно главной улице, вдоль новой автомагистрали Тюмень – Ханты-Мансийск, и не нарушает целостности восприятия исторической части села¹.

Усалка находится на пути нескольких региональных туристических и брендовых маршрутов: Тюмень – с. Покровское – Тобольск и Тобольск – с. Абалак – Тюмень (рис. 1).



Рис. 1. Схема туристических маршрутов на юге Тюменской области

¹ Концепция долгосрочного социально-экономического развития Ярковского муниципального района до 2020 г. и на перспективу до 2030 г.: утверждена решением Думы Ярковского муниципального района от 15 декабря 2010 г. № 162. – Ярково, 2010. – 24 с. – Текст : непосредственный.

У небольших сельских поселений всегда было больше проблем, чем у городов. На протяжении нескольких веков сельское население в поисках лучших условий для жизни мигрировало в более крупные и развитые поселения. Постепенное снижение численности населения отчасти является основной проблемой развития сельских территорий.

Будучи небольшим сельским поселением с сокращающимся числом жителей, Усалка также имеет ряд проблем: отсутствие полноценного социального, медицинского и культурного обслуживания, плохое развитие внутренней инфраструктуры (транспорта, электроэнергетики, инженерных сетей), низкий уровень качества жилья, слабое развитие предпринимательского дела, отсутствие поддержки внутренних хозяйств, слабо развитая самоорганизация и саморегулирование во всех сферах, отсюда – недостаточное количество рабочих мест и низкие доходы сельчан.

К факторам, которые сдерживают развитие села, можно отнести проблемы, связанные с качеством среды и организацией досуга (отсутствие качественного благоустройства; современных объектов культуры, торговли, спорта и т. д., а также условий для организации отдыха и досуга населения). Особое внимание следует уделить неудовлетворительному состоянию исторической застройки, что связано с несколькими причинами: низкими доходами населения; отсутствием поддержки жителей в вопросе сохранения исторического облика села; недоста-

точной коммунальной оснащенностью жилья; отсутствием понимания культурной и исторической ценности застройки.

Численность населения Усальского сельского поселения в 2021 году составляла 499 человек, что на 7,6 % меньше в сравнении с переписью населения 2010 года, тогда здесь проживало 540 человек.

Ведущую роль в экономике села занимает сельское хозяйство. Благоприятный климат дает возможность выращивать различные сельскохозяйственные культуры (зерно, корма, картофель), а также заниматься животноводством (мясным и молочным).

В советское время основным градообразующим предприятием был колхоз «Свободный труд», он прекратил свое существование в 1990-е годы. На базе колхоза в настоящее время работает ООО «Ясень-Агро», которое специализируется на разведении крупного рогатого скота, производстве молока и молочных продуктов. На предприятии в качестве животноводов и механизаторов работает 81 сельский житель (16 % от общего числа всех жителей), то есть его можно считать градообразующим [4]. Также существует фермерское хозяйство по разведению лошадей. Кроме того, жители села ведут личные подсобные хозяйства. Промышленность представлена тремя глиняными карьерами. Производственная зона расположена в северо-восточной части села. На автомагистрали Тюмень – Ханты-Мансийск находится автозаправочная станция ООО «Тюменьнефтепродукт», где в качестве работников устроены 4 жителя.



Рис. 2. Этапы развития села

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

В настоящее время территорию села можно разделить по качеству и периоду застройки. Историческая часть расположена вдоль ул. Советской, застройка советского периода преобладает вдоль федеральной трассы, что связано с исторически сложившимися факторами (рис. 2).

С федеральной трассы в село ведут семь въездов, два из них являются основными: въезды на ул. Мира и ул. Советскую. Эти улицы образуют основной каркас села (рис. 3). При этом наиболее

ценной считается исторически сложившаяся ул. Советская, по которой раньше проходил Тобольский тракт, она во многом сохранила первоначальный вид.

Вся общественная и социальная инфраструктура находится в центральной части села на ул. Мира и ул. Советской, промышленная территория – по периметру.

Село располагается на берегу р. Усалки и обладает ценным историческим ландшафтом – жи-

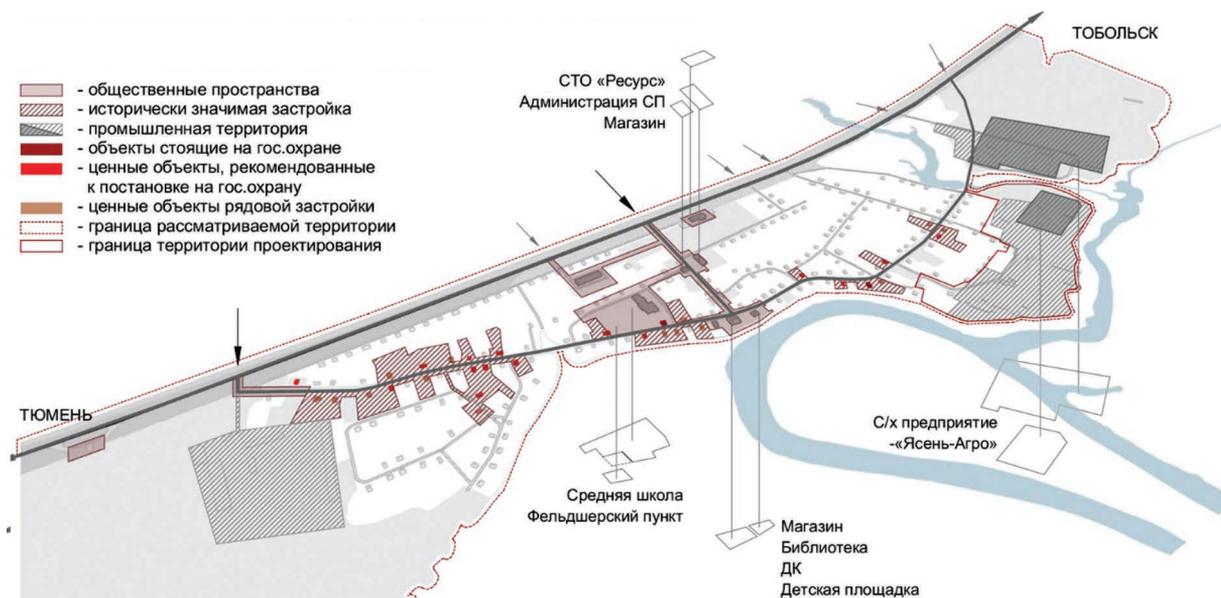


Рис. 3. Схема существующего каркаса общественных пространств и исторически значимой застройки



Рис. 4. Схема ценного исторического ландшафта

вописные природные склоны и овраги, бескрайние поля и леса (рис. 4).

Село имеет крупные резервы территории: на юге – в границах федеральной трассы и р. Усалки; на северо-востоке – на месте заброшенного производства на берегу реки; в центральной части села – на ул. Советской и ул. Мира (рис. 5, 6). Они были определены в ходе всестороннего анализа с учетом затопляемости территории; влияния трассы; анализа участков, находящихся в собственности; неиспользуемых территорий села.

Основная территория проектирования выбрана на берегу р. Усалки, на месте заброшенного сельскохозяйственного производства и частично фермы по животноводству. Она отличается живописным рельефом и имеет вид на природные ландшафты Ярковского района. Здесь сохранилась историческая производственная застройка. На данный момент на территорию ведет один въезд с федеральной трассы и два с ул. Советской.

Исторический облик села. Усалка имеет неповторимый исторический облик, который может

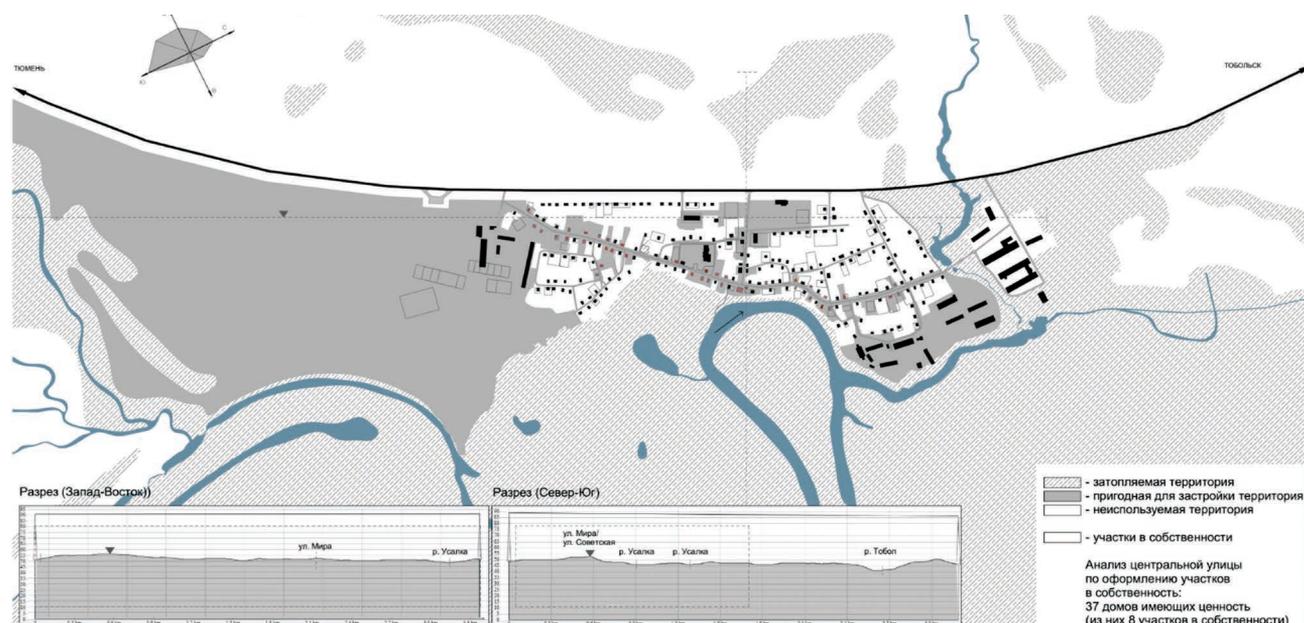


Рис. 5. Резервы территории



Рис. 6. Резервы территории на опорном плане с. Усалки

стать основой для развития туризма. В настоящее время большую часть села составляет исторически сложившаяся застройка, представленная одноэтажными жилыми домами и хозяйственными постройками. На многих домах присутствуют деревянные наличники, украшенные богатым декором. Улица Советская, вдоль которой и развивалось село, и прилегающие к ней кварталы имеют живую структуру, сохранившуюся со времен основания села.

Анализируя главную улицу, можно выявить преобладающий тип материала в формировании исторического облика села – это дерево, основной цвет – серый. Сельское деревянное зодчество формировалось в суровых природно-климатических условиях, поэтому используемые

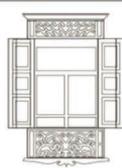
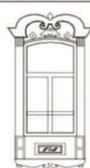
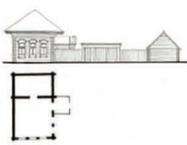
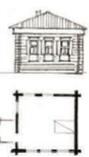
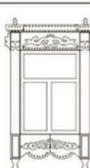
строительные материалы полностью подчинялись ему – массивные деревянные стены из бревен и наличники со ставнями [4].

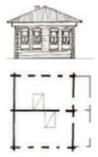
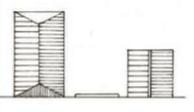
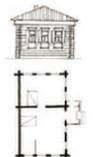
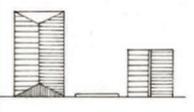
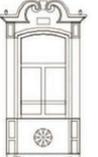
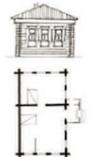
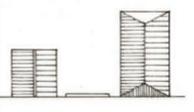
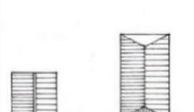
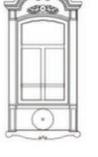
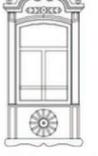
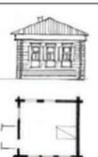
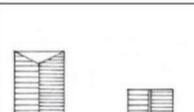
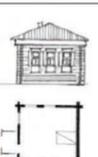
Все строения – в серой холодной цветовой гамме, которая со временем была разбавлена цветными акцентами на наличниках. С появлением новых эстетических вкусов сельская архитектура сохранила свой строгий и сдержанный характер [3].

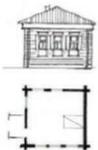
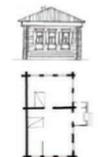
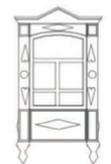
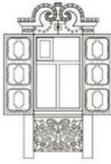
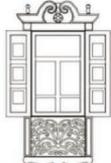
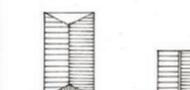
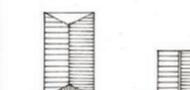
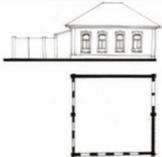
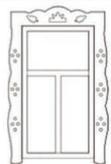
Типология застройки. Деревянная историческая застройка имеет ряд особенностей, характерных для сибирского края (типы планировки жилых домов, фасадов, расположения жилых и хозяйственных построек), и более узких, свойственных лишь югу Зауралья (например, декор). В таблице представлены данные о 32 жилых домах.

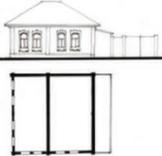
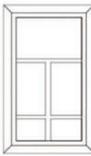
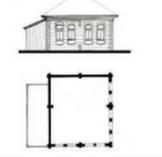
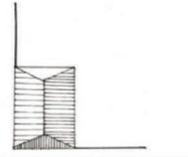
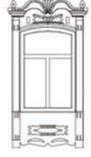
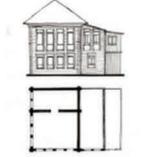
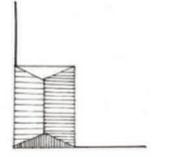
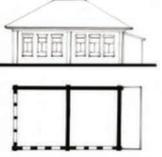
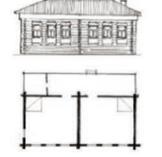
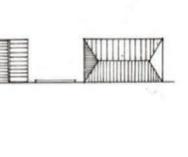
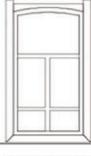
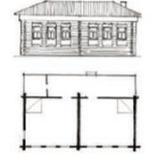
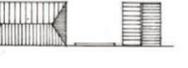
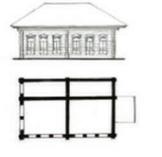
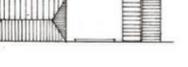
Таблица

Типология застройки с. Усалки

Типология застройки с. Усалки						
Деревянная историческая застройка						
Типология	Типология фасадов, расположения в системе застройки улицы	Адрес Характеристика	Фотография	Декор	Историко-культурная значимость	
1		ул. Советская, 3 - 1 этаж - Фасад в 2 окна - Однокамерный - Расположен вдоль улицы			Ценная историческая застройка	
2		ул. Зелёная, 11 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Однокамерный - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	
3		ул. Советская, 21 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Однокамерный - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН	
4		ул. Зелёная, 12 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Ценная историческая застройка	
5		ул. Советская, ? - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Однокамерный - Расположен вдоль главной улицы			Не используется	

Типология застройки с. Усалка						
Деревянная историческая застройка						
	Типология	Типология фасадов, расположения в системе застройки улицы	Адрес Характеристика	Фотография	Декор	Историко-культурная значимость
6			ул. Советская, 41 - 1 этаж - Фасад в 4 окна - Четырехстенок - Расположен вдоль главной улицы			Ценная историческая застройка
7			ул. Советская, 12 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль главной улицы			Рядовая историческая застройка
8			ул. Советская, 14 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль главной улицы			Объект обладающий признаками ОКН
9			ул. Советская, 19 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка
10			ул. Советская, 24 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
11			ул. Советская, 26 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
12			ул. Советская, 42 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
13			ул. Советская, 44 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка
14			ул. Советская, 46 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка

Типология застройки с. Усалка						
Деревянная историческая застройка						
Типология	Типология фасадов, расположения в системе застройки улицы	Адрес Характеристика	Фотография	Декор	Историко-культурная значимость	
15		 ул. Советская, 50 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	
16		 ул. Советская, 57 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен на пересечении улиц			Ценная историческая застройка	
17		 ул. Советская, 68 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН	
18		 ул. Советская, 69 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН	
19		 ул. Советская, 72 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Однокамерный - Расположен вдоль улицы			Памятник архитектуры	
20		 ул. Советская, 74 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	
21		 ул. Советская, 83 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	
22		 ул. Советская, 88 - 1 этаж - Фасад в 3 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	
23		 ул. Советская, 13 - 1 этаж - Фасад в 4 окна - Ложный пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка	

Типология застройки с. Усалка						
Деревянная историческая застройка						
	Типология	Типология фасадов, расположения в системе застройки улицы	Адрес Характеристика	Фотография	Декор	Историко-культурная значимость
24			ул. Советская, 18 - 1 этаж - Фасад в 4 окна - Пятистенок - Расположен вдоль главной улицы			Рядовая историческая застройка
25			ул. Советская, 30 - 1 этаж - Фасад в 4 окна - С ложным перерубом - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
26			ул. Советская, 37 - 2 этажа - Фасад в 4 окна - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Памятник архитектуры
27			ул. Советская, 17 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Ценная историческая застройка
28			ул. Советская, 25 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
29			ул. Советская, 35 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Ценная историческая застройка
30			ул. Советская, 39 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка
31			ул. Советская, 86 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Пятистенок - Расположен вдоль улицы			Объект обладающий признаками ОКН
32			ул. Советская, 6 - 1 этаж - Фасад в 6 окон - Шестистенок - Расположен вдоль улицы			Рядовая историческая застройка

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Специфической особенностью жилых усадеб села являются высокие подоконные щиты, высота которых может варьироваться от 90 до 120 см. Они полностью покрыты глухой резьбой с изображением тонких растительных орнаментов, эффектно смотрящихся на фоне массивных стен из бревен [5]. Это барельефная резьба вьющегося растительного типа, но при этом имеющая свои уникальные особенности. Она отличается более богатым орнаментальным декором. Основной символ на подоконном щите – дерево жизни – изображается в виде пышного растительного орнамента, чаще

всего симметричного относительно одной или двух осей. Рисунок узоров – это переплетение гнущихся и переплетающихся растительных элементов. Сливаясь в единое целое, они узорным одеялом заплетают весь объем доски. Благодаря этому наличник выглядит легким и гармоничным. Особую пышность усальская резьба приобретает к началу XX в. Можно выделить шесть типов наличников, получивших развитие в 1850–1920 гг. (рис. 7, 8). Позднее узор на наличнике становится более мелким и детальным, а покрывной тип узора более ярким и очевидным (рис. 9).

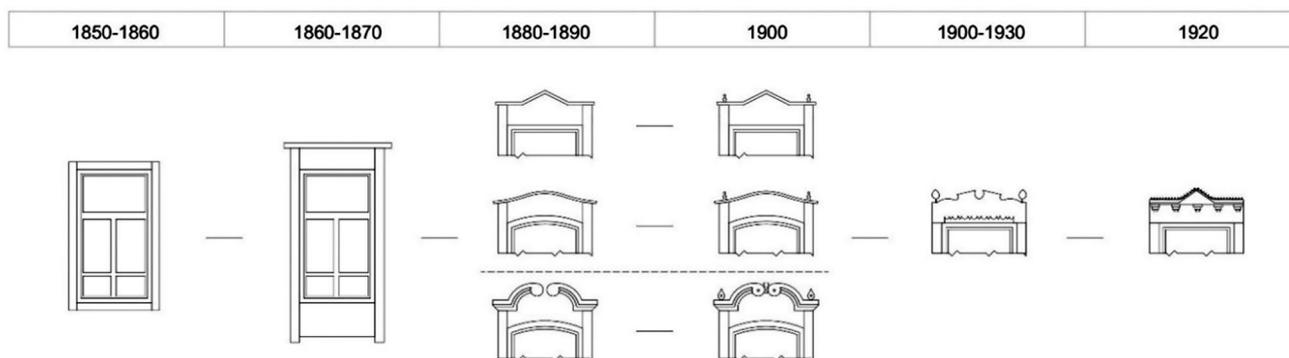


Рис. 7. Этапы развития типа формы наличника с. Усалки

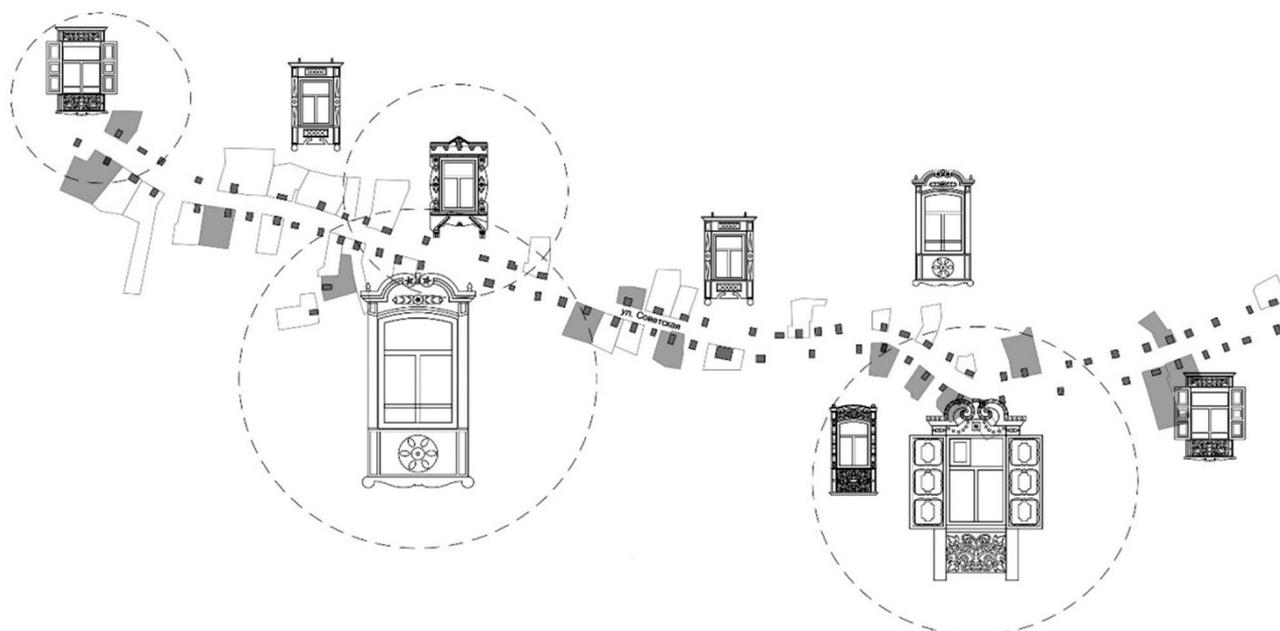


Рис. 8. Схема преобладающих типов наличников в с. Усалке, ул. Советская

Второй тип деревянной резьбы – с геометрическим строгим орнаментом – также характерен для Ярковского района. Его прототипом стал популярный в Тюмени барочный наличник с крупными волютами, лаконичными деталями, выпуклыми круглыми розетками-шишками и другими элементами (рис. 10). Данные анализа наличников уральских домов показывают, что

здесь образовался уникальный тип деревянной резьбы, для которого характерны две особенности. Это растительный орнамент, появившийся под влиянием традиционных искусств русского и восточных народов, и геометрический орнамент, на который повлияли художественные приемы обработки деталей тюменского барочного наличника [3].

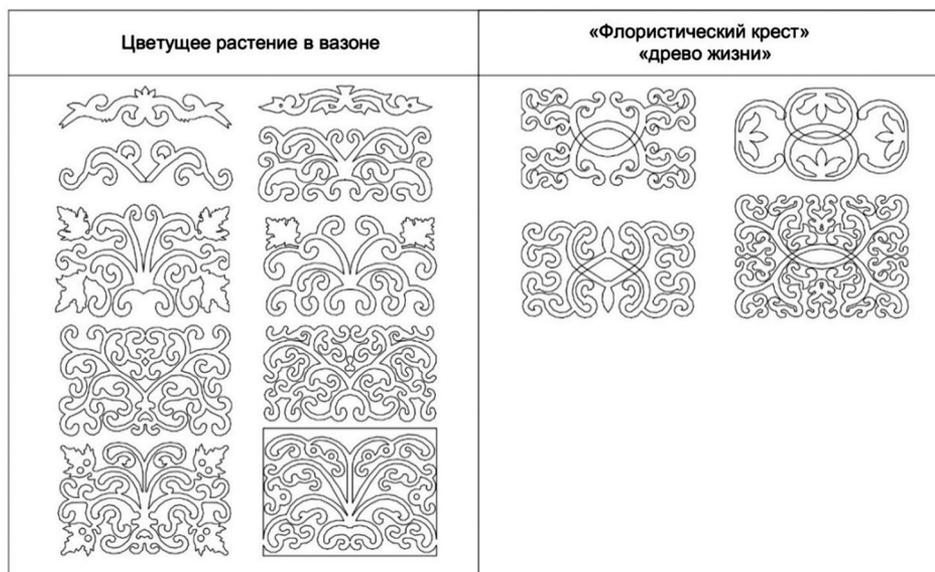


Рис. 9. Деревянная резьба наличников. Растительный орнамент

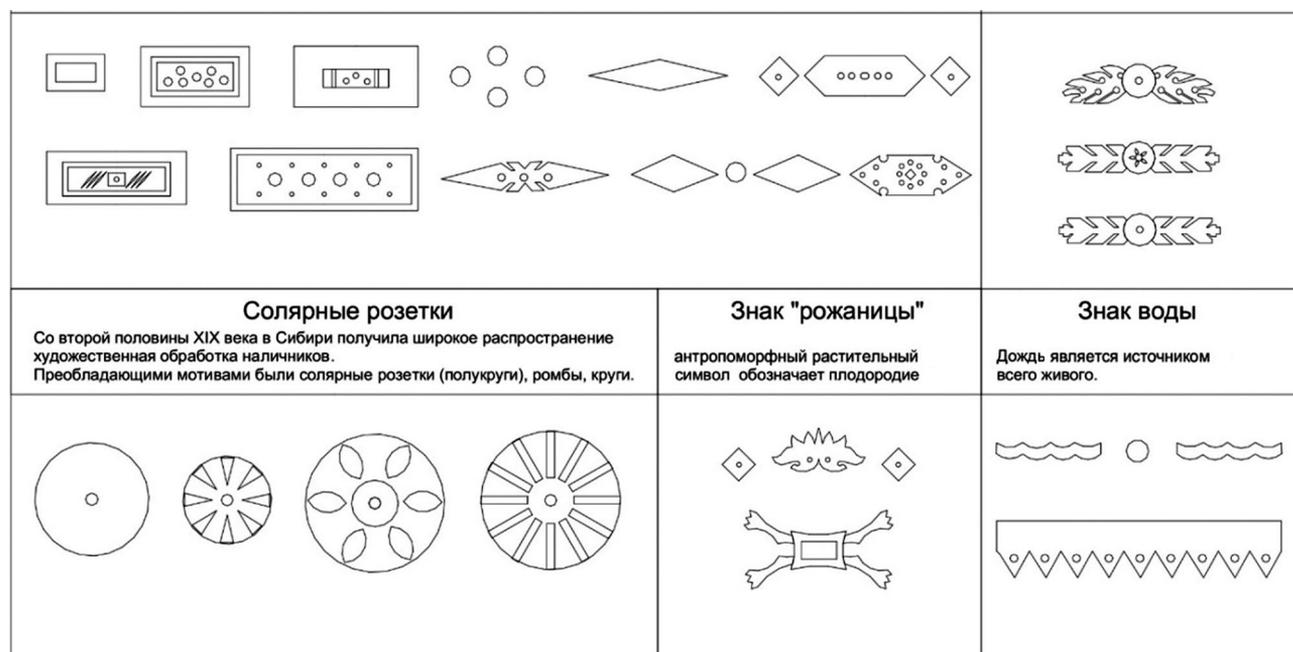


Рис. 10. Деревянная резьба наличников. Геометрический орнамент

Таким образом, с. Усалка является хорошей площадкой для реализации предлагаемого проекта ввиду следующих преимуществ: высокого процента сохранившейся исторической застройки; удачного географического положения (село может стать частью туристского маршрута Тюмень – Тобольск); живописного ландшафта и значительных территориальных ресурсов.

Проект музейно-этнографического комплекса. Первостепенной задачей проекта является повышение качества жизни населения. Также важно сохранить исторический облик села и популяризировать сельский туризм в регионе, что в результате будет способствовать развитию сельской местности. Для этого необходимо:

- воссоздание традиционного облика жилых зданий и усадеб (общего облика строения, декора и наличников, заборов и ворот, усадебных построек и пр.);
- развитие существующих и создание новых музейных комплексов;
- проектирование объектов инфраструктуры: гостиничных комплексов, учреждений культуры, спортивных объектов, торговых объектов (отдельных торговых точек, торговых комплексов, приоритетное направление – развитие экопродукции), учреждений социальной сферы;
- проектирование транспортной и пешеходной инфраструктуры;
- разработка плана ландшафтного проектирования, проектов малых архитектурных форм и благоустройства [6].

На начальном этапе работы было проведено предпроектное исследование: осуществлен разносторонний анализ территории и определена территория проектирования, выявлены основные проблемы села и найдены варианты их решения, в результате чего сформировалась основная концепция проекта.

Согласно концепции, необходимо по максимуму сохранить жилые и хозяйственные сооружения в первоначальном виде, что сделать не так просто. Было разработано несколько сценариев сохранения ценной застройки: ее реконструкция и восстановление; перемещение на территорию

музейно-этнографического комплекса с. Усалки (в случае, если собственник участка не готов сохранять историческую застройку и менять место проживания. На этом участке он может построить современное жилье по образцовым проектам, разработанным на основе архитектуры и колористики села); обмен земельного участка с ценной исторической застройкой на участок, расположенный на территории новой застройки с минимальной жилой площадью, которую впоследствии можно будет увеличивать по проекту «растущего дома» (при этом освободившаяся застройка будет использоваться в туристических целях).

Главным стимулом для сохранения исторической застройки самими жителями является привлечение в село туристов: чем лучше оно сохранит свой исторический облик, тем больший интерес будет представлять. Поэтому привлечение туристов – одна из главных целей проекта. Развитие сельского туризма в Усалке приведет не только к популяризации территории, но и улучшению качества среды и жизни населения [7].

Суть концепции музейно-этнографического комплекса заключается в том, чтобы привлечь туристов не только традиционными ремеслами сибирской деревни (ткачеством, лозоплетением, столярным и гончарным искусством, сыро- и пивоварением, хлебопекарством и сезонными заготовками), ведением домашнего хозяйства (разведением коров и лошадей), но и комфортным деревенским образом жизни. Необходимо, чтобы у туристов была возможность остановиться в туристическом комплексе или арендованном сельском доме. Мастер-классы, выставки, ярмарки, русские забавы, катание на лошадях привлекут не только сельчан, жителей соседних деревень, но и городских туристов, предпринимателей, ремесленников, производителей и покупателей экопродукции, новых жителей села [8].

Генеральный план с. Усалки можно условно разделить на три части, которые образуют единый каркас поселения.

1. Музейно-этнографический комплекс на северо-востоке села. Здесь расположены здания ремесленного комплекса, часть из которых – это сохранившиеся исторические постройки,

ярмарочная площадь; воссозданная вдоль реки историческая жилая среда – этнографическая деревня, включающая исторические постройки и усадьбы, перенесенные с основных улиц села; на месте заземленной производственной постройки – интерактивный исторический парк, а также сохранившиеся постройки фермерского хозяйства по разведению коров и лошадей и новые хозяйственные постройки, в том числе молочный цех; набережная с зонами отдыха и барбекю, детскими игровыми площадками, велодорожкой. Музейно-этнографический комплекс должен стать центром притяжения туристов и жителей села.

2. Центральная часть села, которая включает в себя ул. Мира и ул. Советскую. В числе

значимых объектов этой территории – придорожный гостиничный комплекс, сельская администрация, начальная школа, детский сад, дом культуры, библиотека, магазины, детский дом, медицинский пункт. Участок этой территории является гостевым и общественным центром села.

3. Территория новой застройки на юге села, на месте сельскохозяйственных угодий, как самое благоприятное место для развития жилой застройки.

Основную часть территории занимают кварталы новых домов, также здесь есть вся необходимая инфраструктура – торговый и спортивный комплексы, парковая зона с общественными пространствами для отдыха (рис. 11).

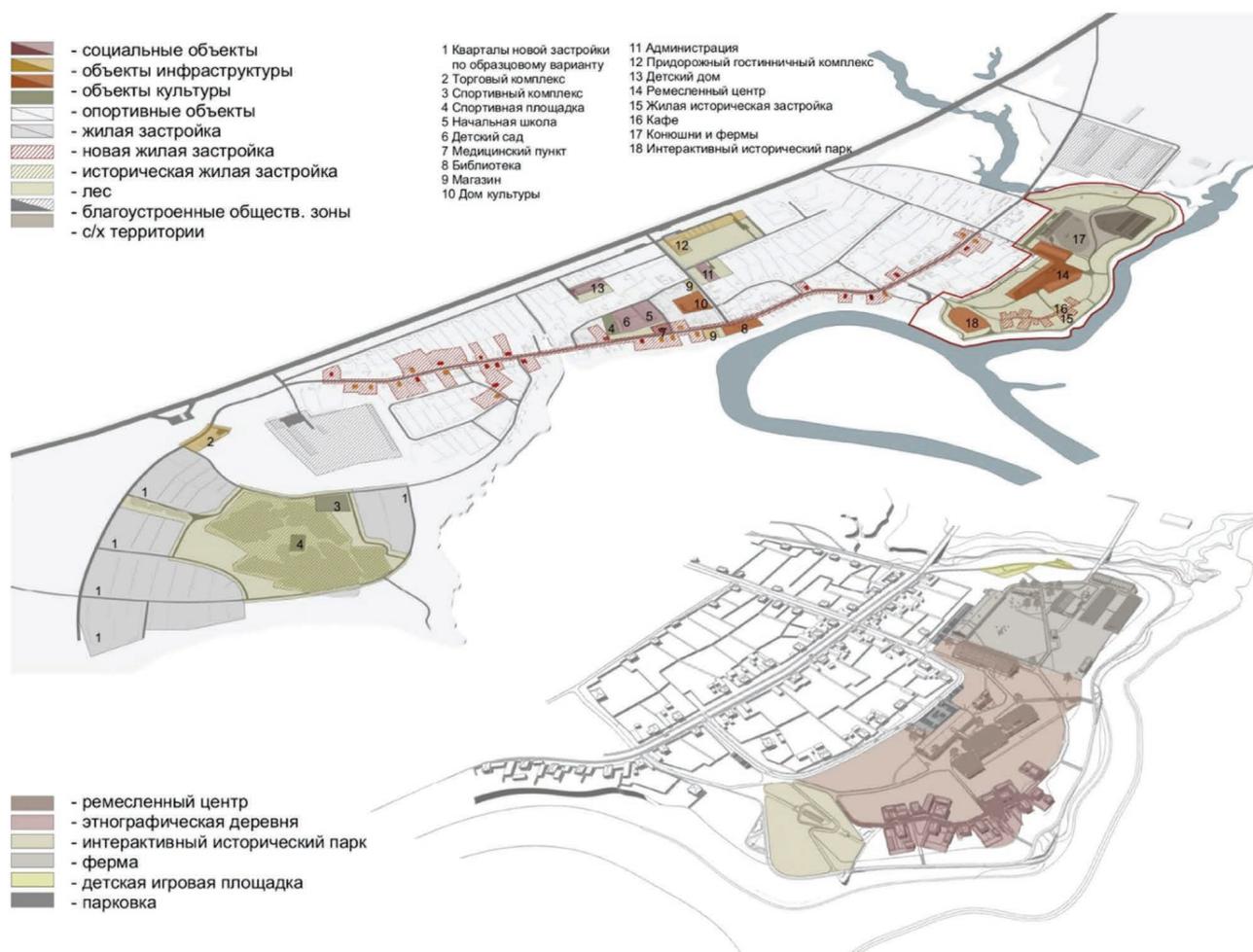


Рис. 11. Схема зонирования села (сверху) и музейно-этнографического комплекса (снизу)

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE



Рис. 12. Принципы взаимодействия новой возводимой и исторической архитектуры

Все части связаны между собой транспортно-пешеходным каркасом и сетью велодорожек для комфортного передвижения. На центральных улицах размещены остановочные комплексы.

Важной частью музейно-этнографического комплекса является ремесленный центр. При выборе архитектурного решения ремесленного центра необходимо определить основные типы взаимодействия современной и исторической архитектуры. Можно выделить три типа: 1) копирование исторической архитектуры (новые здания строятся по принципу полного копирования исторической архитектуры); 2) подражание исторической архитектуре (при проектировании нового здания учитываются особенности окружающей его исторической архитектуры: материалы, колористика, формообразование, размеры и т. д. В результате здания воспринимаются единым комплексом); 3) доминирование над исторической архитектурой (новое здание проектируется с целью акцентировать на себе внимание. Это достигается

за счет контраста цветов, размеров, форм, материалов и т. д.). Учитывая особенности архитектуры села и поставленных целей, оптимальным вариантом видится второй тип взаимодействия, при котором будет возможно спроектировать современный ремесленный центр и при этом сохранить масштаб и архитектурный образ села (рис. 12).

Принципы формирования архитектуры ремесленного центра основаны на особенностях промышленных и жилых построек села: это двускатная кровля и длина промышленных зданий, принципы формирования усадеб и промышленных сооружений из нескольких построек, используемые натуральные материалы (дерево, металл, стекло) (рис. 13).

Согласно проекту, здание ремесленного центра располагается в центральной части проектируемой территории вблизи двух существующих нежилых построек. С одной из них здание связано надземным переходом, объединяющим их в единый комплекс (рис. 14).



Рис. 13. Принципы формирования архитектуры ремесленного центра



Рис. 14. Аналоговый ряд для здания ремесленного центра

Ремесленный центр можно разделить на несколько функциональных зон: 1) зона ремесел, связанных с пыльной/грязной работой (помещение художественной обработки дерева, кости, лозоплетения, керамики, ткачества, отдельный блок – художественная обработка металла); 2) зона ремесел, связанных с растениями (оранжерея); 3) зона ремесел, связанных с продуктами (производство кваса и пива, сезонных заготовок, экомгазин); 4) выставочная зона; 5) концертный зал (рис. 15).

Выводы

В ходе работы над проектом музейно-этнографического комплекса в с. Усалке был выполнен ряд поставленных задач. Проведено предпроектное исследование: выполнен разно-сторонний анализ территории; определена территория проектирования; обозначены основные проблемы села, в результате чего была выявлена необходимость в комплексном развитии села и создании условий для привлечения туристов; разработано общественное пространство в соответствии с заданием на проектирование; разработана концепция каркаса общественных центров; предложено композиционное решение и функциональное зонирование территории музейно-этнографического комплекса; детально

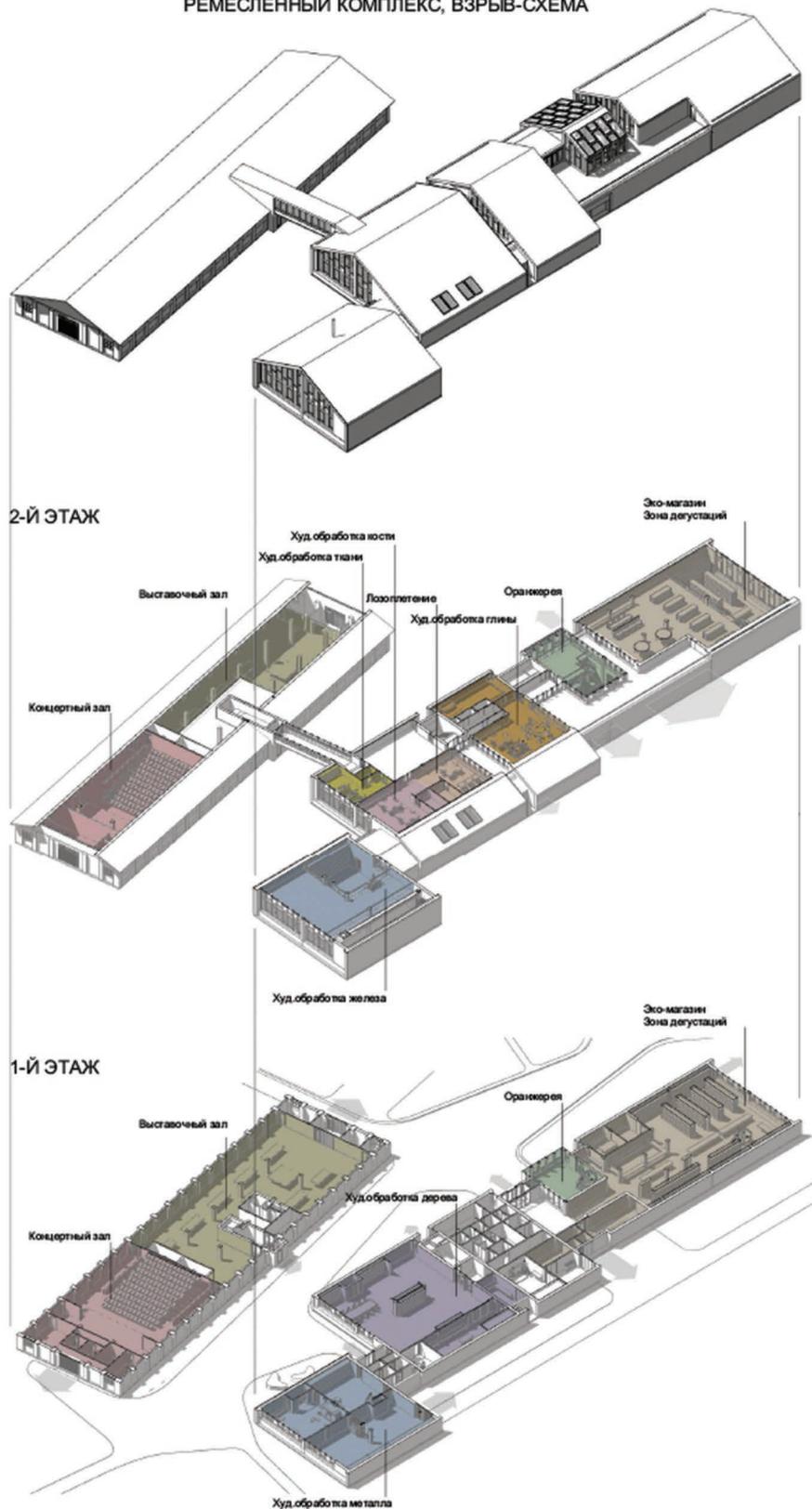
проработано архитектурно-планировочное решение ремесленного центра.

На основании исследования территории сельского поселения был разработан проект музейно-этнографического комплекса. Он предполагает объемно-средовое решение комплекса, средовое наполнение, архитектурно-планировочное решение разрабатываемого здания. Все части проекта представлены в виде графического материала, включающего планы, фасады, разрезы, схемы, визуализацию.

Примечательно, что в других исторических поселениях юга Зауралья (селах Агалья, Бархатово, Битюки, Бобылево, Конченбург, Заводопетровское, Староалександровка, Успенка, Кирсанова и других) также сохранились объекты деревянного зодчества, подлежащие комплексному исследованию в контексте сохранения и использования их застройки [9]. В этой связи предлагаемый проект можно адаптировать под данные поселения.

Одной из задач проекта является популяризация, воссоздание сельского образа жизни и сохранение исторического облика сельских территорий. При этом важно не только сохранить историческое средовое наполнение, но и развить новое строительство, не нарушая при этом целостного восприятия сельского поселения.

РЕМЕСЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ВЗРЫВ-СХЕМА



ЭКСПЛИКАЦИЯ 1-ГО ЭТАЖА

№	Наименование	Площадь
1	Тамбур (главный вход)	8,11
2	Тамбур	8,22
3	Холл	49,16
4	Коридор	32,90
5	Лестница	19,03
6	Стойка информации	12,71
7	Гардероб	5,91
8	Комната персонала	45,98
9	Комната персонала	39,35
10	С/у	32,45
11	Разгрузочная	22,92
12	Складское помещение	38,58
13	Складское помещение	19,22
14	Торговая площадь под фермерские продукты	396,31
15	Кухня	18,87
16	Складское помещение	18,08
17	Складское помещение	24,65
18	Тамбур	2,85
19	Помещение для мусора	2,37
20	Оранжерея	77,22
21	Подсобное помещение	2,05
22	Зал худ. обработки дерева	124,54
23	Торговая площадь под деревянные изделия	124,50
24	Цех по обработке дерева	55,10
25	Зал худ. обработки металла	61,19
26	Цех по обработке металла	63,46
27	Разгрузочно-складское помещение	122,43
28	Тамбур (главный вход)	11,56
29	Холл	13,28
30	Гардероб	16,25
31	Кабинет	28,17
32	Лестница	17,21
33	Коридор	20,06
34	С/у	37,35
35	Выставочный зал	361,61
36	Концертный зал	286,18
37	Помещение для персонала	27,20
38	Подсобное помещение	52,56
39	Пост охраны	11,14
		2 288,73 м²

ЭКСПЛИКАЦИЯ 2-ГО ЭТАЖА

№	Наименование	Площадь
1	Холл	75,23
2	Холл	15,99
3	Лестница	19,03
4	Лестница	17,21
5	Тамбур	2,39
6	Переход	33,36
7	С/у	6,61
8	Коридор	10,82
9	Подсобное помещение	17,29
10	Подсобное помещение	8,30
11	Подсобное помещение	37,34
12	Терраса	142,32
13	Терраса	25,34
14	Торговая площадь	111,56
15	Зона дегустиаций	98,00
16	Оранжерея	34,05
17	Зал худ. обработки глины	89,05
18	Подсобное помещение	46,08
19	Зал лозоплетения	57,71
20	Зал худ. обработки кости	69,18
21	Зал худ. обработки ткани	40,92
22	Торговая площадь под изделия из металла	124,25
		1 082,04 м²

Рис. 15. Схема зонирования ремесленного центра

Библиографический список

1. Незвицкая, Т. В. К вопросу об эволюции подходов к сохранению памятников деревянного зодчества / Т. В. Незвицкая. – DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-9-22. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 9–22.
2. Проект «Архитектурный образ региона». Пояснительная записка : Состояние культурного наследия с. Усалка. – Тюмень, 2018. – Текст : непосредственный.
3. Козлова-Афанасьева, Е. М. Архитектурное наследие Тюменской области : [иллюстрированный научно-практический каталог] / Е. М. Козлова-Афанасьева. – Тюмень : Искусство, 2008. – 488 с. – Текст : непосредственный.
4. Клименко, А. И. Развитие системы расселения и народных промыслов в южных поселениях Зауралья (вторая половина XIX – начало XX в.) / А. И. Клименко. – DOI: 10.31166/VoprosyIstorii201912Statuyi37. – Текст : непосредственный // Вопросы истории. – 2019. – № 12 (2). – С. 140–145.
5. Козлова-Афанасьева, Е. М. Архитектурная деревянная резьба юга Тюменской области второй половины XIX – начала XX вв. Художественно-стилистические особенности : специальность 17.00.04 «Изобразительное и декоративно-прикладное искусство и архитектура» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата искусствоведения / Козлова-Афанасьева Елена Михайловна ; Санкт-Петербургский государственный академический институт живописи, скульптуры и архитектуры им. И. Е. Репина. – Тюмень, 2004. – 19 с. – Место защиты : Санкт-Петербургский государственный академический институт живописи, скульптуры и архитектуры им. И. Е. Репина. – Текст : непосредственный.
6. Решетникова, Н. В. Планировка и застройка сельских населенных мест. Малые формы в архитектуре села / Н. В. Решетникова. – Москва : Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР, 1977. – 26 с. – Текст : непосредственный.
7. Сельский туризм : опыт, проблемы, перспективы развития в России / Ю. Л. Колчинский, Г. М. Демишкевич, И. М. Карпова, Е. П. Шилова ; под общ. ред. В. Г. Савенко. – Москва : ООО «Столичная типография», 2008. – 72 с. – Текст : непосредственный.
8. Шакирова, Э. Н. Развитие сельского туризма в России / Э. Н. Шакирова. – Текст : непосредственный // Экономическая наука и практика : Материалы II Международной научной конференции, Чита, 20–23 февраля 2013 года. – Чита : Издательство «Молодой ученый», 2013. – С. 110–112.
9. Нарайкина, В. В. К проблеме сохранения и использования памятников архитектуры деревянного зодчества Зауралья / В. В. Нарайкина. – Текст : непосредственный // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 65-летию Тюменского индустриального университета, Тюмень, 27–29 октября 2021 года / отв. редактор А. Н. Халин. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 107–110.

References

1. Nezvitskaya, T. V. (2020). Evolution of approaches to wooden architecture preservation. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture, 22(4), pp. 9-22. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-9-22
2. Proekt "Arkhitekturnyy obraz regiona". Poyasnitel'naya zapiska: Sostoyanie kul'turnogo naslediya s. Usalka. (2018). Tyumen. (In Russian).

3. Kozlova-Afanas'eva, E. M. (2008). *Arkhitekturnoe nasledie Tyumenskoy oblasti*. Tyumen, Iskusstvo Publ., 488 p. (In Russian).
4. Klimenko, A. I. (2019). Razvitie sistemy rasseleniya i narodnykh promyslov v yuzhnykh poseleniyakh Zaural'ya (vtoraya polovina XIX – nachalo XX v.). *Voprosy istorii*, 12(2), pp. 140-145. (In Russian). DOI: 10.31166/VoprosyIstorii201912Statyi37
5. Kozlova-Afanas'eva, E. M. (2004). *Arkhitekturnaya derevyannaya rez'ba yuga Tyumenskoy oblasti vtoroy poloviny XIX – nachala XX vv. Khudozhestvenno-stilisticheskie osobennosti*. Avtoref. diss. ... kand. iskusstvovedeniya. Tyumen, 19 p. (In Russian).
6. Reshetnikova, N. V. (1977). *Planirovka i zastroyka sel'skikh naselennykh mest. Malye formy v arkhitekture sela*. Moscow, Gosudarstvennyy komitet po grazhdanskomu stroitel'stvu i arkhitekture pri Gosstroie SSSR Publ., 26 p. (In Russian).
7. Kolchinskiy, Yu. L., Demishkevich, G. M., Karpova, I. M., & Shilova, E. P. (2008). *Sel'skiy turizm: opyt, problemy, perspektivy razvitiya v Rossii*. Moscow, "Stolichnaya tipografiya" Publ., 72 p. (In Russian).
8. Shakirova, E. N. (2013). Razvitie sel'skogo turizma v Rossii. *Ekonomicheskaya nauka i praktika: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*, February 20-23. Chita, Izdatel'stvo Molodoy uchenyy Publ., pp. 110-112. (In Russian).
9. Naraykina, V. V. (2021). K probleme sokhraneniya i ispol'zovaniya pamyatnikov arkhitektury derevyannogo zodchestva Zaural'ya. *Energoberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: Materialy Natsional'noy s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 65-letiyu Tyumenskogo industrial'nogo universiteta*, October 27-29. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp.107-110. (In Russian).

Сведения об авторах

Черноусова Юлия Владимировна, бакалавр, выпускник кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, e-mail: yulia.chernousova1@gmail.com

Федоров Андрей Николаевич, доцент кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, e-mail: fedorovan@tyuiu.ru

Information about the authors

Julia V. Chernousova, Bachelor, Graduate at the Department of Architectural Environment Design, Industrial University of Tyumen, e-mail: yulia.chernousova1@gmail.com

Andrey N. Fedorov, Associate Professor at the Department of Architectural Environment Design, Industrial University of Tyumen, e-mail: fedorovan@tyuiu.ru

Для цитирования: Черноусова, Ю. В. Проект музейно-этнографического комплекса как инструмент развития сельских территорий (на примере села Усалки Тюменской области) / Ю. В. Черноусова, А. Н. Федоров. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-6-24. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 6–24.

For citation: Chernousova, J. V., & Fedorov, A. N. (2022). The project of museum and ethnographic complex as a tool for the development of rural areas (using the example of the village Usalka, Tyumen region). *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 6-24. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-6-24.

ПРАВОСЛАВНЫЕ ХРАМЫ С МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРОЙ БОГОСЛУЖЕБНОГО ПРОСТРАНСТВА

С. В. Борисов, Н. А. Коротаев
Московский архитектурный институт (Государственная академия),
Москва, Россия

ORTHODOX CHURCHES WITH A MULTI-LEVEL STRUCTURE OF THE LITURGICAL SPACE

Sergey V. Borisov, Nikolay A. Korotaev
Moscow Institute of Architecture (State Academy),
Moscow, Russia

Аннотация. В статье исследована история и современность православных храмов с многоуровневой структурой богослужебных пространств. Определен метод храмового зодчества, заключающийся в привнесении актуальных составляющих светских творческих концепций для выражения истин христианства через интерпретацию традиции. Впервые для исследования выделена типологическая группа христианских храмов с богослужебными пространствами, расположенными в различных уровнях при их визуальном объединении. Разработана типология изученных исторических пространственных решений. Предложено современное понимание развития традиции многоуровневой структуры богослужебных помещений с привлечением понятия архитектурного пространства. Разработаны композиционные схемы храмов, определяющиеся: размещением приделов или галерей в раз-

Abstract. This article explores the history and modernity of orthodox churches with a multi-level structure of liturgical spaces. The authors have defined a method of temple architecture, which consists in introducing relevant components of secular creative concepts to express the truths of Christianity through the interpretation of tradition. For the first time, the authors have identified for research a typological group of Christian churches with liturgical spaces located at various levels with their visual unification. A typology of the studied historical spatial solutions have developed. A modern understanding of the tradition development of the multi-level structure of liturgical premises involving the concept of architectural space have proposed. There were developed the compositional schemes of churches: the placement of chapels or galleries at different levels relative to the main liturgical space; the creation of a unified multi-level liturgical space

личных уровнях относительно основного богослужебного пространства; созданием единого ярусного богослужебного пространства с понижением к алтарю; пространственной системой полуподземной крипты и алтаря.

Ключевые слова: православие, архитектура храмов, теология, богослужебное помещение, архитектурное пространство

Введение

Преодоление разрыва религиозной и светской составляющих в христианском обществе и искусстве

Тематика статьи направлена на расширение представлений о композиционных решениях православных храмов. По прошествии более трех десятилетий с возобновления церковного зодчества в России представляется очевидным разрыв между доминирующей традиционалистской тенденцией и немногочисленными и не вполне удачными попытками формообразования с опорой на текущие творческие концепции. Рассмотрим характер противоречий между религиозным и светским пониманием искусства для уточнения вектора развития отечественной церковной архитектуры, связанного с преодолением охранительно-изоляционистской тенденции при сохранении собственной идентичности.

Архитектура и искусство русского православия обладают неоспоримой идентичностью, сохранившейся на протяжении более тысячи лет, несмотря на активное взаимодействие с отечественной и мировой светской культурой [1]. Иного не могло быть – Церковь, именуемая католической или всемирной, – не изолированная структура, но открытая обществу, является, по бесспорному убеждению христиан, его неотъемлемой и основополагающей частью. Понятие о неслитном и нераздельном соединении божественной и человеческой природы Спасителя, очевидно, проецируется на прямую и обратную связи религиозной и светской составляющих общества [2]. Для средневековой Западной Европы, сформированной и определяемой именно хри-

with a descent to the altar; the spatial system of the semi-underground crypt and the altar.

Key words: orthodoxy, temple architecture, theology, liturgical premises, architectural space

стианством как историческое, государственное и культурное образование, характерна общность церковного и мирского. Сказанное было верно и для России, причем в тем большей степени, чем очевиднее отсутствие ярко выраженной дохристианской культуры в материальных объектах, в отличие от Европы, сохранившей устойчивую генетическую память об искусстве античного язычества. Последнее, в силу сложного комплекса религиозно-философских и общественно-политических факторов, на определенном этапе позднего европейского Средневековья явилось одной из причин не единовременной, но радикальной смены культурной парадигмы с отказом от большинства бесспорных достижений средневекового, органично развивавшегося искусства.

Наметившийся отрыв от религиозности философско-культурной составляющей Возрождения вместо ожидаемой свободы принес невиданные в прежние столетия упорядоченность и регламентацию в творчестве. Причина видится в различии понимания христианских и светских ограничений, базирующихся на законодательной основе, а в области искусства – на корпоративном, близком к сектантскому, безусловном принятии системы ценностей [3]. Тогда как реализуемая Церковью система ограничений, на разрушение которой исторически направлены немалые усилия, влияет на все стороны человеческой жизни опосредованно, через духовную составляющую, свободное волеизъявление к принятию христианской веры. Справедливости ради отметим, что в западных Церквях, а позднее и в русском православии, имела тенденция к привнесению светского, законодательно

оформленного утверждения вероучения, что, очевидно, явилось одной из веских причин успеха в разрушении неслитного и нераздельного соединения религиозной и светской составляющих общества.

Примечательно, что именно в период европейского Возрождения возникли или, скорее, вышли на первый план противоречия, основанные на принятии или непринятии светских философско-культурных концепций, разделившие некогда единое христианское общество на именуемых просвещенными и необразованными, передовыми и отсталыми, современными и несовременными. Общности членов Христианской церкви, консервативной в силу соборности и утверждения неизменных догматов веры, обращенности к историческому прошлому времен Боговоплощения, присваивались характеристики отсталости. Раскол в обществе нашел причину в соблазне считаться образованным, передовым, культурным и просвещенным с опорой именно на нерелигиозное понимание вопроса, что представлялось легко достижимым по сравнению с многотрудным и принципиально отличающимся по направленности христианским делом. Указанный раскол прошел сквозь века европейской и позднее на несколько столетий российской истории, способствуя нивелированию христианства с последующими катастрофическими последствиями во всех областях человеческой жизни.

Сказанное об упразднении неслитного и нераздельного соединения религиозного и светского в области церковного искусства и архитектуры в частности привело к нивелированию ее идентичности в западно-христианских Церквях, пытавшихся безуспешно, как стало ясно по прошествии столетий, возглавить процесс непрерывного обновления творческих концепций или следовать ему. Для русского православия, к началу XX века успешно справившегося с задачей включения в мировой общекультурный процесс при сохранении собственной неповторимости и утратившего бесспорные былые достижения во времена гонений, характерны иные проблемы взаимодействия с отечественным радикально нерелигиозным светским искусством. Учитывая

открытость католической Церкви обществу, целью отечественного церковного искусства является синтез утвердившейся в настоящее время преимущественно охранительно-изоляционистской направленности с составляющими светских творческих концепций XX–XXI веков, непротиворечивых по отношению к христианской вере.

Объект и методы исследования с опорой на понятие пространства

Для привносимых в храмовое зодчество светских направлений искусства актуален поиск наиболее существенной составляющей, лежащей в основе радикального обновления методик архитектурного проектирования начала XX века. Значимыми являются привлекательность и общедоступность понимания синтеза традиций церковной архитектуры и составляющих светских творческих концепций как профессиональным сообществом, так и условными пользователями [4]. К ним отнесем духовенство и мирян, а также всех членов общества, для которых заинтересованное, удовлетворяющее интеллектуальные и эстетические запросы деятельное восприятие религиозного объекта сможет стать своего рода проводником к православной вере.

Здесь неминуемы возражения, связанные с применением очевидно «поверхностных» побудителей, привлекающих к Церкви. Эти возражения имеют реальную подоплеку с учетом негативного опыта западно-христианских конфессий, в том числе католиков, закрепивших религиозную свободу в решениях Второго Ватиканского собора (Ватикан, 1962–1965 годы). Попытки вернуть Церкви остывающие чувства верующих путем привнесения в храмовые постройки привлекательных на различных этапах истории внешних характеристик, как то: гигантизм габаритов, безукоризненность и логика геометрических построений, декоративная насыщенность, яркость художественных образов, свобода формообразования – сами по себе показали безрезультативность в западно-христианском мире и России синодального периода.

В противовес сказанному вспомним Святого преподобного Ефрема Сирина, одного из «стол-

пов» Церкви первых веков христианства [5]. Своего рода литературным «творческим методом» преподобного было изложение духовно-философских и богословско-полемических сочинений в стихотворной форме, общепринятой, понятной современникам и оттого привлекательной для слушателей. Более того, полемизируя с одним из философов-гностиков, успешно внедрившим в общество учение, искажающее догматы христианской веры, Ефрем Сирийский принял для своей полемики стиль и размер сочинений оппонента. Обоснование преподобного заключалось в логическом построении: если читателю интересен художественно-выразительный стиль изложения ложных воззрений, то тем более привлекательна будет истина, облеченная в аналогичную форму. Здесь, очевидно, проясняется причина различия судеб вневременного характера творений древнего святого и многих неудач церковной архитектуры Нового и Новейшего времени: привнесение каких бы то ни было концепций творчества в любые области религиозного искусства оправдывается только целью утверждения истин христианства.

Основы веры [6], прославляемые, обосновываемые и защищаемые христианскими святыми, формально не проявляются в материальных объектах, в том числе в архитектуре. Попытки примитивно-геометризованного осознания символики, толкования и изображения догматов подвергались соборному осуждению восточно-христианских Церквей. Представляется, что аналогично вневременным творениям святых критерий выражения истин христианства в храме проверяется не одновременно, но непреходящим пониманием поколениями зодчих значимости объекта, проверенным столетиями принятием его архитектуры в качестве основы формирования традиции. Обобщая сказанное, актуальный метод в области храмового зодчества является привнесением в церковную архитектуру понятных современникам составляющих светских творческих концепций для выражения истин христианства через изучение, продолжение и интерпретацию традиции.

Понятием первостепенной значимости для архитектуры является пространство. Ограничен-

ное в человеческом понимании пространство пещер Рождества и Гроба Господня, безграничное – Богоявления, Преображения и Вознесения. Архитектура христианского храма представляет воплощение непостижимой задачи: как в Вифлеемской пещере, его ограниченное пространство вмещает в себя безграничного Бога, вместе с тем внешними оболочками обозначает границы бескрайнего неба над горами Фавор или Елеонской. Созданное человеком трехмерное искусственное пространство, имеющееся во всех без исключения сооружениях и их комплексах, стало доминировать как самостоятельный объект творчества в архитектурных концепциях с первых десятилетий XX века. Понятие пространства, общедоступное для понимания и определившее развитие светской в своей основе архитектуры прошедшего столетия, очевидно, является актуальным для попытки синтеза с охранительно-изоляционистской направленностью отечественного церковного зодчества [7].

Пространство христианских храмов, как традиционное, соответствующее двум тысячелетиям истории, так и современное западноевропейское, отличающееся свободой формообразования, является чрезвычайно обширной темой. В настоящей работе, рассматривающей православное зодчество, впервые определим для исследования типологическую группу храмов с размещением наоса (кафоликона), приделов, притвора, галерей в различных планировочных уровнях при их пространственном объединении. Используем термин «богослужбное помещение (пространство)», применяемый в действующих нормативных документах, который, несмотря на некоторую формальность, успешно объединяет все части храма, предназначенные для нахождения в них верующих во время церковных служб.

Методика работы основывается на привлечении понятия архитектурного пространства для исторического осмысления и развития традиции православных храмов с многоуровневой структурой богослужбных помещений. Объект исследования – православный храм с богослужбными пространствами, расположенными в различных уровнях при их визуальном объ-

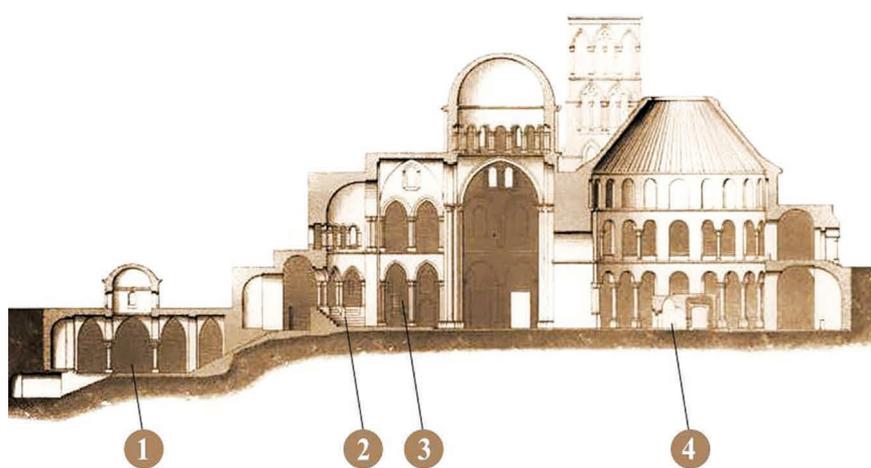
единении. Предмет – интерпретация и развитие традиции многоуровневой структуры богослужбных помещений. Экспериментальное проектирование по указанной тематике проведено в рамках курсовых работ кафедрой храмового зодчества Московского архитектурного института в 2020–2021 годах.

Экспериментальная часть

Многоуровневые богослужбные пространства в истории христианского зодчества

Традиция расположения богослужбных пространств христианского храма в различных уровнях восходит к наиболее ранним по времени возникновению и наиболее значимым святыням, связанным с Рождеством и Воскресением Христовым. Первые христианские храмы на Святой земле возводились над сакральными объектами, расположенными на выраженном рельефе, что послужило причиной изначального

существования в них различных планировочных уровней [8–10]. Храм Воскресения в Иерусалиме (рис. 1а) в своем существующем виде, сформировавшемся в IV–XII веках, объединяет пещеру Гроба Господня, Голгофу и место обретения Животворящего Креста Святой равноапостольной Еленой, что до настоящего времени является наиболее развитой многоуровневой структурой богослужбных пространств¹. Планировочные решения святыни оказали колоссальное влияние на христианскую архитектуру: ротонда многократно воспроизводилась вполне дословно в раннехристианских центрических храмах или баптистериях, ее аналоги нередки в алтарных частях романских церквей, деамбулаторий с двумя экседрами вокруг западного сегмента ротонды повторялся и усложнялся в европейских паломнических храмах. Однако применение многоуровневого пространства не образовало устойчивую традицию.



а)



б)

Фото С. В. Борисова

Рис. 1. Раннехристианские храмы как прообразы многоуровневой структуры богослужбных пространств:
а) Храм Воскресения Господня в Иерусалиме (продольный разрез)²: 1) приделы Святой Елены и обретения Креста, 2) синтрон, 3) Голгофская скала, 4) Кувуклия;
б) Базилика Святого Амвросия Медиоланского, Милан: алтарная часть с Престолом и пресбитерием, поднятая на аркаду над криптой (в средней части рисунка)

¹ В реконструкциях первоначального комплекса IV в., характеризующихся гипотетичностью, Голгофа включается в объем базилики или располагается вне храма.

² За основу рисунка взята иллюстрация из книги: Willis, R. The Architectural History of the Church of the Holy Sepulchre at Jerusalem / R. Willis. – Whitefish : Kessinger Publishing, 1849. – 180 p. – Direct text.

Несколько иначе сложилось развитие пространственного решения базилики в Вифлееме (VI–VII вв.). Включение в храм пещеры Рождества Христова, расположенной в половине планировочного уровня относительно основного пола базилики, определило значительное возвышение восточной части нефа с алтарем, находящимся непосредственно над подземными святынями. Нижний и верхний храмы связаны комплексом полукруглых и маршевых лестниц. Указанное решение, вместе с традицией совершать литургию на мощах святых мучеников, произошедшей от катакомбных христианских общин, определило на многие столетия устойчивое композиционное решение алтарной части многих западно-христианских храмов. Полуподземная крипта, вход в которую устраивался с севера, юга или по основной продольной оси базиликального храма, располагалась ниже возвышающегося над основным уровнем пола алтарем с пресбитерием, также приподнятым (рис. 1б). В крипте находились открытые для поклонения мощи святых, непосредственно над которыми в верхнем планировочном уровне возвышался престол. Иногда крипта являлась входом в подземные катакомбы с захоронениями³. В византийской традиции алтарная апсида, незначительно приподнятая над уровнем пола храма, по восточному полукругу дополнялась многоярусным синтроном⁴, развитым горним местом. Близким по композиции решением, но вынесенным в главный неф и обращенным к алтарю, являлась ви́ма в ранних сирийских храмах. Отметим, что из многоярусных богослужебных пространств, имевшихся в древнейших храмах на Святой земле, получили

устойчивое развитие композиционные решения, относящиеся к структурным составляющим алтарной части.

Иным направлением введения дополнительных планировочных уровней являются хоры, образующие открытое в основной храм пространство. Хоры в зависимости от композиции объекта устраивались: с круговым обходом в баптистериях, с круговым обходом разомкнутые над алтарной частью в центрических храмах; в северной, южной или только западной частях базилик (купольных базилик) и крестово-купольных построек [8, 9]. Заменявшие в определенное историческое время амвон в западных Церквях кафедры для проповедей вряд ли стоит рассматривать как элемент многоярусного пространства из-за их локального характера.

В русской традиции храмового зодчества алтарь с солеей, исторически незначительно поднятые над основным полом храма, составляют с ним единое пространство, без введения дополнительного, явно читаемого уровня. Характерным элементом многоярусных пространств для отечественного церковного зодчества являются хоры, устраивавшиеся – начиная с домонгольских, развивающих византийскую традицию храмов вплоть до синодальных времен – в барочных, классицистических объектах, постройках, относящихся к историзму или модерну. Развитием традиции стало устройство на хорах часовен или храмов-приделов, что имело место при перестройке в XVI веке Благовещенского собора в Московском Кремле⁵, в Никольской церкви⁶ XVII века села Николо-Урюпино Московской области [11], в образцовых проектах храмов архитектора А. К. Тона⁷.

³ Базилика Санта-Мария-делла-Санита над раннехристианскими Катакомбами Сан-Гаудиозо в Неаполе.

⁴ В церкви Святой Ирины в Константинополе (532 г.) под верхними ярусами синтрона устроен кольцевой проход.

⁵ Четыре придела над галереями первого уровня связаны проходом по открытой галерее. С внутренним пространством собора приделы объединены только оконными проемами.

⁶ Два западных придела возведены над крытой папертью, проход к ним – по лестнице внутри западной стены.

⁷ Решение реализовано в сохранившейся Троицкой церкви г. Яранска, построенной по образцовому проекту Екатеринбургской церкви в Екатерингофе архитектора А. К. Тона.



а)



б)

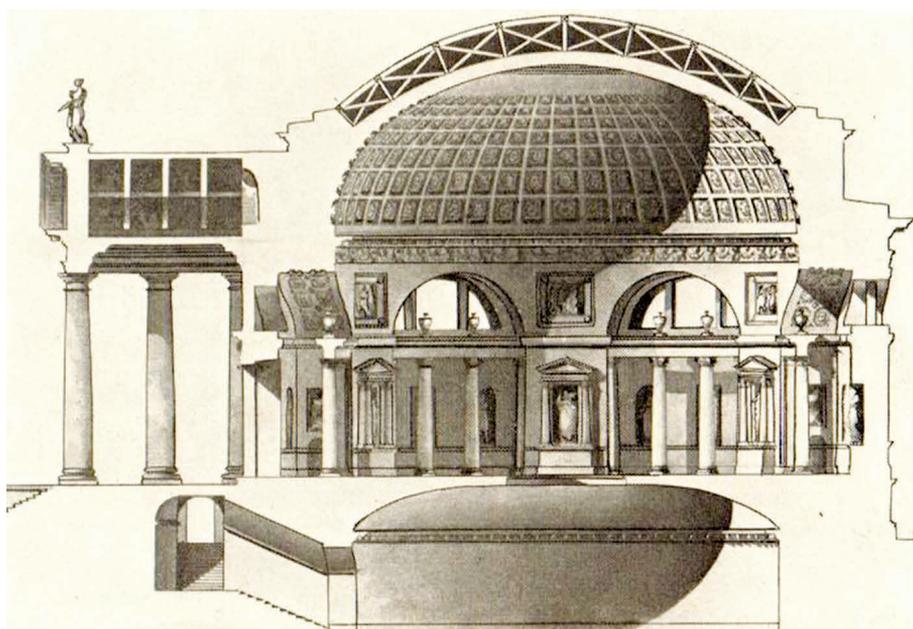
Фото С. В. Борисова

Рис. 2. Преображенский храм в Спасо-Вифанской обители близ г. Сергиева Посада Московской области: а) общий вид с севера; б) внутреннее пространство с нижним приделом воскресения Святого праведного Лазаря

Упомянем про известный проект патриарха Никона в Новом Иерусалиме вблизи подмосковной Истры (XVII–XVIII вв.). В главном Воскресенском соборе повторено многоуровневое богослужбное пространство палестинской святыни: кувуклия Гроба Господня, Голгофский возвышенный придел, подземный храм царицы Елены, многоярусное горнее место – синтрон [11]. Аналогично своему первообразу планировочное решение Новоиерусалимского собора оказало существенное влияние на русскую храмовую архитектуру, тогда как расположение богослужбных пространств в различных уровнях при их зрительном объединении не нашло дальнейшего развития. Едва ли не единственным примером построения многоуровневых богослужбных пространств на основе символического отображения палестинских святынь является удивительный Преображенский храм в Спасо-Вифанской обители близ г. Сергиева Посада (рис. 2), задуманный и реализованный митрополитом Платоном (Левшиным) в 1780-х годах. Овальный в плане объем храма в своей восточной части

разделен на два этажа – в нижнем уровне, решенном в виде декоративной пещеры, расположен придел воскресения Святого праведного Лазаря, над ним – храм Преображения Господня. Пространство объекта читается как двухсветное, частично разделенное на уровни, где нижний придел отделен имитацией вертикальной скалы, украшенной растительностью, а к верхнему храму ведут две открытые лестницы. Подобное решение можно считать развитием схемы расположения возвышенного алтаря над криптой без ее заглибления относительно основного уровня пола, примененного, в отличие от значительных по габаритам базилик, в небольшом камерном пространстве.

Для отечественной церковной архитектуры характерным приемом являлось строительство храмов как на подклетах, не имевших богослужбного значения, так и возведение холодной летней церкви над нижней – зимней, отапливаемой. Указанное решение при многочисленности и разнообразии примеров его реализации выходит за рамки настоящей работы ввиду отсутствия



а)



б)

Фото С. В. Борисова

Рис. 3. Пространственное объединение нижнего и верхнего храмов, расположенных в едином объеме (русский классицизм): а) проект храма Александра Невского для г. Саратова в честь участия ополченцев Саратовской губернии в войне 1812 года⁸; б) Усыпальница Тутолминых в Троицкой соборной церкви Успенского монастыря, г. Старица Тверской области, 1819 год

пространственной взаимосвязи уровней. Однако упомянем один из оригинальных примеров подобной композиции – Воздвиженский храм в г. Коломне Московской области [12]. В едином ротондальном объеме размещены главный храм и придел над ним, разделенные купольным сводом. Оригинально решен проход в придел по открытой галерее, расположенной на крыше притвора и связанной с лестницей в колокольне. Предположим, что подобная композиция соотносится с посвящением храма Воздвижения Креста Господня и прообразом палестинской подземной церкви Обретения Креста Господня, в качестве которой можно трактовать основной нижний объем.

В начале XIX века предпринимались попытки пространственного объединения нижнего

и верхнего храмов, расположенных в едином объеме. Таковы проекты храмов Христа Спасителя в г. Москве и Александра Невского в г. Саратове архитектора Д. Кваренги (рис. 3а), спроектированных вскоре после окончания войны 1812 года и являвшихся монументами в честь победы в ней [13]. Аналогичное композиционное решение имеется в Троицкой соборной церкви Успенского мужского монастыря в г. Старице Тверской области (1819 год). Усыпальница Тутолминых, расположенная в подклете, объединена с основным богослужебным уровнем обширным круглым отверстием в своде, что образует двухсветное пространство (рис. 3б). Имеется свидетельство о решетчатом деревянном помосте в полу над братским склепом мемориального храма-памятника воинам, павшим при взятии

⁸ Иллюстрация из книги: Пиляровский, В. И. Джакомо Кваренги. Архитектор. Художник / В. И. Пиляровский. – Ленинград : Стройиздат, 1981. – 212 с. – Текст непосредственный.

Казани в 1552 году, архитектора Н. Ф. Алферова⁹. Интересно и необычно двухсветное пространство, возникшее при перестройке в середине XIX века московской Церкви Антипия на Колымажном дворе. В подклете южного придела храма устроена овальная колоннада, поддерживающая ограниченный балясником проем в полу основного богослужебного уровня.

Рассмотренная кратко, насколько позволяет формат статьи, традиция многоуровневых богослужебных пространств в христианских храмах [14, 15] обосновывает уместность подобных решений, обогащающих церковную архитектуру. Отметим следующие типологические группы: пространственная «связка» полуподземной крипты и алтаря с престолом и пресбитерием; расположение приделов в уровнях выше (ниже) основного храма при их пространственном объединении; устройство проема второго света в перекрытии, отделяющем нижний храм (усыпальницу) от верхнего при их поэтажном расположении. Выявлены исторические объекты XVI–XVII вв.¹⁰, в которых имеется сквозной проход под вышележащими приделами с алтарными апсидами, устройство которого в настоящее время не рекомендуется нормативной литературой¹¹.

Результаты

Современное развитие традиции православных храмов с многоуровневой структурой богослужебных помещений

Создание храмов с развитой по вертикальной направляющей пространственной структурой являлось одной из задач, решавшейся обучающимися кафедры храмового зодчества

Московского архитектурного института при проектировании мемориальных комплексов на историческом месте битвы на реке Сить в Ярославской области, вблизи Аджимушкайских каменоломен в г. Керчи, на территории исторического поселения Лисри в Южной Осетии. Рассмотрим ряд проектов, скомпонованных в зависимости от общности направлений устройства многоуровневого богослужебного пространства.

Храмы с приделами или галереями, размещенными в половине планировочного уровня относительно основного богослужебного пространства. В проекте собора в деревне Лопатино на предполагаемом месте гибели святого благоверного князя Георгия на реке Сить (рис. 4) разработан образ мемориального кургана традиционной конической формы.

Храмовая часть, значительно растянутая в направлении север–юг, объемно повторяет форму кургана, симметрично сокращаясь по высоте от своего геометрического центра. В решении внутренних пространств композиция объекта поддержана ступенчатым понижением уровней пола приделов относительно главного храма. Всего предусмотрено четыре пространственно объединенных полууровня, разграниченных только парапетами ограждений, что образует целостную динамичную композицию объекта. Функциональная схема поддерживается расположением молящихся, многочисленных в будничные дни на одном из планировочных уровней и занимающих по праздникам большую часть храма. Иное решение в проекте собора на указанном месте (рис. 5) образовано расположением галерей для Крестного хода, окружающих

⁹ Из упоминания, приведенного в работе Н. К. Баженова «Плавание к Зилантову монастырю и Казанскому памятнику», не вполне ясно, имелось ли пространственное объединение уровней верхнего храма и нижней усыпальницы.

¹⁰ Храмы-приделы, возведенные над галереями при перестройке в XVI веке Благовещенского собора в Московском Кремле; Храмы-приделы Никольской церкви XVII века села Николо-Урюпино в Подмосковье.

¹¹ СП 391.1325800.2017. Храмы православные. Правила проектирования = Orthodox temples. Rules of architectural design : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22 декабря 2017 г. № 1703/пр : дата введения 2018-06-23. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 37 с. – Текст : непосредственный.

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

с четырех сторон света основной храм и пониженных относительно него на половину этажа. Расположенные в уровне земли придел и храм-

кенотаф поддерживают композиционное решение, позволяющее пространственно выделить иерархию объемов.

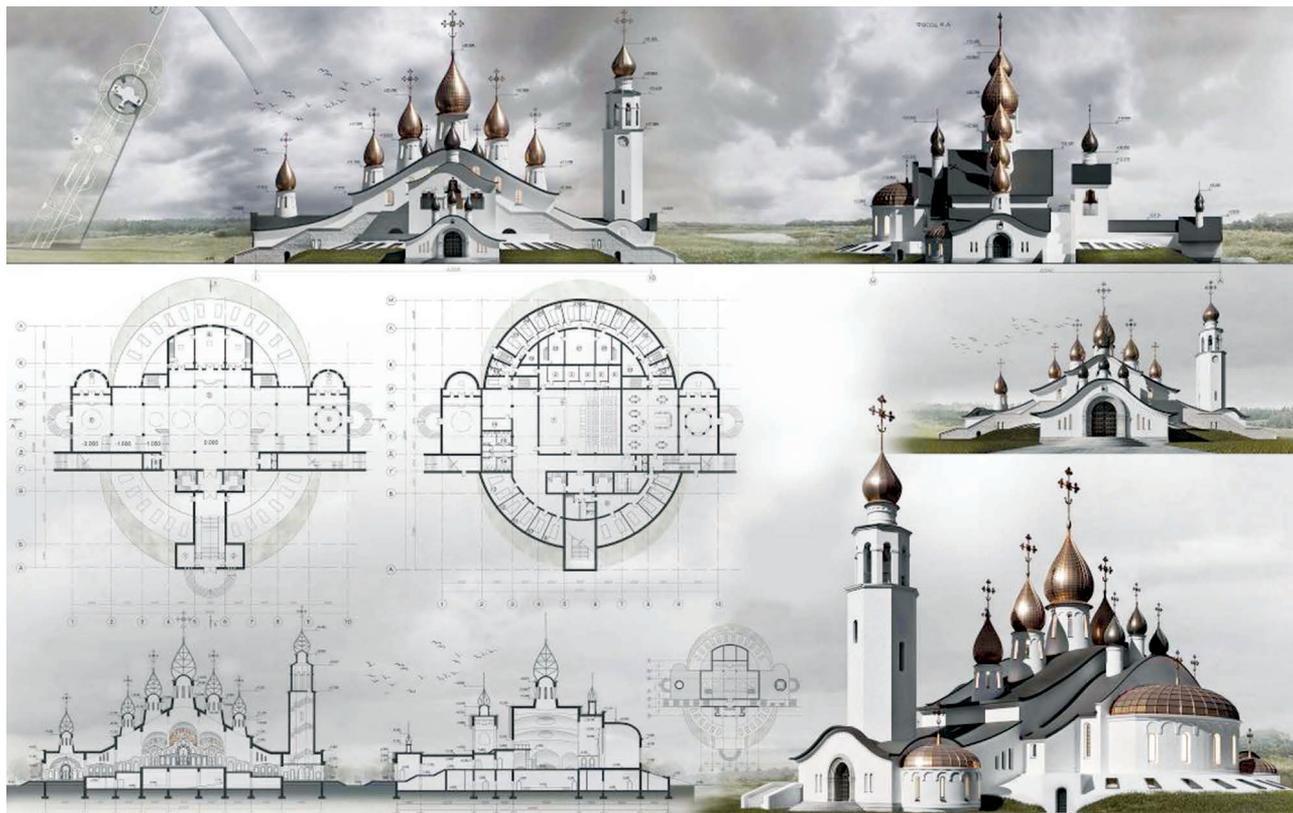


Рис. 4. Проект собора в с. Лопатино Ярославской области на реке Сить, автор Н. А. Иевлева¹²

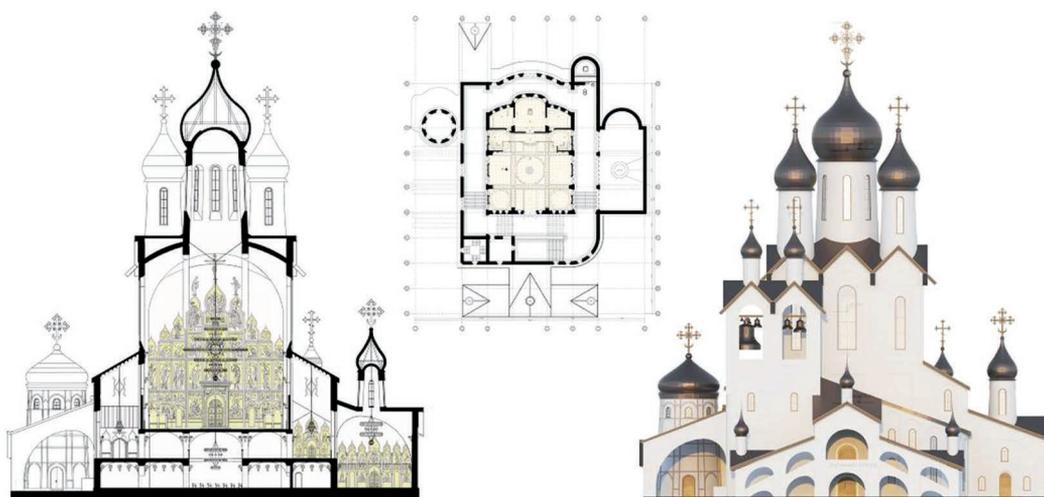


Рис. 5. Проект собора в с. Лопатино Ярославской области на реке Сить, автор Ф. В. Скусов

¹² На рис. 4–10 приведены проекты магистрантов кафедры храмового зодчества МАРХИ, руководители: С. В. Борисов, А. И. Макаров, Н. А. Петров-Спиридонов, Н. А. Коротаев, консультант по внутреннему убранству – В. И. Ивановская.

Храмы с единственным приделом, расположенным ниже основного уровня. Композиция проекта мемориального храма, расположенного в урочище Семеновское городище на реке Сить, обусловлена участком со значительно понижающимся уровнем рельефа (рис. 6). Вторя ему, придел расположен ниже основного уровня, связан с

ним маршевой открытой лестницей. Оба богослужбных пространства воспринимаются целостно и предназначены как для одновременного заполнения молящимися, так и для отдельных режимов эксплуатации объекта при малом числе посетителей. В проекте приходского комплекса вблизи Аджимушкских каменоломен в г. Керчи (рис. 7)

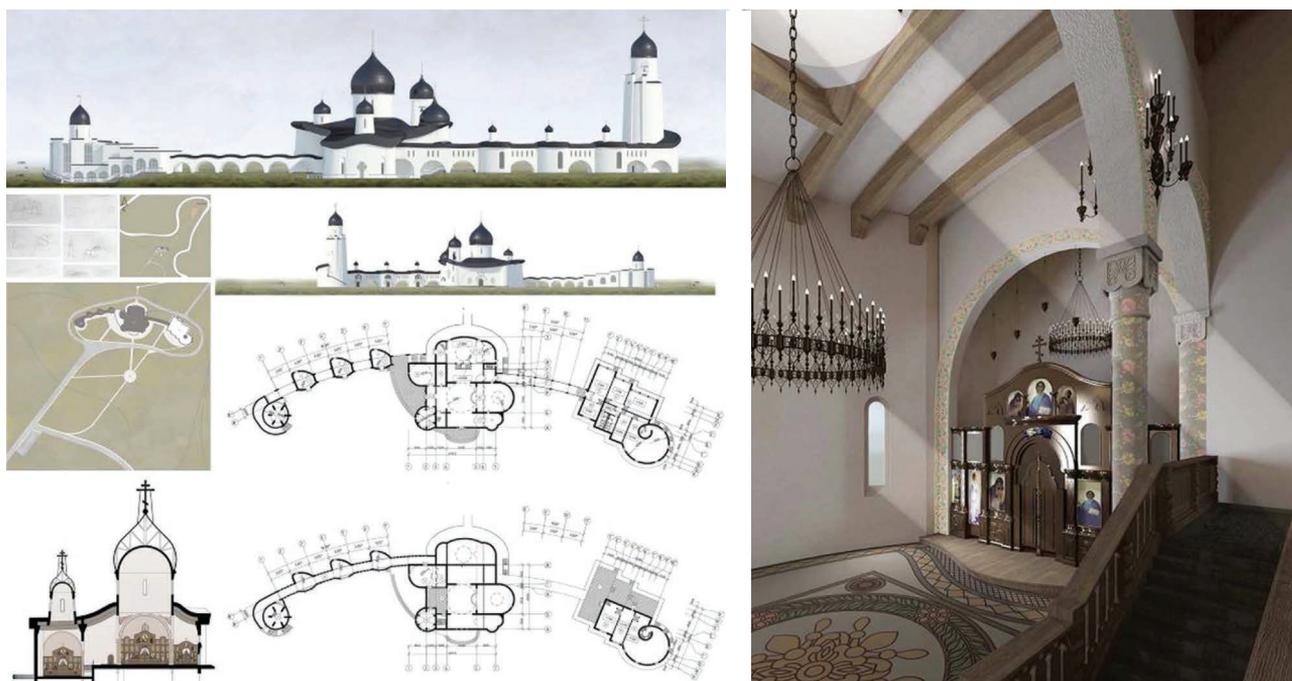


Рис. 6. Проект собора в урочище Семеновское городище на реке Сить, автор К. А. Васина



Рис. 7. Проект приходского комплекса вблизи Аджимушкских каменоломен в г. Керчи, автор К. В. Бабак

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

предусмотрен полноценный уровень стилобата, на котором находится придел, пространственно объединенный с главным храмом, находящимся на основном этаже.

Храм с приделами, расположенными в различных уровнях выше основного этажа. Проект мемориального собора в деревне Лопатино на р. Сить представляет башенную композицию храма «под звоном» (рис. 8)¹³. Центральный ротондальный объем окружен повторяющей его очертания лестницей, связывающей все уровни, на которых расположены приделы. Выше купольного свода лестница выходит на ярус звона. Всего имеется пять уровней приделов, открытых в основное пространство арочными проемами. Вы-

сотное размещение приделов в связи с кольцевой лестницей обуславливает оригинальное спиралевидное развитие объемно-пространственной композиции объекта.

Храм с единым ярусным богослужебным пространством. Ярусное понижение богослужебного пространства по направлению к алтарной части, образующее аналог амфитеатра, не встречается в православном храмовом зодчестве. Указанное решение характерно для определенного круга церквей протестантских деноминаций, приближающихся, учитывая расположение молящихся сидя на скамьях, к светским зрительным залам. К соображению об уместности в православном зодчестве развития ярусного богослу-

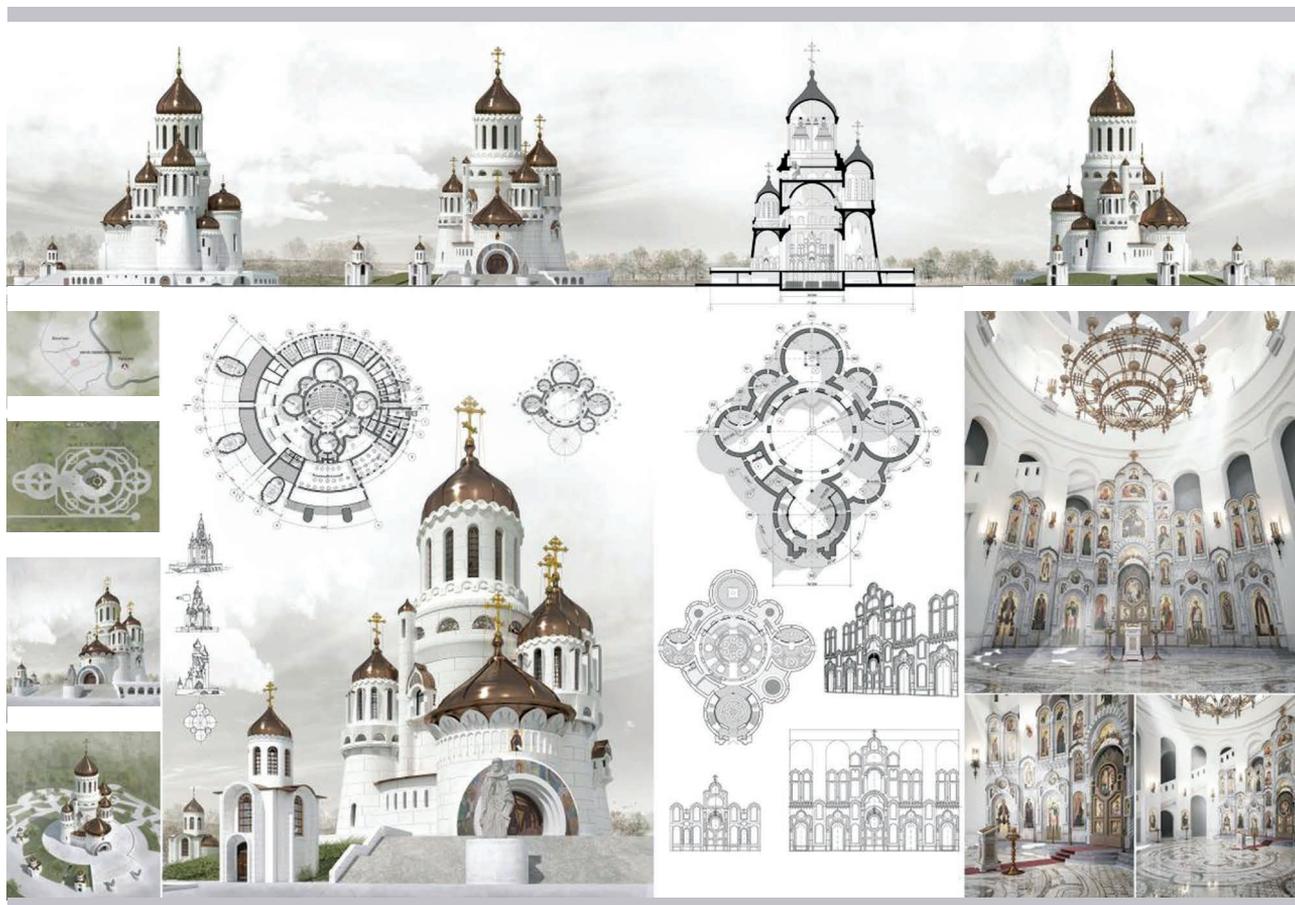


Рис. 8. Проект собора в с. Лопатино Ярославской области на реке Сить, автор О. Р. Ойтов

¹³ Храм с расположением колокольни над основным богослужебным пространством иначе называется «под колоколами».

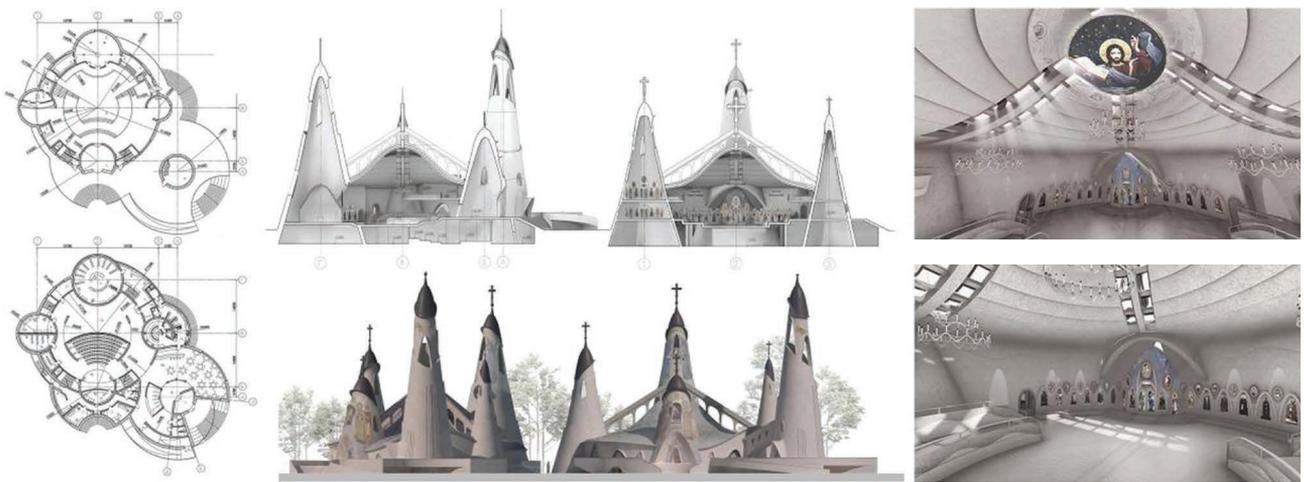


Рис. 9. Проект собора в урочище Семеновское городище в Ярославской области на реке Сить, автор А. Пангилинан

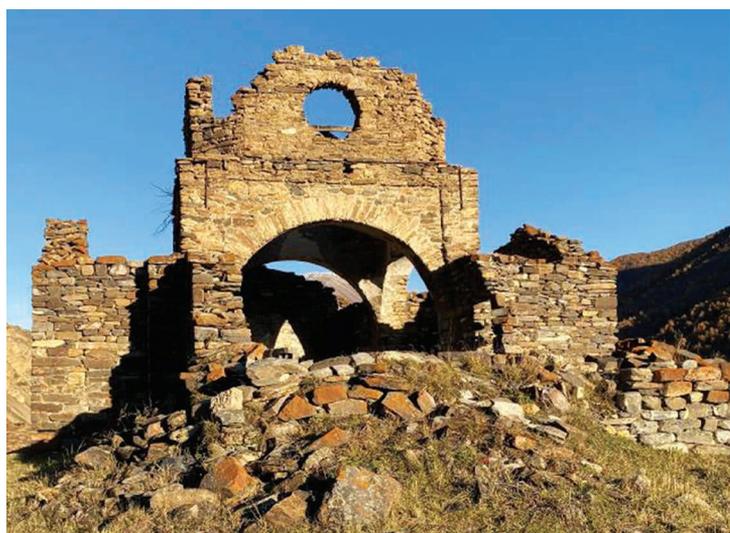
жебного пространства авторов привел практический опыт, связанный с проектированием и наблюдением за эксплуатацией храма Александра Невского близ поселка Княжье озеро в Московской области [16]. Приделы, расположенные в подклете, снабжены в западной части обширным по площади уровнем, возвышающимся над полом более чем на метр, что обусловлено удобством устройства эвакуационных выходов. В процессе эксплуатации храма отмечено, что на повышенном уровне располагается значительное число молящихся, для которых улучшается восприятие богослужения. Отметим, что нахождение прихожан на уровне, превышающем алтарь с солеей, не вызвало нареканий духовенства. Сказанное определило одно из направлений поиска композиционных решений богослужбных пространств, реализованное в проекте собора в урочище Семеново городище на реке Сить (рис. 9). В нем наос решен в виде амфитеатра, разделенного по высотной составляющей на три уровня, ступенчато понижающихся к алтарной части. Уровни связаны открытыми маршевыми лестницами. Принятое архитектурное решение улучшает восприятие богослужения при заполнении молящимися крупного по габаритам собора. Для подходящих к амвону людей предусмотрены дополнительные лестницы в южной части храма.

Храм с двухсветным пространством, разделенным в восточной части на два этажа. Реше-

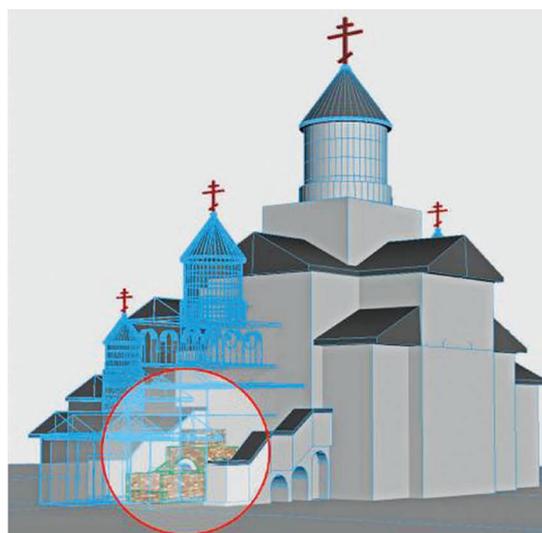
ние богослужбных пространств в проекте монастырского собора в поселке Лисри в Северной Осетии обусловлено возведением нового храма над руинами древней церкви, располагающейся на нижнем планировочном уровне (рис. 10). С северной и южной сторон исторической постройки во внутреннем пространстве нового объекта размещены лестницы, ведущие на второй уровень, размещенный к востоку основного храма. В западной части нижнего уровня, в консервируемых руинах и к востоку от них, как и на втором этаже, расположено богослужбное пространство с алтарем. Разработанное решение близко к размещению алтаря над криптой в базиликах или к упомянутому Преображенскому храму Спасо-Вифанского монастыря.

Выводы

В настоящей статье разработано одно из направлений, способствующее расширению представлений о композиционных решениях православных храмов. Оно связано с выделенной впервые для исследования типологической группой храмов, в которых богослужбные пространства расположены в различных планировочных уровнях при их визуальном объединении. Определен метод храмового зодчества, состоящий в привнесении в церковную архитектуру актуальных составляющих светских творческих концепций для выражения истин христианства



а)



б)

Рис. 10. Проект монастырского храма в поселке Лисри в Северной Осетии, Мамисонское ущелье, автор О. Р. Ойтов: а) существующие руины исторического храма; б) включение исторического храма (выделен на рисунке окружностью) в новую постройку

через изучение, продолжение и интерпретацию традиции. История многоуровневых богослужebных пространств в христианских храмах подтверждает уместность подобных решений, обогащающих церковную архитектуру. Отмечена малочисленность и недостаточная изученность рассмотренной типологической группы храмов. Выявлена типология и предложена современная интерпретация традиции многоуровневой структуры богослужebных помещений с привлечением понятия архитектурного пространства. Разработано развитие композиционных схем храмов с многоуровневым богослужebным про-

странством: размещение приделов или галерей в полууровне относительно основного богослужebного пространства; размещение приделов в различных уровнях выше основного этажа храма; устройство единого ярусного богослужebного пространства с понижением к алтарю; применение пространственной «связки» полуподземной крипты и алтаря. Объемно-пространственные композиции рассмотренных в статье проектов храмовых объектов являются оригинальными, впервые разработанными в рамках исследуемой тематики многоуровневых богослужebных пространств.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 21-011-44094 «Храмовое зодчество XXI века: теолого-педагогические подходы в архитектурном образовании».

Acknowledgement

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) in the framework of the scientific project No. 21-011-44094 «Temple architecture of the XXI century: theological and pedagogical approaches in architectural education».

Библиографический список

1. Швидковский, Д. О. Исторический путь русской архитектуры и его связи с мировым зодчеством / Д. О. Швидковский. – Москва : Архитектура-С, 2016. – 512 с. – Текст : непосредственный.

-
2. Сидоров, А. И. Святоотеческое наследие и церковные древности. Т. 1 : Святые отцы в истории Православной Церкви (работы общего характера) / А. И. Сидоров. – Москва : Сибирская Благовонница, 2011. – 432 с. – Текст : непосредственный.
 3. Борисов, С. В. Система ограничений в церковном зодчестве : из опыта проектирования московских храмовых комплексов / С. В. Борисов. – DOI: 10.24412/1998-4839-2021-4-245-268. – Текст : непосредственный // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2021. – № 4 (57). – С. 245–268.
 4. Объемно-пространственная композиция : учебник для вузов / А. В. Степанов, В. И. Мальгин, Г. И. Иванова [и др.]. – 3-е изд., стереотипное. – Москва : Архитектура-С, 2007. – 256 с. – Текст : непосредственный.
 5. Сиринов, Е. Молитва / преп. Ефрем Сиринов. – Москва : Сибирская Благовонница, 2016. – 700 с. – Текст : непосредственный.
 6. Дамаскин, И. Точное изложение православной веры / преп. Иоанн Дамаскин. – Москва : Сибирская Благовонница, 2010. – 476 с. – Текст : непосредственный.
 7. Борисов, С. В. Теолого-педагогический подход в учебном процессе кафедры «Храмовое зодчество» / С. В. Борисов, Н. А. Коротаев. – DOI: 10.24412/1998-4839-2021-3-363-378. – Текст : непосредственный // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2021. – № 3 (56). – С. 363–378.
 8. Кузнецов, А. В. Тектоника и конструкция центральных зданий. 1. [От античного мира по итальянское Возрождение] / А. В. Кузнецов. – Москва : Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1951. – 273 с. – Текст : непосредственный.
 9. Зубова, М. В. История Византии и Западной Европы. Средние века : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Архитектура» / М. В. Зубова ; под ред. Ю. Н. Герасимова. – Москва : Университетская книга, 2011. – 304 с. – Текст : непосредственный.
 10. Некрасов, А. И. Архитектура Истры и ее значение в общем развитии русского зодчества / А. И. Некрасов. – Текст : непосредственный // *Ежегодник музея архитектуры*. – 1937. – Вып. 1. – С. 9–51.
 11. Памятники архитектуры Московской области. Вып. 3 : Коломенский район, Красногорский район, Ленинский район, Лотошинский район, Луховицкий район, Люберецкий район, Можайский район, Город Лобня, Город Лыткарино : [иллюстрированный научный каталог] / под общ. ред. Е. Н. Подъяпольской ; Ком. по культуре Администрации Московской области, Центральные научно-реставрационные проектные мастерские М-ва культуры РФ. – Москва : Стройиздат, 1999. – 304 с. – Текст : непосредственный.
 12. Памятники архитектуры Московской области : [каталог в 2-х томах] / под общ. ред. Е. Н. Подъяпольской ; Упр. культуры Исполкома Мосооблсовета, Всесоюз. произв. науч.-реставрац. комбинат М-ва культуры СССР. – Москва : Искусство, 1975. – 376 с. – Текст : непосредственный.
 13. Кириченко, Е. И. Запечатленная история России. Монументы XVIII – начала XIX века. Книга 1. Архитектурный памятник / Е. И. Кириченко. – Москва : Жираф, 2001. – 352 с. – Текст : непосредственный.
 14. Борисов, С. В. К вопросу об исследовании подземной архитектуры христианства / С. В. Борисов, А. В. Рагулина. – DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-69-77. – Текст : непосредственный // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. – 2021. – № 11. – С. 69–77.
 15. Борисов, С. В. Архитектурно-композиционная символика и принципы проектирования храмовых комплексов в условиях горного рельефа / С. В. Борисов, В. В. Зверкова. – DOI: 10.47055/1990-4126-2021-3(75)-3. – Текст : электронный // *Архитектон : известия вузов*. – 2021. – № 3 (75). – URL: http://archvuz.ru/2021_3/3/ (дата обращения : 12.02.2022).
 16. Борисов, С. В. Архитектурные особенности действующих храмов, предназначенных для размещения объектов культурного наследия, переданных из музеев / С. В. Борисов. – Текст : непосредственный.

ственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 7 (54). – С. 28–33.

References

1. Shvidkovskiy, D. O. (2016). Istoricheskiy put' russkoy arkhitektury i ego svyazi s mirovym zodchestvom. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 512 p. (In Russian).
2. Sidorov, A. I. (2011). Svyatootecheskoe nasledie i tserkovnye drevnosti. T. 1: Svyatye ottsy v istorii Pravoslavnoy Tserkvi (raboty obshchego kharaktera). Moscow, Sibirskaya Blagozvonitsa Publ., 432 p. (In Russian).
3. Borisov, S. V. (2021). The system of restrictions in church architecture: from the experience of designing Moscow temple complexes. *Architecture and Modern Information Technologies*, 4(57), pp. 245-268. (In Russian). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-4- 245-268
4. Stepanov, A. V., Mal'gin, V. I., Ivanova, G. I., Kudryashev, K. V., Melodinskiy, D. L., Nesterenko, A. A., ... Sapilevskaya, I. P. (2007). *Ob'emno-prostranstvennaya kompozitsiya*. 3rd edition. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 256 p. (In Russian).
5. Sirin, E. (2016). *Molitva*. Moscow, Sibirskaya Blagozvonitsa Publ., 700 p. (In Russian).
6. Damaskin, I. (2010). *Tochnoe izlozhenie pravoslavnoy very*. Moscow, Sibirskaya Blagozvonitsa Publ., 476 p. (In Russian).
7. Borisov, S., & Korotaev, N. (2021). Theological and pedagogical approach in educational process of the department "Temple architecture". *Architecture and Modern Information Technologies*, 3(56), pp. 363-378. (In Russian). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-3-363-378
8. Kuznetsov, A. V. (1951). *Tektonika i konstruktsiya tsentricheskikh zdaniy*. 1. [Ot antichnogo mira po ital'yanskoe Vozrozhdenie]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo arkhitektury i gradostroitel'stva Publ., 273 p. (In Russian).
9. Zubova, M. V. (2011). *Istoriya Vizantii i Zapadnoy Evropy. Srednie veka*. Moscow, Universitetskaya kniga Publ., 304 p. (In Russian).
10. Nekrasov, A. I. (1937). *Arkhitektura Istry i ee znachenie v obshchem razvitii russkogo zodchestva. Ezhegodnik muzeya arkhitektury*, (1), pp. 9-51. (In Russian).
11. Pod'yapol'skaya, E. N. (eds). (1999). *Pamyatniki arkhitektury Moskovskoy oblasti. Vyp. 3: Kolomenskiy rayon, Krasnogorskiy rayon, Leninskiy rayon, Lotoshinskiy rayon, Lukhovitskiy rayon, Lyuberetskiy rayon, Mozhayskiy rayon, Gorod Lobnya, Gorod Lytkarino*. Moscow, Stroyizdat Publ., 304 p. (In Russian).
12. Pod'yapol'skaya, E. N. (eds). (1975). *Pamyatniki arkhitektury Moskovskoy oblasti*. Moscow, Iskusstvo Publ., 376 p. (In Russian).
13. Kirichenko, E. I. (2001). *Zapechatlennaya istoriya Rossii. Monumenty XVIII – nachala XIX veka. Kniga 1. Arkhitekturnyy pamyatnik*. Moscow, Zhiraf Publ., 352 p. (In Russian).
14. Borisov, S., & Ragulina, A. (2021). To the question of studying underground architecture of Christianity. *Bulletin of BSTU Named After V. G. Shukhov*, (11), pp. 69-77 (In Russian). DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-69-77
15. Borisov S. V., & Zverkova, V. V. (2021). Architectural and compositional symbolism and design principles of church complexes in mountainous terrains. *Architecton: Proceedings of Higher Education*, 3(75). (In Russian). Available at: [http://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-3\(75\)-3](http://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-3(75)-3) (date of the application: 12.02.2022).
16. Borisov, S. (2011). Architectural features of the functioning churches intended for the location of objects of cultural heritage transferred from museums. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 7(54), pp. 28-33. (In Russian).

Сведения об авторах

Борисов Сергей Владимирович, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой храмового зодчества, Московский архитектурный институт, e-mail: borisov-sv@inbox.ru

Коротаев Николай Александрович, доцент кафедры храмового зодчества, Московский архитектурный институт, e-mail: nikolyasarkozi@inbox.ru

Information about the authors

Sergey V. Borisov, Candidate in Architecture, Associate Professor, Head at the Department of Temple Architecture, Moscow Institute of Architecture, e-mail: borisov-sv@inbox.ru

Nikolay A. Korotaev, Associate Professor at the Department of Temple Architecture, Moscow Institute of Architecture, e-mail: nikolyasarkozi@inbox.ru

Для цитирования: Борисов, С. В. Православные храмы с многоуровневой структурой богослужебного пространства / С. В. Борисов, Н. А. Коротаев. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-25-41. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 25–41.

For citation: Borisov, S. V., & Korotaev, N. A. (2022). Orthodox churches with a multi-level structure of the liturgical space. Architecture, construction, transport, (1), pp. 25-41. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-25-41.

АСТ

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Уважаемые авторы и читатели!

Вы можете оформить подписку на журнал «Архитектура, строительство, транспорт» любым удобным для Вас способом:

- через электронный каталог «Пресса России» на сайте www.ppressa-rf.ru
- через интернет-магазин «Пресса по подписке» на сайте www.akc.ru



Адрес редакции:
625001, г. Тюмень,
ул. Луначарского, 2,
каб. 117
Тел.: (3452) 28-37-50

Подписной индекс журнала **79619**

МОДИФИКАЦИЯ ФИТОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

С. В. Максимова¹, Е. С. Коршикова², Е. И. Вялкова¹, А. М. Фугаева¹, А. А. Воронов¹

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² АО «Тюменская домостроительная компания», Тюмень, Россия

MODIFICATION OF PHYTOSORBENTS TO INTENSIFY THE TREATMENT OF WASTEWATER CONTAINING OIL PRODUCTS

Svetlana V. Maksimova¹, Elena S. Korshikova², Elena I. Vialkova¹,

Anastasia M. Fugaeva¹, Artem A. Voronov¹

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² JSC "Tyumen House-Building Company", Tyumen, Russia

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы, связанные с очисткой нефтесодержащих сточных вод. Использование растительного сырья для производства нефтесорбентов позволяет получить экономичный материал и решить проблему утилизации отходов производств. Поставлена задача поиска оптимальных методов модификации фитосорбентов с целью улучшения их характеристик. Приведено описание и представлены результаты эксперимента по модификации сорбентов с помощью микроволнового излучения и растворов лимонной и уксусной кислот. Для нативных и модифицированных образцов определены основные параметры сорбции – нефтеемкость, сорбционная емкость в статических и динамических условиях. Сформирован вывод о практическом применении исследуемых фитосорбентов в технологиях очистки сточных вод от растворенных нефтепродуктов.

Abstract. The article considers the main problems associated with the oily wastewater treatment. The use of vegetable raw materials for the production of oil sorbents makes it possible to obtain a cost-effective material and solve the problem of waste disposal. The task of searching for optimal methods of phytosorbents modification in order to improve their characteristics is posed. The authors give the description and present the results of the experiment on the modification of sorbents using microwave radiation and solutions of citric and acetic acids. There were determined the main sorption parameters for native and modified samples: oil capacity, sorption capacity under static and dynamic conditions. The conclusion about the practical application of the investigated phytosorbents in wastewater treatment technologies from dissolved oil products was made.

Ключевые слова: нефтепродукты, сорбция, фитосорбенты, интенсификация сорбции, сточные воды

Key words: oil products, sorption, phytosorbents, sorption intensification, wastewater

Введение

Топливная отрасль является основным направлением развития промышленности Тюменского региона. При этом нефтегазодобыча и переработка сырья – основные источники техногенного загрязнения окружающей среды [1]. Например, водоемы принимают колоссальную антропогенную нагрузку при сбросе неочищенных или плохо очищенных сточных вод, которые образуются на нефтепромыслах, нефтеперерабатывающих заводах, нефтебазах и других подобных промышленных объектах. Концентрация загрязнений источников воды в несколько раз превышает установленные предельно допустимые концентрации: в реке Обь – в 1,6 раза, в Пур – в 2,7 раза, в Иртыше – в 13,8 раза [2].

В воде нефтепродукты могут находиться в свободном, связанном и растворенном состояниях. Свободные крупнодисперсные нефтепродукты всплывают на поверхность воды и могут удаляться методом гравитационного отстаивания. Для удаления связанных мелкодисперсных загрязнений традиционно применяются различные способы флотации и коагуляции. Эффективность процессов очистки составляет более 70 %, при этом удается снизить концентрацию нефтепродуктов в воде до 20 мг/дм³. Для извлечения мелкодисперсных эмульгированных нефтепродуктов используется механическое фильтрование, которое позволяет сократить содержание загрязнений до 10 мг/дм³. Растворенные нефтепродукты считаются самыми сложными для извлечения из воды. Высокой эффективности можно добиться только при использовании дорогостоящих методов. Снижение концентрации веществ в сточных водах до 1 мг/дм³ и ниже возможно в процессе сорбции или мембранной очистки [3–5].

Сорбционное поглощение загрязнений из водных растворов – наиболее распространенный способ удаления остаточных нефтепро-

дуктов из поверхностных и производственных сточных вод. Традиционные сорбенты – активированные угли – обладают высокой сорбционной активностью, но весьма дороги для Тюменского региона из-за отсутствия местных месторождений [6]. Приемлемой заменой дорогостоящих углей считаются сорбенты на основе растительного сырья или фитосорбенты: торфы [6–7], отходы деревообработки (опилки, обрезки деревьев) [8–11], растения (мох, ягель) [12] и отходы сельскохозяйственного производства (рисовая шелуха, солома, мандариновые и кокосовые корки) [13–16].

Особый интерес вызывают отходы деревообработки. Основными лесобразующими породами в РФ являются хвойные, что связано с холодным климатом. Среди лиственных пород преобладает береза, древесина которой используется для производства шпона, фанеры, целлюлозы, декоративных изделий. По данным Росстата, количество отходов деревообрабатывающего производства выросло в 1,3 раза за 5 лет [17]. Наряду с этим, в задачи, решаемые коммунальными службами населенных пунктов, входит утилизация на свалках ТБО большого количества древесных отходов от опиловки городских насаждений [18]. Вторичное использование таких материалов позволит внедрить инновационные технологии очистки сточных вод и получить существенную экономию в хозяйственной деятельности предприятий.

Основной проблемой широкомасштабного внедрения сорбентов на растительной основе является их низкая по сравнению с активированными углями сорбционная емкость. Улучшение поглощающих свойств образцов достигается за счет применения различных модификаций. Традиционные способы – это промывка, пропаривание, обработка растворами кислот и солей в сочетании с нагревом, сжигание [6–8, 19]. Реже встречаются способы физического воздействия,

такие как микроволны, ультразвук и другие [14, 20–24]. Например, согласно опубликованным данным [6], простая промывка и сушка торфа позволяет увеличить сорбционную емкость по растворенным нефтепродуктам с 0,1 до 0,3–0,4 мг/г. При обработке торфа микроволнами [25] нефтепоглощение по сырой нефти возрастает до 2,5–2,7 г/г. Применяя модификацию, можно изменить водо- и нефтеемкость у мха и ягеля [12]. Модифицированные кислотой опилки ясеня улучшают свои сорбционные свойства на 43 % [8]. Обработывая микроволнами сосновые опилки, удалось достичь увеличения сорбционной емкости по нефтепродуктам в 3–4 раза [26].

В любом случае экономическая целесообразность применения той или иной модификации требует тщательного анализа с учетом дальнейшей утилизации отработанного сорбента растительного происхождения. После насыщения нефтепродуктами можно предложить дальнейшую сушку и использование загрузочного материала в качестве топлива.

Объект и методы исследования

В данной работе были исследованы образцы следующих материалов: опилки сосны (отходы деревообработки промышленного предприятия г. Тюмени), измельченные ветки клена, березы и тополя (отходы коммунальной службы г. Тюмени). Размеры фракций материалов – 0,5–2 мм. Все образцы тщательно промывались и высушивались при температуре 105 °С до постоянного веса.

С целью исследования нефтепоглощающих и сорбционных свойств определялись нефтеемкость, сорбционная емкость в статических (ССЕ) и динамических (ДСЕ) условиях. Нефтеемкость исследуемых сорбентов, г/г, рассчитывалась по методике, опубликованной в [9, 26–27], с использованием формулы:

$$HE = \frac{m - m_c - m_k}{m_c},$$

где m – масса контейнера с образцом сорбента после насыщения сырой нефтью, г;
 m_c – масса сорбента, г;

m_k – масса контейнера с учетом удерживаемой на нем нефти, г.

Сорбционная емкость в статических условиях определялась следующим образом: в лабораторные стаканы помещались навески сорбентов массой по 5 г и заливались модельным раствором (по 100 см³) с исходной концентрацией растворенных нефтепродуктов 18 мг/дм³. Пробы с сорбентом выдерживались в течение 15 минут, время было определено на основании предыдущих экспериментов как самое эффективное в условиях статики в интервале от 3 до 60 минут [12, 28–29]. Модельный раствор готовился на базе смазочного материала (масла) для воздушных компрессоров «Mobil Rarus SHC 1025». ССЕ для каждого вида сорбента определялась по формуле, мг/г:

$$CCE = \frac{(C_{ucx} - C_{оч}) \cdot V}{g},$$

где g – масса сухого сорбента, г;

V – объем приливаемого к сорбенту раствора, дм³;

C_{ucx} – исходная концентрация растворенных нефтепродуктов в модельном растворе, мг/дм³;

$C_{оч}$ – остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/дм³.

Динамическая сорбция исследовалась при следующих параметрах: через навеску массой по 10 г (высота слоя 8 см, диаметр сечения 52 мм) фильтровалось по 100 см³ модельного раствора со скоростью одна капля в секунду. ДСЕ вычислялось по формуле:

$$DCE = \sum_{i=1}^n \frac{(C_{ucx} - C_i) \cdot V_i}{g},$$

где n – количество i -х порций фильтрата, прошедших через навеску;

g – масса навески сухого сорбента, г;

V_i – объем i -й порции фильтруемого раствора, дм³;

C_{ucx} – исходная концентрация растворенных нефтепродуктов в модельном растворе, мг/дм³;

C_i – остаточная концентрация нефтепродуктов в i -й порции очищенной воды, мг/дм³.

В данном эксперименте ССЕ и ДСЕ для всех образцов сорбентов не достигали полного равновесного значения, и поэтому полученные сорбционные характеристики сравнивались при прочих равных условиях.

Исследовалось влияние двух видов модификаций, а именно: обработка растворами кислот и микроволновое облучение сорбентов. Модификация опилок кислотами проводилась по методике [8]. Помещенные в химическую посуду 5 г исследуемого материала заливались 100 см³ раствора кислоты с концентрацией 3 %. Для исследования были использованы лимонная кислота (ЛК) и уксусная кислота (УК). После перемешивания в течение 30 минут при температуре 20 °С модифицированный материал был промыт дистиллированной водой и высушен при 105 °С до постоянной массы.

Модификация микроволновым облучением (СВЧ) проводилась при мощности 600 Вт в течение одной минуты. Совместная обработка кислотами и микроволновым излучением проводилась в двух последовательностях: обработка кислотами перед СВЧ-обработкой и обработка кислотами после СВЧ-обработки. Сорбционные свойства (ССЕ и ДСЕ) были определены для мо-

дифицированных материалов по приведенной выше методике и сравнены с результатами для нативных образцов.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные данные по удерживанию нефти сорбционными материалами внесены в таблицу 1, из которой видно, что исходная нефтеемкость преобладает у клена и тополя. Поглощение нефти после СВЧ-модификации на 13 % возрастает у опилок сосны и на 19,7 % у измельченных веток клена. Для тополя и березы обработка микроволнами в данном режиме малоэффективна. Нефтеемкость, как правило, коррелируется с водоемкостью: при снижении поглощения влаги нефтепоглощение возрастает. Это связано с высвобождением пор от воды. Обычно влагоемкость фитосорбентов примерно на 10–20 % выше, чем значение нефтеемкости [12].

Результаты проведенных опытов по определению статических сорбционных свойств нативных и модифицированных фитосорбентов приведены в таблице 2.

Наилучшие значения ССЕ до и после СВЧ-модификации получены для опилок сосны, кле-

Таблица 1

Нефтеемкость исследуемых материалов

Сорбент	Нефтеемкость, г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	3,910±0,018	4,420±0,016	+13 %
Измельченные ветки клена	5,316±0,015	6,362±0,017	+19,7 %
Измельченные ветки березы	2,715±0,012	2,674±0,010	≈0 %
Измельченные ветки тополя	5,312±0,019	5,362±0,018	≈0 %

Таблица 2

Статическая сорбционная емкость исследуемых материалов

Сорбент	Сорбционная емкость в статике (ССЕ), г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	0,125±0,005	0,164±0,005	+31,2 %
Измельченные ветки клена	0,237±0,004	0,254±0,003	+7,2 %
Измельченные ветки березы	0,161±0,005	0,203±0,006	+20,6 %
Измельченные ветки тополя	0,087±0,003	0,091±0,002	≈0 %

на и березы. Возможно, ветки тополя нуждаются в иной активации, так как относительно небольшая сорбционная емкость практически не изменяется после физического воздействия электромагнитным излучением.

Результаты исследований по динамическим сорбционным свойствам растительных сорбентов отображены в таблице 3.

Наилучшие сорбционные свойства в динамических условиях проявили измельченные ветки березы, их значение ДСЕ для натуральных образцов превышает тополь в 1,62 раза, клен – в

1,54 раза и опилки сосны – в 1,13 раза. Модификация методом микроволнового облучения положительно сказалась на образцах сосны, клена и березы. После одноминутного облучения сорбентов значения ДСЕ увеличились на 7,8–30 %. Особенно это проявилось у измельченных веток березы, ДСЕ которых превышает значения для клена в 1,86 раза, для сосны – в 1,3 раза. Тополь показал снижение сорбционного поглощения растворенных нефтепродуктов после СВЧ-обработки на 11,2 %. Это может быть связано с особенностями строения древесины. Возможно,

Таблица 3

Динамическая сорбционная емкость исследуемых материалов

Сорбент	Сорбционная емкость в динамике (ДСЕ), г/г		
	Нативное состояние	После обработки СВЧ	Эффект модификации
Опилки сосны	0,140±0,005	0,158±0,005	+12,9 %
Измельченные ветки клена	0,103±0,006	0,111±0,003	+7,8 %
Измельченные ветки березы	0,159±0,007	0,206±0,006	+30 %
Измельченные ветки тополя	0,098±0,001	0,087±0,002	-11,2 %

Таблица 4

Способы модификации и сорбционная емкость исследуемых материалов

Способ модификации	Сорбционная емкость (ССЕ), г/г		
	Нативное состояние	После модификации	Эффект модификации
Опилки сосны			
Обработка СВЧ	0,125±0,005	0,164±0,005	+31,2 %
Обработка раствором ЛК		0,131±0,004	+4,8 %
Обработка раствором УК		0,145±0,004	+16 %
СВЧ-обработка + раствор ЛК		0,145±0,003	+16 %
СВЧ-обработка + раствор УК		0,128±0,003	≈0 %
Раствор ЛК + СВЧ-обработка		0,125±0,005	≈0 %
Раствор УК + СВЧ-обработка		0,135±0,004	+8 %
Измельченные ветки клена			
Обработка СВЧ	0,237±0,004	0,254±0,003	+7,2 %
Обработка раствором ЛК		0,204±0,003	-13,9 %
Обработка раствором УК		0,217±0,004	-8,4 %
СВЧ-обработка + раствор ЛК		0,187±0,005	-21 %
СВЧ-обработка + раствор УК		0,223±0,005	-5,9 %
Раствор ЛК + СВЧ-обработка		0,136±0,003	-42,6 %
Раствор УК + СВЧ-обработка		0,223±0,004	-5,9 %

для тополя необходимо подобрать другие способы активации сорбционных свойств.

Далее рассмотрены различные комбинации модификаций фитосорбентов с использованием кислот и микроволнового воздействия. Результаты по статической сорбционной емкости для измельченных веток клена и опилок сосны, которые являются самыми распространенными отходами, приведены в таблице 4.

Модификация опилок сосны растворами уксусной и лимонной кислот повышает сорбционные качества материала на 16 и 4,8 % соответственно. Если сначала обработать сорбент раствором уксусной кислоты, промыть, а затем прогреть в СВЧ-печи, то можно добиться увеличения сорбционного поглощения нефтепродуктов всего на 8 %. Однако наиболее эффективной оказалась СВЧ-обработка опилок, которая повышает сорбционную статическую емкость в 1,3 раза. Другие варианты обработки микроволнами и растворами кислот оказались нерезультативными. Измельченные ветки клена, напро-

тив, снижали свою сорбционную эффективность практически после всех модификаций на 5,9–42,6 %. Единственный способ активации (обработка СВЧ) повышает значения сорбционной емкости на 7,2 %.

Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов опилками сосны и клена после их модификации в различной комбинации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной и уксусной кислоты представлен на рис. 1 и 2.

Исследуемые фитосорбенты могут быть использованы в качестве загрузочных материалов фильтрующих сооружений как в нативном, так и модифицированном состоянии. С учетом того, что растворенные нефтепродукты сложно удаляются из воды, данная технология позволит снизить их содержание на 30–70 % при исходной концентрации сточных вод до 20 мг/дм³. Такой концентрацией обладают поверхностные сточные воды (дождевые и талые) с территории населенных пунктов, которые носят сезонный характер.

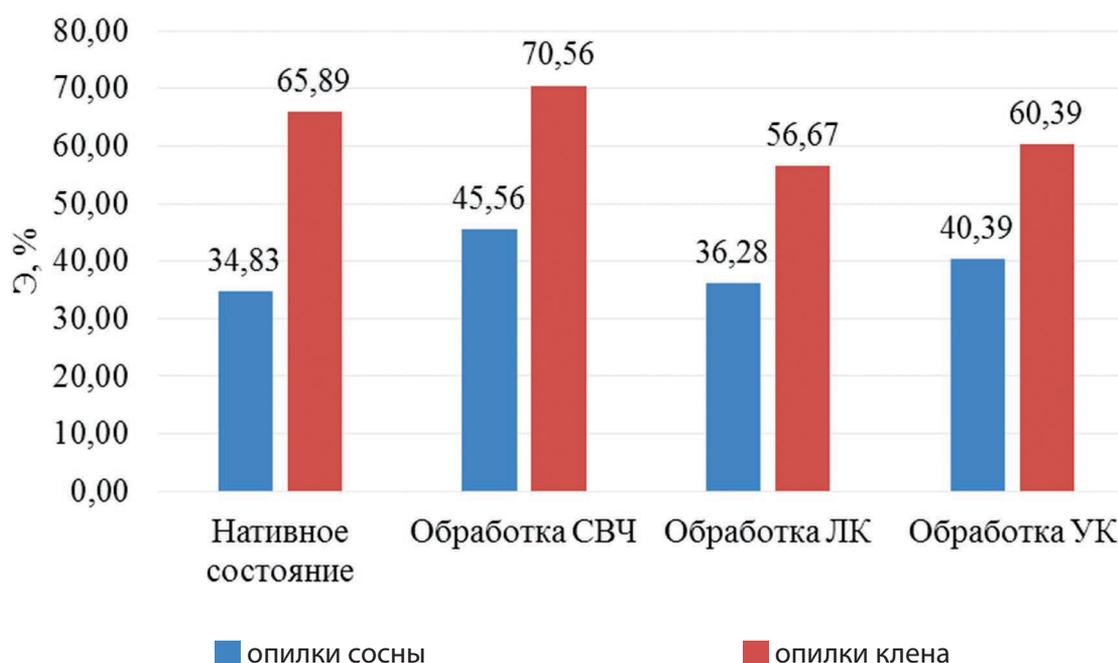


Рис. 1. Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов фитосорбентами после их модификации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной кислоты (ЛК) и уксусной кислоты (УК)

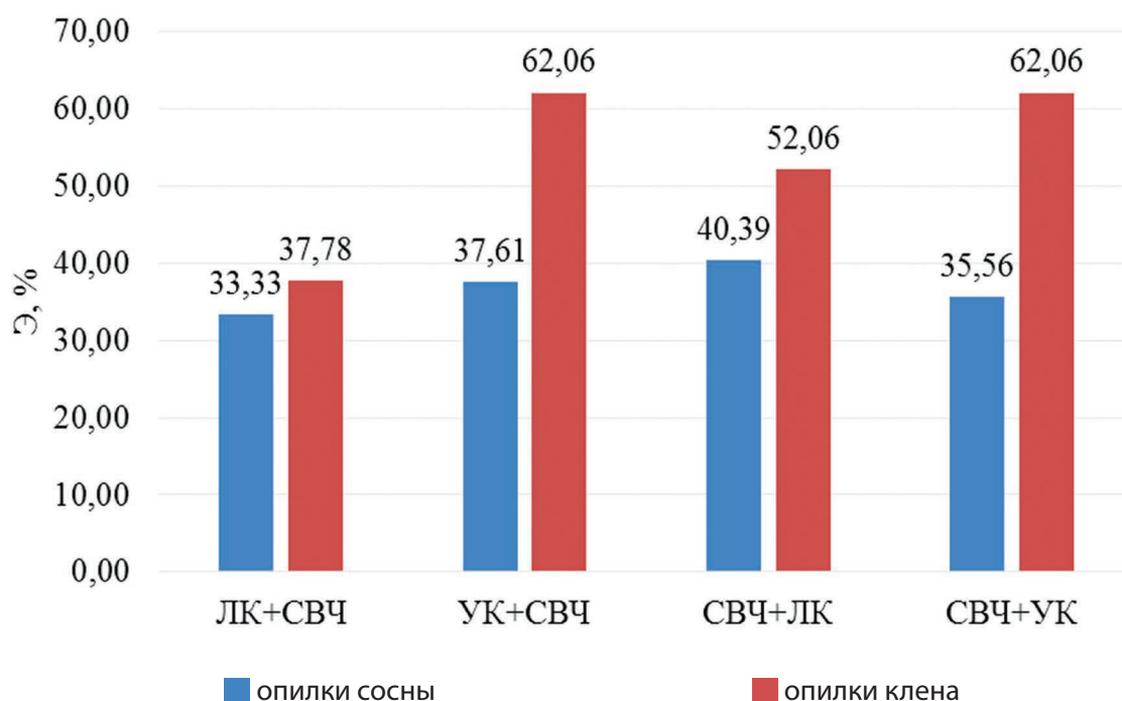


Рис. 2. Эффект очистки модельного раствора от растворенных нефтепродуктов фитосорбентами после их модификации в различной комбинации микроволнами (СВЧ), растворами лимонной кислоты (ЛК) и уксусной кислоты (УК)

Выводы

Исследовательская работа показала возможности сорбентов на растительной основе извлекать из водных растворов растворенные нефтепродукты с эффективностью 30–70 %. Повысить сорбционные свойства (на 7,2–31,2 %) позволяет микроволновое облучение опилок сосны, из-

мельченных веток клена и березы. Обработка растворами кислот, в том числе в сочетании с СВЧ, малоэффективна. Использование нативных и модифицированных материалов в фильтрующих сооружениях очистки нефтесодержащих сточных вод решает проблему утилизации отходов деревообработки и коммунальных хозяйств.

Библиографический список

1. Состояние и перспектива традиционного и интеллектуального освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа России / А. Н. Дмитриевский, Н. А. Еремин, Н. А. Шабалин [и др.]. – Текст : электронный // Neftegaz.RU. – 2017. – № 1. – URL : <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (дата обращения : 06.02.2022).
2. Загрязнение западносибирских рек нефтепродуктами за период 2000–2017 гг. / О. В. Мезенцева, Н. П. Волковская, В. П. Захарова, В. В. Гурьянова. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12. – С. 175–181.
3. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей / Е. В. Веприкова, Е. А. Терещенко, Н. В. Чесноков [и др.]. – Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия : Химия. – 2010. – Т. 3. – № 3. – С. 285–304.

-
4. Activated carbons for arsenic removal from natural waters and wastewaters : a review / E. Meez, A. K. Tolkou, D. A. Giannakoudakis [et al.]. – DOI: 10.3390/w13212982. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 21. – Pp. 2982. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/21/2982/htm> (дата обращения : 03.03.2022).
 5. Шарафутдинова, Г. М. Повышение экологичности нефтеперерабатывающих предприятий созданием ресурсосберегающих химико-технологических водных систем на основе мембранных процессов : специальности 03.00.16 «Экология», 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шарафутдинова Гульнара Минигаяновна ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2008. – 24 с. – Место защиты : Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Текст : непосредственный.
 6. Большаков, А. А. Природные минералы Тюменской области : свойства и перспективы использования в процессах очистки воды : монография / А. А. Большаков, Е. И. Вялкова. – Санкт-Петербург : Недра, 2005. – 128 с. – Текст : непосредственный.
 7. Faizal, A. M. Removal of oil from water by column adsorption method using microwave incinerated rice husk ash (MIRHA) / A. M. Faizal, S. R. M. Kutty, E. H. Ezechi. – DOI: 10.1007/978-981-287-290-6_84. – Electronic text // *InCIEC 2014. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference*. – Singapore : Springer, 2015. – pp. 963–971. – URL : https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6_84 (дата обращения : 03.03.2022).
 8. Денисова, Т. Р. Увеличение нефтеемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот / Т. Р. Денисова, И. Г. Шайхиев, И. Я. Сиппель. – Текст : непосредственный // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – № 17. – С. 233–236.
 9. Малышкина, Е. С. Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина, Е. И. Вялкова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 188–200.
 10. Воронов, А. А. Очистка талых вод урбанизированных территорий с использованием фитосорбентов / А. А. Воронов, С. В. Максимова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 105–117.
 11. Влияние сшивающего эффекта на свойства сорбентов, получаемых из коры осины и лиственницы / Н. М. Микова, Г. П. Скворцова, Е. В. Мазурова, Н. В. Чесноков. – DOI: 10.1134/S0044461819100128. – Текст : непосредственный // *Журнал прикладной химии*. – 2021. – Т. 92. – № 10. – С. 1333–1343.
 12. Микроволновая обработка природных сорбентов в технологии очистки сточных вод / Е. С. Коршикова, А. М. Фугаева, Е. И. Вялкова, Е. Ю. Осипова. – DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-1-175-187. – Текст : непосредственный // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2022. – Т. 24. – № 1. – С. 175–187.
 13. Rice straw as a natural sorbent in a filter system as an approach to bioremediate diesel pollution / S. H. Taufik, S. A. Ahmad, N. N. Zakaria [et al.]. – DOI: 10.3390/w13233317. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 23. – Pp. 3317. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3317> (дата обращения : 03.03.2022).
 14. Влияние СВЧ-обработки клиноптилолита на его ионообменные кинетические свойства / Т. Бахия, Р. Х. Хамизов, М. Д. Бавижев, М. А. Конов. – Текст : непосредственный // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2016. – Т. 16. – № 6. – С. 803–812.
 15. Enhanced adsorptive removal of dyes using mandarin peel biochars via chemical activation with NH_4Cl and ZnCl_2 / H. Park, J. Kim, Y.-G. Lee, K. Chon. – DOI: 10.3390/w13111495. – Electronic text // *Water*. –

2021. – Vol. 13. – Issue 11. – P. 1495. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/11/1495> (дата обращения : 03.03.2022).
16. González-Delgado, A. D. Evaluation of three biomaterials from coconut mesocarp for use in water treatments polluted with an anionic dye / A. D. González-Delgado, A. Villabona-Ortíz, C. Tejada-Tovar. – DOI: 10.3390/w14030408. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 14. – Issue 3. – P. 408. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/408> (дата обращения : 03.03.2022).
17. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/>. – Текст : электронный (дата обращения : 22.02.2022).
18. Шаталов, П. В. Инновационный подход к утилизации древесных отходов при опилковке городских насаждений в г. Воронеже / П. В. Шаталов, А. Л. Подкопаева. – Текст : непосредственный // *Инновации, технологии и бизнес*. – 2020. – № 1 (7). – С. 102–108.
19. Панкеев, В. В. Модификация целлюлозосодержащих отходов, обеспечивающая создание сорбентов с высокой удельной нефтеемкостью / В. В. Панкеев, Л. Г. Панова, Е. С. Свешникова. – Текст : непосредственный // *Технические науки – от теории к практике*. – 2012. – № 7–2. – С. 59–63.
20. Бердонос, С. С. Микроволновая химия / С. С. Бердонос. – Текст : непосредственный // *Соровский образовательный журнал*. – 2001. – Т. 7. – № 1. – С. 32–38.
21. Vialkova, E. Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment : a review / E. Vialkova, M. Obukhova, L. Belova. – DOI: 10.3390/w13131784. – Electronic text // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – Issue 13. – Pp. 1784. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1784> (дата обращения : 03.03.2022).
22. Ultrasonic or microwave cascade treatment of medicinal plant waste / V. Staicu, C. Luntraru, I. Calinescu [et al.]. – DOI:10.3390/su132212849. – Electronic text // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – No. 22. – Pp. 12849. – URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12849> (дата обращения : 03.03.2022).
23. Torgovnikov, G. Microwave wood modification technology and its application / G. Torgovnikov, P. Vinden. – DOI: 10.13073/0015-7473-60.2.173. – Direct text // *Forest products journal*. – 2010. – Vol. 60. – No. 2. – Pp. 173–182.
24. Галкин, В. П. Сушка древесины в электромагнитном поле сверхвысоких частот : специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Галкин Владимир Павлович ; Московский государственный университет леса. – Москва, 2010. – 40 с. – Место защиты : Московский государственный университет леса. – Текст : непосредственный.
25. Данилов, О. С. Исследование влияния электромагнитного микроволнового излучения на твердые горючие ископаемые / О. С. Данилов, В. А. Михеев, Т. В. Москаленко. – Текст : непосредственный // *Известия Самарского научного Центра Российской Академии наук*. – 2011. – Т. 13. – № 1–5. – С. 1264–1267.
26. Малышкина, Е. С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина. – Текст : непосредственный // *Градостроительство и архитектура*. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 26–34.
27. Максимова, С. В. Исследование сорбционной способности отходов обрезки городских деревьев по отношению к растворенным нефтепродуктам в водных средах / С. В. Максимова, А. А. Воронов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-33-39. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2021. – № 2. – С. 33–39.
28. Денисова, Т. Р. Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревопереработки : специальность 03.02.08 «Экология (в химии и нефтехимии)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Денисова Татьяна Рамилевна ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань, 2017. – 162 с. – Текст : непосредственный.

-
29. Галимова, Р. З. Очистка фенолсодержащих сточных вод нативными и модифицированными адсорбционными материалами на основе отходов сельскохозяйственного и промышленного производства : специальность 03.02.08 «Экология (в химии и нефтехимии)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галимова Румия Захидовна ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань, 2017. – 128 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Dmitrievskiy, A. N., Eremin, N. A., Shabalin, N. A., Kondratyuk, A. T., & Eremin, A. N. (2017). Sostoyanie i perspektiva traditsionnogo i intellektual'nogo osvoeniya uglevodorodnykh resursov Arkticheskogo shelfa Rossii. *Neftegaz.RU*, (1). (In Russian). Available at: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/rynok/538351-sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-uglevodorodnykh-resursov-arkticheskogo-shelfa-rossii/> (date of the application: 06.02.2022).
2. Mezentseva, O. V., Volkovskaya, N. P., Zakharova, V. P., & Guryanova, V. V. (2018). Pollution of the west Siberian Rivers by oil products for the period 2000–2017. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (12), pp. 175-181. (In Russian).
3. Veprikova, E. V., Tereshchenko, E. A., Chesnokov, N. V., Shchipko, M. L., & Kuznetsov, B. N. (2010). Peculiarity of water purifying from oil products with make use of oil sorbents, filtering materials and active coals. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 3(3), pp. 285-304. (In Russian).
4. Meez, E., Tolkou, A. K., Giannakoudakis, D. A., Katsoyiannis, I. A., & Kyzas, G. Z. (2021). Activated carbons for arsenic removal from natural waters and wastewaters: a review. *Water*, 13(21), pp. 2982. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/21/2982/htm> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13212982
5. Sharafutdinova, G. M. (2008). Povyshenie ekologichnosti neftepererabatyvayushchikh predpriyatii sozdaniem resursosbergayushchikh khimiko-tekhnologicheskikh vodnykh sistem na osnove membrannykh protsessov. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 24 p. (In Russian).
6. Bol'shakov, A. A., & Vyalkova, E. I. (2005). Prirodnye mineraly Tyumenskoy oblasti: svoystva i perspektivy ispol'zovaniya v protsessakh ochistki vody. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 128 p. (In Russian).
7. Faizal, A. M., Kutty, S. R. M., & Ezechi, E. H. (2015). Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA). In CIEC 2014. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference. Singapore, Publ. Springer, pp. 963-971. (In English). Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-287-290-6_84 (date of the application: 03.03.2022).
8. Denisova, T. R., Shaykhiev, I. G., & Sippel', I. Ya. (2015). Uvelichenie nefteemkosti opilok yasnya obrabotkoy rastvorami kislot. *Bulletin of the Technological University*, 18(17), pp. 233-236. (In Russian).
9. Malyshkina, E. S., Vyalkova, E. I., & Osipova, E. Yu. (2019). Water purification with natural sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 21(1), pp. 188-200. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200
10. Voronov, A. A., Maksimova, S. V., & Osipova, E. Yu. (2021). Purification of urbanized melt water with plant sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 23(2), pp. 105-117. (In Russian). DOI:10.31675/1607-1859-2021-23-2-105-117
11. Mikova, N. M., Skvortsova, G. P., Mazurova, E. V., & Chesnokov, N. V. (2019). Influence exerted by cross-linking effect on properties of sorbents produced from aspen and larch bark. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 92(10), pp. 1422-1431. (In Russian). DOI: 10.1134/S0044461819100128

12. Korshikova, E. S., Fugaeva, A. M., Vyalkova, E. I., & Osipova, E. Yu. (2022). Microwave treatment of natural sorbents in wastewater purification. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Journal of Construction and Architecture*, 24(1), pp. 175-187. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-1-175-187
13. Taufik, S. H., Ahmad, S. A., Zakaria, N. N., Shahrudin, N. A., Azmi, A. A., Khalid, F. E., ... Khalil, K. A. (2021). Rice straw as a natural sorbent in a filter system as an approach to bioremediate diesel pollution. *Water*, 13(23), pp. 3317. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3317> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13233317
14. Bakhia, T., Khamizov, R. Kh., Bavizhev, M. D., & Konov, M. A. (2016). The effect of microwave treatment of clinoptilolite on its ion-exchange kinetic properties. *Sorption and Chromatography Processes*, 16(6), pp. 803-812. (In Russian).
15. Park, H., Kim, J., Lee, Y.-G., & Chon, K. (2021). Enhanced adsorptive removal of dyes using mandarin peel biochars via chemical activation with NH_4Cl and ZnCl_2 . *Water*, 13(11), pp. 1495. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/11/1495> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13111495
16. González-Delgado, A. D., Villabona-Ortiz, A., & Tejada-Tovar, C. (2021). Evaluation of three biomaterials from coconut mesocarp for use in water treatments polluted with an anionic dye. *Water*, 14(3), pp. 408. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/408> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w14030408
17. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. (In Russian). Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (date of the application: 22.02.2022).
18. Shatalov, P. V., & Podkopaeva, A. L. (2020). An innovative approach to the disposal of wood waste when filing urban plantations in the city of Voronezh. *Innovatsii, tekhnologii i biznes*, 1(7), pp. 102-108. (In Russian).
19. Pankeev, V. V., Panova, L. G., & Sveshnikova, E. S. (2012). Modifikatsiya tsellyulozosoderzhashchikh otkhodov, obespechivayushchaya sozdanie sorbentov s vysokoy udel'noy nefteemkost'yu. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, (7-2), pp. 59-63. (In Russian).
20. Berdonosov, S. S. (2001). Microwave chemistry. *Soros Educational Journal*, 7(1), pp.32-38. (In Russian).
21. Vialkova, E., Obukhova, M., & Belova, L. (2021). Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment: a review. *Water*, 13(13), pp. 1784. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1784/> (date of the application: 03.03.2022). DOI: 10.3390/w13131784
22. Staicu, V., Luntraru, C., Calinescu, I., Chisega-Negrila, C. G., Vinatoru, M., Neagu, M., ... Popa, I. (2021). Ultrasonic or microwave cascade treatment of medicinal plant waste. *Sustainability*, 13(22), pp. 12849. (In English). Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12849> (date of the application: 03.03.2022). DOI:10.3390/su132212849
23. Torgovnikov, G., & Vinden, P. (2010). Microwave wood modification technology and its application. *Forest products journal*, 60(2) pp. 173-182. (In English). DOI: 10.13073/0015-7473-60.2.173
24. Galkin, V. P. (2010). *Sushka drevesiny v elektromagnitnom pole sverkhvysokikh chastot. Avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk. Moscow*, 40 p. (In Russian).
25. Danilov, O. S., Mikheyev, V. A., & Moskalenko, T. V. (2011). Research of electromagnetic microwave radiation influence on the solid fuels. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 13(1-5), pp. 1264-1267. (In Russian).
26. Malyshkina, E. S. (2020). Classification of sorbents used in technologies for purification of waste water from petroleum products. *Urban Construction and Architecture*, 21 (1), pp. 26-34. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5

-
27. Maksimova, S. V., & Voronov, A. A. (2021). Research of sorption capacity of cutting waste of urban trees in relation to dissolved petroleum products in aquatic environments. *Architecture, construction, transport*, (2), pp. 33-39. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-33-39
 28. Denisova, T. R. (2017). *Adsorbtsionnaya ochistka vodnykh ob"ektov ot nefti s ispol'zovaniem modifitsirovannykh otkhodov derevopererabotki*. Diss. kand. tekhn. nauk. Kazan, 162 p. (In Russian).
 29. Galimova, R. Z. (2017). *Ochistka fenolsoderzhashchikh stochnykh vod nativnymi i modifitsirovannymi adsorbtsionnymi materialami na osnove otkhodov sel'skokhozyaystvennogo i promyshlennogo proizvodstva*. Diss. kand. tekhn. nauk. Kazan, 128 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Максимова Светлана Валентиновна, к. т. н., доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Коршикова Елена Сергеевна, главный специалист по входному контролю, управление по качеству и стандартизации, АО «Тюменская домостроительная компания», e-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

Вялкова Елена Игоревна, к. т. н., доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Фугаева Анастасия Михайловна, аспирант кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: nastya fugaeva@mail.ru

Воронов Артем Андреевич, бакалавр кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: tepliy.ipod@gmail.com

Information about the authors

Svetlana V. Maksimova, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: maksimovasv@tyuiu.ru

Elena S. Korshikova, Chief Specialist for Incoming Control, Quality and Standardization Department, JSC "Tyumen House-Building Company", e-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

Elena I. Vialkova, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Anastasia M. Fugaeva, Postgraduate at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: nastya fugaeva@mail.ru

Artem A. Voronov, Bachelor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: tepliy.ipod@gmail.com

Для цитирования: Модификация фитосорбентов для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод / С. В. Максимова, Е. С. Коршикова, Е. И. Вялкова [и др.]. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-42-53. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2022. – № 1 (99). – С. 42–53.

For citation: Maksimova, S. V., Korshikova, E. S., Vialkova, E. I., Fugaeva, A. M., & Voronov, A. A. (2022). Modification of phytosorbents to intensify the treatment of wastewater containing oil products. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 42-53. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-42-53.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДЕКСНОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛА СТЕН ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В. А. Сироткин, И. И. Давыдов

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

USING THE INDEX APPROACH TO SELECT WALL MATERIALS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

Victor A. Sirotkin, Ivan I. Davydov

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

Аннотация. В статье предложен механизм определения экономичного варианта стеновых конструкций с помощью индекса цены к единице теплопроводности материала. Данный метод позволяет найти оптимальное соотношение требуемой теплопроводности и стоимости за квадратный метр стены. Для этого были проанализированы предлагаемые организациями города Екатеринбурга варианты конструкций стен для малоэтажного строительства. Приведена статистика использования материалов для стенового ограждения, перечислены их основные преимущества. Выполнен программный теплотехнический расчет для различных вариантов стенового ограждения малоэтажного строительства. В ходе расчета определен параметр сопротивления теплопередаче. Для нахождения соотношения индекса цены на единицу сопротивления тепло-

Abstract. The article proposes a mechanism for determining the cost effective alternative for wall structures using the price index to the unit of heat conductivity of the material. This method makes it possible to find the optimum ratio of the required heat conductivity to the cost per square meter of the wall. For this purpose, the variants of wall constructions for low-rise building offered by organizations of the Yekaterinburg city were analyzed. The statistical data of the wall fencing materials using was given, and their main advantages were listed. The software heat engineering calculations for different variants of the wall fencing of the low-rise construction were carried out. During the calculation, the parameter of the heat transfer resistance was determined. To find the ratio of the price index per unit of heat transfer resistance, the cost per square meter of material was calculated and based on that the most cost

передаче произведено вычисление стоимости квадратного метра материала и на его основе выбран наиболее экономичный вариант для малоэтажного строительства в Свердловской области.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, индексный подход, индекс, материалы, стены, теплопроводность

Введение

Малоэтажное строительство является одной из развивающихся отраслей. Это обусловлено как развитием технологий возведения зданий, так и желанием граждан иметь альтернативу городской квартире.

Индивидуальное строительство позволяет улучшить жилищные условия населения, решить проблему аварийного жилья и скученности населения в городах. Малоэтажное жилье по сравнению с многоэтажным обладает рядом преимуществ: экономичные технологии строительства, дешевая инженерная инфраструктура, более экологичные условия проживания. Доступное жилье является важным фактором повышения благосостояния населения, мотивации роста трудовой активности и зарождения среднего класса [1].

К основным элементам коттеджа относятся кровля, стеновое ограждение, фундамент. Возведение стенового ограждения является одной из главных составляющих, влияющих на стоимость строительства жилья в целом. Кроме того, выбор материала для стен имеет первоочередное значение при разработке проекта будущего дома.

Одним из критериев выбора материала стенового ограждения является его способность пропускать через себя тепловой поток. Для определения данного параметра проводится теплотехнический расчет, который показывает, насколько конструкция соответствует современным требованиям нормативных документов по теплопроводности.

Важной составляющей расчета является определение сопротивления теплопередаче стены и сравнение ее с нормативным показателем. Традиционно данный расчет выполняется вруч-

effective alternative for low-rise construction in the Sverdlovsk region was selected.

Key words: low-rise building, index approach, index, materials, walls, the heat conductivity

ную, но существует несколько программ, позволяющих автоматизировать данный процесс. В настоящее время все больше строительных фирм предпочитают проектировать собственные стеновые конструкции, а не использовать типовые варианты. Это приводит к усложнению теплотехнических расчетов и, следовательно, к увеличению затрат на строительство.

Величина сопротивления теплопередаче учитывается при выборе материала стенового ограждения, так как показывает, насколько эффективно оно будет препятствовать выходу теплового потока из помещения. Учет этого показателя позволит сэкономить денежные средства на будущем отоплении, так как стены в холодное время года будут блокировать теплый воздух, не давая ему покинуть помещение, а в теплое время станут препятствовать его перегреву.

Объект и методы исследования

В настоящее время в индивидуальном жилищном строительстве используются следующие материалы для строительства стен: кирпич, дерево (брусчатые, каркасные, панельные стены), шлакобетон, газобетон и другие. На долю каменных материалов приходится 36 %, дерево – 31 %, прочие материалы – 33 %. Данное соотношение позволяет установить структуру малоэтажного строительства в России и найти наиболее распространенные материалы, используемые для возведения стен [2].

Объектом исследования являются варианты стеновых конструкций, которые предлагают компании Свердловской области, специализирующиеся на строительстве и поставке материалов для малоэтажного строительства: «Строитель-

ный двор» [3], «COTTAGE96» [4], «СтройДом» [5]. На основании предложений данных организаций было выбрано четыре варианта конструкций. Это стены из кирпича, из твинблока с наружной облицовкой, бруса с внутренним утеплением и из плит ОСП с фасадной отделкой пенопластом. Метод исследования основывается на сравнении между собой этих конструкций, соотношении требуемой теплопроводности и стоимости за квадратный метр стены.

Основными преимуществами дома из кирпича являются его высокая несущая способность, долговечность, негорючесть. Высокая несущая способность кирпичной стены обуславливается структурой материала, раствором кладки, наличием числа проемов. Долговечность зависит от условий эксплуатации, негорючесть – от технологии изготовления [6].

К преимуществам твинблока можно отнести экологичность материала, так как он состоит из синтезированного камня, не содержащего известь. Высокую прочность твинблок получает вследствие обработки давлением и благодаря высокой температуре при его изготовлении. Легкость обработки позволяет возводить из данного материала строения сложной формы [7].

Стены из бруса экологичны и имеют приятный внешний вид. Еще одним преимуществом этого материала можно назвать быстроту сборки стен. Недостатком бруса, как и древесины, является склонность к биологическому заражению, растрескиванию [8].

Ориентированно-стружечные плиты – это относительно новый материал. Для строитель-

ства стен используют конструкции, состоящие из двух ОСП плит с утеплителем внутри. Они применяются при возведении каркасных зданий, основным преимуществом которых является скорость постройки, так как соединение стен с фундаментом осуществляется с помощью деревянных нагелей [9].

Экспериментальная часть

Исходные данные и пример расчета кирпичной стены

Исходные данные принимаются в соответствии с СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 и СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-1999:

- район строительства – Екатеринбург, Свердловская область;
- назначение здания – жилое;
- расчетная температура наружного воздуха в холодный период года: $t_{н} = -32 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_{в} = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- средняя температура наружного воздуха отопительного периода: $t_{от} = -5,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода: $z_{от} = 220 \text{ сут}$;
- нормальный влажностный режим помещения и условия эксплуатации ограждающих конструкций – А (нормальный режим помещения в сухой зоне влажности);
- коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности огражда-

Таблица 1

Конструкция стены из кирпича

№ слоя	Наименование слоя	Плотность ρ , кг/м ³	Толщина слоя δ_r , мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)
1	Кладка из сплошного кирпича керамического пустотного	1 400	380	0,41
2	Плита минераловатная	125	100	0,036
3	Кладка из сплошного силикатного кирпича (облицовочный слой)	1 500	120	0,64

ющих конструкций по отношению к наружному воздуху: $n = 1$;

- коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции: $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (таблица 6 СП 50.13330.2012);
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции: $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (таблица 4 СП 50.13330.2012).

Для примера произведем расчет сопротивления теплопередаче для кирпичной стены (таблица 1, рис. 1).

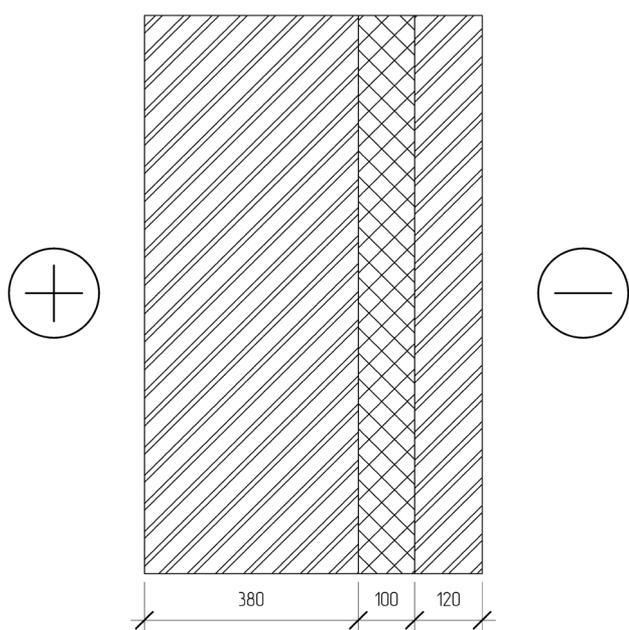


Рис. 1. Конструкция стены из кирпича с утеплителем и облицовочным слоем

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) найдем по формуле (СП 50.13330.2012):

$$\begin{aligned} \text{ГСОП} &= (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = \\ &= (20 - (-5,5)) \cdot 220 = 5\,610 \text{ °C} \cdot \text{сут}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °C;

$z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в здании.

Следующим шагом определим требуемое значение сопротивления теплопередаче (из табл. 3 СП 50.13330.2012):

$$\begin{aligned} R_0^{\text{тp}} &= \frac{a \cdot \text{ГСОП} + b}{r} = \\ &= \frac{0,00035 \cdot 5610 + 1,4}{0,91} = 3,67 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}, \end{aligned} \quad (2)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °C · сут/год;

$a = 0,00035$ и $b = 1,4$ – коэффициенты;

r – коэффициент технической однородности для кирпичной стены [10].

В соответствии с п. Е.7 СП 50.13330.2012, найдем сопротивление теплопередаче многослойных ограждающих конструкций по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3)$$

где α_g – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м² · °C), принимаемый согласно таблице 4 СП 50.13330.2012;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м² · °C), принимаемый согласно таблице 6 СП 50.13330.2012;

R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м² · °C)/Вт, определяемое для неветилируемых воздушных прослоек по таблице Е.1, для материальных слоев по формуле Е.7 СП 50.13330.2012:

$$R_s = \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \cdot y_s^{y.z.} = \quad (4)$$

$$= \left(\frac{0,38}{0,41} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,12}{0,64} \right) \cdot 1 = 3,892 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Расчетное сопротивление теплопередаче определяется пунктом Е.6 СП 50.13330.2012:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 3,892 + \frac{1}{23} = 4,051 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}. \quad (5)$$

Выполним проверку условия:

$$R_0 > R_0^{\text{TP}}, \quad 4,051 > 3,67 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

Условие выполняется.

Значение температурного перепада Δt выразим из формулы определения расчетного сопротивления теплопередаче, которая имеет вид (СП 50.13330.2012):

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{с}}}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{с}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый согласно таблице 4 СП 50.13330.2012, Вт/(м²·°C);

$\Delta t^{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5 СП 50.13330.2012, °C;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в здании, °C;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.2020, °C.

Тогда температурный перепад равняется:

$$\Delta t = \frac{(20 - (-32))}{4,051 \cdot 8,7} = 1,476 \text{ °C}. \quad (7)$$

Проверка условия:

$$\Delta t < \Delta t^{\text{н}}, \quad 1,476 < 4 \text{ °C}.$$

Условие выполняется.

Произведем проверку требуемых условий результатов программы LIT Thermo Engineer [11]:

$$R_0 = 4,05 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}, \quad (8)$$

$$R_0 > R_0^{\text{TP}}, \quad 4,05 > 3,67 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

Условие выполняется.

Температурный перепад:

$$\Delta t = \frac{(20 - (-32))}{4,05 \cdot 8,7} = 1,476 \text{ °C}. \quad (9)$$

Проверка условия:

$$\Delta t < \Delta t^{\text{н}}, \quad 1,476 < 4 \text{ °C}.$$

Условие выполняется.

По данным аналитического расчета (5), (6) и данным (8), (9), полученным в программе LIT Thermo Engineer [11], можно сделать вывод, что результаты расчетов совпадают, поэтому дальнейшие расчеты будут выполнены с помощью программы.

Программный теплотехнический расчет стен

Программа LIT Thermo Engineer [11] позволяет произвести расчет сопротивления теплопередаче, получить графики температуры и влажности, а также график зоны выпадения конденсата в толще стены. Варианты конструкций стеновых ограждений для программного расчета приведены в таблицах 2–4. На рис. 2 приведено графическое отображение вариантов стен.

Выполним расчет сопротивления теплопередаче для вариантов стеновых ограждений в программе LIT Thermo Engineer, результаты сведем в таблицу 5.

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что самый высокий коэффициент теплопроводности у стены из ориентированно-стружечных плит, а наименьший – у стены из твинблока. Несмотря на это, все варианты стен соответствуют нормативным требованиям к теплопроводности, а значит, могут успешно применяться при малоэтажном строительстве.

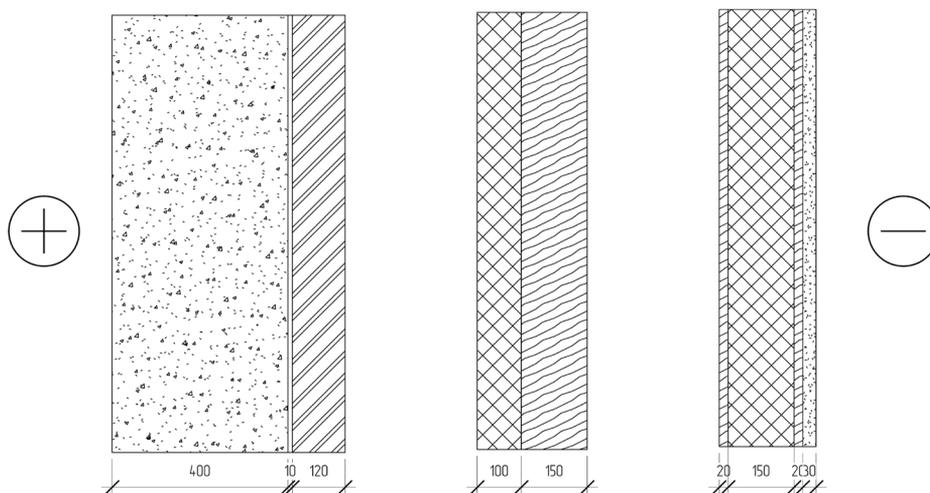


Рис. 2. Графическое изображение стеновых конструкций слева направо:
из твинблока, бруса, плит ОСП

Таблица 2

Конструкция стены из твинблока с наружной облицовкой из кирпича

№ слоя	Наименование слоя	Плотность, γ , кг/м ³	Толщина слоя, δ , мм	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С)
1	Твинблок ТБ 400-бп	800	400	0,106
2	Замкнутая воздушная прослойка	1	10	0,026
3	Кладка из сплошного силикатного кирпича (облицовочный слой)	1 500	120	0,64

Таблица 3

Конструкция стены из бруса с внутренним утеплением

№ слоя	Наименование слоя	Плотность, γ , кг/м ³	Толщина слоя, δ , мм	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С)
1	Брус из сосны	500	150	0,14
2	Плита минераловатная	125	100	0,036

Таблица 4

Конструкция стены из плит ОСП с наружной отделкой пенопластом

№ слоя	Наименование слоя	Плотность, γ , кг/м ³	Толщина слоя, δ , мм	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С)
1	Ориентированно-стружечная плита (ОСП)	800	20	0,13
2	Плита минераловатная	125	100	0,036
3	Ориентированно-стружечная плита (ОСП)	800	20	0,13
4	Фасадный пенопласт	20	30	0,037

Таблица 5

Сравнение результатов расчетов сопротивления теплопередаче

Наименование	Сопротивление теплопередаче конструкции, (м ² ·°С)/Вт
Стена из кирпича	4,05
Стена из твинблока	4,52
Стена из бруса	4,6
Стена из плит ОСП	5,44

Программный температурно-влажностный расчет

Для температурно-влажностного расчета также воспользуемся программой LIT Thermo Engineer. Результаты представлены на рис. 3–6, красным цветом обозначено изменение температуры, синим – начало выпадения конденсата, черным цветом отмечена точка росы.

В кирпичной стене конденсат выпадает в толще утеплителя. Из-за этого утеплитель намокает и снижаются его теплозащитные свойства. Несущая способность стен и их объем в данном случае сохраняются.

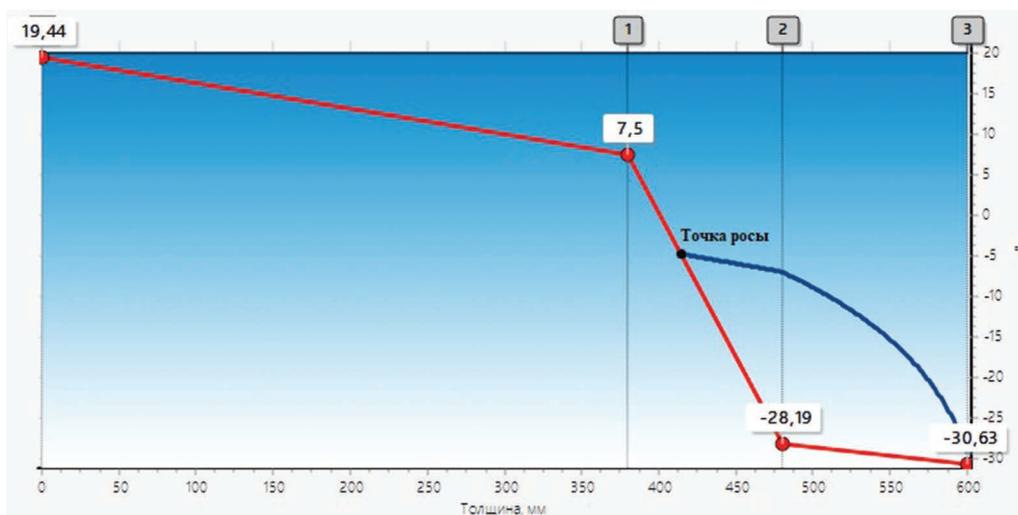


Рис. 3. График изменения температуры и выпадения конденсата для кирпичной стены

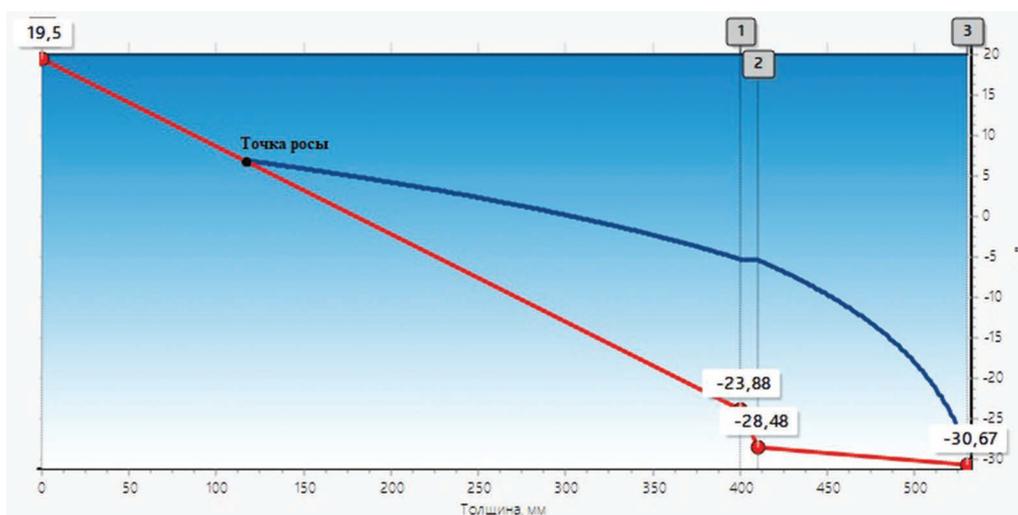


Рис. 4. График изменения температуры и выпадения конденсата для стены из твинблока

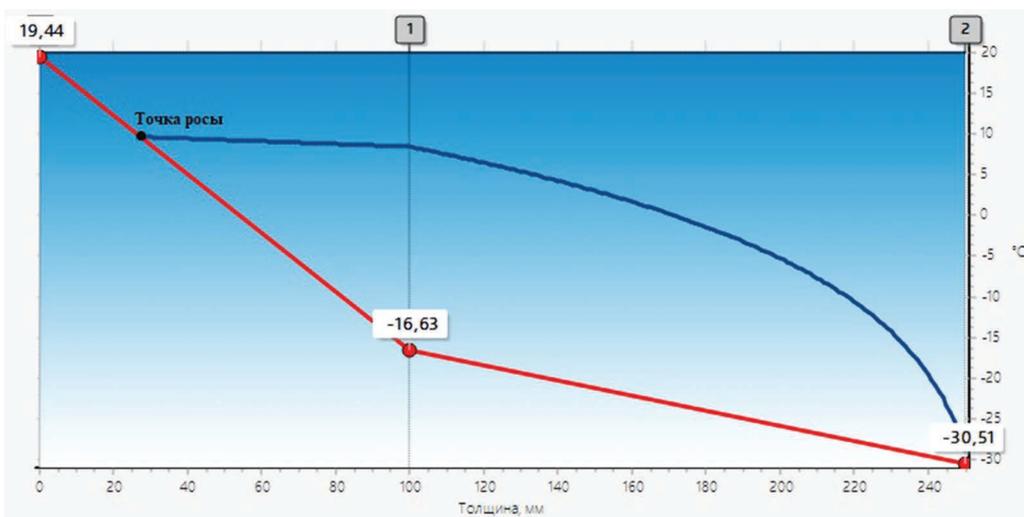


Рис. 5. График изменения температуры и выпадения конденсата для стены из бруса

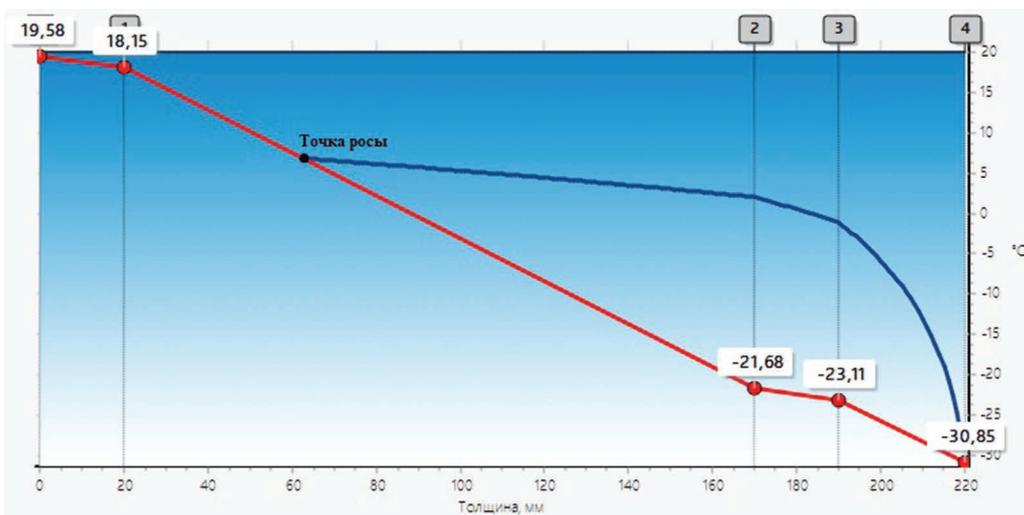


Рис. 6. График изменения температуры и выпадения конденсата для стены из ОСП плит

В стене из твинблока конденсат находится во внутренней части. Благодаря хорошей паропроницаемости твинблока и при правильной вентиляции дома и внутренней отделке можно избежать отрицательных последствий.

В стене из бруса выпадение конденсата начинается в утеплителе. Это ведет к намоканию утеплителя и влечет за собой опасность разрушения материала и большие потери тепла.

В стене из ОСП плит выпадение конденсата начинается в толще утеплителя ближе к внутренней части стены. Это влечет за собой снижение теплотехнических свойств утеплителя, большие

потери тепла и отсыревание стены изнутри. Наиболее предпочтительным вариантами с точки зрения температурно-влажностного расчета являются стены из кирпича и твинблока.

Определение индекса цены на единицу сопротивления теплопередаче

Сравним стоимость рассматриваемых материалов, предлагаемых компанией «Строительный двор» [3]. Стоимость 1 м² материала приведена в таблице 6.

Для определения эффективности стеновой конструкции введем индекс цены за единицу сопротивления теплопередаче конструкции.

Величина индекса цены на единицу сопротивления теплопередаче

Вид стены	Стоимость 1 м ² , руб.	Сопротивление теплопередаче конструкции, (м ² ·°С)/Вт	Соотношение цены на единицу сопротивле- ния теплопередаче
Стена из кирпича	9 275	4,05	2 290,12
Стена из твинблока	5 690	4,52	1 258,85
Стена из бруса	1 446	4,01	360,60
Стена из плит ОСП	1 890	5,44	347,43

Величина этого индекса будет указывать, насколько эффективна конструкция стены с точки зрения стоимости материала и сопротивления теплопередаче.

Индекс цены на единицу сопротивления теплопередаче для материалов можно найти по формуле:

$$I = \frac{C}{R_0}. \quad (10)$$

Индекс соотношения цены на единицу сопротивления теплопередаче кирпичной стены равен:

$$I = \frac{C_1}{R_0} = \frac{9275}{4,05} = 2290,12. \quad (11)$$

Обсуждение

Температурно-влажностный расчет и определение индекса соотношения цены на единицу сопротивления теплопередаче показали следующие результаты: кирпичная стена обладает хорошими теплотехническими свойствами и отличается высокой стоимостью материалов, стена из твинблока обладает оптимальным соотношением между стоимостью и теплопередачей, для стен из ОСП плит и бруса характерно хорошее сопротивление теплопередаче, но защита от выпадения конденсата у них недостаточная, стоимость этих материалов достаточно низкая.

Оптимальной конструкцией для стенового ограждения является стена из твинблока с наружной облицовкой из кирпича. Это наиболее приемлемое решение по соотношению стоимости и такими свойствами материала, как способность сохранять тепло и пропускать влагу.

Выводы

Разработанные рекомендации направлены на поиск оптимального решения по выбору материалов стен для малоэтажного строительства с учетом их стоимости и свойств.

Материал стен – один из главных факторов, который обуславливает физические свойства конструкции. Для выбора наиболее подходящего материала в данной статье был использован индексный подход, который базируется на двух показателях: коэффициенте сопротивления теплопередаче и цене 1 м² материала стен.

Для будущего владельца дома соотношение между этими двумя показателями позволит определить, какой состав стен наиболее предпочтителен для обеспечения необходимой теплопроводности и насколько выбранное решение соответствует бюджету. Для компаний, занимающихся проектированием и возведением стеновых конструкций, данный подход поможет найти эффективные сочетания разных материалов, что, в свою очередь, позволит создавать конструкции, удовлетворяющие запросам наибольшего числа клиентов.

Библиографический список

1. Шнейдерман, И. М. Развитие малоэтажного жилья и его роль в повышении качества жизни населения / И. М. Шнейдерман. – Текст : непосредственный // Народонаселение. – 2013. – № 3 (61). – С. 059–067.
2. Сайфуллина, С. Ф. Перспективы развития малоэтажного жилищного строительства в России / С. Ф. Сайфуллина, И. Д. Логиновская. – Текст : электронный // Управление экономическими системами : электронный научный журнал. – 2015. – № 5 (77). – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_23768220_95500771.pdf (дата обращения : 21.02.2022).
3. Строительный двор : [сайт]. – URL : <https://www.sdvor.com/ekb/> (дата обращения : 21.02.2022). – Текст : электронный.
4. COTTAGE96 : Архитектурное проектирование : [сайт]. – URL : <https://cottage-96.ru/> (дата обращения: 21.02.2022). – Текст : электронный.
5. Загородное строительство «под ключ». Екатеринбург и Свердловская область / СтройДом : Строительно-ремонтная компания : [сайт]. – URL : <https://ekb.stroitelstvo-domov-pod-klyuch.ru/> (дата обращения : 21.02.2022). – Текст : электронный.
6. Строительство домов из кирпича : новая жизнь старой технологии / FORUMHOUSE : [сайт]. – URL : https://www.forumhouse.ru/journal/themes/113-stroitelstvo-domov-iz-kirpicha-novaya-zhizn-staroj-tehnologii#_Тос69231599 (дата обращения : 21.02.2022). – Текст : электронный.
7. Строительство дома из твинблока : его преимущества и особенности работ / Дом и ремонт : [сайт]. – URL : <https://dom-i-remont.info/posts/proekt-doma/stroitelstvo-doma-iz-tvinbloka-ego-preimushhestva-i-osobennosti-rabot/#id6> (дата обращения : 21.02.2022). – Текст : электронный.
8. Шихман, А. Зимнее строительство из профилированного бруса / А. Шихман. – Текст : электронный // FORUMHOUSE – 2019 : [сайт]. – URL : <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/9268-zimnee-stroitelstvo-iz-profilirovannogo-brusa> (дата обращения : 21.02.2022).
9. Березин, А. Дом из ОСБ панелей : характеристики, поэтапная постройка и процесс отделки / А. Березин. – Текст : электронный // Выставка домов Малоэтажная страна. – 2020. – URL : <https://m-strana.ru/articles/dom-iz-osb-paneley/> (дата обращения : 21.02.2022).
10. Никитина, Л. И. Выполнение практических расчетов элементов строительных конструкций по архитектурной физике : учебное пособие / Л. И. Никитина, И. Л. Полянская, Л. В. Белова. – Тюмень : ТИУ, 2021. – 107 с. – Текст : непосредственный.
11. Расчетная программа LIT THERMO ENGINEER. Завод ЛИТ : [сайт]. – URL : <https://zavodlit.ru/support/lte.html> (дата обращения : 21.02.2022). – Текст : электронный.

References

1. Schneiderman, I. M. (2013). Development of low-rise housing and its role in raising the quality of life of population. *Population*, 3(61), pp. 059-067. (In Russian).
2. Sayfullina, S. F., & Loginovskaya, I. D. (2015). Perspektivy razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 5(77). (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_23768220_95500771.pdf (date of the application: 21.02.2022).
3. Stroitel'nyy dvor. (In Russian). Available at: <https://www.sdvor.com/ekb/> (date of the application: 21.02.2022).
4. COTTAGE96: Arkhitekturnoe proektirovanie. (In Russian). Available at: <https://cottage-96.ru/> (date of the application: 21.02.2022).
5. Zagorodnoe stroitel'stvo «pod klyuch». Ekaterinburg i Sverdlovskaya oblast'. StroyDom: Stroitel'no-

- remontnaya kompaniya. (In Russian). Available at: <https://ekb.stroitelstvo-domov-pod-klyuch.ru/> (date of the application: 21.02.2022).
6. Stroitel'stvo domov iz kirpicha: novaya zhizn' staroy tekhnologii. FORUMHOUSE. (In Russian). Available at: https://www.forumhouse.ru/journal/themes/113-stroitelstvo-domov-iz-kirpicha-novaya-zhizn-staroy-tehnologii#_Toc69231599 (date of the application: 21.02.2022).
 7. Stroitel'stvo doma iz tvinkloka: ego preimushchestva i osobennosti rabot. Dom i remont. (In Russian). Available at: <https://dom-i-remont.info/posts/proekt-doma/stroitelstvo-doma-iz-tvinkloka-ego-preimushchestva-i-osobennosti-rabot/#id6> (date of the application: 21.02.2022).
 8. Shikhman, A. (2019). Zimnee stroitel'stvo iz profilirovannogo brusa. FORUMHOUSE. (In Russian). Available at: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/9268-zimnee-stroitelstvo-iz-profilirovannogo-brusa> (date of the application: 21.02.2022).
 9. Berezin, A. (2020). Dom iz OSB-paneley: kharakteristiki, poetapnaya postroyka i protsess otdelki. Vystavka domov Maloetazhnaya strana. (In Russian). Available at: <https://m-strana.ru/articles/dom-iz-osb-paneley/> (date of the application: 21.02.2022).
 10. Nikitina, L. I., Polyanskaya, I. L., & Belova, L. V. (2021). Vypolnenie prakticheskikh raschetov elementov stroitel'nykh konstruktsiy po arkhitekturnoy fizike. Tyumen, Tyumen Industrial University Publ., 107 p. (In Russian).
 11. Raschetnaya programma LIT THERMO ENGINEER. Zavod LIT. (In Russian). Available at: <https://zavodlit.ru/support/ite.html> (date of the application: 21.02.2022).

Сведения об авторах

Сироткин Виктор Анатольевич, к. э. н., доцент кафедры ценообразования в строительстве и промышленности, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, e-mail: V.A.Sirotkin@urfu.me

Давыдов Иван Ильич, магистрант института Строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, e-mail: I.I.Davydov@urfu.me

Information about the authors

Victor A. Sirotkin, Candidate in Economics, Associate Professor at the Department of Pricing in Construction and Industry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, e-mail: V.A.Sirotkin@urfu.me

Ivan I. Davydov, Graduate Student of the Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, e-mail: I.I.Davydov@urfu.me

Для цитирования: Сироткин, В. А. Применение индексного подхода к выбору материала стен для малоэтажного строительства / В. А. Сироткин, И. И. Давыдов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-54-64. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 54–64.

For citation: Sirotkin, V. A., & Davydov, I. I. (2022). Using the index approach to select wall materials for low-rise construction. Architecture, construction, transport, (1), pp. 54-64. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-54-64.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

В. Ф. Бай, В. С. Сафарян
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SHALLOW FOUNDATIONS

Vladimir F. Baj, Vage S. Safaryan
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу создания более эффективных конструкций фундаментов мелкого заложения. Рассмотрены способы оптимизации конструкций столбчатых и ленточных фундаментов, а также некоторые нестандартные фундаменты с «нетипичной», редко используемой в строительстве конструкцией; обозначены преимущества и недостатки тех или иных решений, их особенности.

Abstract. This article focuses on the creation of more efficient designs of shallow foundations. The ways of optimizing the designs of pile foundations and strip foundations, as well as some non-standard foundations with rarely used ("atypical") construction are reviewed; the advantages and disadvantages of various solutions and their features are outlined.

Ключевые слова: строительство, фундамент, фундамент мелкого заложения, ленточный фундамент, столбчатый фундамент, неплоская подошва, измененная геометрия, механика грунтов, эффективность в строительстве

Key words: construction, foundation, shallow foundation, strip foundation, pile foundation, non-flat base, modified geometry, soil mechanics, efficiency in construction

Введение

Главным преимуществом любой строительной продукции, помимо прочности и надежности, является ее экономическая эффективность. Экономический эффект может быть выражен такими показателями, как трудоемкость и материалоемкость.

Несмотря на то, что в настоящее время можно строить невероятно высокие, глубокие подземные и крупнопролетные здания и сооружения в самых разных климатических условиях, потенциал показателей материалоемкости и трудоемкости существующих конструктивных решений еще не исчерпан. В данной статье будут

рассмотрены способы улучшения характеристик фундаментов неглубокого заложения.

Фундаменты мелкого заложения широко распространены во всем мире, их отличительной особенностью являются невысокая стоимость и трудоемкость. Данные фундаменты практически не имеют альтернативы, когда речь идет о строительстве зданий сельскохозяйственного назначения и одноэтажных промышленных сооружений, также они широко используются в частной застройке, малоэтажном строительстве зданий жилого, административного и общественного назначения. Несмотря на относительную дешевизну, расходы на устройство фундаментов мелкого заложения могут достигать до 10 % от общей стоимости строительства, а учитывая то, что к ним прибегают достаточно часто, экономия в несколько процентов при строительстве может принести в абсолютном эквиваленте существенную выгоду.

Объект и методы исследования

Фундаменты мелкого заложения чаще всего используют, когда расчетное сопротивление подстилающего слоя варьируется в пределах

$R = 150 \div 250$ кПа, а модуль деформации принимает значения $E_{10} \div 15$ МПа. Их возможно устраивать и на искусственном основании, созданном поверхностным или глубинным уплотнением, с помощью замены слабого грунтового основания на песчаную или созданную из минеральных отходов производств, таких как шлак и других, подушку [1, 2].

Фундаменты неглубокого заложения (рис. 1) можно классифицировать по:

1. технологии:
 - монолитные (устраиваются непосредственно в котловане на строительной площадке);
 - сборные (на стройплощадку привозят готовые заводские элементы, которые в дальнейшем монтируют).
2. конструкции:
 - столбчатые (здания или сооружения с полным или неполным каркасом);
 - ленточные фундаменты (строения с несущими стенами);
 - плитные (сплошные) фундаменты (представляют собой железобетонную плиту, устроенную под всей площадью постройки, в абсолютном большинстве случаев это монолитная конструкция под тяжелыми объектами, плита

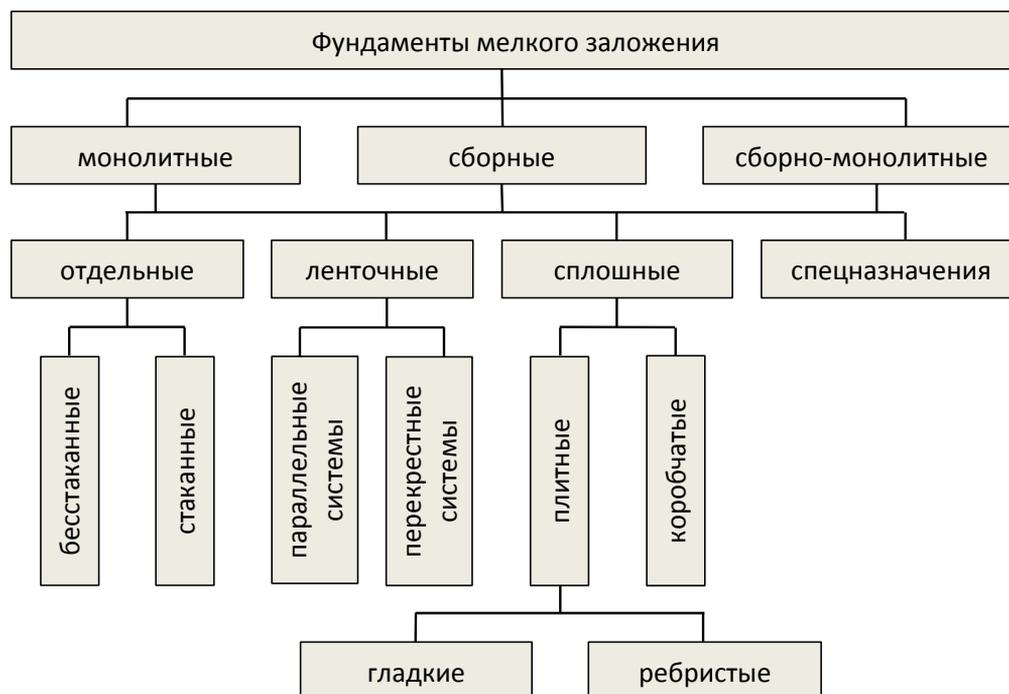


Рис. 1. Классификация фундаментов мелкого заложения

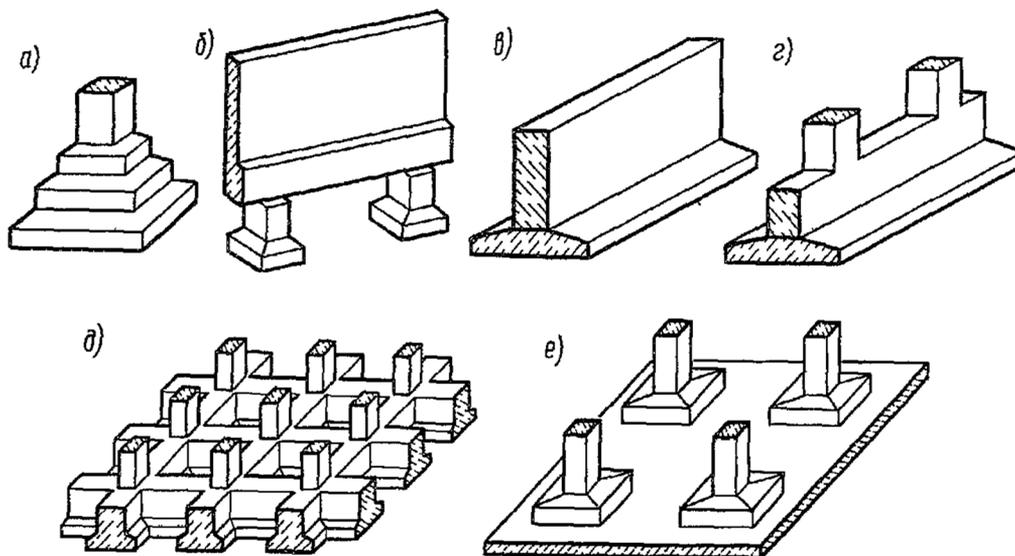


Рис. 2. Основные типы фундаментов мелкого заложения:
 а) отдельный фундамент под колонну; б) отдельные фундаменты под стену;
 в) ленточный фундамент под стену; г) то же под колонны; д) то же под сетку колонн;
 е) сплошной (плитный) фундамент

разделяется осадочными швами с целью уменьшения неравномерности осадок);

- массивные фундаменты (устраиваются под небольшие в плане и тяжелые сооружения (мачты, башни, доменные печи, дымовые трубы и т. п.)).

Конструктивные типы фундаментов мелкого заложения представлены на рис. 2.

В фундаментостроении актуальными остаются вопросы повышения эффективности фундаментов с помощью корректировки расчетных схем основания, конструирования новых облегченных фундаментов и разработки способов их расчетов, а также разработки новых геометрических решений для традиционных фундаментов.

Существуют следующие основные принципы конструктивного развития традиционных фундаментов, в том числе неглубокого заложения [3, 4]:

1. Уменьшение ресурсоемкости, за счет которого происходит экономия на материалах и снижается трудоемкость. Также это ведет к уменьшению собственного веса конструкции, что при прочих равных делает конструкцию фундамента более эффективной в техническом плане. Ресурсоемкость – ос-

новной показатель, влияющий на общую стоимость устройства фундаментов мелкого заложения, поэтому неудивительно, что он является одним из основополагающих для вариантного проектирования.

2. Наиболее эффективное использование существующих материалов или увеличение прочностных свойств используемых. Хорошим примером является разработка новой геометрии отдельных элементов или конструкции в целом, чтобы наименее нагруженная часть в сечении материала воспринималась минимальным объемом материала, а большие неблагоприятные внутренние усилия (изгибающий момент, крутящий момент, растяжение) воспринимались более эффективно.
3. Принципы решения технических (системных) противоречий, например, принцип «сфероидальности», заключающийся в переходе от плоских или угловатых поверхностей к сферическим и криволинейным, так куб или параллелепипед следует приводить к форме шара или эллипсоида.
4. Использование в работе максимального объема грунтового массива. Разработка новых и

использование существующих возможностей регулирования неравномерности осадок и величины абсолютной осадки зданий [5].

Современные ученые существенно продвинулись в изучении плитных фундаментов. Это связано с их универсальностью: область применения данных фундаментов по геологическим условиям почти не ограничена, их можно широко использовать в наиболее неблагоприятных условиях, будь то пучинистые, просадочные или любые другие слабые грунты. Кроме того, разность осадок у таких фундаментов в сравнении с другими типами фундаментов существенно меньше.

Достаточно широко на сегодняшний день распространены ленточные фундаменты. К их основным достоинствам можно отнести быстроту и простоту устройства. Данные фундаменты можно использовать под колонны, такое решение позволит уменьшить разницу в осадках отдельных колонн, а в случае необходимости выровнять осадку под всем строением, полезным будет использовать принцип перекрестных лент [6].

Отдельно стоящие фундаменты чаще всего являются основанием для каркасных зданий и специальных сооружений. Данный тип фундаментов не придает зданиям дополнительной жесткости и используется чаще всего в тех случаях, когда неравномерность осадок по расчетам не превышает допустимых значений.

В современном фундаментостроении существуют следующие принципы по разработке более эффективных конструкций фундаментов мелкого заложения:

1. Изменение тела фундамента (рис. 3).

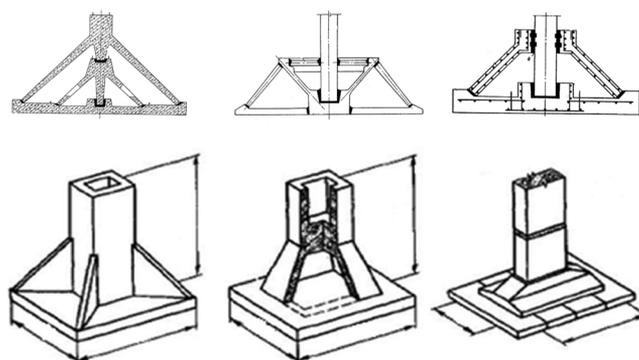


Рис. 3. Фундаменты с эффективным телом

2. Изменение подошвы фундамента:

- создание новой плоской подошвы фундамента (рис. 4);

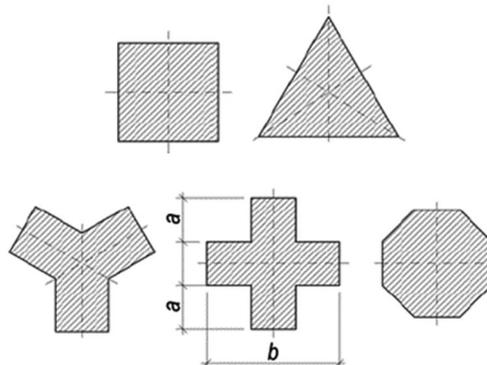


Рис. 4. Фундаменты с измененной плоской подошвой, испытанные А. В. Глушковым

- изменение подошвы фундамента в вертикальной плоскости, примеры таких фундаментов представлены на рис. 5 [7, 8].

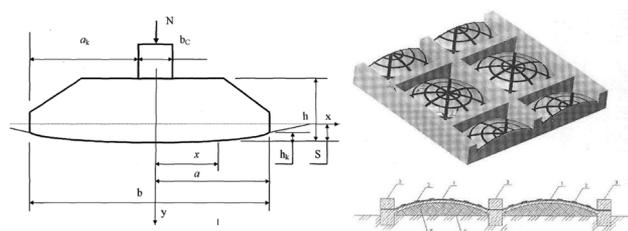


Рис. 5. Фундаменты с неплоской подошвой

Экспериментальная часть и результаты

Сотрудниками Тюменского индустриального университета было проведено цифровое сравнительное моделирование работы фундамента с плоской и измененной геометрией подошвы. В качестве новой более эффективной формы опирания была выбрана конструкция со ступенчатой подошвой. Моделирование велось с двумя моделями грунта в разных геологических условиях, а также при разной собственной геометрии фундаментов. В зависимости от исходных данных и способа моделирования грунта при прочих равных фундамент со ступенчатой подошвой продемонстрировал лучшие показатели, эффективность доходила до 30 % [9].

В дальнейшем для более детального изучения работы фундаментов со ступенчатой подошвой были проведены постановочные опыты в экспериментальной лаборатории Тюменского индустриального университета. Принцип проведения остался тем же – сравнивались фундаменты с измененной и плоской геометрией

подошвы. Руководствуясь данными цифрового моделирования, было решено испытывать фундаменты в слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Перед проведением опыта был подготовлен грунт одинаковой консистенции и определены его физико-механические свойства (табл. 1–4).

Таблица 1

Определение плотности грунта методом режущего кольца

№ кольца	Масса кольца с грунтом m_1 , г	Масса кольца m_0 , г	Масса грунта m , г	Объем грунта, см^3	Плотность грунта ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	
					образца	средняя
4	146,88	43,89	102,99	49,59	2,08	2,09
13	142,96	42,39	100,57	49,26	2,04	
17	147,67	41,07	106,6	49,33	2,16	

Таблица 2

Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы

№ бюкса	Масса бюкса m , г	Масса влажного грунта с бюксом m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксом m_0 , г	Влажность W , %	
				отдельной пробы	средняя
3	7,34	29,44	24,6	28,04	28
8	7,23	34,66	28,67	27,94	
19	7,05	35,88	29,58	27,96	

Таблица 3

Определение границы текучести W_L глинистого грунта

№ бюкса	Масса бюкса m , г	Масса влажного грунта с бюксом m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксом m_0 , г	Граница текучести W_L , %	
				отдельной пробы	средняя
8	7,22	22,98	19,4	29,4	29,4
17	12,62	28,8	25,14	29,2	
21	12,38	31,53	27,16	29,6	

Таблица 4

Определение границы раскатывания W_p глинистого грунта

№ бюкса	Масса бюкса m , г	Масса влажного грунта с бюксом m_1 , г	Масса высушенного грунта с бюксом m_0 , г	Граница раскатывания W_p , %	
				отдельной пробы	средняя
8	7,22	17,81	16,26	17,15	17,06
17	12,62	26,97	24,89	16,95	
21	25,2	25,2	23,33	17,08	
$I_p = W_L - W_p = 12,34\%$					

Механические свойства грунта были определены с помощью компрессионных испытаний. По их результатам: угол внутреннего трения составил $\varphi = 20,64^\circ$; сцепление грунта $c = 14,99$ кПа.

В ходе испытаний было установлено, что осадка фундамента со ступенчатой подошвой при прочих равных была приблизительно на 30 % меньше, чем у его аналога (рис. 6). Также в ходе исследо-

вания наглядным стало, что фундамент со ступенчатой подошвой более устойчив к случайным эксцентриситетам и внецентренному нагружению в целом, чем аналог с плоской подошвой [10].

Выводы

Испытанные фундаменты мелкого заложения со ступенчатой подошвой продемонстрировали более высокую эффективность в условиях текучепластичных глинистых грунтов, преимущество достигало 30 %.

Данные исследования наглядно демонстрируют, что существующие решения в устройстве фундаментов мелкого заложения не являются конечной точкой развития фундаментостроения, а исследования в области разработки более эффективных конструкций фундаментов такого типа имеют существенный потенциал. Кроме того, в современных условиях постоянно увеличивающейся доли малоэтажного строительства более совершенные решения позволят значительно сэкономить ресурсы [11, 12].

Экспериментальные значения осадки и напряжения под проекцией подошвы фундамента для ФМЗ с плоской и измененной геометрией опирания

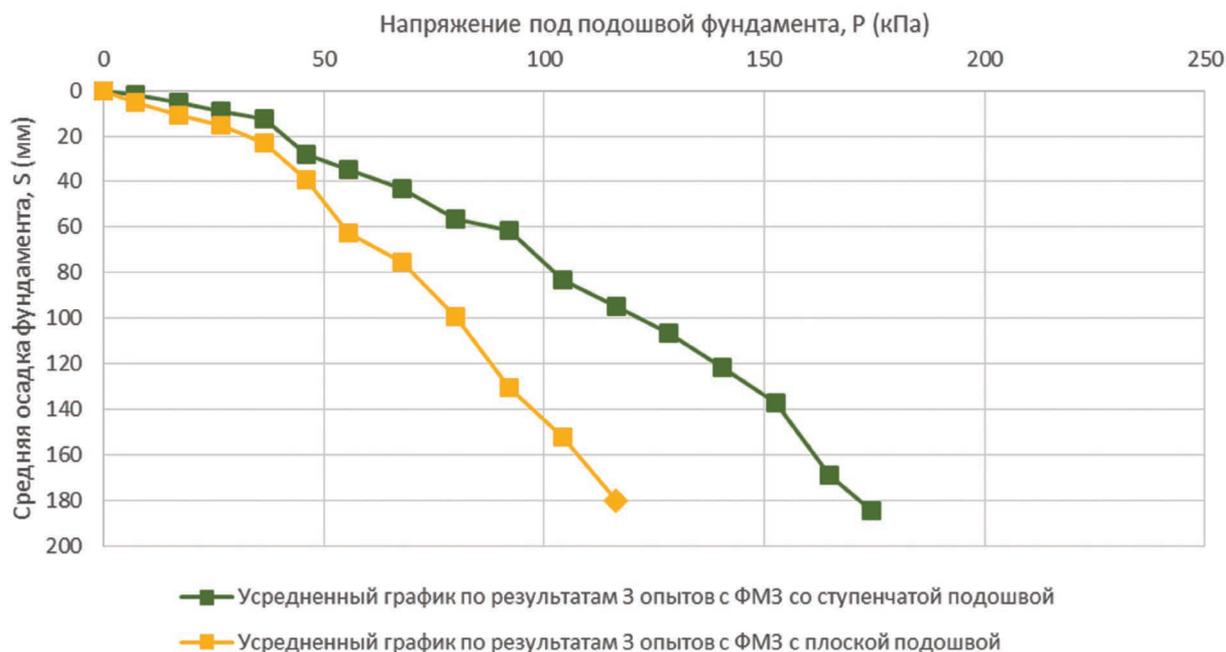


Рис. 6. Результаты лабораторного эксперимента моделирования работы столбчатых фундаментов со ступенчатой и плоской подошвами

Библиографический список

1. Бородачев, Н. М. Об управлении распределением реактивных давлений под подошвой фундамента / Н. М. Бородачев. – Текст : непосредственный // Сопротивление материалов и теория сооружений : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск 18. – Киев: Будівельник, 1972. – С. 8–11.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов [и др.] ; Под общей редакцией Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – Москва : Стройиздат, 1985. – 480 с. – Текст : непосредственный.

-
3. Тетиор, А. Н. Фундаменты : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / А. Н. Тетиор. – Москва : Академия, 2010. – 400 с. – Текст : непосредственный.
 4. Грицук, М. С. Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Грицук Михаил Степанович ; Брестский политехнический институт. – Брест, 1998. – 283 с. – Текст : непосредственный.
 5. Крутов, В. И. Фундаменты мелкозаложенного : рациональные конструкции и технологии устройства / В. И. Крутов, Е. А. Сорочан, В. А. Ковалев. – Москва : АСВ, 2008. – 232 с. – Текст : непосредственный.
 6. Герсеванов, Н. М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин. – Москва : Госстройиздат, 1948. – 68 с. – Текст : непосредственный.
 7. Архипов, Д. Н. Взаимодействие грунтового основания и сборных ленточных основ с геометрической изменяемой видимостью подошвы : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Архипов Дмитрий Николаевич ; Южно-Российский государственный технический университет. – Волгоград, 2006. – 24 с. – Место защиты : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.
 8. Глушков, А. В. Влияние формы и размеров подошвы фундаментов на напряженно-деформированное состояние основания : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Глушков Алексей Вячеславович ; Поволжский государственный технологический университет. – Тюмень, 2016. – 22 с. – Место защиты : Тюменский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.
 9. Мартюшева, А. И. Моделирование деформаций основания под штампами с различной формой подошвы / А. И. Мартюшева. – Текст : непосредственный // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 02–03 ноября 2017 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 154–157.
 10. Сафарян, В. С. Эффективные фундаменты мелкозаложенного / В. С. Сафарян, В. Ф. Бай, С. А. Еренчинов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2. – С. 270–277. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825> (дата обращения : 02.03.2022).
 11. Красовицкий, М. Ю. Проектирование фундаментов промышленных и гражданских зданий / М. Ю. Красовицкий ; ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», Кафедра «Строительные конструкции, здания и сооружения». – Москва : МИИТ, 2011. – 137 с. – Текст : непосредственный.
 12. The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles / T. Maltseva, A. Nabokov, Y. Novikov, V. Sokolov. – DOI 10.1051/mateconf/20167301015. – Electronic text // MATEC Web of Conferences, Tyumen, April 27–29, 2016. – Tyumen : EDP Sciences, 2016. – P. 01015.

References

1. Borodachev, N. M. (1972). Ob upravlenii raspredeleniem reaktivnykh davleniy pod podoshvoy fundamenta. Soprotivlenie materialov i teoriya sooruzheniy: respublikanskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskiy sbornik. Vypusk 18. Kiev, Budivel'nik Publ., pp. 8-11. (In Russian).
2. Gorbunov-Posadov, M. I., Il'ichev, V. A., Krutov, V. I., Konovalov, P. A., Smorodinov, M. I., Sorochan, E. A., ... Shapiro, A. V. (1985). Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. Moscow, Stroyizdat Publ., 480 p. (In Russian).

3. Tetior, A. N. (2010). *Fundamenty*. Moscow, Academia Publ., 400 p. (In Russian).
4. Gritsuk, M. S. (1998). *Ratsional'nye konstruksii plit dlya lentochnykh fundamentov*. Diss. dokt. tekhn. nauk. Brest, 283 p. (In Russian).
5. Krutov, V. I., Sorochan, E. A., & Kovalev, V. A. (2008). *Fundamenty melkogo zalozheniya: ratsional'nye konstruksii i tekhnologii ustroystva*. Moscow, ASV Publ., 232 p. (In Russian).
6. Gersevanov, N. M., & Pol'shin, D. E. (1948). *Teoreticheskie osnovy mekhaniki gruntov i ikh prakticheskie primeneniya*. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 68 p. (In Russian).
7. Arkhipov, D. N. (2006). *Vzaimodeystvie gruntovogo osnovaniya i sbornykh lentochnykh osnov s geometricheskoy izmenyaemoy vidimost'yu podoshvy*. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 24 p. (In Russian).
8. Glushkov, A. V. (2016). *Vliyanie formy i razmerov podoshvy fundamentov na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie osnovaniya*. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Tyumen, 22 p. (In Russian).
9. Martyusheva, A. I. (2017). *Modelirovanie deformatsiy osnovaniya pod shtampami s razlichnoy formoy podoshvy. Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, November 2-3, 2017. Tyumen, Industrial University of Tyumen, pp. 154–157. (In Russian).
10. Safaryan, V. S., Baj, V. F., & Erenchinov, S. A. (2021). Effective shallow foundations. *Engineering Journal of Don*, (2), pp. 270-277. (In Russian). Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825> (date of the application: 02.03.2022).
11. Krasovitskiy, M. Yu. (2011). *Proektirovanie fundamentov promyshlennykh i grazhdanskiy zdaniy*. Moscow, MIIT Publ., 137 p. (In Russian).
12. Maltseva, T., Nabokov, A., Novikov, Y., & Sokolov, V. (2016). The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles. *MATEC Web of Conferences*, April 27-29, 2016. Tyumen, EDP Sciences Publ., pp. 01015. (In Russian). Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167301015>.

Сведения об авторах

Бай Владимир Федорович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: bajvf@tyuiu.ru

Сафарян Ваге Суменович, ассистент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: safaryanv@yandex.ru

Information about the authors

Vladimir F. Baj, Candidate in Engineering, Associate Professor, Head at the Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen, e-mail: bajvf@tyuiu.ru

Vage S. Safaryan, Assistant at the Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen, e-mail: safaryanv@yandex.ru

Для цитирования: Бай, В. Ф. Повышение эффективности фундаментов мелкого заложения / В. Ф. Бай, В. С. Сафарян. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-65-72. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 65–72.

For citation: Baj, V. F., & Safaryan, V. S. (2022). Improving the efficiency of shallow foundations. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 65-72. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-65-72.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ СЕЗОННОМ ПРОМЕРЗАНИИ И ОТТАИВАНИИ КОНСТРУКЦИИ

С. П. Санников¹, А. В. Мармур²

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² АО «Мостострой-11», Тюмень, Россия

CHANGES IN PAVEMENT STRENGTH DURING SEASONAL FREEZING AND THAWING OF THE STRUCTURE

Sergey P. Sannikov¹, Anna V. Marmur²

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² JSC "Mostostroy-11", Tyumen, Russia

Аннотация. В работе приведен анализ существующего оборудования для оценки прочности дорожных одежд на автомобильных дорогах. Выполнена оценка прочности на отдельных улицах в городе Тюмени в осенне-зимне-весенний период. Для этого использовался метод статического нагружения с применением прогибомера, а также применялся переносной портативный прибор. Была получена функциональная зависимость, позволяющая оценивать модуль упругости с помощью портативного прибора, и установлены закономерные изменения прочности при сезонном промерзании и оттаивании конструкции.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, прочность, модуль упругости

Abstract. The paper presents an analysis of existing equipment for assessing the strength of road pavements on highways. The strength assessment on some streets in the city of Tyumen in the autumn-winter-spring period was performed. For this purpose, the method of static loading with a deflectometer was used, as well as a portable device. A functional dependence that makes it possible to estimate the modulus of elasticity using a portable device was obtained, and regular changes in strength during seasonal freezing and thawing of the structure were established.

Key words: highway, road pavement, strength, elastic modulus

Введение

В настоящее время при развитии транспортной инфраструктуры особенно важен выбор рационального варианта восстановления и реконструкции сети автомобильных дорог. Оценка состояния должна основываться в первую оче-

редь на данных диагностики эксплуатируемой автомобильной дороги. Значительное внимание следует уделять оценке состояния дорожного покрытия во время эксплуатации. Решающим фактором при назначении мероприятия является фактическая прочность конструкции дорожной одежды.

Прочность определяется исходя из несущей способности дорожной конструкции, которая, в свою очередь, оценивается по показателю общего модуля упругости¹. Элементы дорожной конструкции (покрытие, основание, грунт земляного полотна) в течение срока службы испытывают различные воздействия, вызванные природно-климатическими условиями, нагрузкой от транспортных средств, вследствие чего со временем снижается ее прочность [1].

В настоящее время для оценки прочности дорожной одежды нежесткого типа применяется большое количество современного как крупногабаритного, так и малогабаритного оборудования, принципы действия которого основаны на статических и динамических методах испытания [2, 3].

В качестве основного оборудования можно отметить:

- длиннобазовый рычажный прогибомер различных производителей (рис. 1а)²;
- установка динамического нагружения типа «Дина-3М» или «Дина-4» (производитель – Саратовский научно-производственный центр РОСДОРТЕХ) (рис. 1б);
- установка «ДИП Импульс» (производитель – научно-производственное объединение «Регион»³) (рис. 1в);
- универсальный диагностический комплекс «УДК-4» или «УДК-6» (разработчик – МАДИ) (рис. 1г);
- переносной портативный прибор РОСДОРНИИ «Микродин» (рис. 2) [4–6].

С помощью длиннобазового рычажного прогибомера производятся штамповые испытания конструкции. При этом требуется наличие грузового автомобиля. Данные испытания являются трудоемкими видами работ, связанными с перемещением установки. Использование различных передвижных диагностических лабораторий и крупных установок трудозатратно и невозможно на малодоступных участках.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является дорожная одежда, предметом – ее прочность, а также изменения в процессе сезонного промерзания и оттаивания дорожной конструкции. В ходе работы был использован эмпирический метод исследования, который включал изучение разнообразных источников информации и анализ полученных сведений, проведение и описание эксперимента в рамках классической теории упругости.

В данной работе при оценке прочности на отдельных улицах в городе Тюмени использовался переносной портативный прибор «Микродин» конструкции РОСДОРНИИ. Работы по определению несущей способности дорожных одежд выполнялись в осенний, зимний и весенний периоды с целью установления закономерности изменений прочности при сезонном промерзании и оттаивании конструкции в рамках обоснования возможности повышения предельно допустимой нагрузки на дорожную одежду в зимний период [7, 8].

¹ ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд : отраслевые дорожные нормы : издание официальное : утверждены и введены распоряжением Государственной службы дорожного хозяйства (Росавтодор) Министерства транспорта Российской Федерации от 20 декабря 2000 г. N ОС-35-Р : дата введения 2001-01-01. – Москва : Информавтодор, 2001. – 148 с. – Текст : непосредственный.

² ОДН 218.1.052-2002 Оценка прочности нежестких дорожных одежд : отраслевые дорожные нормы : издание официальное : утверждены и введены распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 19 ноября 2002 г. N ОС-1040-р : дата введения 2002-11-19. – Москва : Росавтодор, 2003. – 27 с. – Текст : непосредственный.

³ ГОСТ 32729-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Метод измерения упругого прогиба нежестких дорожных одежд для определения прочности (с Поправками) = Automobile roads of general use. The method of measuring elastic deflection to determine the strength of non-rigid pavement : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 июня 2014 г. N 45) : дата введения 2015-02-01 / разработан Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» (АНО «НИИ ТСК»), Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 29 с. – Текст : непосредственный.

«Микродин» представляет собой прибор ударного нагружения дорожной конструкции, характеризующийся параметрами, представленными в таблице. Общая схема переносного портативного прибора представлена на рис. 3. Работа с прибором «Микродин» не требует боль-

ших трудозатрат и включает в себя следующие действия:

- очистку покрытия дорожной одежды на контрольной точке;
- установку прибора на контрольную точку;
- отцентровку измерительного датчика (за



Рис. 1. Оборудование для оценки прочности дорожных одежд автомобильных дорог:
а) длиннорычажный рычажный прогибомер; б) установка динамического нагружения «Дина-4»;
в) установка «ДИП Импульс»; г) универсальный диагностический комплекс типа «УДК»



Рис. 2. Портативный прибор «Микродин»

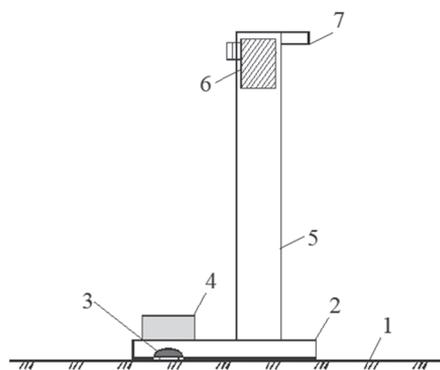


Рис. 3. Конструкция прибора «Микродин»:
1) поверхность покрытия; 2) опорная площадка, с прорезиненной поверхностью; 3) измерительный датчик; 4) устройство обработки данных;
5) направляющая штанга; 6) груз; 7) удерживающая рукоять

удерживающую рукоять (7) прибор отклоняется в сторону путем поднятия края опорной плиты с измерительным датчиком (3) так, чтобы датчик отцентрировался, затем прибор возвращается в исходное положение);

- обнуление индикатора измерительного датчика;
- подъем груза (6) до упора, при этом прибор удерживается за верхнюю часть, чтобы основание с датчиком не сместилось, а оставалось прижатым к дорожному покрытию;
- сброс груза;
- фиксация результата с индикатора в журнал.

В одной точке покрытия производится не менее девяти измерений в зависимости от сходимости результатов. Разброс показаний не должен превышать 10–15 %.

Таблица

Основные параметры портативного прибора «Микродин»

Параметр	Ед. изм.	Значение
Масса груза	кг	15
Высота падения груза	см	70
Время контактного взаимодействия	с	0,005

Экспериментальная часть

Для оценки прочности дорожной одежды была разработана методика проведения испытания. Она базируется на применении рычажного прогибомера и прибора «Микродин» для определения упругого прогиба; термометра ТЕМП-3.1 для контроля температуры покрытия дорожной одежды. Методикой была предусмотрена последовательная оценка прочности на одних и тех же контрольных точках покрытия с применением прогибомера и «Микродина» с целью дальнейшей тарировки портативного переносного прибора.

Изменения прочности дорожных одежд при сезонном промерзании и оттаивании наблюдались в течение осенне-зимне-весеннего периода на протяжении трех лет. В первый год проводи-

лись испытания методом статического и динамического нагружения согласно нормативно-технической документации и разработанной методике. На протяжении последующих двух лет испытания на контрольных точках проводились только с применением переносного портативного прибора.

В процессе оценки прочности статическим и динамическим методом в течение первого года была получена зависимость, позволяющая оценивать прочность дорожной одежды с определением модуля упругости по данным прибора «Микродин» (рис. 4):

$$E_y = 5308,8e^{-9,503m},$$

где E_y – модуль упругости, МПа;

m – показания индикатора прибора «Микродин».

Фрагмент полученных результатов за последний год измерений представлен на рис. 5.

Результаты

На основе анализа полученных данных отмечается, что при понижении температуры воздуха и наступлении зимнего периода наблюдается стремительный рост модуля упругости, следовательно, дорожная одежда способна воспринимать большие усилия, а это дает основание предположить, что допустимо снятие предельно допустимых ограничений по нагрузке в этот период с учетом промерзания дорожной конструкции. На стадии весенней эксплуатации наблюдается снижение прочности дорожной конструкции. При этом максимальный модуль упругости наблюдается в период с начала января до начала марта.

Полученные результаты подтверждают максимальное повышение модуля упругости на поверхности покрытия в период устойчивых отрицательных температур, следовательно, можно сделать вывод, что в этот период сохранность и целостность дорожной одежды будут обеспечены даже при превышении нагрузок, установленных Постановлением правительства РФ⁴ [9]. Возможно, нормативно допустимые ограничения нагрузки

⁴ Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 21.12.2020 г. № 2200. – Консультант-Плюс: справочно-правовая система: [сайт]. – URL: <http://consultant.ru>. – Текст: электронный (дата обращения: 01.03.2022).

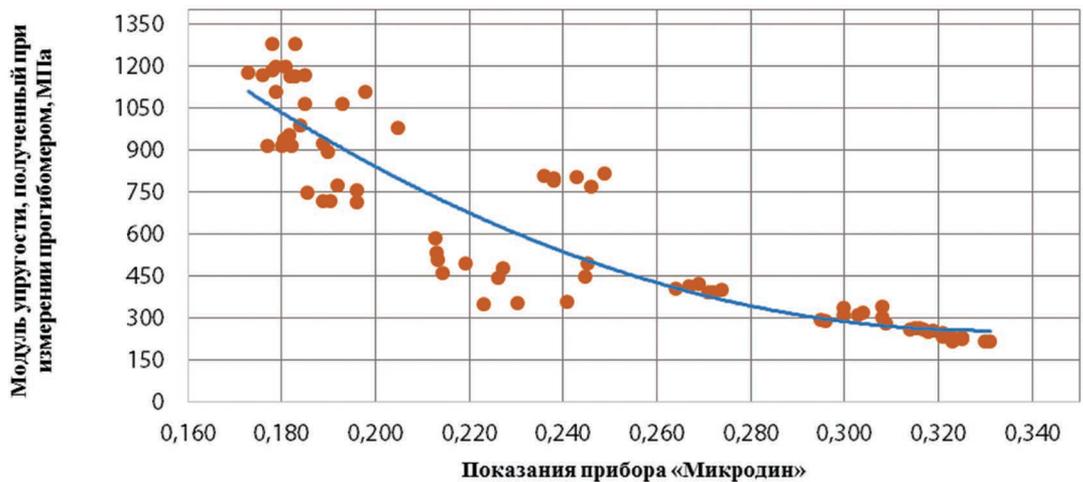


Рис. 4. Зависимость модуля упругости дорожной конструкции от показаний прибора «Микродин»

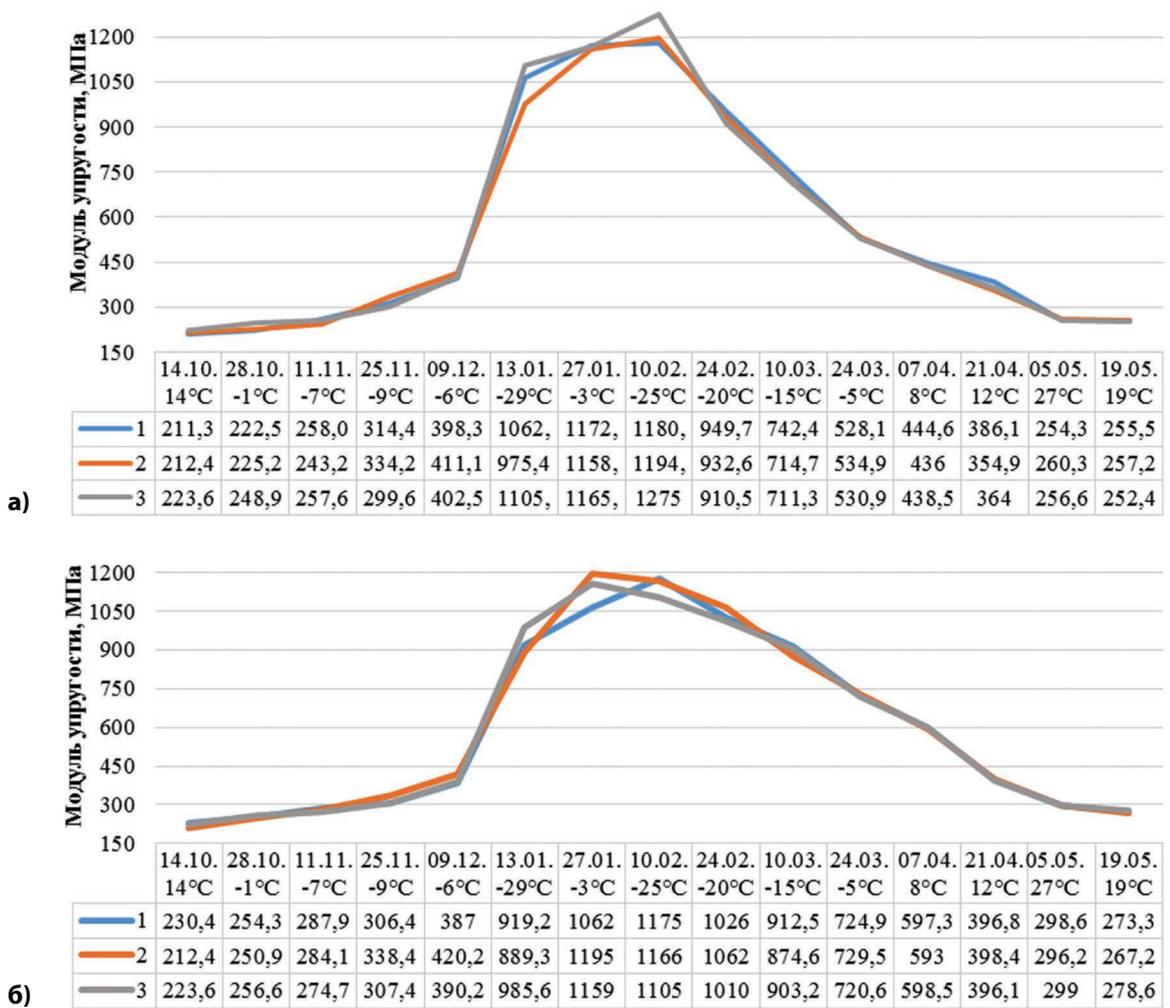


Рис. 5. Изменение модуля упругости в осенне-зимне-весенние периоды (2020–2021 год):
 а) ул. Энергостроителей; б) бульвар Бориса Щербины
 1, 2, 3 – контрольные точки

требуют корректировки и дифференцированного подхода с учетом разных периодов года.

Выводы

В течение трех лет в осенне-зимне-весенние периоды проводилась оценка прочности дорожной одежды на экспериментальных участках отдельных улиц Тюмени. В процессе работы установлены закономерные изменения прочности при сезонном промерзании и оттаивании кон-

струкции, получена функциональная зависимость, позволяющая оценивать модуль упругости дорожной одежды с применением портативного переносного прибора «Микродин». Его использование для экспресс-оценки модуля упругости позволит повысить производительность работ по обследованию автодорог, применение прибора также можно включить в методику по вводу и снятию в различные периоды года ограничений осевых нагрузок на дорожную одежду.

Библиографический список

1. Каменчуков, А. В. Оценка надежности работы нежестких дорожных одежд / А. В. Каменчуков. – Текст : непосредственный // Четвертый Всероссийский дорожный конгресс «Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог» : сборник научных трудов. – Москва : МАДИ, 2015. – С. 127–131.
2. Каталог выпускаемой продукции ФГУП СНПЦ «Росдортех» / ФГУП СНПЦ «Росдортех». – Саратов : 2001. – 66 с. – Текст : непосредственный.
3. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учебник для вузов / А. П. Васильев, В. М. Сиденко ; под ред. А. П. Васильева. – Москва : Транспорт, 1990. – 304 с. – Текст : непосредственный.
4. Лушников, П. А. Разработка экспресс-методов определения вязко-упругих свойств нежестких дорожных одежд с применением портативных приборов ударного действия : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лушников Петр Александрович ; Российский дорожный научно-исследовательский институт. – Москва, 2009. – 142 с. – Место защиты : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.
5. Лескин, А. И. Сравнение значений фактического упругого прогиба нежесткой дорожной одежды, полученного методами статического и динамического нагружений / А. И. Лескин, М. В. Катасонов, А. А. Степанов. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2017. – № 47 (66). – С. 235–241.
6. Лушников, П. А. Обоснование применения портативных приборов для определения упругих прогибов дорожных конструкций / П. А. Лушников. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 2 (14). – С. 94–98.
7. Justification of the possibility of changing of a permissible axle load on the road / D. P. Luchinskiy, S. P. Sannikov, V. D. Timohovets, A. V. Marmur. – DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022088. – Direct text // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, Russky Island, October 01–04, 2019. – Vladivostok : Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 022088.
8. Assessment of contact pressure on the road pavement created by modern vehicles / D. P. Luchinskiy, S. P. Sannikov, V. D. Timohovets, A. V. Marmur. – DOI: 10.9734/bpi/naer/v4/9455D. – Direct text // New Approaches in Engineering Research. – 2021. – Vol. 4. – Pp. 95–101.
9. Батищев, И. И. Нормативное правовое регулирование автомобильных перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов / И. И. Батищев, И. А. Можайская. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 4. – С. 11–15.

References

1. Kamenchukov, A. V. (2015). Otsenka nadezhnosti raboty nezhestkikh dorozhnykh odezhd. Chetverty Vserossiyskiy dorozhnyy kongress «Perspektivnye tekhnologii v stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog»: sbornik nauchnykh trudov. – Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State University (MADI) Publ., pp. 127–131. (In Russian).
2. FGUP SNPTs «Rosdortekh». (2001). Katalog vypuskaemoy produktsii FGUP SNPTs «Rosdortekh». Saratov, 66 p. (In Russian).
3. Vasil'ev, A. P., & Sidenko, V. M. (1990). Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya. Moscow, Transport Publ., 304 p. (In Russian).
4. Lushnikov, P. A. (2009). Razrabotka ekspress-metodov opredeleniya vyazko-uprugikh svoystv nezhestkikh dorozhnykh odezhd s primeneniem portativnykh priborov udarnogo deystviya. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 142 p. (In Russian).
5. Leskin, A. I., Katasonov, M. V., & Stepanov, A. A. (2017). Comparison of values of the actual banging motion of flexible road pavement received by the methods of static and dynamic loadings. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura (Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture), 47(66), pp. 235-241. (In Russian).
6. Lushnikov, P. A. (2009). Reasoning of the application of portative devices for the definition of the rebound deflections of the road constructions. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture, 2(14), pp. 94-98. (In Russian).
7. Luchinskiy, D. P., Sannikov, S. P., Timohovets, V. D., & Marmur, A. V. (2020). Justification of the possibility of changing of a permissible axle load on the road. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, Russky Island, October 01–04, 2019. Vladivostok, Institute of Physics Publishing, pp. 022088. (In English). DOI : 10.1088/1757-899X/753/2/022088
8. Luchinskiy, D. P., Sannikov, S. P., Timohovets, V. D., & Marmur, A. V. (2021). Assessment of contact pressure on the road pavement created by modern vehicles. New Approaches in Engineering Research, (4), pp. 95-101. (In English). DOI: 10.9734/bpi/naer/v4/9455D
9. Batishchev, I. I., & Mozhayskaya, I. A. (2010). Normativnoe pravovoe regulirovanie avtomobil'nykh perevozok krupnogabaritnykh i tyazhelovesnykh gruzov. Avtotransportnoe predpriyatie, (4), pp. 11-15. (In Russian).

Сведения об авторах

Санников Сергей Павлович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: sannikovsp@tyuiu.ru

Мармур Анна Владиславовна, техник, АО «Мостострой-11», e-mail: anna.marmur@su.ms11.ru

Information about the authors

Sergey P. Sannikov, Candidate in Engineering, Associate Professor, Head at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: sannikovsp@tyuiu.ru

Anna V. Marmur, technician, JSC "Mostostroy-11", e-mail: anna.marmur@su.ms11.ru

Для цитирования: Санников, С. П. Изменение прочности дорожной одежды при сезонном промерзании и оттаивании конструкции / С. П. Санников, А. В. Мармур. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-73-79. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 73–79.

For citation: Sannikov, S. P., & Marmur, A. V. (2022). Changes in pavement strength during seasonal freezing and thawing of the structure. Architecture, construction, transport, (1), pp. 73-79. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-73-79.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ В ГРАФЕ

Е. А. Близнякова¹, А. А. Куликов², А. В. Куликов¹

¹ Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

² Лицей № 5 имени Ю. А. Гагарина, Волгоград, Россия

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR FINDING THE SHORTEST DISTANCE IN A GRAPH

Elena A. Bliznyakova¹, Andrey A. Kulikov², Alexey V. Kulikov¹

¹ Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

² Lyceum No. 5 named after Yu. A. Gagarin, Volgograd, Russia

Аннотация. В настоящее время существует высокая потребность в определении кратчайших расстояний для формирования маршрутов перевозок грузов и пассажиров. Одним из самых действенных способов определения маршрутов минимальной длины являются методы поиска кратчайших расстояний в графе. В статье рассмотрены алгоритмы поиска кратчайших расстояний, а также другие методы, основанные на принципах их действия. Проведен сравнительный анализ с целью выявления достоинств и недостатков при использовании данных методов в задачах маршрутизации.

Ключевые слова: транспорт, грузовые перевозки, маршрутизация перевозок, алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана – Форда, динамический метод, метод «метлы», метод потенциалов

Abstract. Currently, there is a high need to determine the shortest distances to form freight and passenger transportation routes. One of the most effective ways to determine routes of minimum length are methods of finding the shortest distances in a graph. The article discusses algorithms for finding shortest distances, as well as other methods based on the principles of their operation. It was conducted a comparative analysis to identify the advantages and disadvantages of using these methods in routing tasks.

Key words: transport, freight transportation, transportation routing, Dijkstra's algorithm, Bellman-Ford algorithm, dynamic method, "broom" method, method of potentials

Введение

В настоящее время теория графов применяется в различных областях науки. Граф – это фигура из вершин, соединенных между собой дугами (ребрами). Графом можно представить транспортную сеть дорог на картах, маршруты движения городского транспорта, схемы авиалиний, иерархии объектов, связи людей в обществе, файлы системы компьютера и даже структуру молекулы.

Теория графов включает следующие задачи [1, 2]:

- о кратчайшем пути;
- на построение минимального дерева пути;
- о максимальном потоке в сети;
- о раскраске графа.

Однако задача о нахождении кратчайшего пути является одной из наиболее распространенных, поскольку находит применение в разнообразных сферах жизни. Ее решение можно осуществлять с помощью ЭВМ или вручную, используя математический аппарат. К эффективным методам поиска кратчайших расстояний относятся:

- алгоритм Дейкстры;
- алгоритм Беллмана – Форда;
- динамический метод;
- метод «метлы»;
- метод потенциалов [3, 4].

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются существующие методы определения кратчайших расстояний пути в графе.

В исследовании использовался системный подход, методы системного и статистического анализа при обобщении статистических данных научных трудов исследователей, опубликованных в периодических изданиях в Интернете, а также методы графической и табличной визуализации данных [5]. Выбор оптимального маршрута основывался на критерии минимальных расстояний.

Экспериментальная часть

Исходные данные. Пусть задан граф, представленный на рис. 1. В таблице 1 дана матрица весов дуг, соединяющих вершины графа. Необ-

ходимо определить кратчайшие расстояния от вершины 1 до всех оставшихся вершин, построить маршрут от вершины 1 до самой удаленной вершины 7.

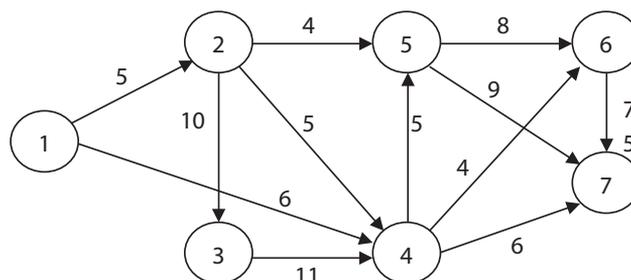


Рис. 1. Ориентированный граф

Таблица 1

Матрица весов

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	∞	6	∞	∞	∞
2	∞	0	10	5	4	∞	∞
3	∞	∞	0	11	∞	∞	∞
4	∞	∞	∞	0	5	4	6
5	∞	∞	∞	∞	0	8	9
6	∞	∞	∞	∞	∞	0	7
7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Поиск кратчайшего пути в графе с помощью алгоритма Дейкстры

Алгоритм позволяет находить кратчайшие расстояния от одной вершины до всех других при условии, что в графе нет ребер отрицательной длины.

Порядок вычислений алгоритма Дейкстры заключается в следующем. Пусть вес начальной вершины равен нулю, тогда вес остальных вершин равен бесконечно большому числу, например, ∞ . На первом шаге вычисления начальная вершина объявляется текущей. Строка текущей вершины вычеркивается. Для вершины 1 из графа на рис. 1 определяют соседние вершины. В нашем случае – вершины 2 и 4. Вторым шагом находим вес выбранных вершин как сумму веса текущей вершины и веса дуги между текущей и проверяемой вершинами. Среди полученных значений весов выбирается минимальное.

ТРАНСПОРТ/TRANSPORT

В примере это вес вершины 2, равный 5. Поэтому вершина 2 принимается текущей, ее записывают во второй столбец первой строки, в скобках указывая расстояние от начальной вершины до текущей. Строка вершины 2 вычеркивается. Затем повторяем второй шаг столько раз, сколько вершин в графе. Каждое новое вычисленное значение веса для проверяемых вершин сравнивается со старым значением. Если новое значение меньше старого, то вес вершины изменяется на новый, иначе – остается неизменным [4].

Результаты расчетов кратчайших расстояний от вершины 1 до всех остальных вершин для заданного графа на рис. 1 представлены в таблице 2. Кратчайшим маршрутом из вершины 1 в вершину 7 является 1 – 4 – 7. Его длина равна 12.

Поиск кратчайшего пути в графе с помощью алгоритма Беллмана – Форда

В отличие от алгоритма Дейкстры, алгоритм Беллмана – Форда дает возможность расчета кратчайших расстояний в графах как с положительной, так и с отрицательной длиной. Единственным условием осуществления алгоритма является отсутствие циклов с отрицательным весом, достижимых из начальной вершины.

Структура алгоритма Беллмана – Форда заключается в следующем. Первым шагом начальной вершине (в примере – вершина 1) присваивается потенциал, равный нулю $\varphi_1 = 0$. Потенциалы остальных вершин равны бесконечно большому числу $\varphi_i = \infty, i = 1 \dots n$, где n – число вершин в рассматриваемом графе.

Таблица 2

Результаты расчетов кратчайших расстояний с помощью алгоритма Дейкстры

№ вершины	Текущая вершина						
	1	2 (5)	4 (6)	5 (9)	6 (10)	7 (12)	3 (15)
1	-----						
2	5	-----					
3	∞	15	15	15	15	15	---
4	6	6	-----				
5	∞	9	9	-----			
6	∞	∞	10	10	-----		
7	∞	∞	12	12	12	-----	

Таблица 3

Результаты расчетов кратчайших расстояний по алгоритму Беллмана – Форда

№ шага вычислений	Массив L	Потенциалы вершин							Массив L_1
		1	2	3	4	5	6	7	
0	0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1
1	1	0	5	∞	6	∞	∞	∞	2, 4
2	2, 4	0	5	15	6	9	10	12	3, 5, 6, 7
3	3, 5, 6, 7	0	5	15	6	9	10	12	0

Вторым шагом определяем соседние вершины. В нашем примере для вершины 1 соседними являются вершины 2 и 4. Для каждой соседней вершины определяем потенциал как сумму потенциала начальной вершины и длины дуги, соединяющей проверяемую и соседнюю вершины при условии, что сумма должна быть меньше потенциала проверяемой вершины. Например, для вершины 2 потенциал равен $\varphi_2 = \varphi_1 + l(1,2) = 0 + 5 = 5$. Полученное значение заносится в таблицу 3. В столбец массива L_i заносятся номера вершин, расстояние до которых определяется на данном шаге. Третьим шагом проверяем, выполняется ли условие $L_i \neq \emptyset$. Если неравенство выполняется, $L = L_i$, осуществляем переход к шагу 2. Алгоритм считается завершённым при отсутствии изменений потенциалов вершин [4]. Результаты расчетов для заданного графа на рис. 1 представлены в таблице 3.

Восстановим кратчайший путь из самой удаленной вершины 7 в вершину 1. Последовательно находим кратчайший путь: вершина 7: $i = 4$; вершина 4: $i = 1$. Кратчайший путь 1 – 4 – 7 представлен на рис. 2. Длина маршрута равна 12.

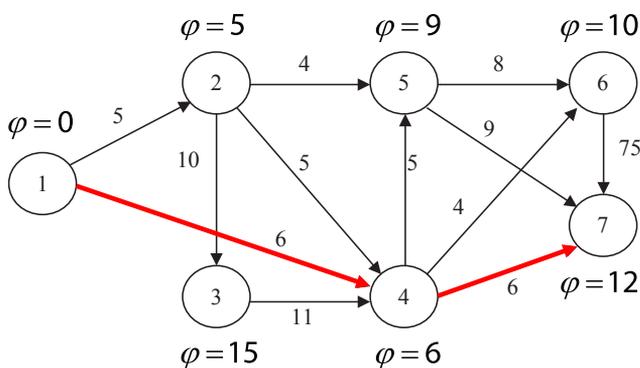


Рис. 2. Кратчайший путь из вершины 1 до самой удаленной вершины 7

Поиск кратчайшего пути в графе с помощью метода динамического программирования

Поиск кратчайших расстояний методом динамического программирования представляет собой решение с помощью функционального уравнения Беллмана [6]:

$$f_i = \min \{S_{ij} + f_j\},$$

где f_i – функция, которая определяет минимальную длину из начальной вершины в вершину i ; S_{ij} – длина пути между вершинами i и j ; f_j – минимальная длина пути между вершиной j и начальной вершиной.

Сложность определения кратчайших расстояний зависит от того, ориентированный граф или нет. Граф, представленный на рис. 1, ориентированный. Рассчитаем путь наименьшей длины из вершины 1 в вершину 7:

$$f_1 = 0;$$

$$f_2 = \min \{S_{21} + f_1\} = \min \{5 + 0\} = 5;$$

$$f_3 = \min \{S_{32} + f_2\} = \min \{10 + 5\} = 15;$$

$$f_4 = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{41} + f_1 \\ S_{42} + f_2 \\ S_{43} + f_3 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6 + 0 \\ 5 + 5 \\ 11 + 15 \end{array} \right\} = 6;$$

$$f_5 = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{52} + f_2 \\ S_{54} + f_4 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4 + 5 \\ 5 + 6 \end{array} \right\} = 9;$$

$$f_6 = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{65} + f_5 \\ S_{64} + f_4 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 8 + 9 \\ 4 + 6 \end{array} \right\} = 10;$$

$$f_7 = \min \left\{ \begin{array}{l} S_{74} + f_4 \\ S_{75} + f_5 \\ S_{76} + f_6 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6 + 6 \\ 9 + 9 \\ 7 + 10 \end{array} \right\} = 12.$$

Длина кратчайшего пути составляет 12. Для выбора оптимальной траектории осуществляют просмотр функций f_i в обратном порядке: 1 – 4 – 7.

Поиск кратчайшего пути в графе с помощью метода «метлы»

Решение задачи о нахождении кратчайшего расстояния с помощью метода «метлы» основано на построении однотипных таблиц.

Алгоритм работы метода следующий. Первым шагом выбирается начальная вершина. До

нее расстояние равно «0» и заносится во второй столбец напротив вершины 1 (таблица 4). До всех оставшихся вершин расстояние равно бесконечно большому числу «М». Вторым шагом определяем длину пути до соседних вершин. Если новое значение расстояния от начальной вершины до проверяемой меньше старого значения, то в таблицу вносится найденное число, иначе расстояние не изменяется. Напротив проверенной вершины ставят знак проверки «+», выбирают следующую вершину. Решение повторяется до тех пор, пока не будут проверены все оставшиеся вершины [6].

Определим кратчайшие расстояния для заданного графа с помощью данного метода. Результаты расчета представлены в таблице 4. Кратчайший маршрут 1 – 4 – 7 из вершины 1 в вершину 7 равен 12.

Таблица 4

Результаты расчетов кратчайших расстояний методом «метлы»

Наименование вершины	Расстояние	Знак проверки	Смежные вершины
1	0	+	-
2	5	+	-
3	15	+	-
4	6	+	-
5	9	+	-
6	10	+	-
7	12	+	-

Поиск кратчайшего пути в графе с помощью метода потенциалов

Суть метода заключается в следующем. Произвольно выбранной вершине назначается нулевой потенциал, называемый началом отсчета. Затем определяют соседние с выбранной вершины и находят их потенциалы по формуле:

$$U_j = U_i + L_{ij}$$

где L_{ij} – длина звена ($i - j$), т. е. расстояние между вершинами i и j .

Из всех полученных потенциалов выбирается наименьший, и его значение присваивается

текущей проверяемой вершине. Расчет ведется до тех пор, пока не будут найдены потенциалы всех вершин графа [7].

Рассчитаем с помощью данного метода кратчайшие расстояния от вершины 1 до всех остальных.

$$U_1 = 0:$$

$$U_2 = U_1 + C_{12} = 0 + 5 = 5;$$

$$U_4 = U_1 + C_{14} = 0 + 6 = 6.$$

$$U_2 = 5:$$

$$U_3 = U_2 + C_{23} = 5 + 10 = 15;$$

$$\cancel{U_4 = U_2 + C_{24} = 5 + 6 = 11;}$$

$$U_5 = U_2 + C_{25} = 5 + 4 = 9.$$

$$U_4 = 6:$$

$$\cancel{U_5 = U_4 + C_{45} = 6 + 5 = 11;}$$

$$U_6 = U_4 + C_{46} = 6 + 4 = 10;$$

$$U_7 = U_4 + C_{47} = 6 + 6 = 12.$$

$$U_5 = 9:$$

$$\cancel{U_6 = U_5 + C_{56} = 9 + 8 = 17;}$$

$$\cancel{U_7 = U_5 + C_{57} = 9 + 9 = 18.}$$

$$U_6 = 10:$$

$$\cancel{U_7 = U_6 + C_{67} = 10 + 7 = 17.}$$

$$U_7 = 12;$$

$$U_3 = 15.$$

Кратчайшие расстояния по результатам расчетов занесем в таблицу 5.

Маршрут от вершины 1 до вершины с максимальным номером 7: 1 – 4 – 7. Длина пути – 12.

Таблица 5

Результаты расчетов кратчайших расстояний методом потенциалов

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	5	15	6	9	10	12
2	∞	0	10	5	4	∞	∞
3	∞	∞	0	11	∞	∞	∞
4	∞	∞	∞	0	5	4	6
5	∞	∞	∞	∞	0	8	9
6	∞	∞	∞	∞	∞	0	7
7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Проведем сравнительный анализ представленных методов вычисления кратчайших путей в графе с помощью сравнительной таблицы 6.

Обсуждение

Интерес к проблеме нахождения кратчайших расстояний объясняется тем, что эта задача является одним из этапов решения большинства проблем, связанных с грузоперевозками. В то же время при решении задач, связанных с оптимизацией грузовых перевозок, необходимо несколько раз определять кратчайшие расстояния

между вершинами графа, поэтому скорость алгоритмов определения кратчайших расстояний между вершинами графа во многом зависит от времени решения всей задачи в целом [1–3, 5, 8–11].

Выводы

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- алгоритм Дейкстры находит применение только при отсутствии отрицательных ребер и может применяться как при программировании, так и при маршрутизации перевозок;
- алгоритм Беллмана – Форда может использоваться в задачах с критерием минимального расстояния, но и с критерием минимальной стоимости или критерием максимальной выгоды;
- метод динамического программирования зависит от направленности графа. Если граф неориентированный, то решение поиска минимальных расстояний затрудняется;
- метод «метлы» основан на принципе построения однотипных таблиц и имеет понятное решение;
- решение метода потенциалов располагает вершины в порядке увеличения их удаленности от начальной вершины.

Таблица 6

Сравнительная таблица методов определения кратчайших расстояний в графе

Название метода	Кол-во начальных вершин	Работа с отрицательными ребрами	Решение с помощью таблиц	Решение с помощью программного кода	Применение в сфере:
Алгоритм Дейкстры	1	нет	да	да	программирования и маршрутизации
Алгоритм Беллмана – Форда	1	да	нет	да	программирования и маршрутизации. Работа с отрицательными ребрами позволяет использовать метод с критерием <i>минимальная стоимость (максимальная выгода)</i>
Динамический метод	1	да	нет	нет	маршрутизации, например, для географических карт
Метод «метлы»	1	да (без отрицательных циклов)	да	нет	маршрутизации перевозок
Метод потенциалов	1	нет	нет	нет	маршрутизации перевозок

Библиографический список

1. Грузовые автомобильные перевозки : учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миروتин, А. В. Куликов. – 3-е изд., испр. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2016. – 560 с. – Текст : непосредственный.
2. Kulikov, A. V. Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing Systems / A. V. Kulikov, S. Y. Firsova. – DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_87. – Direct text // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, March 25–29, 2019 / South Ural State University (national research university), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). – Sochi : Springer International Publishing, Switzerland AG, 2020. – Pp. 813–821.
3. Куликов, А. В. Повышение эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера Российской Федерации / А. В. Куликов, С. Ю. Фирсова, В. С. Дорохина. – DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 3 (79). – С. 286–305.
4. Домке, Э. Р. Методы оптимизации маршрутных схем развозки грузов автомобильным транспортом : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Э. Р. Домке, С. А. Жесткова. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 164 с. – Текст : непосредственный.
5. Сулименова, Е. Р. Эффективные математические методы в транспортно-логистическом обслуживании малых предприятий г. Волгограда / Е. Р. Сулименова. – Текст : непосредственный // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов, Волгоград, 26–30 апреля 2021 года. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – С. 151.
6. Выбор оптимального маршрута методом динамического программирования / Helpiks.Org : [сайт]. – URL : <https://helpiks.org/2-66840.html> (дата обращения : 10.02.2022). – Текст : электронный.
7. Определение кратчайших расстояний с использованием метода потенциалов / Studbooks.net : [сайт]. – URL : https://studbooks.net/2456287/tehnika/opredelenie_kratchayshih_rasstoyniy_ispolzovaniem_metoda_potentsialov (дата обращения : 10.02.2022). – Текст : электронный.
8. Айтбагина, Э. Р. Влияние расстояния на результаты работы группы автомобилей при перевозке грузов грузоотправителем / Э. Р. Айтбагина, Е. Е. Витвицкий. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2017. – № 4–5 (56–57). – С.14–24.
9. The dynamic traffic modelling system / S. Dorokhin, D. Likhachev, A. Artemov [et al.]. – DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_175. – Direct text // International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia – 2021. – Cham : Springer, 2021. – Pp. 1586–1594.
10. Горев, А. Э. Грузовые автомобильные перевозки : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. Э. Горев. – 5-е изд., испр. – Москва : Академия, 2008. – 288 с. – Текст : непосредственный.
11. Афанасьев, Л. Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки : учебник для вузов / Л. Л. Афанасьев, Н. Б. Островский, С. М. Цукерберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1984. – 333 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Vel'mozhin, A. V., Gudkov, V. A., Mirotin, L. B., & Kulikov, A. V. (2016). Gruzovye avtomobil'nye perevozki. 3rd edition, revised. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 560 p. (In Russian).
2. Kulikov, A. V., & Firsova, S. Yu. (2020). Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing Systems. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019): Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, March 25–29, 2019. South Ural State University (national research

-
- university), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Sochi, Springer International Publishing, Switzerland AG Publ., pp. 813-821. (In English). DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_87
3. Kulikov, A. V., Firsova, S. Y., & Dorokhina, V. S. (2021). Improving efficiency of car transportation in extreme north conditions in Russian Federation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 18(3), pp. 286-305. (In Russian). DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305
 4. Domke, E. R., & Zhestkova, S. A. (2014). *Metody optimizatsii marshrutnykh skhem razvozki грузов avtomobil'nym transportom*. Penza, PGUAS Publ., 164 p. (In Russian).
 5. Sulimenova, E. R. (2021). *Effektivnye matematicheskie metody v transportno-logisticheskom obsluzhivanii malykh predpriyatii g. Volgograda*. Konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: tezisy dokladov, Volgograd, April, 26–30. Volgograd, Volgograd State Technical University Publ., pp. 151. (In Russian).
 6. *Vybor optimal'nogo marshruta metodom dinamicheskogo programmirovaniya*. Helpiks.Org. (In Russian). Available at: <https://helpiks.org/2-66840.html> (date of the application: 10.02.2022).
 7. *Opredelenie kratchayshikh rasstoyaniy s ispol'zovaniem metoda potentsialov*. Studbooks.net. (In Russian). Available at: https://studbooks.net/2456287/tehnika/opredelenie_kratchayshih_rasstoyaniy_ispolzovaniem_metoda_potentsialov (date of the application: 10.02.2022).
 8. Aytbagina, E. R., & Vitvitskiy, E. E. (2017). The influence of the distance on the results of the work group of vehicles for the cargo transportation by the supplier. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 4-5(56-57), pp. 14-24. (In Russian).
 9. Dorokhin, S., Likhachev, D., Artemov, A., Sevostyanov, A., Kulikov, A., & Novikov, A. (2022). The dynamic traffic modelling system. *International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2021*. Cham, Publ. Springer, pp. 1586-1594. (In English). DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4_175
 10. Gorev, A. E. (2008). *Gruzovye avtomobil'nye perevozki*. 5th edition, revised. Moscow, Akademiya Publ., 288 p. (In Russian).
 11. Afanas'ev, L. L., Ostrovsky, N. B., & Zuckerberg, S. M. (1984). *Edinaya transportnaya sistema i avtomobil'nye perevozki*. 2nd edition, revised. Moscow, Transport Publ., 333 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Близнякова Елена Александровна, студент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, e-mail: el.44@bk.ru

Куликов Андрей Алексеевич, учащийся 11 класса Лицея № 5 имени Ю. А. Гагарина, Волгоград, e-mail: v2xoda@ya.ru

Куликов Алексей Викторович, к. т. н., доцент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, e-mail: AlekseyKulikov2007@ya.ru

Information about the authors

Elena A. Bliznyakova, Student at the Department of Road Transport, Volgograd State Technical University, e-mail: el.44@bk.ru

Andrey A. Kulikov, Student at the Lyceum No. 5 named after Yu. A. Gagarin, Volgograd, e-mail: v2xoda@ya.ru

Alexey V. Kulikov, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Road Transport, Volgograd State Technical University, e-mail: AlekseyKulikov2007@ya.ru

Для цитирования: Близнякова, Е. А. Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе / Е. А. Близнякова, А. А. Куликов, А. В. Куликов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2022. – № 1 (99). – С. 80–87.

For citation: Bliznyakova, E. A., Kulikov, A. A., & Kulikov, A. V. (2022). Comparative analysis of methods for finding the shortest distance in a graph. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 80-87. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА НА РЕЖИМ МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА

Н. В. Серов¹, В. А. Курушина²

¹ АО «Газпромнефть-ННГ», Ноябрьск, Россия

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

MODELLING THE EFFECT OF PIPELINE INCLINATION ON THE MULTIPHASE FLOW REGIME

Nikita V. Serov¹, Victoria A. Kurushina²

¹ JSC «Gaspromneft-NNG», Noyabrsk, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье рассматривается влияние угла наклона прямого трубопровода на режим газожидкостного потока при одинаковых параметрах на входе. Гомогенная модель объема флюида в Ansys Fluent позволяет смоделировать распространение газовой фазы, изменения на входном участке и стабилизацию многофазного режима. В статье рассмотрены горизонтальный, вертикальный и наклонный (60 градусов) участки трубопровода с формированием слоистого, пузырькового и вспененного режимов соответственно, результаты представлены в виде распределения газовой фазы в объеме несущей жидкости и поля скорости.

Abstract. The paper investigates the effect of an inclination angle of a straight pipeline on the gas-liquid two-phase flow regime at the same inlet conditions. The homogeneous Volume of Fluid (VOF) model in Ansys Fluent is used in this study for simulating the spread of the gas phase, changes in the entrance region and establishing of the multiphase flow regime. The authors consider a horizontal, vertical and inclined (60 degrees) pipelines where the stratified, bubbly and churn flow regimes are formed respectively, and the results are presented in terms of the gas phase distribution in the volume of the carrying liquid and the velocity field.

Ключевые слова: режим многофазного потока, наклонный трубопровод, модель объема флюида

Key words: multiphase flow regime, inclined pipeline, volume of fluid model (VOF)

Введение

Влияние положения трубопровода на особенности течения внутреннего потока, включая перепады давления, скоростей и фазовых концентраций, является интересной, многофакторной современной проблемой проектирования, особенно актуальной в отношении промышленных трубопроводов [1]. Сложная геометрия манифольдов, обвязка скважин и оборудования в подводных и континентальных нефтегазодобывающих системах представляют собой набор конфигураций, каждая из которых способна значительно изменить тип и характеристики газожидкостного потока. Моделирование потоков в сложных трубопроводах основывается на успешном моделировании более простых составных элементов, таких как горизонтальный или наклонный участок, колено, соединение формы «Т» и т. д., для которых уже предложен ряд теоретических моделей.

Границы режимов многофазного потока с упором на трубопроводы малого диаметра в наборе конфигураций подробно обсуждаются в работах [2, 3] на основе обобщения и сравнительного анализа опубликованных экспериментальных данных. Вариативные границы режимов рассматриваются при численном моделировании многофазного потока в [4, 5] для горизонтального положения трубопровода, в работе [6] – для вертикального положения и в [7] – для наклонных трубопроводов.

Границы режимов находятся под значительным влиянием скоростей, плотностей, вязкостей, направления течения и химического состава фаз, поверхностного натяжения, угла наклона, формы сечения, длины и диаметра трубопровода, а также других параметров. Так, согласно [2], границы вспененного режима в вертикальном трубопроводе находятся между скоростями газа от 1 до 10 м/с при скорости жидкой фазы до 2 м/с при сонаправленном течении фаз. Это соответствует газовому числу Рейнольдса примерно от 1 000 до 20 000 в сочетании с жидкостным числом Рейнольдса от 10 до 100 000 для трубопроводов до 10 см в диаметре. Увеличение диаметра свыше 10 см приводит к расширению зоны с вероятностью возникновения

вспененного потока: границы по скорости газа составляют от 0,1 до 10 м/с и остаются примерно теми же по скорости жидкости. При смещении границ одной зоны соответствующие изменения происходят и в границах зоны послойного, пробкового, кольцевого и всех видов пузырькового течения. Вопросы формирования «сурового» пробкового или пульсирующего потока, проявляющиеся при работе подъемных трубопроводов различной геометрии, подробно обсуждаются в [8, 9].

Объект и методы исследования

В данной работе рассматриваются три конфигурации трубопровода – горизонтальный, наклонный и вертикальный – с одинаковыми диаметром, длиной и фазовыми параметрами. Реализация гомогенной модели объема флюида (Volume of Fluid, VOF), которая рекомендована для широкого диапазона многофазных потоков с небольшим количеством фаз, позволяет рассчитать форму границы раздела между фазами, при этом определяются новые комбинированные свойства смеси. Моделирование в Ansys Fluent дает возможность сочетать моделирование фаз с турбулентными вязкостными моделями. Целью работы является определение качественных и количественных изменений в характеристиках потока, связанных с положением трубопровода.

В данной работе рассмотрен участок трубопровода длиной 10 м и диаметром 0,219 м в 2D, в горизонтальной, вертикальной конфигурациях и в наклонном положении под углом 60 градусов к горизонтали. Расчет многофазного потока выполняется методом вычислительной динамики флюидов (CFD), основанном на системе уравнений Навье – Стокса для сжимаемой жидкости [10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot (\rho u \otimes u) = \\ = -\nabla \bar{p} + \mu \nabla^2 u + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot u) + \rho g, \\ \frac{\partial}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0, \end{aligned}$$

где ρ – плотность жидкости,
 t – время,

\bar{p} – давление с учетом объемной вязкости,
 u – вектор скорости,
 μ – динамическая вязкость флюида,
 g – ускорение свободного падения.

Моделирование границы раздела фаз проводится моделью объема флюида, для расчета турбулентных завихрений применяется модель $k-\omega$, подмодель SST. Система Навье – Стокса решается методом конечных объемов алгоритмом SIMPLE, реализованным в Ansys Fluent. Для расчета градиента используется основанный на клетках метод наименьших квадратов (Least squares cell-based method), для расчета давления – схема PRESTO!, для момента – схема Upwind второго порядка и для турбулентной кинетической энергии – схема Upwind первого порядка.

Перед началом моделирования вычислительный домен заполнен 100-процентной жидкой фазой в состоянии покоя. Расчеты в данной статье проведены с шагом 0,02 с. Скорость газовой и жидкой фаз равна 2 и 1 м/с соответственно, плотность – 1,225 и 998,2 кг/м³, вязкость – $1,789 \cdot 10^{-5}$ и 0,001 кг/(м·с), что соответствует числам Рейнольдса по газу 54 475 и по жидкости 217 920. Течение фаз сонаправленное. В наклонном и вертикальном положениях поток подается снизу вверх. Газовая фаза подается в центральной части входа трубопровода, составляющей 0,073 м, жидкая фаза – вдоль стенок трубопровода. Во всех рассмотренных случаях учитывается сила гравитации.

Для моделирования построена сетка, пример которой приведен на рис. 1. Проверка чувствительности результатов моделирования к точности сетки проведена с помощью оценки колебаний среднего давления в домене для четырех типов сетки: размером 500×18 , $1\ 000 \times 24$, $1\ 200 \times 33$ и $1\ 300 \times 36$ элементов. Динамика давления на рис. 2 показывает, что размер сетки $1\ 200 \times 33$ элемента достаточен для получения результатов приемлемой точности.

Результаты

Распространение газовой фазы по трубопроводу начинается с первичного газового пузыря, который можно зафиксировать, например, на

второй секунде моделирования, как показано на рис. 3а. После достижения газовой фазой выхода трубопровода в наклонном положении, как показано на рис. 3б, многофазный поток приобретает в основном вспененный характер, за исключением входной зоны, длина которой в данном случае составляет порядка трех метров. Вспененный поток характеризуется локализованным высоким объемным содержанием газовой фазы (до 90%), и эти участки перемежаются с зонами с высоким содержанием жидкости.

Контуры объемной доли газовой фазы в вертикальном трубопроводе (рис. 4а) и в горизонтальном трубопроводе (рис. 5а) демонстрируют похожий сценарий распространения газовой фазы от входного до выходного сечения. На рис. 4б и 5б можно наблюдать меньшую длину входной зоны (порядка двух метров), что соответствует достижению установившегося режима. Вертикальный поток в целом приобретает пузырьковый характер с относительно равномерным (из всех трех случаев) распределением объемной доли газа в домене. Согласно рис. 4б, локальное увеличение объемной доли газа достигает порядка 80%. Также вдоль стенок можно наблюдать течение тонкой пленки жидкости.

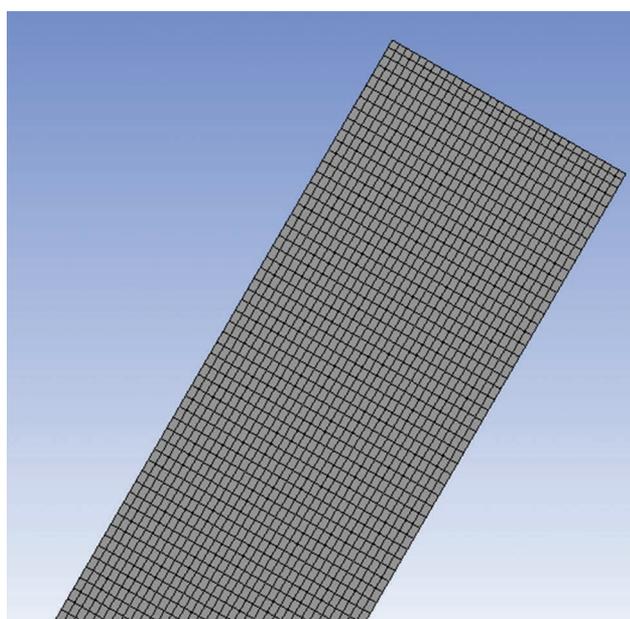


Рис. 1. Структурированная прямоугольная сетка размером $1\ 200 \times 33$ ячейки на отрезке возле выхода наклонного трубопровода

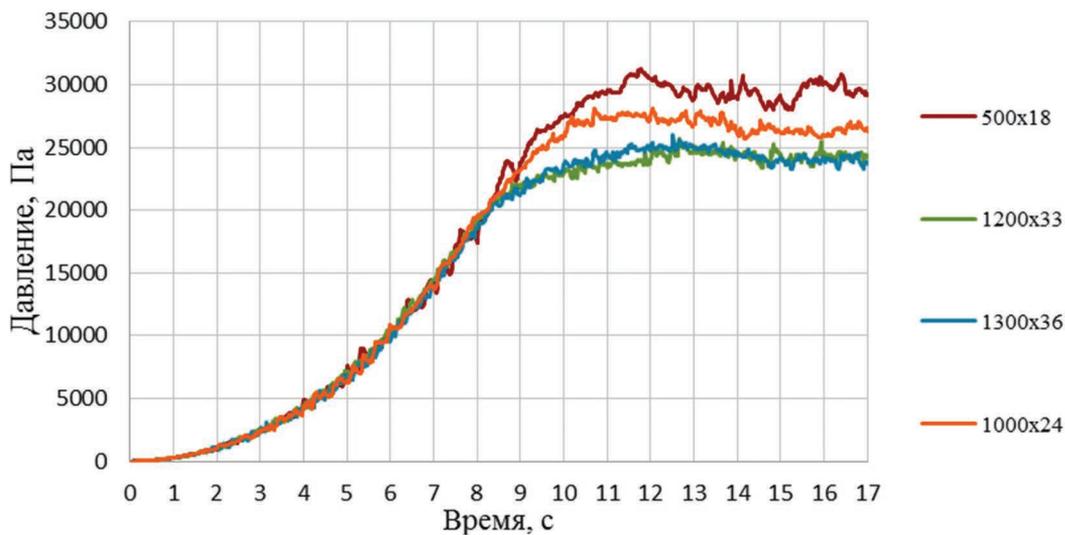


Рис. 2. График сравнения давления внутреннего потока в трубопроводе, рассчитанного с использованием сеток четырех видов

В горизонтальном трубопроводе при тех же входных параметрах формируется слоистое течение. Как показано на рис. 5б, благодаря силе гравитации объемное содержание газовой фазы достигает свыше 90 % вдоль верхней стенки трубопровода и снижается до менее 10 % вдоль нижней стенки, где преобладает более тяжелая жидкая фаза.

Сопоставление данных о скорости потока на рис. 6 с контурами концентрации газовой фазы позволяет отметить значительную разницу между конфигурациями. Скорость отдельных струй вспененного потока на рис. 6б превышает 5 м/с, и сравнение с рис. 3б позволяет отметить среднюю и высокую концентрацию газа в наиболее ускоренных и прилегающих к ним областях.

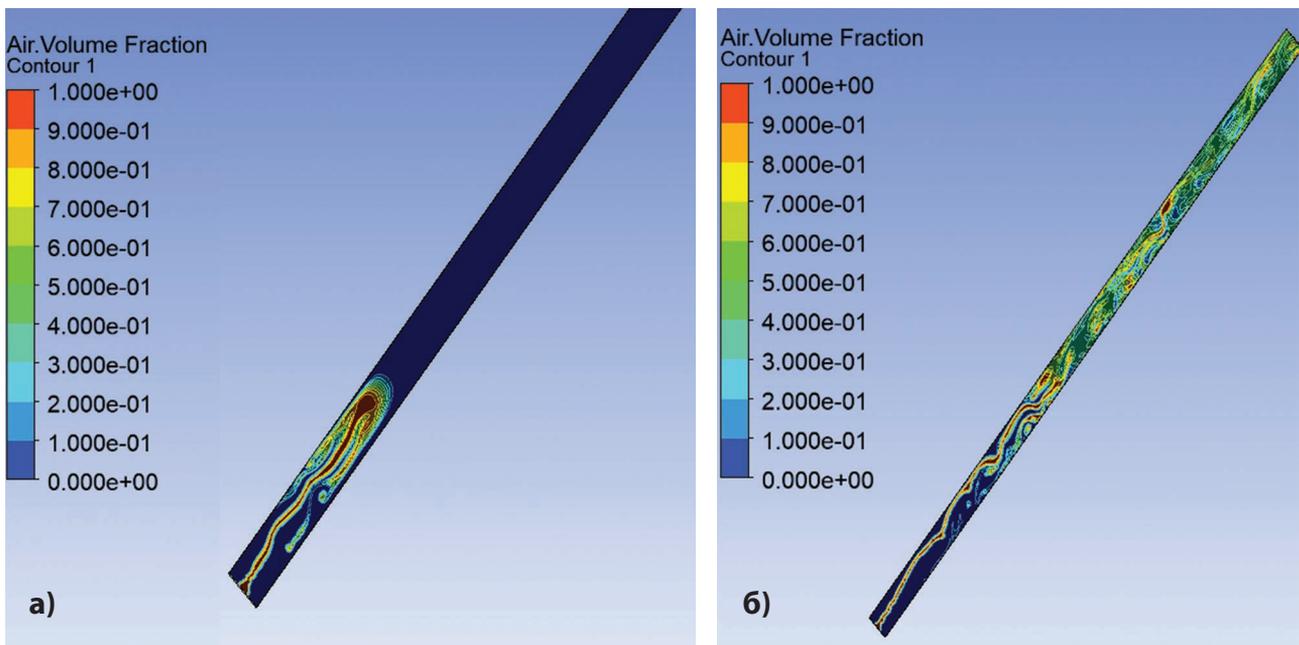


Рис. 3. Контур распределения объемной доли газа в наклонном трубопроводе: а) контур потока на 2 секунде; б) контур потока на 20 секунде

Скорость пузырькового потока в трубопроводе вертикальной конфигурации на рис. 6б варьируется от стенок к центральной линии и в центре достигает порядка 3 м/с. При этом струи с относительно более высокой скоростью также характеризуются более высоким содержанием газовой фазы. Многофазный поток в горизон-

тальном трубопроводе на рис. 6в демонстрирует наиболее равномерное поле скорости в диапазоне от 1 до 2 м/с, не превышая скорости газовой фазы на входе. Контур на рис. 6в показывает относительно небольшую разницу в скорости слоев, которые при этом значительно отличаются по содержанию фаз. Все три конфигурации на рис. 6 демонстрируют предсказуемое замедление течения возле стенок трубопровода.

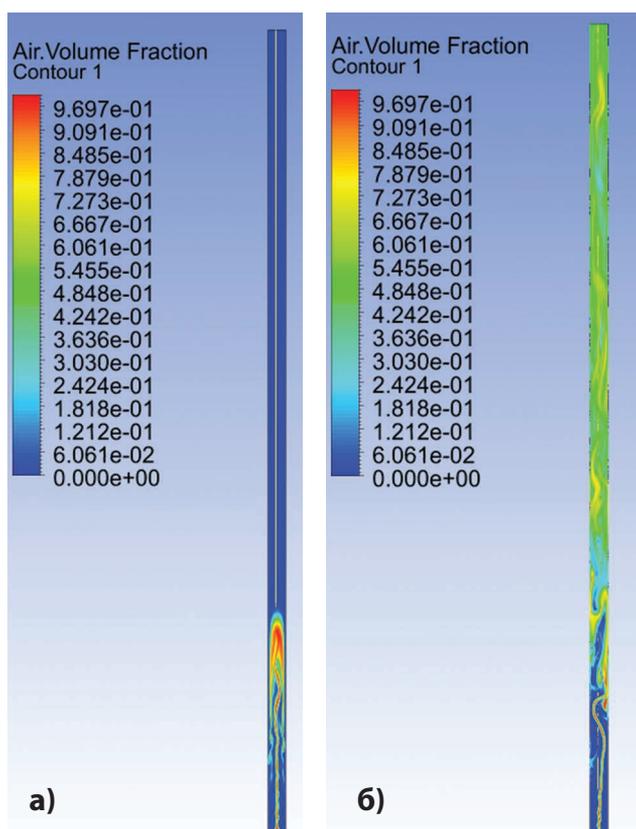


Рис. 4. Контур распределения объемной доли газа в вертикальном трубопроводе:
а) контур потока на 2 секунде;
б) контур потока на 20 секунде

Выводы

В данной работе проведено моделирование режима многофазного потока в трубопроводе в трех положениях. Влияние угла наклона и силы гравитации проявляется как в изменении режима течения, так в количественных характеристиках внутреннего потока флюида.

Так, наклон трубопровода в 60 градусов приводит к формированию вспененного режима при рассмотренных входных параметрах. Данный режим характеризуется локальным увеличением содержания то газовой, то жидкой фазы, а также ускорением отдельных струй в потоке до 5 м/с, что превышает скорости фаз на входе. При этом в горизонтальной и вертикальной конфигурациях наблюдается более равномерное распределение объемной доли газа и скорости по длине, что связано с формированием слоистого и пузырькового режимов соответственно.

Изучение условий формирования других режимов многофазного потока, таких как пробковое течение с еще большими, чем у вспененного, перепадами давления, и сопутствующих характеристик будет предметом последующих исследований.

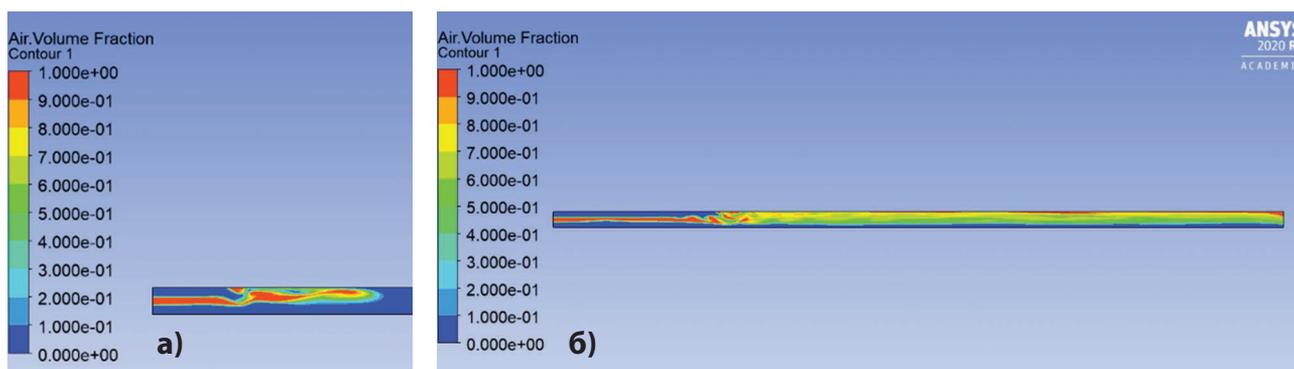


Рис. 5. Контур распределения объемной доли газа в горизонтальном трубопроводе:
а) контур потока на 2 секунде; б) контур потока на 20 секунде

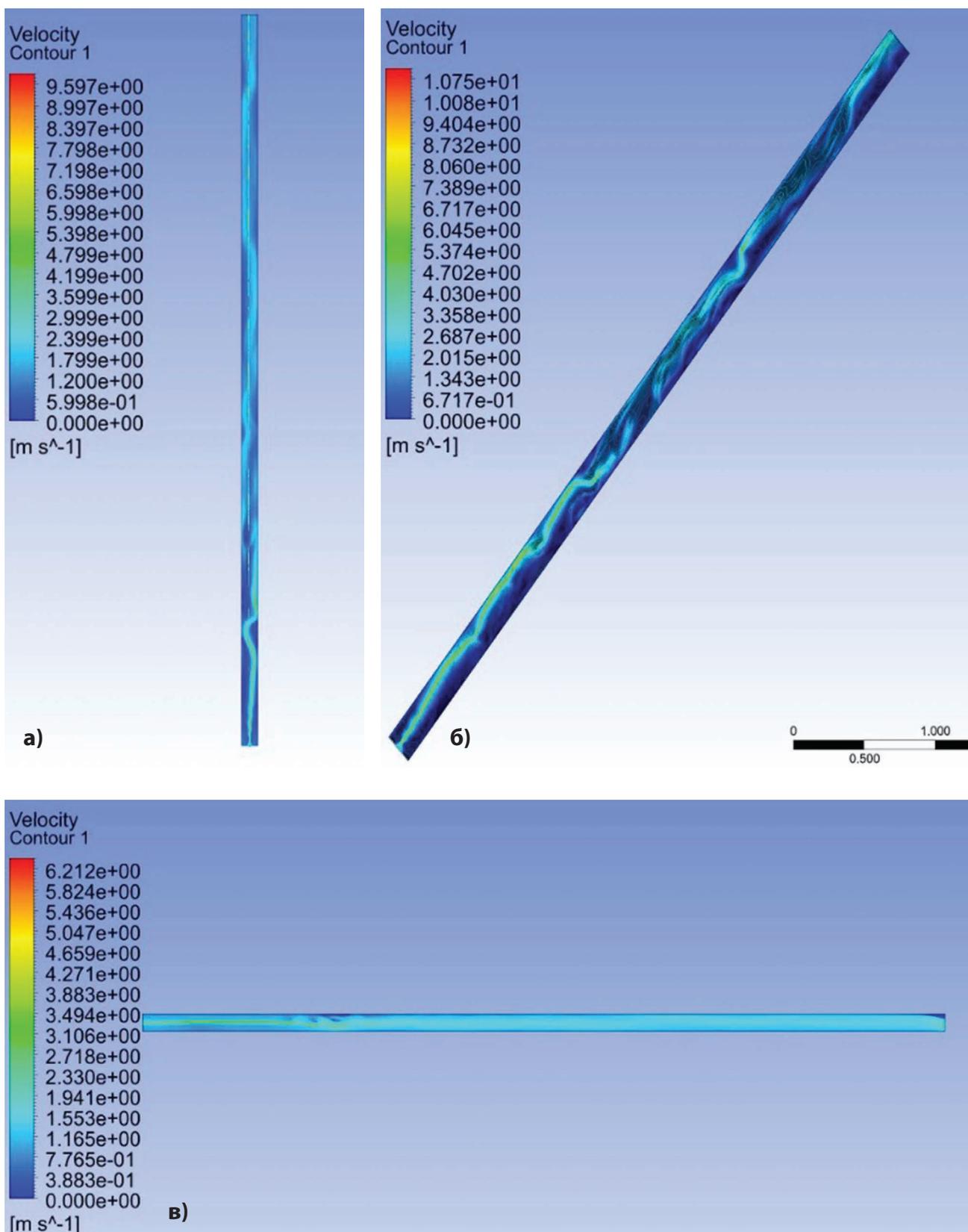


Рис. 6. Контуры распределения скорости потока на 20 секунде:
а) в вертикальном трубопроводе; б) в наклонном трубопроводе; в) в горизонтальном трубопроводе

Благодарность

Авторы благодарят за поддержку данного исследования национальный проект «Наука и университеты» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № FEWN-2021-0012).

Acknowledgement

Authors would like to acknowledge the National Project "Science and Universities" of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No. FEWN-2021-0012) for supporting this research.

Библиографический список

1. Falcone, G. Multiphase flow metering principles / G. Falcone, G. F. Hewitt, C. Alimonti. – Amsterdam : Elsevier Science, 2009. – 328 p. – Direct text.
2. A critical review of flow maps for gas-liquid flows in vertical pipes and annuli / B. Wu, M. Firouzi, T. Mitchell [et al.]. – DOI: 10.1016/j.cej.2017.05.135. – Direct text // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Т. 326. – Pp. 350–377.
3. Mandhane, J. M. A flow pattern map for gas-liquid flow in horizontal pipes / J. M. Mandhane, G. A. Gregory, K. Aziz. – DOI: 10.1016/0301-9322(74)90006-8. – Direct text // International Journal of Multiphase Flow. – 1974. – Vol. 1, No. 4. – Pp. 537–553.
4. CFD Studies on the gas-liquid plug two-phase flow in a horizontal pipe / Deendarlianto, M. Andrianto, A. Widyaparaga [et al.]. – DOI: 10.1016/j.petrol.2016.09.019. – Direct text // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2016. – Т. 147. – Pp. 779–787.
5. Numerical validation of gas-liquid slug flow inside horizontal pipe / W. Pao, B. Sam, M. S. Nasif, R. B. M. Norpiah. – DOI: 10.4314/jfas.v9i5s.46. – Direct text // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Т. 9 (5S). – Pp. 662–672.
6. Zheng, D. CFD simulations of hydrodynamic characteristics in a gas-liquid vertical upward slug flow / D. Zheng, X. He, D. Che. – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.02.041. – Direct text // International journal of heat and mass transfer. – 2007. – Т. 50. – Vol. 21–22. – Pp. 4151–4165.
7. Simulations of air-water two-phase flow in an inclined pipe / D. Juggurnath, M. Z. Dauhoo, M. K. Elahee [et al.]. – Direct text // In proceedings of the 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 17–19 July. – Slovenia, 2017. – Pp. 77–84.
8. Han, P. Numerical simulation of terrain-induced severe slugging coupled by hydrodynamic slugs in a pipeline-riser system / P. Han, L. Guo. – DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.10.005. – Direct text // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2015. – Т. 56. – Pp. 355–366.
9. Li, W. Effects of a long pipeline on severe slugging in an S-shaped riser / W. Li, L. Guo, X. Xie. – DOI: 10.1016/j.ces.2017.05.017. – Direct text // Chemical Engineering Science. – 2017. – Т. 171. – Pp. 379–390.
10. Tu, J. Computational fluid dynamics : a practical approach / J. Tu, G. Yeoh, C. Liu. – 2nd edition, revised. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. – 498 p. – Direct text.

References

1. Falcone, G., Hewitt, G. F., & Alimonti, C. (2009). Multiphase flow metering principles. Amsterdam, Publ. Elsevier Science, 328 p. (In English).
2. Wu, B., Firouzi, M., Mitchell, T., Rufford, T. E., Leonardi, C., & Towler, B. (2017). A critical review of flow maps for gas-liquid flows in vertical pipes and annuli. Chemical Engineering Journal, (326), pp. 350-377. (In English). DOI: 10.1016/j.cej.2017.05.135

-
3. Mandhane, J. M., Gregory, G. A., & Aziz, K. (1974). A flow pattern map for gas-liquid flow in horizontal pipes. *International journal of multiphase flow*, 1(4), pp. 537-553. (In English). DOI: 10.1016/0301-9322(74)90006-8
 4. Deendarlianto, Andrianto, M., Widyaparaga, A., Dinaryanto, O., Khasani, & Indarto. (2016). CFD Studies on the gas-liquid plug two-phase flow in a horizontal pipe. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, (147), pp. 779-787. (In English). DOI: 10.1016/j.petrol.2016.09.019
 5. Pao, W., Sam, B., Nasif, M. S., & Norpiah, R. B. M. (2017). Numerical validation of gas-liquid slug flow inside horizontal pipe. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(5S), pp. 662-672. (In English). DOI: 10.4314/jfas.v9i5s.46
 6. Zheng, D., He, X., & Che, D. (2007). CFD simulations of hydrodynamic characteristics in a gas-liquid vertical upward slug flow. *International journal of heat and mass transfer*, 50(21-22), pp. 4151-4165. (In English). DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.02.041
 7. Juggurnath, D., Dauhoo, M. Z., Elahee, M. K., Khooaruth, A., Osowade, A. E., Olakoyejo, O. T., & Adelaja, A. O. (2017). Simulations of air-water two-phase flow in an inclined pipe. In proceedings of the 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 17–19 July. Slovenia, pp. 77-84. (In English).
 8. Han, P., & Guo, L. (2015). Numerical simulation of terrain-induced severe slugging coupled by hydrodynamic slugs in a pipeline-riser system. *International journal of heat and fluid flow*, (56), pp. 355-366. (In English). DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.10.005
 9. Li, W., Guo, L., & Xie, X. (2017). Effects of a long pipeline on severe slugging in an S-shaped riser. *Chemical Engineering Science*, (171), pp. 379-390. (In English). DOI: 10.1016/j.ces.2017.05.017
 10. Tu, J., Yeoh, G., & Liu, C. (2018). *Computational fluid dynamics: a practical approach*. 2nd edition, revised. Oxford, Publ. Butterworth-Heinemann, 498 p. (In English).

Сведения об авторах

Серов Никита Владимирович, ведущий специалист, АО «Газпромнефть-ННГ», e-mail: serov.nikita@mail.ru

Курушина Виктория Александровна, PhD in Engineering, руководитель лаборатории вибрационного и гидродинамического моделирования, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: kurushinava@tyuiu.ru

Information about the authors

Nikita V. Serov, Leading Specialist, JSC «Gas-promneft-NNG», e-mail: serov.nikita@mail.ru

Victoria A. Kurushina, PhD in Engineering, Head of Laboratory of Vibration and Hydrodynamics Modelling, Associate Professor at the Department of Transport of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, e-mail: kurushinava@tyuiu.ru

Для цитирования: Серов, Н. В. Моделирование влияния положения трубопровода на режим многофазного потока / Н. В. Серов, В. А. Курушина. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-88-95. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2022. – № 1 (99). – С. 88–95.

For citation: Serov, N. V., & Kurushina, V. A. (2022). Modelling the effect of pipeline inclination on the multiphase flow regime. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 88-95. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-88-95.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ

1. К предоставляемой рукописи должны быть приложены следующие документы:

- сопроводительное письмо автора на имя главного редактора журнала, подтверждающее, что статья нигде ранее не была опубликована;
- экспертное заключение организации, откуда исходит рукопись, о возможности открытого опубликования.

В случае принятия положительного решения о публикации рукописи в журнале автор должен предоставить в редакцию подписанный вариант рукописи (или ее скан).

2. Все поступающие в редакцию журнала рукописи статьи проходят проверку на наличие заимствований. Статьи, содержащие менее 75 % оригинального текста, в журнале не публикуются (проверка уникальности текста осуществляется без учета метаданных и библиографического списка).

3. Рукописи, соответствующие тематике журнала, проходят процедуру двойного слепого рецензирования с целью их экспертной оценки. Рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

4. Технические требования к тексту.

Формат файлов для текста – Microsoft Word (*.docx). Название файла должно включать фамилию и инициалы автора статьи (например: Иванов_ИИ.docx) Статьи, содержащие формулы, помимо word-файла необходимо продублировать pdf-файлом во избежание искажения формул, которые следует набирать в MathType 4.0 Equation.

Объем статьи – не менее 5 и не более 15 страниц (не включая библиографический список). Размер шрифта 12 пт (Times New Roman), межстрочный интервал одинарный, абзац 0,5 см. Поля страниц: верхнее 20 мм, нижнее 20 мм, левое 20 мм, правое 20 мм.

Все графические объекты должны быть предоставлены отдельными файлами: один рисунок – один файл графического формата. Растровые рисунки (фото) предоставляются в формате JPG с разрешением не менее 300 dpi. Каждый рисунок должен быть помещен в текст и сопровождаться нумерованной подрисуночной подписью. Ссылки на рисунки в тексте обязательны.

Таблицы следует помещать в текст статьи, они должны иметь нумерацию, заголовок и четко обозначенные графы, удобные и понятные для чтения. Ссылки на таблицы в тексте обязательны.

Объем иллюстративных материалов (таблиц и графических материалов) не должен превышать 1/3 общего объема рукописи.

Библиографический список (не менее 10 источников) должен содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

Нумерация использованных источников в списке дается в порядке последовательности ссылок. На все источники должны быть ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. В списке не должно быть «неавторизованных» источников (СП, СНиПов, ГОСТов и т. п.) – на них ссылки даются непосредственно в тексте статьи.

Библиографический список на русском языке должен быть оформлен согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018.

5. Рукопись статьи должна включать:

- индекс УДК;
- название статьи на русском языке;
- инициалы и фамилию автора на русском языке (если авторов несколько, они работают в разных организациях, то после фамилии ставится верхний индекс (1, 2 и т.д.), соответствующий органи-

зации, откуда исходит рукопись, указанной ниже под тем же номером, следом необходимо указать город и страну. Если автор один или все авторы работают в одной организации, то индексы не ставятся);

- аннотация на русском языке (общий объем аннотации – не более 500 знаков);
 - ключевые слова на русском языке (до 10 слов и (или) словосочетаний);
- Пункты 2–5 необходимо продублировать ниже на английском языке*
- основной текст статьи на языке оригинала;
 - библиографический список на русском языке;
 - сведения об авторах (Information about the authors): полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, телефон, e-mail – на русском и английском языках.

6. Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD: введение, объект и методы исследования, экспериментальная часть/постановка эксперимента, результаты, обсуждение, выводы, приложения.

- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
- **Объект и методы исследования.** Данный раздел включает детальное описание методов и схемы экспериментов/наблюдений, позволяющих воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи; материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
- **Экспериментальная часть/постановка эксперимента.** Необязательный раздел. Может включать подробную информацию о стадиях реализации эксперимента, включающую графические материалы для наиболее полного раскрытия методики и условий проведения опытов.
- **Результаты.** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и иных наглядных формах. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
- **Обсуждение.** Содержит интерпретацию полученных результатов исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
- **Выводы.** Подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам, содержать краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
- **Приложения.** Необязательный раздел. Может включать информацию о грантовой поддержке, при которой было реализовано исследование, а также содержать благодарности в адрес других ученых и/или предприятий, оказавших содействие в реализации исследования.

7. Рукопись, допущенная к публикации, проходит принятый редакцией процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, корректуру, верстку.

8. Исправленные статьи авторам не предоставляются. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются и авторам не возвращаются.

9. Плата за опубликование рукописей **не взимается.**

Перепечатка материалов или их фрагментов возможна только с письменного разрешения редакции. Ссылка на научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» **обязательна!**

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES

1. The following documents must be attached to the submitted manuscript:
 - a cover letter from the author addressed to the editor-in-chief of the journal, confirming that the article has not been published anywhere else;
 - expert evaluation of the organization where the manuscript comes from on the possibility of open publication.

If a positive decision is made to publish the manuscript in the journal, the author must submit to the editor a signed version of the manuscript (or its scan).

2. All manuscripts submitted to the journal are checked for plagiarism. Articles containing less than 75% of the original text are not accepted for publication in the journal (verification of the uniqueness of the text is carried out without taking into account metadata and bibliographic list).

3. Manuscripts corresponding to the subject matter of the journal undergo a double-blind peer review procedure for the purpose of their expert evaluation. The reviewers are recognized experts in the subject matter of the reviewed material. The reviews are kept in the editorial office for 5 years.

4. Article format requirements

The file format for the text is Microsoft Word (* .docx). The file name must include the surname and initials of the author of the article (for example Ivanov_AA.doc) Articles containing formulas, in addition to the word file, must be duplicated with a pdf file in order to avoid distorting the formulas that should be typed in MathType 4.0 Equation.

The article should be no less than 5 and no more than 15 pages (not including the reference list). Use 12 pt Times New Roman, single line spacing, paragraph 0.5 cm. Page margins: top 20 mm, bottom 20 mm, left 20 mm, right 20 mm.

All graphic objects must be submitted in separate files: one figure – one graphic format file. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. Each figure should be placed in the text and accompanied by a numbered figure caption. References to figures in the text are required.

Tables should be placed in the text of the article, they should have a numbering, heading and clearly marked columns, convenient and easy to read. References to tables in the text are required.

The volume of illustrative materials (tables and graphic materials) should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

The list of references (at least 10 sources) should contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

The numbering of the sources used in the list is given in the order of the sequence of references. All sources should be referenced in the text of the article in square brackets. The list should not contain "unauthorized" sources (SP, SNIps, GOSTs, etc.) – links to them are given directly in the text of the article.

The list of references in Russian must be drawn up in accordance with GOST R 7.0.100–2018 (in English – with APA 6th Edition).

5. The manuscript of the article should include:

- UDC index;
- title of the article;
- initials and surname of the author (if there are several authors, and they work in different organizations, then a superscript (1, 2, etc.) is put after the surname, corresponding to the organization which the

manuscript comes from, indicated below under the same number, followed by the city and country. If there is one author or all authors work in one organization, then the superscripts are not used);

- abstract (no more than 500 characters);
 - key words (up to 10 words and (or) phrases);
 - main text of the article in the original language;
 - references;
 - information about the authors: full name, position, academic degree, title, place of work, telephone, e-mail.
- 6.** The structure of the main body of the article should include the following sections, according to the IMRAD structure: introduction, object and methods of research, experimental part/experiment, results, discussion, conclusions, applications.
- **Introduction.** It includes the relevance of the research, literature review on the research topic, problem statement, formulation of the goal and objectives of the research.
 - **Object and methods** of research. This section includes a detailed description of the methods and schemes of experiments/observations that make it possible to reproduce their results using only the text of the article, as well as materials, devices, equipment, and other conditions for conducting experiments/observations.
 - **Experimental part/experiment.** It is an optional section. It may include detailed information about the stages of the experiment, including graphic materials for the most complete disclosure of the methodology and conditions of the experiment.
 - **Results.** It is recommended to present the results mainly in the form of tables, graphs, and other visual forms. This section includes the analysis of the results obtained, their interpretation, comparison with the results of other authors.
 - **Discussion.** It contains the interpretation of the obtained research results, limitations of research and generalization of its results, suggestions for practical application, suggestions for future research.
 - **Conclusions.** Here the results of the research are summed up. Conclusions summarize the main scientific results of the article. Conclusions should logically correspond to the objectives set at the beginning of the article, contain brief summaries of the sections of the article without repeating the formulations given in them.
 - **Applications.** It is an optional section. It may include information about grant support under which the research was carried out, and also gratitude to other scientists and/or enterprises who contributed to the implementation of the research.
- 7.** The manuscript, admitted for publication, goes through the prepress process adopted by the editors, including editing, proofreading, and layout.
- 8.** Corrected articles will not be provided to authors. Manuscripts that do not meet the listed requirements will not be accepted for consideration and will not be returned to authors.
- 9.** There is no fee for the publication of manuscripts.
Reprinting of materials or their fragments is possible only with the written permission of the publisher.

A link to the scientific and reference journal "Архитектура, строител'ство, транспорт" ["Architecture, Construction, Transport"] **is required!**

BIM.

ТОЧКА НЕВОЗВРАТА ПРОЙДЕНА

BIM. The point of no return is passed



*О. С. Кушнир,
начальник управления
строительства
и строительной
индустрии ГУС ТО*

▶ Для строительной отрасли 2022 год стал ключевым в плане перехода на BIM-моделирование в сфере госзаказа. С 1 января формирование и ведение трехмерной информационной модели стало обязательным для объектов капитального строительства, на которые были выделены средства федерального, регионального, местного и других бюджетов. Исключение сделано только для объектов, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства. Как готовилась к переходу на технологии информационного моделирования Тюменская область и какие изменения в строительной отрасли возможны в будущем, рассказала начальник управления строительства и строительной индустрии Главного управления строительства региона Ольга Семеновна Кушнир.

– В марте прошлого года вышло Постановление Правительства РФ № 331, согласно которому создание информационной модели будущего объекта со всеми архитектурно-конструкторскими, технологическими, электротехническими и другими решениями стало обязательным. Еще раньше, в сентябре 2020-го, Постановлением

Правительства № 1431 были утверждены правила ее формирования. Таким образом, на подготовку к переходу на BIM-моделирование было отведено не менее полутора лет, и за это время всем участникам строительного процесса необходимо было перестроиться, чтобы начать работать по-новому. Немалые усилия были направлены в первую очередь на обучение кадров, потому что без соответствующих специалистов ни о каком переходе на BIM говорить не приходится. Не зря же говорят, что кадры решают все.

Обучение проводилось на базе Университета Минстроя РФ, часть затрат на которое – для управленцев, служб заказчика – взяло на себя министерство. Чтобы у субъектов сформировалось единое представление о предстоящих изменениях, а у министерства понимание, с какими трудностями сталкиваются субъекты, регулярно проводились и проводятся ВКС.

На уровне региона был утвержден межведомственный план по подготовке области к переходу на BIM, который мы пошагово реализовали. Программные и технические средства, необходимые для формирования информационных моделей и среды, в которой они будут существовать, каждый регион был волен выбирать

самостоятельно. Мы изучали рынок, сравнивали существующие продукты, анализировали их плюсы и минусы, участвовали в тематических форумах, общались, пробовали, знакомились с опытом коллег. Наши соседи из Екатеринбурга – одни из первопроходцев в вопросе цифровизации строительной отрасли, и нам было важно познакомиться с их практикой применения BIM-технологий. В итоге мы остановились на программном продукте «Pilot-BIM» российского разработчика, который будут использовать государственные и муниципальные заказчики Тюменской области, и уже на пилотных проектах попытались его обкатать.

С этого года все контракты на проектирование объектов в технических заданиях имеют требования к формированию информационной модели в среде общих данных заказчика. Подчеркну: пока речь идет только о планировании и проектировании. К стадиям строительства и эксплуатации такого требования нет, но мы понимаем, что это лишь вопрос времени, потому что в конечном итоге все задумано для самого продолжительного этапа, который проживает здание, – эксплуатации. Нам нужен примерно год, чтобы запроектировать объект, пару лет, чтобы построить, а эксплуатировать его мы будем долгие годы.

Поэтому, понимая, к чему ведут нас происходящие изменения, уже сегодня нужно задуматься о том, какие специалисты и в каком количестве потребуются нам завтра. Это очень серьезный вопрос, который не решить простыми обучающими курсами. Мы держим связь с Тюменским индустриальным университетом и знаем, что в учебные программы по профильным специальностям – «ПГС», «ТГВ», «Автомобильные дороги» – включены предметы по BIM-моделированию. В вузах открываются новые специальности (например, на базовой кафедре АО «Мостострой-11» Строительного института ТИУ в 2020 году была запущена магистерская программа «Цифровое строительство» – *прим. ред.*). Нам необходимо взаимодействовать в этом вопросе с высшей школой, чтобы обозначить свои требования к специалистам, которые нам понадобятся в ближайшем будущем. Пересмотреть учебные программы нужно и техникумам.

На самом деле, понимание, что пора переходить на современные технологии, пришло, когда их начали применять самостоятельно, без указаний сверху, наши крупные застройщики. Бизнес никогда не будет использовать в работе то, что ему неудобно или невыгодно, поэтому никаких сомнений в том, что время технологий информационного моделирования пришло, у нас нет. Хотя и уверенности, что все будет происходить легко и гладко, тоже нет. Немало копий придется сломать в процессе, но – и это абсолютно точно! – мы готовы начать работать в новом формате.

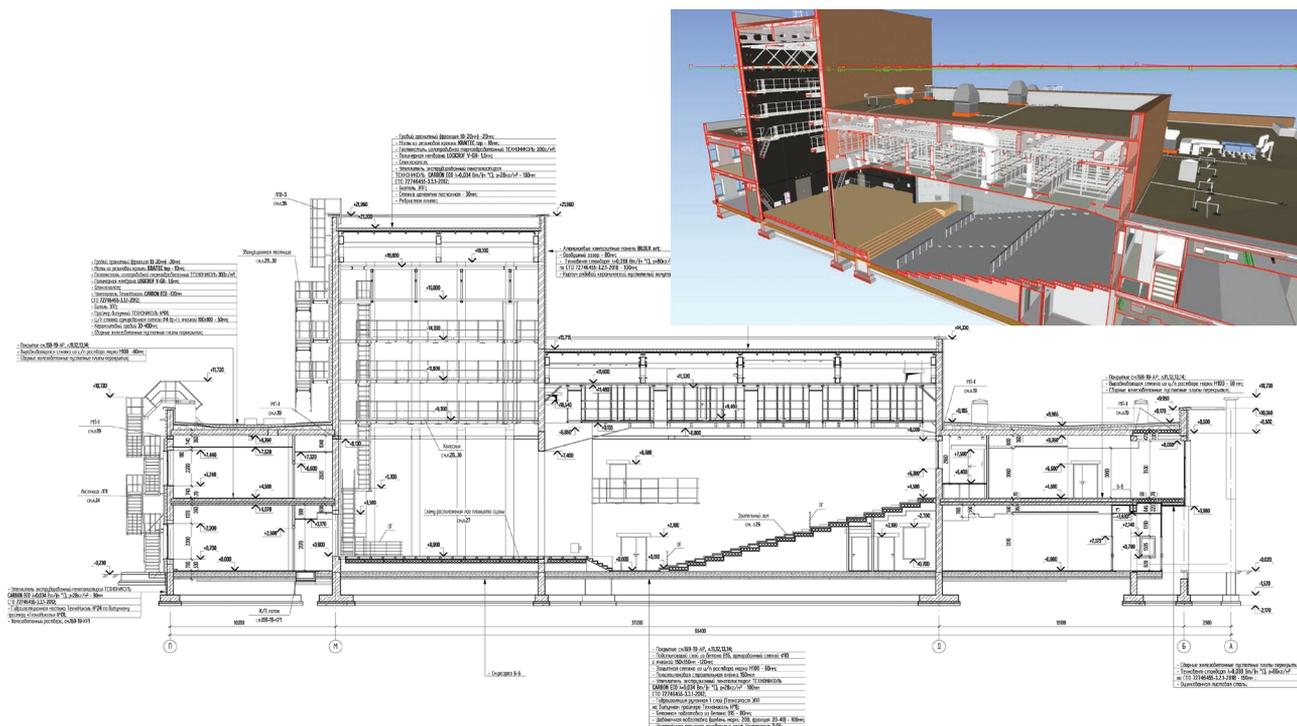
На сегодняшний день у Управления капитального строительства Тюменской области четыре объекта, по которым разработана проектная документация с использованием информационных моделей. По одному из них – Центру культурного развития в Сорокинском районе – государственный контракт на строительство планируется заключить уже в ближайшее время. Шесть проектов, в технических заданиях которых обозначены требования к формированию информационных моделей, находятся в разработке.

Пока рано делать выводы, но мы ждем, что процесс принятия решений по объектам станет протекать быстрее. Вся информация по проектам будет храниться централизованно в одном месте, а взаимодействие всех заинтересованных участников осуществляться онлайн. Программное обеспечение позволяет согласовывать документацию посредством электронной подписи, а значит, не придется тратить время на отправку писем и пересылку документации. Кто, где, на каком этапе и почему внес изменения в проект – все это будет видно. История изменений сохраняется, и всегда можно вернуться на шаг назад.

Сами решения будут более обдуманными, взвешенными и правильными. Проектирование в BIM позволяет выявлять ошибки и проводить автоматическую проверку на коллизии на ранних стадиях разработки проекта, когда еще не потрачены бюджетные деньги и не требуется больших усилий и вложений, чтобы все исправить. Это, конечно, самый большой плюс.

Согласование проектов с отраслевыми структурами (комитетами образования, здравоохранения и т. д.) тоже должно стать удобнее и легче. Сегодня, чтобы согласовать будущий объ-

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ/PEOPLE, EVENTS, FACTS



В режиме 3D даже сложные объекты выглядят более информативно и понятно по сравнению с 2D-моделями

ект, работникам культуры или спорта приходится смотреть строительные чертежи, но разобраться в них и, следовательно, критически оценить сможет не каждый. А когда здание построено, коммуникации подведены, что-то менять уже поздно. Трехмерные модели более наглядны и понятны, и людям, для которых мы, собственно, строим, станет легче на этапе проектирования высказать свои пожелания относительно расположения, например, лаборатории или спортивного зала.

Достаточно будет в 3D-модели указать наиболее приемлемое их размещение, чтобы проектировщики внесли изменения в проект.

В дальнейшем 3D-модели будут использоваться на этапе строительства и эксплуатации объекта и, конечно, это во многом облегчит все рабочие процессы. Но, наверное, самая главная цель применения BIM-технологий заключается в том, чтобы сделать здания более гармоничными, комфортными и удобными в эксплуатации и обслуживании.

P.S. Современная действительность меняется порой слишком быстро. Пока статья готовилась к печати, многие обстоятельства стали иными. Например, ушли с российского рынка иностранные программные продукты (в частности, Autodesk), которыми пользовалось большинство проектировщиков. А значит, необходимо оперативно решать проблему замены или адаптации используемых программ. Нужно совместно искать выход из сложившейся ситуации, ведь совершенно точно, что вопрос внедрения информационного моделирования в обстоятельствах, когда нужно проектировать без ошибок и строить быстро, стал еще актуальнее.

ПУТЬ К НАУКЕ. ПЕРВЫЕ ШАГИ

The road to science. First steps



*О. В. Ашихмин,
заведующий кафедрой
строительного
производства ТИУ*

Современное высшее образование в России многоуровневое. Основная часть сегодняшних выпускников вузов останавливаются на прохождении первого этапа – бакалавриата, на второй, в магистратуру, переходят не все. Однако, согласно официальной статистике, с каждым годом число желающих продолжить обучение растет. В аспирантуру, что вполне естественно, идут лишь единицы, как правило, это люди, осознанно выбравшие для себя путь исследователя, ученого.

На кафедре строительного производства Строительного института ТИУ реализован полный цикл подготовки специалистов от бакалавров до аспирантов по одному из профильных направлений научно-исследовательской деятельности кафедры – геотехнике, – то есть запущен и реализуется процесс воспроизводства научных кадров для высшей школы. Кому из студентов удастся пройти этот нелегкий, но интересный путь от начала до конца? Что для этого необходимо? Какую роль в становлении молодого ученого играет магистратура? Эти вопросы мы задали заведующему кафедрой, кандидату технических наук Олегу Викторовичу Ашихмину.

– Олег Викторович, расскажите, пожалуйста, для начала о реализуемых на кафедре магистерских программах подготовки.

– В прошлом году по направлению «Строительство» мы выпустили первый набор очной магистратуры по программе подготовки «Технология и организация строительства». Из 14 человек до финала дошло 10, половина из них получили красные дипломы. Две выпускные квалификационные работы мы отправили на конкурс ВКР Ассоциации строительных вузов в МГСУ. Для нас это очень важно, потому что профильных специалистов по данному направлению на кафедре мало. В прошлом году на пенсию ушел первый заведующий кафедрой Александр Николаевич Тютрин, специалистом по ТОС был и предыдущий руководитель Александр Данилович Дроздов, в настоящее время он успешно преподает в СПбГАСУ. Но, несмотря на нехватку специалистов этого направления, мы стараемся его развивать, всячески поддерживать аспирантов, начинающих ученых. Я надеюсь, в скором будущем наш старший преподаватель Мария Анатольевна Цыганкова защитит диссертацию и станет кандидатом наук по специальности 2.1.7 «Технология и организация строительства».

В этом году набора в магистратуру на очную форму обучения не планировалось. Большим спросом сейчас пользуется заочная магистратура, поэтому пока переключились на такой формат обучения.

Кроме того, на базе Института дополнительного и дистанционного образования реализу-

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ/PEOPLE, EVENTS, FACTS



*Геотехническая испытательная лаборатория
Тюменского индустриального университета*

ется магистерская программа «Проектно-командный инжиниринг». И, конечно же, мы ведем обучение магистрантов по традиционному для нашей кафедры геотехническому направлению.

– Как Вы считаете, какова основная задача магистратуры?

– Наша кафедра позиционирует ее как ступеньку перед аспирантурой, поэтому для нас главная задача – это погружение обучающихся в научно-исследовательскую работу, а для студентов – возможность испытать себя и понять, подходит она им или нет. Необходимые условия для этого в университете есть: в нашей геотехнической испытательной лаборатории можно ставить эксперименты и проводить исследования на достаточно высоком уровне, поэтому выпускники-магистры не только регулярно занимают призовые места и становятся победителями различных конкурсов, участниками престижных конференций, но и, как правило, кто-то из них

поступает в аспирантуру. Для нашей кафедры это стало незыблемым правилом.

Также с руководством института обсуждаются возможности создания проектного офиса по BIM-технологиям, где можно было бы проводить цифровые эксперименты по моделированию строительных процессов. Если говорить в целом, то использование искусственного интеллекта – это перспективное направление для строительной отрасли, и наши магистры темами, связанными с технологиями информационного моделирования, уже занимаются. Например, в одной из перспективных магистерских работ, отправленных на конкурс, мы постарались привлечь цифровые технологии для разработки алгоритмов принятия проектных решений на основе обобщения опыта прошлых лет. По сути, задачи, которые раньше выполнял главный инженер проекта, сегодня может решить машина. Достаточно внести исходные данные в компьютер и получить несколько приближенных вариантов решений с приемлемой вероятностью их реализации в реальных условиях. Это повышает эффективность производственных процессов и, надеюсь, в будущем улучшит качество проектирования, строительных процессов, производства работ.

Зачастую для наших магистров выпускная квалификационная работа в следующем своем развитии становится частью кандидатской, потому что войти в проблематику, сделать обзор имеющейся литературы, навести резкость на определенную научную задачу можно уже на этом этапе, создав себе задел для аспирантуры, ведь исследовательская деятельность, которой приходится заниматься аспирантам, экспериментальные лабораторные, модельные изыскания требуют много времени, сил и внимания. И, конечно, логичным завершением всей работы, если мы говорим о геотехнических исследованиях, является выход на натурный эксперимент, в ходе которого аспиранту необходимо уже на реальных объектах подтвердить правильность полученных результатов и обоснованность своих выводов. Это обязательный этап работы, и без полного погружения в нее руководителя, безусловной отдачи аспиранта положительного результата не будет.

Надо сказать, что поиск площадки для проведения натуральных экспериментов, их организация –

процесс очень сложный и энергозатратный, особенно для человека науки. Творческие люди, исследователи не всегда владеют навыками организатора, поэтому талантливым педагогам и аспирантам обязательно нужно помогать в этом вопросе.

– Вам самому удается совмещать выполнение прямых обязанностей заведующего кафедрой с научной деятельностью?

– Магистры, безусловно, помогают держать руку на пульсе. Но наукой сложно заниматься параллельно с административной работой. Наука – женщина ревнивая и не терпит двойного отношения к себе. Чтобы получить результат, нужно находиться в особом психоэмоциональном состоянии. Почему творческие люди порой кажутся другим странными? Потому что только в таком состоянии некой отрешенности от действительности они способны придумывать что-то нестандартное, генерировать новые знания.

Сейчас многие исследователи прибегают к междисциплинарным коллаборациям, идут по пути компиляции, комбинирования уже имеющихся знаний, даже из других отраслей. И не только ученые этим «грешат» – так живет весь мир. Информации много, она общедоступна, и становится проще соединить между собой известные решения, чем получить новые. На мой взгляд, интенсивность получения принципиально новых решений снизилась, а тренировать мозг нужно постоянно, точно так же, как и тело. Не зря же спортсмены соблюдают режим и регулярно ходят в спортзал.

– Реформа аспирантуры, которая осуществляется в настоящее время, как-то отразится на работе кафедры строительного производства с аспирантами?

– В подходах к работе нашей кафедры ничего не изменится. Объясню, почему. Последняя тенденция реформ высшего образования привела к тому, что аспирантура превратилась в очередной этап получения высшего образования, по окончании которого аспирантам выдавали диплом. Защита кандидатской стала не обязательной, а предназначение диплома непонятно.

Раньше никаких документов об окончании аспирантуры не выдавали, единственное, что

мог получить аспирант, – справку о сдаче кандидатского минимума. Таким образом, сама по себе аспирантура человеку, который пришел учиться, ничего не давала, поэтому и случайных людей там не было. А были только те, кто хотел заниматься наукой, планировал защищаться и в будущем работать в организациях, связанных с научно-исследовательской или образовательной деятельностью. С появлением возможности обрести очередные корочки образовалась прослойка аспирантов, которые, получив отсрочку от армии и еще один диплом, с чувством выполненного долга продолжали свой профессиональный путь за пределами университета или другого научного подразделения, не строя планов на защиту кандидатской. Естественно, это привело к оттоку молодых специалистов и разрыву в цепочке воспроизводства научных и научно-педагогических кадров. Кафедра перестала быть кузницей кадров для университета и страны в целом. Поэтому реформа аспирантуры была неизбежна, чтобы избавить ее от случайных людей.

К счастью, нашу кафедру эти реформаторские петли не захватили, потому что к нам в аспирантуру, как правило, ребята идут осознанно, с прицелом на защиту кандидатской. Кто-то из них защищается в срок, кто-то чуть позже. Например, практически все защиты аспирантов под руководством доктора наук Якова Александровича Пронозина проходят вовремя. Такой подход к реализации образовательного процесса и организации исследовательской деятельности стал визитной карточкой нашей кафедры.

– Современные реалии таковы, что путь от абитуриента до кандидата наук занимает очень много времени: четыре года бакалавриата, два магистратуры, четыре аспирантуры, и нет никаких гарантий, что по завершении этих лет человек сможет защититься. Не долго ли это?

– Во-первых, учиться нужно всегда, и заблуждается тот, кто считает, что учеба завершается в момент получения диплома. Конечно, у всех разное время уходит на подготовку диссертации. Это зависит от многих факторов: способностей человека, его характера, обеспеченности лабораторным оборудованием и т. д.

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ/PEOPLE, EVENTS, FACTS

Во-вторых, если говорить о гарантиях, наука – это такая сфера деятельности, которая не гарантирует стопроцентного результата. Представьте, что вы с самого начала собираете какой-то новый механизм, и вот приходит время, когда нужно повернуть ключ и запустить то, над чем вы работали. Заведется он или нет? Как будет работать? Абсолютно точно не знает никто. И хотя современные технологии позволяют с определенной долей вероятности что-то запланировать, все равно это очень трудно и почти непредсказуемо.

– А феминизация кафедр инженерных институтов, на которую обращают внимание некоторые эксперты, тоже является следствием продолжительного образовательного периода или, может, невысоких зарплат преподавателей?

– Я думаю, это все же связано с долгим становлением в профессиональном плане. Во время учебы в аспирантуре молодые люди и девушки, наверное, остро осознают необходимость создания семьи. Но именно вопросы самореализации, построения карьеры, высокой зарплаты являются ключевыми. И для многих из них, наверное, трудно эти желания преодолеть, тормознуть себя на пять-шесть лет, чтобы посвятить их науке, а потом уже вернуться к вопросу карьеры. Наука – это не та область, где можно заработать быстрые и большие деньги. Это работа на будущее, интеллектуальные вложения на перспективу. Не зря же говорят, что художник должен быть голодным. Но я и не скажу, что на производстве зарплаты значительно выше. Просто там карьеру можно построить быстрее.

– Можно ли заниматься наукой на производстве? Есть ли у специалистов строительных компаний возможности для ведения научно-исследовательской деятельности?

– Даже если у компании есть необходимая материально-техническая база, то часто недостаточно интеллектуальных ресурсов, и магистратура в этом плане помогает решать некоторые проблемы производства. Мы сотрудничаем с различными строительными организациями, общаемся с руководителями, ведущими специалистами компаний и знаем, с какими трудностями

они сталкиваются. Нацеливаем на их решение наших магистрантов. Иногда компании отправляют к нам на обучение своих специалистов. И такие магистранты всегда добиваются результатов, доходят до конца, потому что у них все для этого есть – конкретная производственная задача и необходимая рабочая документация. Наша задача – поделиться с ними знаниями и привить навыки исследователя.

– Если все же до конца не дошли, что не учли?

– Науку. Все же способности к аналитической, творческой деятельности необходимы, ведь специфика обучения в магистратуре заключается не только в освоении преподаваемых дисциплин, но и в самостоятельной и совместной с руководителем научно-исследовательской работе. Заочникам в этом отношении тяжелее всего приходится, потому что у них высокая занятость, и мы не можем их постоянно контролировать. Есть и другой момент – многие из них ошибочно полагают, что главное – сдать предметы и закрыть сессию, а наукой можно позаниматься между делом, на досуге, когда появится настроение. Это не так. Ей нужно регулярно уделять время и силы. Если сегодня не получилось, значит, завтра придется сделать двойную норму. Только при такой самоорганизации и понимании необходимости системного подхода будет результат. Написать магистерскую диссертацию за две недели до защиты невозможно. Именно поэтому, разрабатывая учебный план заочной магистратуры, мы осознанно все академические предметы сдвинули на первые четыре семестра, а пятый отвели под финальное завершение научно-исследовательской работы, чтобы все силы магистрантов были направлены только на науку и ничто их не отвлекало.

– Наукой можно заниматься самостоятельно на дому?

– Это, скорее, вопрос менталитета и самоорганизации. Наукой можно заниматься везде, и занимается ею тот, кто обращает внимание на вещи, которые многие попросту не замечают. Пытливый ум всегда вопросы задает: а почему так? И нередко именно с равнодушия и поиска ответа на волнующий вопрос начинается новое исследование.

Во время III Градостроительного форума в Тюмени был дан старт XXI конкурсу «На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2021 год». Свои подписи на Положении поставили начальник Главного управления строительства региона П. А. Первалов, президент Союза строителей (работодателей) Тюменской области А. Ю. Никитин и председатель областной организации профсоюза работников строительства и промстройматериалов П. П. Юрченко. Имена победителей конкурса традиционно назовут в День строителя.

ПОЛОЖЕНИЕ О XXI КОНКУРСЕ «НА ЛУЧШЕЕ ДОСТИЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2021 ГОД»

Regulation of the 21th contest «For the best achievement in the construction industry of the Tyumen region in 2021»

1. Цели и задачи конкурса

1.1. Положение о XXI конкурсе «На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2021 год» (далее – Положение) устанавливает порядок проведения регионального конкурса «На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2021 год» (далее – конкурс).

1.2. Конкурс проводится Правительством Тюменской области, Союзом строителей (работодателей) Тюменской области (далее также – Союз строителей Тюменской области), Областной организацией профсоюза работников строительства и промстройматериалов для содействия развитию строительного комплекса региона в целях:

- дальнейшего развития строительной отрасли;
- стимулирования деятельности всех субъектов строительной отрасли к повышению качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции и предоставляемых услуг;
- определения наиболее эффективно работающих строительных организаций и предприятий промышленности строительных материалов, проектных и изыскательских, научно-исследовательских и научно-производственных организаций, учреждений образования, готовящих специалистов строительного профиля;
- распространения передового опыта эффективно работающих организаций строительной отрасли;
- повышения инвестиционной активности организаций и предприятий;
- внедрения инноваций в строительной отрасли;
- поощрения социально ориентированного бизнеса;
- информирования общественности о лучших реализованных строительных проектах и объектах.

2. Принципы конкурса

2.1. Проведение конкурса основывается на следующих принципах:

- открытость и равноправие – любая организация, работающая на строительном рынке Тюменской области, независимо от формы собственности, ведомственной принадлежности, известности, численности, может принять участие в конкурсе в любой номинации и претендовать на звание победителя или лауреата;
- объективность – в ходе голосования по выдвинутым претендентам на победу Организационный комитет конкурса (далее – Оргкомитет) руководствуется принципами объективности и непредвзятости. Решение в пользу того или иного претендента принимаются на основании критериев, установ-

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ/PEOPLE, EVENTS, FACTS

ленных Положением, простым большинством голосов членов Оргкомитета открытым голосованием при наличии не менее половины его состава;

- независимость – решение Оргкомитета не зависит от принадлежности его членов к тому или иному ведомству или организации, личных симпатий и других субъективных факторов.

3. Организаторы конкурса

3.1. Организаторами конкурса (далее – организаторы) выступают: Главное управление строительства Тюменской области, Союз строителей Тюменской области, Областная организация профсоюза работников строительства и промстройматериалов.

3.2. Организаторы конкурса формируют и утверждают Оргкомитет.

4. Оргкомитет конкурса

4.1. Оргкомитет состоит из числа представителей организаций строительной отрасли, науки, образования, органов экспертизы и других специалистов.

Оргкомитет проводит непосредственную работу по организации и проведению конкурса, определяет победителей и лауреатов конкурса.

5. Информационное сопровождение конкурса

5.1. Информационное сопровождение конкурса осуществляет Главное управление строительства Тюменской области, Союз строителей Тюменской области, ежеквартальный научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» и газета «Квартирный вопрос» (сайт KVobzor.ru).

5.2. Главное управление строительства Тюменской области размещает на Официальном портале органов государственной власти Тюменской области Положение, информацию об участниках конкурса, итоги конкурса.

5.3. Журнал «Архитектура, строительство, транспорт» публикует на своих страницах Положение и итоговые материалы конкурса.

5.4. Газета «Квартирный вопрос» (сайт KVobzor.ru) публикует материалы об условиях конкурса и порядок его проведения, статьи и новости по конкурсной тематике, представляет номинантов конкурса, организует в период его проведения наглядное оформление материалов конкурса, проводит другую наглядную и информационную работу.

6. Полномочия организаторов

6.1. Союз строителей Тюменской области:

- организует прием документов и регистрацию организаций как участников конкурса;
- изучает, проверяет и анализирует представленные на конкурс документы;
- готовит материалы на заседания Оргкомитета, организует и проводит его заседания;
- оформляет материалы заседаний Оргкомитета, готовит итоговый протокол заседания Оргкомитета;
- представляет материалы конкурса, сведения о его участниках, итоговые материалы конкурса для публикации в газете «Квартирный вопрос» (сайт KVobzor.ru) и журнале «Архитектура, строительство, транспорт»;
- организует работу по разработке образцов Почетных дипломов, Дипломов лауреатов и изготовлению Знака конкурса для награждения победителей и лауреатов;
- участвует в церемонии награждения и осуществляет фотографирование победителей и участников конкурса.

6.2. Главное управление строительства Тюменской области:

- участвует в церемонии награждения;
- анализирует представленные на конкурс документы;
- проводит работу по подбору места проведения церемонии награждения победителей и лауреатов конкурса;
- разрабатывает сценарий проведения церемонии награждения;
- приглашает на церемонию награждения.

7. Участники конкурса

Участниками конкурса могут быть:

7.1. Организации, уплатившие конкурсный организационный сбор.

7.2. Организации (предприятия) всех форм собственности, деятельность которых связана со строительством.

7.3. Учреждения образования, готовящие специалистов для строительной отрасли, независимо от формы обучения.

7.4. Любые другие организации, согласные с Положением и условиями проведения конкурса.

7.5. Структурные подразделения, дочерние организации, строительные организации, входящие в состав холдингов, объединений, управлений механизации.

7.6. Научно-исследовательские и научно-производственные организации с проектами, разработанными в течение конкурсного года.

7.8. Не допускаются к участию в конкурсе:

- в номинации «Организация года», «Руководитель года» – организация и ее руководитель при наличии на производстве в течение конкурсного года зарегистрированных несчастных случаев со смертельным исходом или тяжелых (групповых) несчастных случаев, произошедших по вине организации (нанимателя);
- в номинации «Объект года» – организация, представляющая объект, на котором (в течение 2021 года) были допущены по вине организации (нанимателя) зарегистрированные несчастные случаи со смертельным исходом или тяжелые (групповые) несчастные случаи.

Организации, не допущенные к участию в номинациях «Организация года», «Руководитель года», «Объект года» могут участвовать в других номинациях конкурса.

8. Порядок участия в конкурсе

8.1. Инициатива выдвижения номинантов конкурса может принадлежать областным, городским, районным органам власти, отраслевым ведомствам, вышестоящим организациям, в состав которых входят организации-номинанты, самим организациям и их партнерам (заказчикам, клиентам, поставщикам).

8.2. Участники конкурса могут участвовать во всех конкурсных номинациях, в соответствии с критериями, предъявляемыми к ним.

8.3. Для участия в конкурсе и официальной регистрации в качестве участника конкурса организациям необходимо представить в Оргкомитет до 10 июля 2022 г. по адресу г. Тюмень, ул. Челюскинцев, 3 (тел.: (3452) 444-095);

- заявку в соответствии с приложениями №№ 1, 4 к Положению с указанием номинации и категории, в которых они участвуют;
- документы согласно приложению № 2 к Положению;
- информацию в электронном виде о деятельности организации в соответствии с приложением № 5 к Положению;
- рекомендацию (согласование заявки) вышестоящей организации при ведомственной подчинённости (при наличии);
- отзывы организаций (заказчиков) либо партнеров организации;
- копию платежного документа при оплате конкурсного взноса;
- другие документы по усмотрению участника, раскрывающие успехи и достижения организации в заявленной номинации.

Заявка и документы, поданные на конкурс, хранятся в исполнительной дирекции Союза строителей Тюменской области в течение года со дня подведения итогов конкурса.

8.4. Размер организационного взноса за участие в конкурсе составляет 10 тысяч рублей за каждую номинацию, указанную в конкурсной заявке.

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ/PEOPLE, EVENTS, FACTS

Получатель организационного взноса – Союз строителей (работодателей) Тюменской области: ИНН 7202092663/ КПП 720301001; р. с. № 40703810900260000013 в филиале Банка ГПБ (АО) «Уральский», г. Екатеринбург; БИК 046577411; к/с 30101810365770000411.

8.5. Освобождаются от уплаты организационного взноса бюджетные учреждения образования (лицей, колледжи, университеты), готовящие кадры для строительной отрасли.

8.6. Учреждения образования, занимающиеся обучением, подготовкой, переподготовкой строительных кадров и осуществляющие свою деятельность на платной основе, вносят организационный взнос на общих основаниях.

8.7. Победители конкурса определяются в каждой из 8 номинаций с вручением победителю Почетного диплома и Знака конкурса с указанием года присуждения звания победителя.

8.8. Победитель конкурса определяется на основании критериев, предусмотренных приложением № 3 к Положению. При этом учитывается полнота представленных организацией-номинантом материалов.

8.9. В этих же категориях и номинациях определяются лауреаты с вручением Диплома лауреата и Знака конкурса с указанием года присуждения звания лауреата.

8.10. Результаты конкурса со списками его победителей, публикуются в газете «Квартирный вопрос», журнале «Архитектура, строительство, транспорт», размещаются на Официальном портале органов государственной власти Тюменской области, сайтах KVobzor.ru (газета «Квартирный вопрос») и ssrto.ru (Союз строителей Тюменской области), а также могут освещаться другими средствами массовой информации.

Состав Оргкомитета

Бауэр С. Р., заместитель начальника ГУС ТО – главный архитектор Тюменской области (председатель).

Никитин А. Ю., президент Союза строителей (работодателей) Тюменской области (сопредседатель).

Юрченко П. П., председатель областной организации профсоюза работников строительства и стройматериалов.

Ахмеднабиева С. И., главный редактор газеты «Квартирный вопрос» (секретарь).

Архипенко Е. М., руководитель охраны труда, охраны окружающей среды и промышленной безопасности, председатель профкома ЗАО «Завод ЖБИ-3».

Гребенюк Г. Н., доктор географических наук, профессор, Академик Российской академии наук.

Ельшин В. А., главный энергетик АО «Мостострой-11».

Зимакова Г. А., заведующая кафедрой строительных материалов ФГБОУ ВО «ТИУ».

Круглик А. Ю., начальник управления государственного строительного надзора ГУС ТО.

Кузнецов В. Н., директор представительства АО «Тобольскстроймеханизация» в г. Тюмени.

Лесков С. Н., генеральный директор ООО «Геопроект».

Лыкова В. Г., заместитель директора ООО «Учебно-курсовая производственная фирма «УПФИР».

Поступинская Л. А., руководитель отдела охраны труда, охраны окружающей среды и промышленной безопасности, заместитель председателя профкома ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия».

Разов И. О., заведующий кафедрой строительной механики ФГБОУ ВО «ТИУ».

Решетников А. А., начальник отдела развития строительного комплекса управления строительства и строительной индустрии ГУС ТО.

Сбитнева Л. Г., заместитель генерального директора по экономическим вопросам АО «ТДСК».

Третьяков В. С., заместитель главы города Тюмени.

Фролов А. В., начальник управления градостроительной политики ГУС ТО.

Внимание! Полный перечень приложений к Положению о конкурсе (шаблон заявки на участие в конкурсе, номинации и категории, формы документов, представляемые участниками конкурса, в разрезе номинаций, критерии отбора претендентов для участия в конкурсе и определения победителей и т. д.) размещены на Официальном портале органов государственной власти Тюменской области.

Подписной индекс журнала "Архитектура, строительство, транспорт"
в объединенном каталоге «Пресса России» 79619 (www.pressa-rf.ru)

