



БАЛТИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Выпуск 7

Научное электронное издание

Калининград
2025

БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Выпуск 7

Сборник научных статей

Под редакцией М. А. Дмитриевой

Научное электронное издание

Калининград

Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
2025

© Оформление, БФУ им. И. Канта, 2025
ISBN 978-5-9971-1029-1

Редакционная коллегия

М. А. Дмитриева, д-р физ.-мат. наук, доц., проф.

ОНК «Институт высоких технологий»;

В. Н. Лейцин, д-р физ.-мат. наук, проф., проф.

ОНК «Институт высоких технологий»;

Л. В. Шершова, канд. экон. наук, доц., директор

Центра высокоточного строительного оборудования;

В. И. Пустовгаров, канд. геогр. наук, почетный архитектор РФ,

доц., доц. ОНК «Институт высоких технологий»;

А. В. Пузатова, зав. лабораторией Строительных материалов,

ст. преп. ОНК «Институт высоких технологий»

А. Д. Козай, ассистент ОНК «Институт высоких технологий»

Современные строительные материалы и технологии.

Выпуск 7 : сборник научных статей [Электронный ресурс] : научное электронное издание. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2025. — <https://publish.kantiana.ru/catalog/non-periodical/sborniki-nauchnykh-statey/sovremennye-stroitelnye-materialy-i-tekhnologii-vypusk-7/>.

Сборник составлен по материалам избранных докладов VIII международной конференции «Современные строительные материалы и технологии» 22—24 мая 2025 г., проведенной на базе Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта. Статьи посвящены актуальным вопросам строительного материаловедения, проектирования строительных конструкций, экологическим и экономическим аспектам строительства, архитектуре, формированию комфортной городской среды. Публикуемые материалы представляют интерес для специалистов в сфере строительного материаловедения, научных работников, сотрудников строительной отрасли, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

© Оформление, БФУ им. И. Канта, 2025

ISBN 978-5-9971-1029-1

СОДЕРЖАНИЕ

Актуальные вопросы строительного материаловедения

<i>Шаманов В. А., Шаманова К. А.</i> Сравнение отечественных и зарубежных методик исследования глинистого сырья.....	12
<i>Елесин М. А.</i> Повышение стойкости бетонов и фасадных красок за счет введения полисульфидных компонентов	23
<i>Авилов Д. А., Елесин М. А.</i> Получение ячеистых бетонов конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного назначения	28
<i>Сокольникова С. Р., Иноземцев А. С.</i> Применение термоаккумулирующих материалов, стабилизированных в активированном угле, в составе высокопрочных легких бетонов.....	34
<i>Долгов А. С., Дмитриева М. А.</i> Управление 3D-печатью бетоном	44
<i>Никитин М. О.</i> Наиболее эффективные составы для инъектирования кирпичной кладки.....	60
<i>Коновалова В. С., Строкин К. Б., Гальцев А. А., Новиков Д. Г.</i> Биорецептивность бетона, изготовленного с добавками стеарата кальция.....	69
<i>Смирнов Е. А., Христофорова И. А.</i> Преимущества ПВХ марки С70 в композициях на его основе.....	80
<i>Палкин В. Г., Кочуров И. Ф.</i> Особенности фанерной продукции на пленочном полиэтиленовом клее.....	88
<i>Ковшов А. О.</i> Самовосстанавливающийся бетон и перспективы его внедрения	97
<i>Сухопарова В. Ю., Копаница Н. О.</i> Влияние водоудерживающих добавок на свойства цементных систем	107
<i>Абд Алвахед Ф., Кривобородов Ю. Р.</i> Влияние туфа как заполнителя на свойства высокопрочного легкого бетона	120

<i>Хтет Паинг Аунг, Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю. Р.</i> Специальные цементы: разновидности, свойства и применение ...	129
<i>Мельникова А. С., Мамедова Р. М.</i> Исследование эффективности применения микропузырьковой воды затворения цементных композиций для управления свойствами бетонов	147
<i>Смирнов Д. О., Христофорова И. А.</i> ПВХ-композиты с применением наполнителя из яичной скорлупы.....	155
<i>Провоторов А. А., Тарарушкин Е. В.</i> Выявление р-примесей в фосфогипсе методами физико-химических исследований	162
<i>Мясников Д. О., Тужилова М. В.</i> Численное исследование напряженно-деформированного состояния деревянных колонн, усиленных композитными материалами: обзор современных подходов.....	170
<i>Джунаидов Х. Х., Сагателян Н. Х.</i> Важность ячеистых бетонов в строительной индустрии	177
<i>Илхомов Ж. И., Рамазанов Г. Ф., Пустовгаров В. И.</i> Различия между консервативными и интерпретативными принципами современной народной архитектуры	184
<i>Тожиев И. И., Илхомов Ж. И., Рамазанов Г. Ф., Файзуллаев А. А., Шершова Л. В.</i> Использованные материалы при строительстве архитектурных памятников.....	193
<i>Зубакова А. И.</i> Разработка сухих строительных смесей с биоцидными свойствами	210
<i>Барсуков В. Г., Дмитриева М. А., Овчинников Е. В. Атак М.</i> Микромеханические аспекты прочности стеклопластиковых стержней при растяжении	218

Актуальные вопросы строительных конструкций

<i>Борисов Н. О., Столяров О. Н.</i> Оптимизация консольных покрытий из текстильно-армированного бетона.....	228
<i>Карпенко А. В., Хомякова И. В.</i> Проблематика обследования плоских кирпичных перекрытий.....	234
<i>Омельченко А. К., Пичкурова Н. С.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния вертикальных стыков с гибкими петлями в крупнопанельных зданиях	243

<i>Журов И. Н.</i> Материалы и технологии в модульном домостроении	253

<i>Димитриева С. О.</i> Каменные своды исторических зданий. Роль и влияние засыпки на несущие характеристики сводчатых перекрытий.....	263

<i>Бурминский А. В., Марутян А. С.</i> Оптимизация зетовых гнутозамкнутых профилей.....	272

ВІМ-технологии в строительстве

<i>Лаврова А. С., Заслуженная Н. В., Носочевская А. А., Костандова А. Э.</i> Применение ВІМ-модели при построении расчетной схемы здания сложной геометрии: проблемы и способы их решения	286

<i>Артюхова Л. С., Чернышкова И. А.</i> Применение сверточных нейронных сетей для оценки деформаций зданий	292

<i>Ржаников И. Д., Таран Н. Е.</i> Цифровое моделирование процесса теплопередачи через оконный блок с использованием ПК «Temper-3D».....	301

Инженерные сети и сооружения

<i>Диваков Е. В., Бельмега М. С., Чурилов Е. И., Курочкин Е. Ю., Хомякова И. В.</i> Каталитически активный фильтрующий материал для станций обезжелезивания подземных вод.....	311

<i>Парфенов В. К., Курочкин Е. Ю.</i> Экологическая обстановка водных объектов Калининградской области	321

<i>Воропай А. М., Мечетин Д. М., Курочкин Е. Ю.</i> Новые системы использования дождевых сточных вод на примере многоквартирных жилых зданий.....	333

Архитектура

<i>Барекат М.</i> Характеристики биофильного дизайна в традиционных иранских домах	344

<i>Кизилова С. А.</i> Биоукрытия с интегрированными теплицами: устойчивая стратегия в условиях социальных и геополитических рисков.....	365

<i>Гомес Лопес А. В.</i> Строительные материалы и технологии в общественных центрах на этнических территориях Колумбии	374
<i>Балтрушайтис Я. В., Пустовгаров В. И.</i> Фахверк: история развития и проявление на территории Калининградской области	380
<i>Калинина Н. О.</i> Микроинтервенции в архитектуре: компактные стратегии формирования качественной городской среды	391

Эколого-экономические аспекты строительства

<i>Александрова А. А., Расулова К. А., Шершова Л. В.</i> Развитие предпринимательских инициатив (на примере Калининградской области)	400
<i>Григоренко Н.И., Гутников В. А.</i> Методология объединения датчиков для восприятия транспортных средств в городах.....	424
<i>Бочкарева Т. В.</i> Взаимодействие технологий и городской среды: философско-исторический анализ.....	437
<i>Новиков И. В., Сычев С. А.</i> Экономическая эффективность строительства из модулей повышенной заводской готовности.....	449
<i>Беляева С. В., Воротынцев И. В., Галиев Л. С.</i> Оценка и развитие инновационного потенциала предприятий промышленности строительных материалов Воронежской области	462
<i>Уварова С. С., Акулова И. И., Славчева Г. С.</i> Методический подход к оценке потенциала промышленности строительных материалов в условиях региональной инновационной среды (на примере Воронежской области)	470
<i>Гришаев М. С., Шершова Л. В.</i> Трудовой потенциал строительной отрасли на примере Калининградской области	479

Формирование комфортной городской среды

<i>Кукина И. В., Федченко И. Г.</i> Логика преодоления стихийных образований в структуре современного города и комфорт городской среды.....	492

<i>Головин С. В.</i> Принципы устойчивого развития в контексте ревитализации индустриального наследия	505
<i>Дронова А. А.</i> Историческая планировка 1930-х годов как объект культурного наследия на примере ВДНХ в г. Москве. Сохранение и развитие	511
<i>Кулагин А. В., Калмыков Д. В.</i> Градостроительный опыт Калининградской области в создании и сохранении монументов воинской славы применительно к восстанавливаемым городским агломерационным территориям	518
<i>Шишов К. В., Климова Е. В.</i> Вопросы обустройства инженерной инфраструктурой приморских территорий, предназначенных для рекреационного освоения	530
Сведения об авторах	544

CONTENTS

Actual issues of building materials science

<i>Shamanov V. A., Shamanova K. A.</i> Comparison of Russian and international approaches to clay raw material testing	12
<i>Elesin M. A.</i> Increasing the durability of concrete and facade paints due to the introduction of polysulfide components	23
<i>Avilov D. A., Elesin M. A.</i> Production of cellular concretes for structural, thermal insulation and structural purposes.....	28
<i>Sokolnikova S. R., Inozemtsev A. S.</i> Application of thermal energy storage materials stabilized in activated carbon in the composition of high-strength lightweight concrete	34
<i>Dolgov A. S., Dmitrieva M. A.</i> Control of 3D printing concrete	44
<i>Nikitin M. O.</i> The most effective compounds for injecting brickwork	60
<i>Konovalova V. S., Strokin K. B., Galtsev A. A., Novikov D. G.</i> Bio-receptivity of concrete made with calcium stearate additives	69
<i>Smirnov E. A., Khristoforova I. A.</i> Advantages of pvc grade C70 in compositions based on it.....	80
<i>Palkin V. G., Kochurov I. F.</i> Features of plywood products on film polyethylene adhesive	88
<i>Kovshov A. O.</i> Self-healing concrete and the prospects of its implementation	97
<i>Sukhoparova V. Yu., Kopanitsa N. O.</i> The effect of water-retaining additives on the properties of cement systems.....	107
<i>Abd Alvahed F., Krivoborodov Yu. R.</i> The effectiveness of tuff as aggregate in high-strength lightweight concrete	120
<i>Htet Paing Aung, Thet Naing Myint, Krivoborodov Yu. R.</i> Special cements: types, properties and applications	129
<i>Melnikova A. S., Mamedova R. M.</i> Study of the efficiency of using microbubble mix-ing water in cement composites for controlling concrete properties.....	147

<i>Smirnov D. O., Khristoforova I. A.</i> PVC composites using eggshell filler	155
<i>Provotorov A. A., Tararyshkin E. V.</i> Physicochemical studies of phosphogypsum for the identification of p-impurities	162
<i>Myasnikov D. O., Tuzhilova M. V.</i> Numerical study of the stress-strain state of timber columns strengthened with composite materials: a review of modern approaches	170
<i>Dzhunaidov H. H., Sagatelyan N. H.</i> Importance of cellular concrete in construction industry	177
<i>Ilkhomov Zh. I., Ramazanov G. F., Pustovgarov V. I.</i> Differences between conservative and interpretative principles of modern vernacular architecture.....	184
<i>Tozhiev I. I., Ilkhomov Zh. I., Ramazanov G. F., Faizullaev A. A., Shershova L. V.</i> Materials used in the construction of architectural monuments.....	193
<i>Zubakova A. I.</i> Development of dry building mixes with biocidal properties.....	210
<i>Barsukov V. G., Dmitrieva M. A., Ovchinnikov E. V. Atak M.</i> Micromechanical aspects of tensile strength of fiberglass rods.....	218

Actual issues of building structures

<i>Borisov N. O., Stolyarov O. N.</i> Optimization of cantilever roof structures made of textile-reinforced concrete.....	228
<i>Karpenko A. V., Khomyakova I. V.</i> Problems of inspection of flat brick ceilings	234
<i>Omelchenko A. K., Pichkurova N. S.</i> Stress-strain analysis of vertical joints with wire loops in large-panel buildings.....	243
<i>Zhurov I. N.</i> Materials and technologies in modular housing construction.....	253
<i>Dimitrieva S. O.</i> Stone arches of historical buildings. The role and influence of backfilling on the bearing characteristics of vaulted ceilings.....	263
<i>Burminsky A. V., Marutyan A. S.</i> Optimization of Z-shaped bent-closed profiles.....	272

BIM-technologies in construction

<i>Lavrova A. S., Zasluzhetnaya N. V., Nosochevskaya A. A., Kostandova A. E.</i> The use of a bim model in constructing a design scheme for a building of complex geometry: problems and ways to solve them	286
<i>Artyukhova L. S., Chernyshkova I. A.</i> Application of convolutional neural networks for estimating building deformations	292
<i>Rzhanikov I. D., Taran N. E.</i> Digital simulation of the heat transfer process through a window unit using a PC «Temper-3D».....	301

Engineering networks and structures

<i>Divakov E. V., Belmega M. S., Churilov E. I., Kurochkin E. Yu., Khomyakova I. V.</i> Catalytically active filter material for groundwater deicing stations.....	311
<i>Parfenov V. K., Kurochkin E. Yu.</i> Environmental situation of water bodies in the Kaliningrad Region	321
<i>Voropai A. M., Mechetin D. M., Kurochkin E. Yu.</i> New rainwater wastewater management systems using the example of multi-family residential buildings	333

Architecture

<i>Barekat M.</i> Patterns of biophilic design in traditional Iranian houses ...	344
<i>Kizilova S. A.</i> Bio-shelters with integrated greenhouses: sustainable strategy in the context of social and geopolitical risks	365
<i>Gomez Lopez A. V.</i> Building materials and technologies in community centers in the ethnic territories of Colombia	374
<i>Baltrushaitis Y. V., Pustovgarov V. I.</i> Half-timbered building: the history of development and manifestation on the territory of the kaliningrad region	380
<i>Kalinina N. O.</i> Micro-interventions in architecture: compact strategies for forming a quality urban environment.....	391

Ecological and economic issues of construction

<i>Aleksandrova A. A., Rasulova K. A., Shershova L. V.</i> Development of entrepreneurial initiatives (on the example of the Kaliningrad region).....	400

<i>Grigorenko N. I., Gutnikov V. A.</i> Methodology of combining sensors for vehicle perception in cities	424
<i>Bochkareva T. V.</i> The symbiosis of technology and the urban milieu: a philosophical-historical exploration	437
<i>Novikov I. V., Sychev S. A.</i> Economic efficiency of construction from prefabricated modules of increased factory readiness	449
<i>Belyaeva S. V., Vorotyntsev I. V., Galiev L. S.</i> Assessment and development of innovative potential of the enterprise of the construction materials industry of the Voronezh region	462
<i>Uvarova S. S., Akulova I. I., Slavcheva G. S.</i> Methodological approach to assessing the potential of the construction materials industry in the conditions of the regional innovation environment (on the example of the Voronezh region).....	470
<i>Grishaev M. S., Shershova L. V.</i> Labor potential of the construction industry on the example of the Kaliningrad region	479

Formation of a comfortable urban environment

<i>Kukina I. V., Fedchenko I. G.</i> The logic of overcoming spontaneous formations in the structure of a modern city and the comfort of the urban environment.....	492
<i>Golovin S. V.</i> The principles of sustainable development in the context of the reconstruction of industrial heritage	505
<i>Dronova A. A.</i> The historical urban planning of the 1930s as an object of cultural heritage on the example of the VSHV-VDNH in Moscow. Conservation and development.....	511
<i>Kulagin A. V., Kalmykov D. V.</i> Kaliningrad region urban development experience in the field of creation and preservation of military glory monuments for propuses of urban agglomeration territories restorftion	518
<i>Shishov K. V., Klimova E. V.</i> Issues of developing engineering infrastructure in coastal territories intended for recreational development.....	530
Information about authors.....	544

К. А. Шаманова, В. А. Шаманов

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» (Пермь, Россия)

СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МЕТОДИК ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ

COMPARISON OF RUSSIAN AND INTERNATIONAL APPROACHES TO CLAY RAW MATERIAL TESTING

Аннотация. Приводятся краткие сведения о методах испытаний глинистого сырья для производства стеновых керамических изделий в разных странах. Показано, что в России, Китае, США, Индии и Европейских странах используется различное глинистое сырье, что требует использования легитимных и стандартизированных методик его испытания для обеспечения гарантированного качества готовой продукции. Представлены основные методы испытаний глинистого сырья в соответствии с нормами России (ГОСТ), США (ASTM) и Европейских стран (EN), включая Германию (DIN). Установлено, что большая часть применяемых в разных странах методов испытания глинистого сырья схожа с российскими методами, но сравнение различных показателей глинистого сырья, определенных по отечественным и зарубежным стандартам, недопустимо без построения корреляционных зависимостей.

Abstract. The article provides a brief overview of testing methods for clay raw materials used in the production of ceramic wall products across various countries. It is shown that different types of clay raw materials are used in Russia, China, the USA, India, and European countries, necessitating the use of legitimate and standardized testing procedures to ensure con-

sistent quality of the final products. The main testing methods are presented in accordance with the standards of Russia (GOST), the USA (ASTM), and European countries (EN), including Germany (DIN). It has been established that most testing methods used internationally are generally similar to Russian methods. However, comparison of clay raw material properties determined according to domestic and foreign standards is not permissible without establishing proper correlation relationships.

Ключевые слова: *глинистое сырье, нормы, стандарт, ГОСТ, еврокод, EN, ASTM*

Keywords: *clay, raw material, norms, standard, GOST, eurocode, EN, ASTM*

Введение

Керамический кирпич — один из старейших строительных материалов, применяемых для возведения зданий и сооружений различного назначения [1]. Несмотря на развитие альтернативных строительных технологий, стеновые керамические изделия сохраняют свою популярность за счет высокой прочности, долговечности и экологичности [2]. Например, по сравнению с другими штучными строительными материалами (газо- и пенобетон, керамзитобетон, арболит и пр.), керамические изделия сохраняют высокую долю присутствия на строительных рынках многих стран, в частности, Индии, Китая, США, России и других.

Так, по данным Brick Industry Association (BIA) и Минпромторга, ежегодный объем производства керамического кирпича в США и России составляет около 7—8 млрд шт. условного кирпича. Одним из крупнейших производителей керамических блоков в Европе является Германия, где ежегодно выпускается свыше 2 млрд шт. условного кирпича, из них значительная часть — это пустотелые керамические блоки. А входящая в объединение стран БРИКС Индия — крупнейшая по объему производства кирпича в мире (около 250—300 млрд шт. условного кирпича в год) [3; 4].

Следует отметить, что сферы применения кирпича в зависимости от страны и способа изготовления могут отличаться от принятых в России. Так, например, в США и Великобритании кирпич чаще используется для облицовки фасадов, нежели для кладки несущих конструкций [5]; в Германии преобладает использование крупноформатных поризованных блоков для строительства энергоэффективных зданий [6]; в России находят применение как полнотелый кирпич, так и пустотелые стеновые керамические изделия, включая блоки, причем кирпич и блоки используются примерно поровну; а в Индии значительная доля потребления приходится на недожженный кирпич, обжиг которых осуществляется в традиционных «подземных» печах при температуре не выше 650—800 °С [7].

Таким образом, учитывая высокую популярность керамических изделий и различия сферах их применения в разных странах, представляется актуальным проведение сравнительного анализа не только требований к качеству готовых керамических стеновых изделий, но и к характеристикам исходного глинистого сырья и методам их испытаний.

Результаты исследования

Как показал анализ литературных данных [8; 9] и нормативных требований, в разных странах среди основных показателей качества керамических кирпичей выделяют прочность, морозостойкость и водопоглощение (табл.).

Основные эксплуатационные характеристики керамического кирпича в разных странах

Показатель	Европа (EN 771-1)	США (ASTM C216)	Россия (ГОСТ 530)	Китай (GB/T 5101)	Индия (IS 1077)
Прочность, МПа	5—50	10—69	7,5—35	10—75	3,5—35

Окончание табл.

Показатель	Европа (EN 771-1)	США (ASTM C216)	Россия (ГОСТ 530)	Китай (GB/T 5101)	Индия (IS 1077)
Марка по морозо- стойкости	F15—F100	F50—F100	F25—F75	F15—F100	Не всегда норми- руется
Водопогло- щение, %	До 25	До 17	До 16	До 20	До 20

При этом важно понимать, что характеристики готовых керамических изделий напрямую зависят от состава шихты и качества сырьевых материалов. К слову, в качестве сырья для изготовления стеновых керамических изделий могут использоваться как глинистые породы, так и отходы различных производств.

Например, в России, Белоруссии, Германии в основном используются красные (так называемые «кирпичные») глины, суглинки, лессы [10]. Дополнительно к традиционному сырью в США также используются глинистые породы с высоким содержанием кремнезема, добываемые преимущественно в южных и центральных штатах [11], в Великобритании — Лондонская голубая глина; в Китае в керамическую шихту добавляют шлаки, золу-уноса от сжигания рисовой шелухи и прочие отходы производств [12].

Становится очевидным, что разнообразное и нестабильное исходное сырье для керамических стеновых материалов в разных странах требует использования легитимных, технически доступных и обоснованных методик испытания глинистого сырья для оценки его пригодности.

Наиболее полно методики испытания глинистого сырья описаны в нормативных документах России (ГОСТ), США (ASTM) и Европейских стран (EN, DIN — для Германии). В России основные свойства глин, как сырья для керамической промышленности, определяют согласно ГОСТ 21216 «Сырье

глинистое. Методы испытаний», в числе которых: пластичность, формовочная влажность, воздушная, огневая и полная усадка, чувствительность глин к сушке, спекаемость, огнеупорность.

Воздушная, огневая и полная усадка как в России, так и в других странах определяется исходя из физической сути процесса усадочных деформаций путем вычисления относительной разницы линейных размеров предварительно нанесенных насечек на свежесформованных образцах и после их сушки и обжига при заданной температуре (рис. 2). Основные отличия в методиках (ASTM C326, EN 993-10 и EN 772-6) касаются размеров образцов, температуры обжига и способов обработки получаемых данных, включая браковочное число.



а



б

Рис. 1. Образцы для определения линейной усадки:

а — образец в форме по ASTM C326;

б — образец с насечками по EN 993-10

Спекаемость и огнеупорность глинистого сырья в странах Европы и США считаются специализированными показателями [13], но определяются аналогично российским методикам (ГОСТ 21216) с небольшими изменениями: огнеупорность гли-

ны оценивается методом сегеровских конусов по изменению поверхности и формы конусоподобных образцов (EN ISO 528, DIN 51060, ASTM C24) с использованием эталонных (пирометрических) образцов или без них.

Спекаемость глинистого сырья оценивают по уменьшению пористости и увеличению прочности, без деформаций или плавления. При этом обжиг в соответствии с требованиями нормативных документов разных стран осуществляется при различных температурах, начиная с 900 °С, с шагом 33 или 50 °С.

Европейских странах в соответствии с EN ISO 10545-3 и EN 771-1 и в США согласно ASTM C326 и ASTM C373 для оценки спекаемости глин определяют их линейную усадку, водопоглощение и среднюю плотность [14]. В США дополнительно проводят визуальную оценку формы образца по ASTM C24, а в Германии согласно DIN 51045 температуру спекания можно также определять термодилатометрическим методом, при этом образец глины нагревается с постоянной скоростью, а прецизионное оборудование регистрирует изменение длины в зависимости от температуры обжига [15].

Особого внимания заслуживают методы определения чувствительности глин к сушке. В России данный показатель оценивается различными методами: согласно ГОСТ 21216 по ускоренному методу А. Ф. Чижского образец размером 55 × 55 × 10 мм подвергается тепловому воздействию до появления на нем трещин, а критерием чувствительности глин к сушке является время (в секундах) появления этих трещин. По методу ВНИИСТРОМ чувствительность оценивается по минералогическому коэффициенту, который зависит от содержания монтмориллонита в глинистом сырье. На заводах по производству керамического кирпича помимо прочих можно также встретить использование метода определения коэффициента трещинообразования, который равен отношению суммарной длины трещин к площади образца.

В США чувствительность глин к сушке оценивают по ASTM C3350 путем расчета коэффициента DSF (Drying Sensitivity Factor), который учитывает отношение критической влажности к пластической, трещиностойчивость и скорость испарения влаги. Данный метод считается более универсальным и позво-

ляет проводить сравнение различных глин по показателю чувствительности к сушке, но отличается необходимостью использования климатических камер и более сложной подготовкой образцов.

В Европейских странах чувствительность глин к сушке оценивается по EN 993-19 с учетом EN 772-6: контролируется изменение линейных размеров, образование трещин, в том числе отношение их суммарной длины к площади образца, а также визуальное состояние образцов после сушки.

Другим не менее важным показателем является пластичность глинистого сырья, то есть его способность при заданной влажности деформироваться и сохранять форму без образования трещин и разрывов.

На керамических заводах России данный показатель зачастую определяют методом Жуковского по оценке формы и характера деформации глиняного шарика диаметром 30—40 мм после сплющивания. В соответствии с требованиями ГОСТ 21216 пластичность может определяться с помощью прибора конструкции Васильева, либо с использованием балансира конуса. При этом число пластичности и том, и в другом случае определяют как разность между влажностью глины на границе текучести и на границе раскатывания.

Стоит отметить, что данный метод, также называемый методом Аттерберга, используется и в США (ASTM D4318), и в Европейских странах (EN ISO 17892), но с отличиями в используемых подходах при определении границ текучести и раскатывания.

Аналогичным российскому методу Жуковского можно считать метод Pfeifferkorn (DIN 51092), применяемый в Германии. Суть данного метода заключается в том, что на предварительно сформованный из глины диск сбрасывается груз. После чего оценивается изменение диаметра диска и появившиеся на нем дефекты (трещины, разрывы).

При оценке формовочных свойств глинистого сырья важным показателем является формовочная влажность, которая отражает минимальное количество воды в глине, при котором она обретает пластические и формовочные свойства.

Исходя из физической сути процесса, в различных странах, включая Индию (IS 1725), Россию (ГОСТ 21216), США (Production Trial Method) и другие, органолептическим методом определяют такую влажность глинистой массы, при которой она формируется без трещин, не прилипает к рукам и поверхностям формирующих агрегатов, а также хорошо сохраняет форму.

При этом для количественной оценки дополнительно могут использоваться специальные приборы, например, в России — прибор Вика с иглой, в Европейских странах — пенетrometer или шар для косвенного определения пластической прочности по EN 1015-3 по аналогии с другими пластичными материалами.

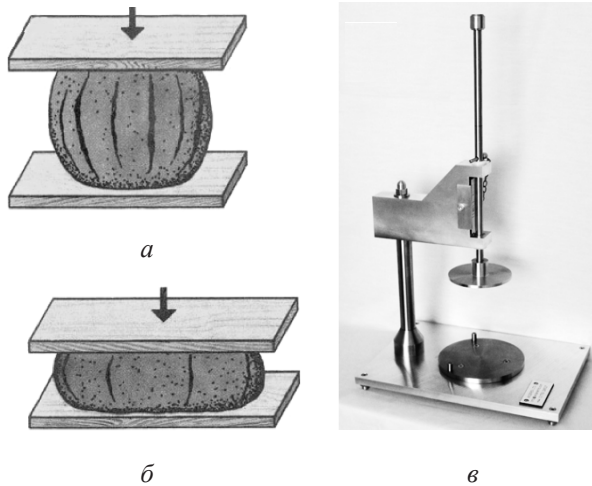


Рис. 2. Методы оценки пластичности глин:

- a* — метод Жуковского, образец в начале проведения испытания;
- б* — метод Жуковского, образец после проведения испытания;
- в* — прибор Pfeifferkorn

Стоит отметить, что в других странах, например, Бразилии, Ираке, Нигерии, Королевстве Таиланд и прочих, качество глинистого сырья тоже оценивают, используя при этом нормы ASTM, EN или описанные выше методы [16—18].

Заключение

Таким образом, в результате анализа применяемых в разных странах методов испытания глинистого сырья было установлено, что большая часть из них схожа с российскими методами. Это связано с тем, что многие из описанных в нормах разных стран методы оценки технологических свойств глинистого сырья основаны на физической сути процессов, протекающих при изготовлении керамических стеновых изделий. А различия в применяемом оборудовании при оценке пластических и формовочных свойств глинистого сырья компенсируются незначительным отличием классификаций по пригодности глинистого сырья для изготовления стеновых керамических изделий, в первую очередь, методом пластического формования. Тем не менее, сравнение различных показателей глинистого сырья, определенных по отечественным и зарубежным стандартам, допустимо лишь условно и требует обязательного построения корреляционных зависимостей.

Список литературы

1. Рубцов О. И., Боброва Е. Ю., Жуков А. Д. и др. Керамический кирпич, камни и полнокирпичные стены // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 8—13. doi: 10.31659/0585-430X-2019-774-9-8-13.
2. Волосатова К. А., Панькова Е. И., Шаманов В. А. Научно-технические аспекты минералообразования керамического кирпича // Актуальные вопросы современного материаловедения : матер. VII Междунар. молодежной науч.-практ. школы-конф., Уфа, 29—30 октября 2020 г. Уфа : Башкирский государственный университет, 2020. С. 36—40.
3. Семено А. А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 4—5. doi: 10.31659/0585-430X-2020-787-12-4-5.
4. Kumar R., Sharma A. An Empirical Study on Brick Industry of India: A Perspective of Cost Analysis // Asian Journal of Management. 2021. Vol. 12 (3). doi: 10.52711/2321-5763.2021.00042.
5. Márcio G. de Vasconcelos A., de Carvalho Pires T. A. et al. Structural and fire performance of masonry walls with ceramic bricks // Engineering Structures. 2023. Vol. 291, art. 116399.

6. Bories C., Vedrenne E., Paulhe-Massol A., et al. Development of porous fired clay bricks with bio-based additives: Study of the environmental impacts by Life Cycle Assessment (LCA) // *Construction and Building Materials*. 2016. Iss.125. P. 1142—1151. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.042.

7. Debnath S., Pramanick A. K. Development and evaluation of various properties of ceramic based brick composites from natural mud at different sintering temperature // *International Journal of Engineering Research and General Science*. 2017. Vol. 5, iss. 3.

8. Urbanek G., Klischat H.-J., Miranda-Martinez M. Evaluation of Test Methods for Refractory Bricks: A Comparison and Validity Study of some Cold Crushing Strength Standards Part 2: Procedure and Determination of Precision // *Refractories Worldforum*. 2023. Vol. 15. P. 55—63.

9. Гречаников А. В., Ковчур А. С., Манак П. И. и др. Исследование эффективности использования добавки боя стекла при изготовлении керамических материалов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2024. № 3 (49). С. 85—96. doi: 10.24412/2079-7958-2024-3-85-96.

10. Будыкина Т. А., Гандурина Л. В. Исследование свойств глинистых пород методом термического анализа // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023. Т. 65, № 1. С. 77—88. doi: 10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88.

11. Foley N. K. Environmental Characteristics of Clays and Clay Mineral Deposits // *USGS Information Handout*. 1999. doi: 10.3133/70220359

12. Hong H., Zhang N., Zhaohui L. et al. Clay mineralogy across the P-T boundary of the Xiakou section, China: Evidence of clay provenance and environment // *Clays and Clay Minerals*. 2008. Vol. 56 (2). P. 131—143. doi: 10.1346/CCMN.2008.0560201.

13. Rashed K. A. Study of Raw Materials for Manufacturing Perforated Clay Bricks (Chamchamal, and Qaradagh Regions in Sulaimani / Iraq) // *Sulaimani Journal for Engineering Sciences*. 2017. Vol. 4, № 4. P. 51—66. doi: 10.17656/sjes.10046.

14. Dondi M., Bertolotti G. Basic Guidelines for Prospecting and Technological Assessment of Clays for the Ceramic Industry: Part 1 // *Interce-ram*. 2021. Rev. 70. P. 36—46. doi: 10.1007/s42411-021-0472-x.

15. Ondro T., Hulan T., Al-Shantir O. *et al.* Kinetic analysis of the formation of high-temperature phases in an illite-based ceramic body using thermogravimetry // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 138. P. 2289—2294. doi: 10.1007/s10973-019-08781-w.

16. Abdulhadi A. H., Mussa M. H., Kadhim Y. The clay rocks properties for the production of the ceramic bricks // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 111 (3), art. 11104. doi: 10.34910/MCE.111.4.

17. Srisuwan A., Sompech S., Saengthong Ch. *et al.* Preparation and properties of fired clay bricks with added wood ash // *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2020. Vol. 30, № 4. P. 84—89.

18. Omowumi O. E. Characterization and Industrial Applications of Wushishi Clay Deposit // *International journal of latest technology in engineering, management & applied science (IJLTEMAS)*. 2023. Vol. XII, iss. XII. P. 37—44. doi: 10.51583/IJLTEMAS.2023.121204.

М. А. Елесин

ФГБОУ ВО «Заполяный государственный университет им. Н. М. Федоровского»
(Норильск, Россия)

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ И ФАСАДНЫХ КРАСОК
ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

**INCREASING THE DURABILITY OF CONCRETE AND FACADE PAINTS DUE
TO THE INTRODUCTION OF POLYSULFIDE COMPONENTS**

***Аннотация.** Использование при изготовлении бетонов и фасадных красок полисульфидсодержащих компонентов обеспечивает повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик материалов. Это обусловлено формированием полисиликатов в структуре цементного камня и формированию новых структур в белых пигментах.*

***Abstract.** The use of polysulfide-containing components in the manufacture of concrete and facade paints ensures an increase in the physical, mechanical and operational characteristics of the materials. This is due to the formation of polysilicates in the cement stone structure and the formation of new structures in white pigments.*

***Ключевые слова:** бетоны, цинковые белила, цемент, сера, известь, известково-серный затворитель, прочность, светостойкость*

***Keywords:** concretes, zinc whitewash, cement, sulfur, lime, lime-sulfur sealant, strength, light resistance*

Введение

Большая часть территории России отличается суровыми климатическими условиями, особенно это касается северных регионов страны. Для повышения стойкости строительных

изделий в этих суровых условиях необходимо существенное улучшение свойств строительных материалов — бетона и фасадных красок.

Для улучшения гидратации портландцемента в составе бетонных смесей и повышения качества бетона используют различные методы [1—8], такие как:

- механо-химическая активация;
- обработка электрическими и магнитными полями;
- тепловлажностная обработка;
- введение поверхностно-активных веществ и электролитов.

Из числа последних часто используют соединения кальция. Из них можно выделить полисульфид кальция CaSn . Сам CaS_n химически индифферентен по отношению к клинкерным минералам, но при инициируемой окислительной деструкции может конверсировать в тиосоединение (CaS_2O_3), которое способно ускорять твердение и повышать прочность цементного камня. Полисульфиды могут также эффективно улучшать свойства фасадных красок.

Использование полисульфидов позволяет утилизировать серу, которая представляет собой отход промышленного производства. Кроме того, возможно применение других производственных отходов, таких как доменные шлаки и железосодержащие пульпы, что способствует снижению экологической нагрузки северных регионов страны [9].

Материалы и методы

Получение известково-серного затворителя (ИСЗ) при активном механическом перемешивании порошковой серы в нагретой суспензии гидроксида кальция и температуре 90—95 °C осуществляли в течение 80 мин. При концентрации растворенной серы более 1 г/л использование части оборотного раствора сокращает время его приготовления до 60 мин. При этом уровень концентрации растворенной серы в насыщенных растворах, составляет около 180 г/л.

В процессе выполнения данной работы решались следующие задачи:

- был определен технологический режим получения известково-серного затворителя (ИСЗ) и исследование его свойств;
- исследовано превращение серы при гидратации портландцемента;
- исследовано взаимодействие индивидуальных клинкерных минералов и портландцемента с ИСЗ;
- определено влияние серы на реологические свойства и время схватывания и твердения бетонных смесей;
- исследовано структурообразование и свойств покрытий, содержащих наполненные гипсоцементным компонентом сернистые цинковые белила;
- разработаны технологии, обеспечивающие эксплуатационную стойкость фасадных красок и быстротвердеющих бетонов в суровых климатических условиях [10].

Результаты

При гидратации портландцемента в известково-серном затворителе более высокая степень взаимодействия наблюдается при малых концентрациях серы. С увеличением этой концентрации степень гидратации уменьшается, а при концентрациях серы 60 г/л процесс практически подавляется. В продуктах гидратации портландцемента в ИСЗ наряду с гидросульфатами кальция фиксируется комплексное соединение, образованное тиосульфатной и сульфатной формами. Это обуславливает высокую скорость увеличения прочности в ранние сроки твердения (65 % за первые 3 сут) и высокую прочность цементных образцов, превышающую исходную в 1,5—1,6 раз.

Применение высокоминерализованного затворителя приводит к улучшению реологических свойств цементного теста. Применение высокоминерализованного ИСЗ увеличивает скорость и степень гидратации основных цементных минералов на 40 %. Твердение в известково-серном затворителе обеспечивает высокую скорость набора прочности портландцементных смесей в ранние сроки. Пластифицирующий эффект высокоминерализованного препарата увеличивается с уменьшением марочности бетонных смесей.

Дисперсный пигментночистый сульфид цинка, а также пигментированный сульфидом цинка белый наполнитель на основе гипсоцементного композита может быть получен взаимодействием в избытке щелочи водорастворимой соли цинка с полисульфидами щелочного металла и кальция, совмещенным с химической конверсией последних и образованием тиосульфата. Полисульфиды, образуя со свежесажженным аморфным сульфидом цинка комплексное соединение, инициируют химическое фракционирование дисперсий в сторону роста их крупности и хорошей закристаллизованности.

Оптимальное содержание сернистых цинковых белил в составе латексных фасадных красок, обеспечивающее максимальную плотность упаковки пигментных зерен с более устойчивой в процессе эксплуатации объемно структурированной массой покрытия, составляет 40—48 %.

Заключение

Опыт применения полисульфидсодержащих компонентов в производстве бетонов и фасадных красок показал свою эффективность.

Так, динамика набора прочности бетона в известково-серном затворителе зависят от концентрации серы в затворителе. При малых концентрациях серы (0,5—2 г/л) наблюдается ускоренный устойчивый рост прочности бетона без ее невосполнимых сбросов.

Фасадные краски на основе гипсоцементных композитов отличаются улучшенной адгезией к пористым и плотным поверхностям, низкой укрывистостью, повышенной и трещиностойкостью.

Список литературы

1. *Брыков А. С.* Влияние диэлектрического нагрева растворной смеси на ее прочность и подвижность // Цемент и его применение. 2004. № 1. С. 65—66.
2. *Кривобородов Ю. Р., Лежебоко Д. А.* Активационное твердение шлакопортландцемента // Техника и технология силикатов. 2024. Т. 31, № 4. С. 395—402.

3. Чурюкин М. А., Зорин Д. А., Хамутаев А. В. Повышение активности цемента при гидродинамической активации // Успехи в химии и химической технологии. 2018. Т 32, № 2. С. 185—187.

4. Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона. НИИЖБ / под ред. С. А. Миронова. М. 1970.

5. Рубанов А. В., Саркисов Ю. С., Горленко Н. П. Повышение гидравлической активности цемента методом термостимулированной активации // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 2 ; под ред. Т. Ю. Овсянниковой, И. Р. Салагор. Томск, 2022.

6. Мокрушин А. Н., Вовк А. И. Эффективность суперпластификатора в зависимости от содержания щелочи в портландцементе // Цемент. 1995. № 1. С. 32.

7. Войтович Е. В., Чулкова И. Л., Фомина Е. В. и др. Повышение эффективности цементных вяжущих с активными минеральными нанодисперсными компонентами // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 5 (45). С. 56—62.

8. Помазкин В. А., Макаева Л. А. Возможности магнитной активации воды затворения бетонных смесей // Технологии бетонов. 2009. № 2. С. 58—63.

9. Бердов Г. И., Елесин М. А., Умнова Е. В. Высокопрочный бетон на основе известково-серного затворителя // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 12—14.

10. Елесин М. А. Организация безотходной технологии производства лакокрасочных материалов из шламовых отходов // Культура. Наука. Производство. 2023. № 11. С. 5—9.

Д. А. Авилов, М. А. Елесин

ФГБОУ ВО «Заполяный государственный университет им. Н. М. Федоровского»
(Норильск, Россия)

**ПОЛУЧЕНИЕ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ КОНСТРУКЦИОННО-
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО И КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**PRODUCTION OF CELLULAR CONCRETES FOR STRUCTURAL,
THERMAL INSULATION AND STRUCTURAL PURPOSES**

***Аннотация.** В данной работе рассматривается перспективное применение ячеистого бетона, разработанного на основе портланд-цемента и серосодержащих добавок, что способствует созданию конструкций с улучшенными теплоизоляционными и прочностными характеристиками. Обосновывается выбор легких заполнителей, что приводит к снижению массы готового изделия и улучшению его теплофизических свойств. Работа направлена на изучение влияния различных добавок, таких как доменный шлак и гидроокись железа, на свойства бетонной смеси, а также на процесс гидратации цемента. Методически исследуются способы активации гидратационного процесса, с особым акцентом на полисульфид кальция, который, благодаря своим уникальным свойствам, значительно улучшает реакцию цемента с водой. В результате проведенных экспериментов подтверждается высокая прочность образцов с добавлением алюминиевой пудры и минеральных добавок. Выявлено, что изменение состава и технологии производства бетона позволяет добиться значительного улучшения как механических, так и теплоизоляционных свойств. Эти результаты подчеркивают важность инновационных подходов к разработке строительных материалов, которые отвечают современным требованиям экологичности и энергоэффективности. Работа имеет значительную практическую ценность, открывая новые возможности для применения ячеистого бетона в различных сегмен-*

© Авилов Д. А., Елесин М. А., 2025

тах строительной отрасли. Полученные данные могут стать основой для будущих исследований и дальнейших разработок в области строительных материалов.

Abstract. This paper considers the promising use of cellular concrete developed on the basis of Portland cement and sulfur-containing additives, which contributes to the creation of structures with improved thermal insulation and strength characteristics. The choice of light fillers is justified, which leads to a decrease in the mass of the finished product and an improvement in its thermophysical properties. The work is aimed at studying the effect of various additives, such as blast furnace slag and iron hydroxide, on the properties of the concrete mixture, as well as on the cement hydration process. The methods of activating the hydration process are methodically investigated, with special emphasis on calcium polysulfide, which, due to its unique properties, significantly improves the reaction of cement with water. As a result of the experiments, the high strength of the samples with the addition of aluminum powder and mineral additives is confirmed. It has been revealed that changing the composition and technology of concrete production makes it possible to achieve significant improvements in both mechanical and thermal insulation properties. These results highlight the importance of innovative approaches to the development of building materials that meet modern environmental and energy efficiency requirements. The work has significant practical value, opening up new opportunities for the use of cellular concrete in various segments of the construction industry. The data obtained can become the basis for future research and further developments in the field of building materials.

Ключевые слова: известково-серный отвар, портландцемент, конструкционно ячеистый бетон, конструкционно-теплоизоляционный, закись-окись железа

Keywords: lime-sulfur broth, Portland cement, structural cellular concrete, structural thermal insulation, nitrous oxide-iron oxide

Введение

Бетоны на портландцементной основе по-прежнему остаются одним из главных в ряду строительных материалов. Легкость в манипулировании прочностью, плотностью, а также хорошая

формуемость и доступность исходных материалов делает его не заменимым в производстве широкой номенклатуры изделий и элементов конструкций в стройиндустрии.

Особое место занимают легкие либо облегченные бетоны на легких заполнителях. Их достоинством является меньшая, в сравнении с тяжелым бетоном, удельная теплопроводность, меньшая удельная масса, облегчающая монтаж зданий и сооружений из элементов конструкций заводского изготовления.

Целью работы является создание конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного ячеистого бетона с использованием серосодержащих растворов.

Задачи исследования:

- исследование взаимодействия портландцемента, влияние концентрации серы на структуру поризованного цементного камня;
- исследование влияния добавки измельченного доменного шлака и гидроокиси железа бетона;
- определение влияния добавки, содержащей закись-окись железа на прочность бетона.

Практическая ценность работы в определении рецептурно-технологических параметров бетонов.

Материалы и методы

Для активации процесса гидратационного твердения портландцемента могут быть использованы различные методы: тепловлажностная обработка, воздействие магнитного поля, введение в состав бетонной смеси поверхностно-активных веществ и электролитов, среди которых существенную роль играют соединения кальция. Значительный интерес представляют полисульфид и тиосульфат кальция.

Полисульфид CaSn уменьшает энергию активации протолитической реакции силикатов с водой, смещает кинетическое равновесие между продуктами гидратации в твердой и в жидкой фазе в сторону преобладания скорости десорбции в раствор, активизирует гидратацию. Вместе с тем, как показывают опытные данные, даже небольшие дозы реагента в чисто клин-

керном тесте (0,1 % от вяжущего в пересчете на растворенную серу) заметно продлевают период индукции в сравнении со стандартным портландцементом.

Поскольку речь идет об использовании свойств водного раствора полисульфида кальция, в качестве затворителя портландцементных бетонных смесей, наиболее технически приемлемым вариантом его получения является метод растворения порошковой серы в нагретой до кипения водной суспензии гидроксида кальция.

Интерес к исследованию полисульфида кальция вызван, с одной стороны, публикаций о способности известкового полисульфидсодержащего щелока повышать активность портландцемента, а с другой стороны, дешевизной и доступностью препарата. Однако апробирование препарата на портландцементных отечественных заводов показало, что в зависимости от условий (минералогический и вещественный состав цемента, режим тепло влажностной обработки, количество добавки в затворенном тесте) его влияние может быть разным и не всегда положительным. В соответствии с изложенной целью работы являлось: получение быстротвердеющих смесей путем применения высокоминерализованного известково-серного затворителя

Результаты

Высокая прочность и конструктивное качество поризованных алюминиевой пудрой образцов портландцементных растворов на известково-серном затворителе с добавкой минеральных веществ в виде тонкодисперсных порошков обусловлено высокой концентрацией серы в затворителе.

Минеральные добавки в данной гидрохимической системе, оказывающее модифицирующее действие на структуру цементного камня, являются источником продуцирования в системе катиона-модификатора Fe(II) , инициирующего образование фазы полисиликатов.

Сравнительно более высокие технические показатели в опытах с использованием пары «гидроокись Fe(OH)_3 — гидразин»

вместо алюминиевой пудры обусловлены полным восстановлением в гидроокиси железа и ростом концентрацией в твердеющей массе иона Fe(II) .

Гомогенный характер реакции газообразователя в растворе с участием гидразина обусловлен высокой дисперсностью пузырьков газа, образующих с крупными капиллярными парами геля единую дисперсную фазу. Структура поризованного камня становится более однородной и прочной.

Заключение

Проведенная работа по получению конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного ячеистого бетона подтвердила высокую эффективность использования современных технологий и материалов для производства бетона с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Выявленные свойства ячеистого бетона, такие как легкость, теплоизоляция и прочность, делают его перспективным материалом для строительства, обеспечивающим как экономию энергии, так и снижение расходов на строительные материалы. Исследования показали, что с использованием различных добавок и модификаторов можно значительно улучшить механические и теплоизоляционные свойства бетона, что открывает новые горизонты для его применения.

Также продемонстрировала важность тщательного контроля за технологическими процессами при производстве бетона, что влияет на его качество и долговечность. Применение инновационных методов и технологий в производстве ячеистого бетона может значительно повысить конкурентоспособность материалов на строительном рынке.

В заключение, полученные результаты являются основой для дальнейших исследований и разработок в области использования ячеистого бетона, что оказывает положительное влияние на развитие строительной отрасли в целом и способствует созданию более эффективных и устойчивых к условиям эксплуатации зданий и сооружений.

Список литературы

1. *Рахимов Р. З., Халиуллин М. И.* Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 44—46.
2. *Лотов В. А.* Получение прочного неавтоклавного газобетона путем регулирования состава и свойств исходных смесей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2003.
3. *Шагитов И. Н.* Конструкционно-теплоизоляционный газобетон на основе местного сырья с добавкой серы и шлама производства хлористого бария : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2004.
4. *Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов, А. Р., Лукманова Л. В.* Влияния пластифицирующих добавок на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного и техногенного сырья // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 382—387.
5. *Тараканов О. В.* Химические добавки в растворы и бетоны: монография. Пенза : ПГУАС, 2016.
6. *Потапова Л. И., Кайс Х. А., Галиев Т. Ф.* Влияние добавок поликарбоксилатного типа на технологические свойства ГЦПВ // Влияние науки на инновационное развитие. 2016. № 6. С. 134—137.
7. *Коровяков В. Ф.* Модифицирование свойств гипсовых вяжущих органоминеральным модификатором // Сухие строительные смеси. 2013. № 3. С. 15—17.
8. *Галаутдинов А. Р., Мухаметрахимов Р. Х.* Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 333—343.
9. *Лесовик В. С., Федюк Р. С.* Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16, № 10. С. 1346—1356.
10. *Перцев В. Т., Леденев А. А., Рудаков О. Б.* Физико-химические подходы к разработке эффективных органоминеральных добавок для бетона // Конденсированные среды и межфазные границы. 2018. Т. 20, № 3. С. 432—442.
11. *Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Белякова Е. А. и др.* Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2023. № 2 (91). С. 88—98.

С. Р. Сокольникова, А. С. Иноземцев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
(Москва, Россия)

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ,
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ В АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ,
В СОСТАВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ**

**APPLICATION OF THERMAL ENERGY STORAGE MATERIALS
STABILIZED IN ACTIVATED CARBON IN THE COMPOSITION
OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE**

***Аннотация.** В результате проведенной работы исследовано влияние двух марок активированных углей, использованных в качестве носителей для термоаккумулирующих материалов, на изменение В/Ц, прочность при изгибе и сжатии высокопрочных легких бетонов. В качестве термоаккумулирующих материалов использовались полиэтиленгликоль 600 и кокосовое масло. Максимальная концентрация полиэтиленгликоля 600, надежно удерживаемого в активированном угле, составила 80 %, кокосового масла — 50 %. Содержание активированного угля в составе смеси высокопрочного легкого бетона составило 1,0, 2,5, 5,0 и 7,5 %.*

***Abstract.** As a result of the work the effect of two grades of activated carbons used as carriers for heat storage materials on the change in W/C, flexural and compressive strength of high-strength lightweight concretes was investigated. Polyethylene glycol 600 and coconut oil were used as heat storage materials. The maximum concentration of polyethylene gly-*

© Сокольникова С. Р., Иноземцев А. С., 2025

col 600, securely contained in activated carbon, was 80 %, coconut oil — 50 %. The activated carbon content in the mixture of high-strength lightweight concrete was 1.0, 2.5, 5.0 and 7.5 %.

Ключевые слова: фазовый переход, энергоэффективность, ресурсосбережение, высокопрочный легкий бетон, полые алюмосиликатные микросферы, активированный уголь, кокосовое масло, полиэтиленгликоль

Keywords: phase change, energy efficiency, resource saving, high-strength lightweight concrete, hollow aluminosilicate microspheres, activated carbon, coconut oil, polyethylene glycol

Введение

Использование термоаккумулирующих материалов (ТАМ) с функцией фазового перехода в строительных материалах является перспективной технологией, способной обеспечивать терморегуляцию зданий и снизить энергозатраты на кондиционирование и отопление [1].

ТАМ позволяют накапливать и высвобождать энергию за счет процесса перехода из одного фазового состояния в другое. Для строительных материалов используется, как правило, переход из твердой фазы в жидкую фазу (плавление) при достижении температуры плавления, при которой происходит поглощение энергии. При обратном переходе из жидкой фазы в твердую (кристаллизация), когда температура достигает температурный порог кристаллизации ТАМ, происходит выделение накопленной ранее энергии [2]. Таким образом, здания, построенные из материалов с применением ТАМ, способны аккумулировать избытки тепла, неизбежно возникающие из-за несовершенства систем отопления, и впоследствии высвобождать тепло при понижении температуры. Также подобные материалы способны поддерживать комфортную температуру помещения в летний период за счет высокой теплоемкости в диапазоне температур фазового перехода.

Однако применение ТАМ, в частности органических, связано со сложностями их применения в бетонах из-за необходи-

мости их равномерного распределения как на этапе изготовления изделий, так и в процессе эксплуатации. Использование компонентов-носителей обуславливается решением проблемы, связанной с возможным негативным влиянием ТАМ на гидратацию вяжущего на этапе схватывания и твердения, а также их постепенного удаления их структуры в результате циклического процесса плавления / кристаллизации. Одним из наиболее исследуемых методов добавления ТАМ в состав бетона является стабилизация формы с использованием пропитки мелкопористых тонких порошковых материалов (метакаолин, бентонит, микрокремнезем, и др.) [3—5].

В настоящей работе использовался высокопрочный легкий бетон (ВПЛБ) со средней плотностью контрольного состава 1400 кг/м^3 . В качестве носителя выбраны две марки активированного угля с размером частиц $60\text{—}315 \text{ мкм}$ и $100\text{—}1000 \text{ мкм}$.

Целью настоящей работы являлось определение сорбционной способности активированных углей при использовании в качестве ТАМ полиэтиленгликоля (ПЭГ) 600 и кокосового масла, а также установление влияния выбранных носителей с ТАМ на физико-механические свойства ВПЛБ.

Материалы и методы

Состав высокопрочного легкого бетона включал портландцемент ЦЕМ I 42,5 (АО «ЦемРос», г. Москва, Россия), полые алюмосиликатные микросферы ForeSphere (г. Екатеринбург, Россия), комплексная кремнеземистая добавка Frem-Silica (ЗАО «Завод добавок и смазок «ФРЭЙМ», Республика Беларусь), фракционный песок фр. $0,16\text{—}0,63 \text{ мм}$, кварцевую муку, полученную путем помола до $S_{уд} = 700 \pm 20 \text{ м}^2/\text{кг}$, поликарбоксилатный пластификатор Melflux 2651F и воду. Соотношение компонентов смеси соответствовало проектной средней плотности бетона 1400 кг/м^3 в соответствии с работой [6].

В качестве ТАМ использовались ПЭГ 600 (ООО «Капролактамы ТОСОЛ-СИНТЕЗ», г. Дзержинск, Россия) и кокосовое масло «Nutley» (г. Набережные Челны, Россия). В качестве носителя использовался активированный уголь с размером

частиц 60—315 мкм — далее УГ1 и с размером частиц 100—1000 мкм — УГ2. Содержание активированного угля варьировалось в количестве 1, 2,5, 5 и 7,5 % от массы цемента.

Стабилизирование ТАМ в активированном угле проводилось методом пропитки с нагреванием. Активированный уголь высушивался до постоянной массы, затем подвергался нагреву до 40 °С и перемешивался с предварительно нагретыми до такой же температуры ТАМ. Данная температура поддерживалась в течение 2 ч. Затем полученные смеси выдерживались при температуре 25 ± 3 °С в течение 12 ч.

Максимальные концентрации ТАМ, надежно удерживаемые в составе носителей, определялись с помощью теста на фильтровальной бумаге [7]. Для этого полученные образцы, стабилизированных в активированных углях ТАМ, помещались на фильтровальную бумагу и подвергались нагреву до 70 °С в течение 2 ч. Определение максимальной концентрации проводилось по отсутствию пятна ТАМ на фильтровальной бумаге.

В связи высокой водопотребностью активированного угля водоцементное отношение (В/Ц) подбиралось для достижения одинакового расплыва конуса — 155 ± 5 мм. Определение подвижности проводилось по диаметру расплыва смесей из усеченного конуса (начальный диаметр основания — 101,5 мм) после 30 встряхиваний на встряхивающем столике.

Для определения прочности бетонов были изготовлены образцы-балочки размером 40 × 40 × 160 мм. Образцы твердели при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности 95 ± 5 %. Прочность определялась на 28 сут твердения с помощью испытательной машины «Advantest 9» (Controls).

Результаты

С помощью теста на фильтровальной бумаге выполнена качественная оценка удерживающей способности компонентов носителей. Максимальные концентрации, при которых не наблюдается отделение ТАМ на фильтровальной бумаге показаны в таблице.

Результаты теста стабилизации ТАМ в составе носителей на фильтровальной

ТАМ	Носитель	Отделение ТАМ из носителя				
ПЭГ 600	$C_{ТАМ}, \%$	70	80	90	100	110
	УГ1	—	—	+	+	+
	УГ2	—	—	+	+	+
Кокосовое масло	$C_{ТАМ}, \%$	40	50	60	70	80
	УГ1	—	—	+	+	+
	УГ2	—	—	+	+	+

Примечания: знак «—» означает отсутствие отделения ТАМ от носителя, знак «+» свидетельствует о наличии отделения ТАМ от носителя.

Установлено, что максимальная концентрация ПЭГ для активированного угля как УГ1, так и УГ2 составляет 80 % от массы носителя, кокосового масла — составляет 50 %. Таким образом, вид ТАМ вносит большой вклад в результаты сорбционной способности активированного угля. Отметим, что носители, исследуемые в работах других авторов, демонстрируют меньшую сорбционную способность, а именно бентонит удерживает до 43 % ПЭГ [3], пемза — до 56 % [8], диатомит — 50 % [9].

Закономерно, что введение тонких компонентов состав бетона будет приводить к сорбции воды затворения, изменяя баланс жидкости. Влияние количества компонента-носителя на водопотребность бетонной смеси представлено на рисунке 1.

Установлено, что для обеспечения равной подвижности бетонных смесей высокопрочных легких бетонов (диаметр расплава 155 ± 5 мм) требуется увеличение расхода воды. Видно, что графики изменения водопотребности бетонной смеси с активированным углем УГ1 и УГ2 без ТАМ находятся выше, чем те же составы, но с ПЭГ и кокосовым маслом. Вероятно, это связано с заполнением пор активированных углей ТАМ, то есть остается мало пор, куда может сорбироваться вода, а также со смазывающим эффектом от ТАМ, особенно это характерно для ПЭГ, который способен оказывать пластифицирующий эффект [10]. При этом интенсивность увеличения В/Ц тем больше, чем больше содержание компонента носителя, что указывает на ни-

велирование указанного эффекта. В исследуемых составах водопотребность бетонной смеси «УГ1 + Масло» в меньшей степени отличается от контрольных составов без ТАМ.

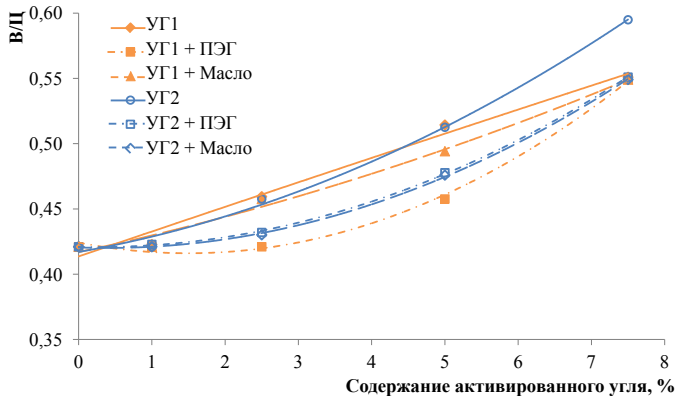


Рис. 1. Водопотребность бетонной смеси при введении активированного угля с ТАМ

Таким образом, показано, что водопотребность смесей зависит от вида активированного угля и вида ТАМ, при этом стоит обратить внимание, что для составов с «УГ2 + ПЭГ» и «УГ2 + масло» изменение В/Ц одинаково при увеличении количества активированного угля. В случае использования УГ1 изменение В/Ц зависит от вида ТАМ: образцы с ПЭГ показывают наименьшее увеличение В/Ц, образцы с маслом отличаются большей водопотребностью, что может свидетельствовать о худшей сорбционной способности УГ1 по отношению к маслу.

Влияние носителя и ТАМ на прочность высокопрочного легкого бетона показано на рисунках 2 и 3. Установлено, что использование масла, стабилизированного активированным углем, приводит к снижению прочности при изгибе на 11,8 и 17,6 % для УГ1 и УГ2 соответственно. Видно, что образцы с ПЭГ, сорбированные в УГ2, отличаются характером зависимости прочности при изгибе от образцов без ТАМ и с маслом. При этом использование УГ1 с ПЭГ приводит к снижению прочности, а при использовании УГ2 прочность образцов с ПЭГ увели-

чивается с возрастанием концентрации. Прочность при изгибе достигает 6,2 МПа. Подобный эффект может быть связан с лучшей удерживающей способностью УГ2 сорбированного ТАМ, который в несущественном количестве высвобождается в бетонную смесь. Как известно, ПЭГ в небольших концентрациях (не более 2 % [11]) положительно влияет на прочность бетона.

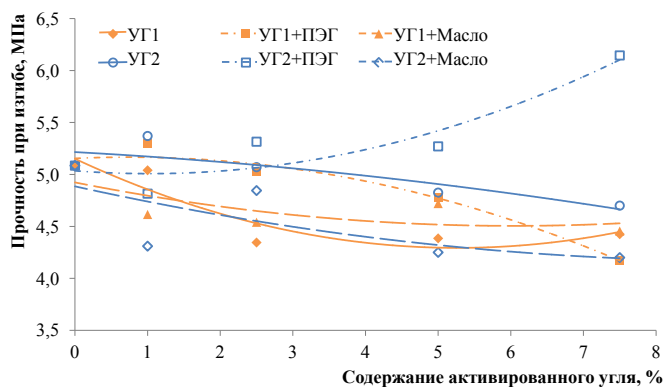


Рис. 2. Влияние активированного угля и ТАМ на прочность при изгибе ВПЛБ

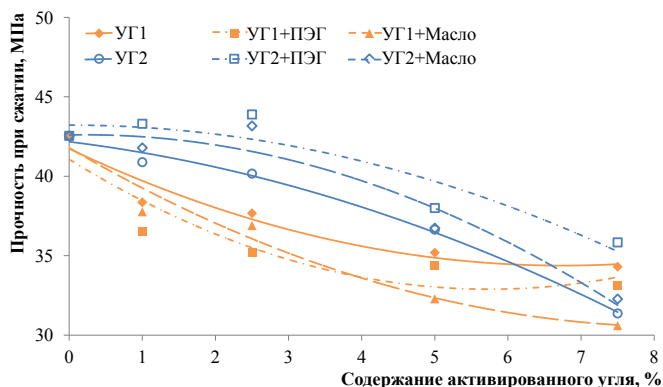


Рис. 3. Влияние активированного угля и ТАМ на прочность при сжатии ВПЛБ

Результаты исследования прочности бетонов при сжатии показывают, что использование обоих видов угля приводит к снижению прочности исследуемых бетонов. Введение ТАМ в УГ2 способствует снижению негативного эффекта (графики лежат выше) от введения компонента-носителя. Для УГ1 наблюдается противоположенный эффект: графики для составов с ТАМ лежат ниже контрольного.

Важно отметить, что содержание УГ2 не более 2,5 % способствует увеличению прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом на 3,3 %. Прочность таких образцов достигает 43...44 МПа.

Таким образом, исследования показывают, что использование в качестве носителя для ТАМ активированного угля УГ2 является более перспективным, так как не уступает по сорбционной способности исследуемому в данной работе УГ1, но оказывает менее негативное влияние на прочностные свойства ВПЛБ.

Заключение

В результате проведенной работы исследовано влияние двух марок активированных углей, использованных в качестве носителей для ТАМ, на водопотребность бетонной смеси, прочность при изгибе и сжатии высокопрочных легких бетонов.

Установлено, что:

1. Максимальная концентрация ПЭГ, надежно удерживаемого в составе носителя, составляет 80 % для УГ1 и УГ2.
2. Максимальная концентрация кокосового масла, надежно удерживаемого в составе носителя, составляет 50 % для УГ1 и УГ2.
3. Для сохранения подвижности (расплав конуса 155 ± 5 мм) В/Ц возрастает с 0,42 до 0,55 для образцов УГ1 и УГ2 при использовании ТАМ.
4. Прочность при изгибе образцов с УГ1 и УГ2 снижается, исключением является образец с УГ2 с применением ПЭГ.
5. Снижение прочности при сжатии образцов с УГ1 происходит интенсивнее, чем снижение прочности образцов с УГ2. При этом в случае использования УГ2 снижения прочности при концентрациях до 2,5 % не наблюдается.

Таким образом, активированный уголь УГ2 обладает достаточно высокой сорбционной способностью по сравнению с другими носителями для ТАМ [3; 8; 9] и не оказывает отрицательного воздействия на прочностные свойства ВПЛБ до концентраций 2,5 %, что делает перспективным носителем ТАМ в составе ВПЛБ.

Список литературы

1. *Jahangir M. H., Ziyaei M., Kargarzadeh A.* Evaluation of thermal behavior and life cycle cost analysis of greenhouses with bio-phase change materials in multiple locations // *Journal of Energy Storage*. 2022. Vol. 54. P. 105176.
2. *Sukontasukkul P., Uthaichotirat P., Sangpet T. et al.* Thermal properties of lightweight concrete incorporating high contents of phase change materials // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 207. P. 431—439.
3. *Sari A.* Thermal energy storage characteristics of bentonite-based composite PCMs with enhanced thermal conductivity as novel thermal storage building materials // *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 117. P. 132—141.
4. *Min H.-W., Kim S., Kim H. S.* Investigation on thermal and mechanical characteristics of concrete mixed with shape stabilized phase change material for mix design // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 149. P. 749—762.
5. *Sarcinella A., Frigione M.* Selection of PEG-Matrix Combinations to Achieve High Performance Form-Stable Phase Change Materials for Building Applications // *Coatings*. 2024. Vol. 14, № 3. P. 250.
6. *Иноземцев А. С., Королев Е. В.* Высокопрочные легкие бетоны. СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022.
7. *Mokhtari S., Madhkhani M.* The performance effect of PEG-silica fume as shape-stabilized phase change materials on mechanical and thermal properties of lightweight concrete panels // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17.

8. *Sari A., Hekimoglu, G., Tyagi V. V. et al.* Evaluation of pumice for development of low-cost and energy-efficient composite phase change materials and lab-scale thermoregulation performances of its cementitious plasters // *Energy*. 2020b. Vol. 207. P. 118242.

9. *Karaman S., Karaipekli A., Sari A. et al.* Polyethylene glycol (PEG)/diatomite composite as a novel form-stable phase change material for thermal energy storage // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2011. Vol. 95, № 7. P. 1647—1653.

10. *Arulraj P. G., Lexi A. J., Tonjam A., Mathew M. M.* Comparative performance of few self-curing agents on workability and strength of self-curing concrete // *International Journal of Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 7, № 1. P. 4789—4796.

11. *Shravan Kumar A., Gopi R., Murali K.* Comparative studies on conventional concrete and self-curing concrete // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 46. P. 8790—8794.

А. С. Долгов, М. А. Дмитриева

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

УПРАВЛЕНИЕ 3D-ПЕЧАТЬЮ БЕТОНОМ

CONTROL OF 3D PRINTING CONCRETE

Аннотация. В данной статье представлена разработка программного обеспечения для адаптивного управления процессом 3D-печати бетоном. Система использует данные сенсоров и методы машинного обучения для динамической корректировки параметров печати, таких как скорость подачи материала и высота слоя, в зависимости от изменений вязкости материала, температуры и влажности окружающей среды. Предложенный подход позволяет повысить точность и качество печати, а также минимизировать потери материала и энергии. Описаны ключевые параметры системы, используемые математические модели и потенциал для дальнейшего развития.

Abstract. This paper presents the development of software for adaptive control of the 3D concrete printing process. The system uses sensor data and machine learning methods to dynamically adjust printing parameters, such as material feed rate and layer height, depending on changes in material viscosity, temperature, and ambient humidity. The proposed approach improves printing accuracy and quality, as well as minimizes material and energy losses. The key parameters of the system, the mathematical models used, and the potential for further development are described.

Ключевые слова: бетон, 3D-печать, параметры печати, машинное обучение

Keywords: concrete, 3D printing, printing parameters, machine learning

© Долгов А. С., Дмитриева М. А., 2025

Введение

Современные технологии 3D-печати бетоном представляют собой революционный прорыв в строительной индустрии, предлагая уникальные возможности для автоматизации процессов, снижения затрат и реализации архитектурных форм, ранее недоступных при традиционных методах. Однако эффективность и масштабируемость этих решений напрямую зависят от целого комплекса факторов, в первую очередь — от характеристик применяемых материалов и оборудования, состава бетонных смесей, а также уровня развития программного обеспечения, обеспечивающего управление печатью.

Основу большинства систем составляет экструзионная технология, при которой тиксотропная бетонная смесь наносится послойно через сопло под давлением. Такие смеси должны сохранять форму сразу после нанесения и быстро набирать прочность, что делает реологические характеристики критически важными [5]. При этом толщина слоя может варьироваться от 5 до 30 мм, а скорость возведения стен у современных установок, например, от компании COBOD, достигает 4 м² в час [4]. Однако, несмотря на высокую производительность, технологии сталкиваются с ограничениями, связанными с деформацией нижних слоев под нагрузкой, что сдерживает возможную высоту возводимых конструкций [1]. Инженерные решения в этой области включают применение роботизированных платформ, таких как системы от Aris Cor, способные печатать здания площадью до 600 м² за 140 ч [3; 4]. Эти установки используют модифицированные козловые краны и бетононасосы, однако их эксплуатация требует высокой точности калибровки и адаптации к условиям строительной площадки. Воздействие вибраций, отклонения в подаче смеси и иные внешние факторы могут привести к нарушению геометрии печати [1].

Исследователи из университета Лафборо, Великобритания в 2011 г. провели обширное исследование, направленное на анализ физико-механических свойств бетонов для 3D-печати. В результате, ими было установлены характеристики, которые описаны ниже.

Физико-механические свойства напечатанных конструкций демонстрируют выраженную анизотропию. Так, прочность на сжатие достигает 75—102 МПа, что на 5—15 % ниже по сравнению с традиционными литыми аналогами из-за направленного формирования слоев и наличия межслойных границ [7]. Прочность на изгиб также зависит от направления нагрузки: в продольном направлении она составляет до 16 МПа, тогда как в поперечном — снижается до 7 МПа [7]. Подобные характеристики требуют пересмотра существующих нормативов и разработки специализированных методов оценки качества.

Не менее важным фактором является состав применяемых смесей. В качестве вяжущего материала широко используется портландцемент СЕМ I 52,5, обладающий высокой реакционной способностью и хорошей адгезией. Для снижения тепловыделения при гидратации и уменьшения усадки в состав включают пуццолановые добавки: летучую золу в количестве до 20 %, что позволяет снизить тепловыделение на 30—40 % и повысить химическую стойкость, а также микрокремнезем, улучшающий плотность структуры и увеличивающий прочность на сжатие до 15 % [7]. Фракционный состав заполнителя также играет решающую роль: кварцевый песок с максимальной крупностью частиц до 2 мм обеспечивает стабильную экструзию через сопла диаметром 9 мм, а оптимальное соотношение мелких и средних фракций (60 : 40) минимизирует риск образования пустот [7]. В отдельных случаях возможно применение песчано-гравийных смесей с крупностью до 4 мм, однако это требует увеличения давления подачи на 20—25 % [7].

Для управления реологией и обеспечения долговечности смеси широко применяются добавки. Наиболее распространены суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов, позволяющие снижать водоцементное отношение до 0,3 без потери прочности [7]. Дополнительно используются микрополипропиленовые волокна, уменьшающие пластическую усадку и предотвращающие образование микротрещин, а также замедлители схватывания, такие как цитрат натрия, увеличивающие технологическое «окно печати» до 120 мин [7]. При этом критически важной остается адгезия между слоями: при задержке в 15 мин прочность сцепления может составлять 2,3 МПа,

тогда как через 30 мин она снижается до 0,7 МПа вследствие частичной гидратации поверхности [7]. Усадка также остается проблемой: при относительной влажности 60 % ее величина за 189 дней может достигать 855 мкм, что в 3—4 раза превышает аналогичный показатель для литого бетона. Для снижения деформаций применяются композиционные смеси с микрокремнеземом и фибровым армированием [7].

Наряду с материалами, ключевую роль играет программное обеспечение, используемое на этапах моделирования и управления печатью. Цифровые архитектурные модели, создаваемые в ArchiCAD, Revit или Tekla Structures, преобразуются в STL-формат, а затем — в управляющий G-код. Однако при наличии криволинейных поверхностей и сложных геометрий нередко требуется ручная корректировка траекторий, несмотря на наличие инструментов автоматизации, таких как Simplify3D и Slic3r, которые, тем не менее, не учитывают реологические свойства смеси и могут приводить к ошибкам на наклонных участках [8]. Интеграция информационного моделирования зданий (BIM) позволяет создавать цифровые двойники конструкций с учетом характеристик материалов и эксплуатационных параметров. Так, в проекте TECLA (Италия) BIM-модели использовались для оптимизации энергоэффективности купольных форм [6]. Вместе с тем, моделирование процессов гидратации и усадки остается крайне ресурсоемким: расчеты для объектов площадью около 200 м² могут занимать до 72 ч процессорного времени [9].

Существующие системы управления, такие как LinuxCNC, не позволяют выполнять динамическую корректировку параметров печати без остановки процесса. Любые изменения — будь то высота слоя или скорость подачи — требуют ручного вмешательства и редактирования G-кода, что существенно снижает гибкость. В связи с этим возникает потребность в интеллектуальных адаптивных системах управления. Разрабатываемая в рамках данной работы система использует методы машинного обучения для анализа показаний сенсоров (температура, влажность, вязкость) и автоматической оптимизации траекторий экструзии. В основу алгоритмов положены уравнения Аррениуса и Антуана, позволяющие прогнозировать время схваты-

вания и скорость испарения влаги, а также методы регрессии, применяемые для корректировки параметров печати в режиме реального времени. Интеграция таких решений призвана минимизировать дефекты и обеспечить устойчивость напечатанных конструкций в условиях переменных внешних воздействий.

Математическое обоснование и структурная организация адаптивной системы управления процессом 3D-печати

Разработанная система управления 3D-печатью бетоном базируется на интеграции сенсорной обратной связи, математического моделирования и методов машинного обучения. Ее архитектура включает три ключевых компонента: сенсоры, модель машинного обучения и управляющий алгоритм. Сенсорный модуль собирает данные о температуре, влажности и других параметрах окружающей среды, обеспечивая контекст для адаптивного управления. На основе этих данных модель машинного обучения предсказывает изменения условий, влияющих на процесс экструзии. Полученные прогнозы используются управляющим алгоритмом для оперативной коррекции скорости подачи материала, высоты слоев и других параметров печати в реальном времени.

В центре математического аппарата системы лежит модель прогнозирования времени схватывания цементной смеси. Этот параметр определяется на основе модифицированного уравнения Аррениуса. Классическое уравнение Аррениуса описывает зависимость константы скорости химической реакции k от температуры T :

$$k(T) = A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right),$$

где A — предэкспоненциальный множитель, E_a — энергия активации Дж/моль, R — универсальная газовая постоянная Дж/(моль · К), T — абсолютная температура в Кельвинах.

Поскольку в контексте 3D-печати бетоном интерес представляет не скорость реакции, а время схватывания t_s , которое обратно пропорционально скорости реакции, можно записать:

$$(t_s \propto 1/k).$$

Следовательно, время схватывания выражается через:

$$t_s = B \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right),$$

где B — новая константа пропорциональности, зависящая от начального состояния системы.

Для повышения точности расчетов вводится базовое время схватывания t_{s0} при эталонной температуре T_0 :

$$t_{s0} = B \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right).$$

Разделяя выражения для t_s и t_{s0} , получаем:

$$\frac{t_s}{t_{s0}} = \exp\left(\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right).$$

$$t_s = t_{s0} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right),$$

где t_{s0} — базовое время схватывания при температуре T_0 , E_a — энергия активации, R — универсальная газовая постоянная, T — текущая температура окружающей среды.

Для расчета времени схватывания цементной смеси использованы следующие параметры, приведенные в таблице.

Параметры цементной смеси

Параметр	Значение	Обоснование	Источник
Энергия активации E_a	40 000 Дж/моль	Тиксотропные цементные смеси для 3D-печати	[7; 15]
Опорная температура T_0	293,15 К (20 °C)	Стандартная температура твердения	[14]
Базовое время схватывания t_{s0}	600 с (10 мин)	Быстросхватывающиеся смеси для аддитивных технологий	[7; 13]

В физическом смысле данная модификация позволяет учитывать экспоненциальное замедление или ускорение процесса схватывания в зависимости от температуры окружающей среды относительно базовых условий. При понижении температуры время схватывания увеличивается, а при ее повышении — уменьшается, что соответствует наблюдаемой реологии цементных смесей.

Благодаря данной модификации учитывается нелинейность влияния температуры на время схватывания и упрощается управление печатью через прямой расчет t_s . К ограничениям данной формулы следует отнести требования к экспериментальному определению t_{s0} и E_a для каждого материала.

Тем не менее данная модификация позволяет сохранить физическую суть уравнения Аррениуса и переориентировать его на инженерные задачи 3D-печати бетонами.

Для оценки потерь влаги и влияния испарения в систему интегрированы уравнение Антуана и модель расчета парциального давления водяного пара. Давление насыщенного пара определяется по формуле [10]:

$$P_s = 10^A - \frac{B}{C + T},$$

где A (8,07131), B (1730,63), C (233,426) — эмпирические константы для воды, подходящие для температуры от 1 до 100 °C.

На его основе вычисляются парциальное давление [11]:

$$P_a = RH \cdot P_s,$$

где RH — относительная влажность воздуха. Разность между P_s и P_a используется для оценки скорости испарения (E). В данном комплексе используется упрощенная версия классической модели испарения, адаптированной для конкретных условий 3D-печати бетонами:

$$E = k_e \cdot (P_s - P_a),$$

где k_e — коэффициент испарения, зависящий от конфигурации печатающей головки и условий циркуляции воздуха.

В классических моделях тепло- и массообмена коэффициент испарения k_e связан со сложными факторами: скоростью дви-

жения воздуха над поверхностью, характеристиками шероховатости слоя, температурой материала и окружающей среды, турбулентностью потока. Точное определение этих параметров требует проведения вычислений в рамках задач численного моделирования турбулентных течений (CFD), что является чрезвычайно ресурсоемким процессом и практически недопустимо в условиях реального времени печати.

В рамках данной работы коэффициент k_e введен эмпирически, что позволило агрегировать совокупное влияние внешних факторов в единую числовую величину, применимую для быстрого расчета. Значение коэффициента принято равным 0,0001.

Значение коэффициента $k_e = 0,0001$ выбрано на основании сопоставления с типовыми данными литературы [16—18], где для испарения воды при спокойной атмосфере указаны аналогичные порядки величин.

Использование эмпирического коэффициента испарения вместо полного моделирования турбулентности позволяет существенно снизить вычислительные затраты, обеспечить работу адаптивного алгоритма в реальном времени и сохранить достаточную точность прогноза изменения реологических свойств слоя. Выбранный подход обеспечивает баланс между инженерной реалистичностью модели и практическими требованиями к скорости расчетов в процессе 3D-печати бетонами.

Скорость печати, в свою очередь, определяется соотношением длины наносимого слоя L ко времени, доступному до начала схватывания:

$$V = \frac{L}{t_s - t_b},$$

где t_b — время между укладкой слоев. Этот параметр позволяет синхронизировать движение печатающей головки с реологическим окном смеси.

Высота наносимого слоя рассчитывается с учетом интенсивности испарения:

$$h = h_{max} \cdot \exp(-\alpha \cdot E),$$

где h_{max} — максимально возможная высота слоя, α — коэффициент чувствительности к испарению. В опытах по печати наблюдается, что высота слоя уменьшается нелинейно с ростом интенсивности испарения — в практическом смысле это лучше всего описывается экспонентой. Экспоненциальное уменьшение позволяет точно моделировать ситуацию, когда начальные небольшие испарения слабо влияют на слой, но при высоких значениях α или E . Данная формула является инженерной моделью, сочетающей в себе эмпирические наблюдения, термодинамические принципы и физически интерпретируемые параметры.

Ключевым элементом системы является оценка значения α — параметра, напрямую влияющего на формирование геометрии слоев. Для его предсказания применяется модель линейной регрессии, обученная на данных, включающих температуру (TK , в Кельвинах), относительную влажность (RH), вязкость смеси и время с момента приготовления. При повышении температуры увеличивается скорость испарения влаги, коэффициент 0,001 означает, что на каждый 1 Кельвин прироста температуры α увеличивается на 0,001. Влажный воздух снижает градиент парциального давления и как следствие испарение замедляется. Не смотря на положительную размерность RH , этому есть объяснение, так как высокая влажность приводит к повышению усадки и невозможности формирования устойчивого слоя. Чем выше вязкость, тем сложнее смеси удерживать форму при испарении, как следствие слои деформируются и α растет. Данная модель является оперативным и вычислительно легким способом предсказания параметра чувствительности смеси к испарению. Полученная эмпирическая модель имеет вид:

$$\alpha = 0,001 \cdot TK + 0,002 \cdot RH + 0,001 \cdot \mu + \varepsilon,$$

где μ — динамическая вязкость бетона ($\text{Па} \cdot \text{с}$), ε — нормальный шум (0,01).

Для построения прогностической модели оценки коэффициента чувствительности к испарению α была сформирована синтетическая обучающая выборка на основе моделирования 1000 условных процессов печати, каждый длительностью 6 ч. Генерация данных проводилась с учетом реалистичных диапа-

зонов технологических параметров, характерных для условий 3D-печати цементными смесями: температура смеси варьировалась от 15 до 22 °С (288,15—295,15 К), относительная влажность изменялась в диапазоне от 45 до 80 %, вязкость колебалась от 0,4 до 0,6, время с момента приготовления смеси от 0 до 6 ч. Для обучения модели линейной регрессии была применена процедура разделения выборки в формате 80 на 20 (обучающей к контрольной).

Модель линейной регрессии обучалась с использованием Python библиотеки `scikit-learn` (метод `LinearRegression`), без регуляризации. Качество модели оценивалось через метрику среднеквадратичной ошибки (MSE) на тестовой выборке.

Полученное значение $MSE \approx 9,6 \times 10^{-5}$, что соответствует средней абсолютной ошибке порядка 0.01 единицы α . Таким образом, построенная модель обладает высокой точностью и может быть использована для прогнозирования параметров смеси в задачах реального времени без существенного риска накопления систематических ошибок.

В рамках адаптивного управления 3D-печатью бетонами одним из ключевым параметром, влияющим на экструзию, является динамическая вязкость смеси. Она определяет устойчивость смеси к деформации, поведение при проходе через сопло, скорость усадки после укладки слоя и как следствие геометрию слоя и его стабильность. Поскольку прямая реализация реометра на печатающей головке технически затруднена, вязкость оценивается по собственной инженерной регрессионной модели, базирующейся на данных сенсоров и параметрах замеса:

$$\mu = \mu_0 + 50 \cdot t - 10 \cdot TK + 5 \cdot RH - 200 \cdot \frac{W}{C},$$

где t — время с момента приготовления раствора, W/C — соотношение воды к цементу. Данная инженерно-эмпирическая модель была выведена специально под задачи прогнозирования вязкости бетонных смесей в 3D-печати. Данная модель была построена на основе экспериментальных наблюдений, анализа ключевых параметров на вязкость, упрощения реальных физических процессов. В инженерной практике является допусти-

мым упрощение некоторых физических процессов для управления в задачах управления сложными процессами в реальном времени.

Базовое значение вязкости (μ_0) принято равным $1000 \text{ Па} \cdot \text{с}$, а остальные слагаемые отражают влияние внешних условий на текучесть смеси [11; 12]. Значение в $1000 \text{ Па} \cdot \text{с}$ соответствует оптимальной подвижности для стабильной экструзии через сопла диаметром от 9 до 12 мм, достаточной тиксотропии для удержания формы после укладки, и сниженной склонности к расплыванию. Со временем с момента приготовления (t) раствор загущается из-за начальной гидратации, теряет воду через испарение и увеличивает внутреннее структурирование. Прирост в $50 \text{ Па} \cdot \text{с}$ в минуту — эмпирически установлено в рамках испытаний, для типичной смеси вязкость удваивается примерно за 20 мин [7; 13]. Повышение температуры TK уменьшает вязкость из-за снижения поверхностного натяжения воды, ускорения кинетики движения частиц и уменьшения сопротивления сдвигу. Коэффициент $10 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{К}$ указывает что при росте температуры на примерно 10 Кельвинов вязкость падает примерно на $100 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Влажность влияет на скорость испарения и на охлаждение смеси за счет испарения воды. W/C — водоцементное отношение имеет наибольшее влияние, чем больше воды в растворе — тем ниже вязкость.

Для обоснования предложенных эмпирических моделей, описывающих чувствительность к испарению (α -модель) и изменение вязкости цементной смеси (μ -модель) в условиях 3D-печати, были использованы методы линейной регрессии, которые представляют собой классический и надежный подход при ограниченных диапазонах варьирования технологических параметров. Линеаризация зависимостей была выполнена на основе разложения изучаемых параметров в ряд Тейлора в окрестности заданной рабочей точки, что позволило минимизировать ошибку аппроксимации в выбранных диапазонах.

Расчет численных значений коэффициентов моделей проводился с применением метода наименьших квадратов (МНК). В этом подходе искомые коэффициенты определяются аналитически путем минимизации суммы квадратов разностей между

экспериментальными данными и значениями, прогнозируемыми моделью. Математически процедура сводится к решению нормальных уравнений:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y,$$

где X — матрица, содержащая экспериментальные значения независимых переменных (температуры, относительной влажности, вязкости, времени выдержки и водо-цементного отношения), а y — вектор измеренных значений моделируемых параметров (α и μ).

Для формирования экспериментальной выборки, использованной для оценки коэффициентов, была создана синтетическая база данных, состоящая из 1000 случайных реализаций процесса. Каждая реализация генерировалась равномерным распределением параметров в реалистичных диапазонах, соответствующих условиям процесса 3D-печати цементными смесями: температура (ТК) варьировалась в пределах 288,15—295,15 К, относительная влажность (RH) — от 45 до 80 %, вязкость раствора (μ) — от 0,4 до 0,6 Па·с, водо-цементное отношение (W/C) — от 0 до 1, время выдержки смеси (t) — до 6 ч. Для имитации естественной изменчивости данных в каждую модель вводился случайный шум.

Расчеты коэффициентов были реализованы на языке Python с использованием библиотек NumPy, Pandas и Scikit-learn. Линейная регрессия проводилась методом LinearRegression из библиотеки Scikit-learn, качество полученных моделей проверялось по коэффициенту детерминации R^2 , анализу остатков (на нормальность распределения с помощью теста Шапиро — Уилка и на отсутствие автокорреляции с помощью теста Дарбина — Уотсона). Все полученные коэффициенты оказались статистически значимыми, а их устойчивость проверена методом bootstrap с 1000 повторениями, что подтвердило надежность предложенных моделей.

Коэффициенты, вычисленные из данных, показали высокую степень соответствия физико-химическим представлениям о процессе. Например, коэффициент чувствительности к температуре ТК в α -модели (0,001 1/К) отражает реальное увеличение испарения влаги с ростом температуры, подтвержденное

расчетом изменения α на 0,007 при росте температуры на 7 К. Аналогично, коэффициент чувствительности к относительной влажности (0,002) и вязкости смеси (0,0001) были получены из соотношений $\Delta\alpha/\Delta RH$ и $\Delta\alpha/\Delta\mu$, которые согласуются с физической логикой процесса (замедление испарения при повышенной влажности и вязкости).

Рассмотренные альтернативные подходы, включая нелинейные модели (полиномиальные регрессии, регуляризованные регрессии и искусственные нейронные сети), были отклонены ввиду избыточной сложности, ограниченного диапазона варьирования переменных и затруднений в практической интерпретации результатов. Использованный подход, несмотря на простоту, обеспечивает адекватность, воспроизводимость и понятность физической интерпретации.

Важно учитывать физические ограничения, накладываемые на значение α . При стремлении α к нулю экспоненциальный множитель $\exp(-\alpha \cdot E)$ приближается к единице, и высота слоя становится близкой к максимальной — это означает, что испарение практически не оказывает влияния. В противоположной ситуации, при чрезмерно высоком α , влияние испарения становится доминирующим, высота слоя резко снижается, вплоть до невозможности его формирования. Таким образом, допустимые значения α должны лежать в интервале $(0; h_{max})$, обеспечивая устойчивость процесса укладки без нарушения геометрии печати.

Предложенная архитектура позволяет формировать динамически адаптирующуюся систему управления, способную учитывать изменяющиеся условия окружающей среды и физико-химические свойства бетонной смеси, обеспечивая устойчивость и воспроизводимость процессов 3D-печати.

Результаты

Результаты теоретического анализа подтвердили возможность формирования стойкого биоцидного эффекта в гипсовой строительной смеси при введении фотокаталитически активного TiO_2 . На основе расчетов и сопоставления с данными научной литературы были получены следующие ключевые выводы:

- Оптимальная концентрация TiO_2 составляет 2 масс. %. При таком содержании обеспечивается достаточная плотность распределения наночастиц в объеме гипсовой матрицы без ухудшения технологических свойств смеси и без избыточного расхода добавки. При добавлении 2 % наночастиц TiO_2 (20 г на 1 кг смеси) с удельной поверхностью 50 м²/г общая активная площадь достигает 1000 м². Учитывая частичное покрытие гипсом, допустим, что 10 % остается открытым — 100 м² активной поверхности на 1 м² покрытия [4; 6].

- Эффективная площадь фотокаталитической поверхности при данной дозировке TiO_2 в стандартной гипсовой массе оценивается в пределах 3—6 м² на 1 м² обработанной поверхности, с учетом пористости гипсового покрытия и частичного выхода частиц на поверхность.

- При облучении смеси ультрафиолетом с интенсивностью 1 мВт/см² (соответствует УФ-А диапазону солнечного излучения или бытовым УФ-лампам) генерируется достаточное количество активных форм кислорода (в первую очередь $\bullet\text{OH}$ и $\bullet\text{O}_2^-$), способных инактивировать до 99 % бактериальной микрофлоры в течение 30—60 мин непрерывного воздействия [7; 8]. Эти значения соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям к отделочным материалам в медицинских и общественных зданиях [10].

- Радикалы, образующиеся в процессе фотокатализа, демонстрируют высокую реакционную способность по отношению к патогенным микроорганизмам, при этом сам TiO_2 остается химически стабильным и не расходуется, что подтверждает его долговременную активность.

- Теоретическая модель показала, что введение TiO_2 не оказывает отрицательного влияния на процессы кристаллизации гипса, а при равномерном распределении наночастиц не нарушает адгезионные и механические свойства материала [1; 5; 9].

- Пористая структура гипса способствует диффузии воздуха и водяных паров, обеспечивая поступление реагентов к поверхности TiO_2 . Образование активных форм кислорода происходит без участия химических реагентов, что делает материал экологически безопасным и долговечным [3; 6].

Таким образом, проведенные расчеты подтверждают, что гипсовая строительная смесь с добавлением 2 % TiO_2 потенциально может служить самоочищающимся и антисептическим покрытием, эффективным против широкого спектра микроорганизмов, особенно в условиях регулярного воздействия света.

Заключение

Проведенное теоретическое исследование подтвердило перспективность использования диоксида титана (TiO_2) в качестве фотокаталитической добавки для получения гипсовых строительных смесей с выраженными биоцидными свойствами. На основе физико-химического моделирования установлено, что при введении 2 масс. % TiO_2 в структуру гипсовой матрицы обеспечивается формирование эффективной активной поверхности, способной генерировать радикалы с высокой окислительной активностью под действием ультрафиолетового излучения.

Расчеты показали, что при воздействии УФ-света средней интенсивности (1 мВт/см^2) создаются условия, достаточные для инактивации до 99 % микроорганизмов на обработанной поверхности за сравнительно короткое время. При этом фотокаталитический компонент не вступает в нежелательные реакции с гипсом и не ухудшает его физико-механические свойства, что делает предложенную композицию устойчивой и технологичной.

Таким образом, гипсовая смесь с TiO_2 может быть рассмотрена как многофункциональный строительный материал, сочетающий отделочную и санитарную функции. Полученные результаты создают основу для дальнейших прикладных и экспериментальных исследований, направленных на разработку практической рецептуры и тестирование смеси в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Пискунов А. В., Савинова Н. В. Модификация гипсовых вяжущих с использованием диоксида титана для антимикробной защиты // Строительные материалы. 2020. № 3. С. 42—47.

2. *Смирнов И. А., Козлова И. Е.* Фотоактивные строительные покрытия на основе TiO_2 : возможности и ограничения применения в архитектуре // *Строительные материалы*. 2019. № 12. С. 60—64.

3. *Подольская И. И., Ермаков А. В.* Перспективы использования наноматериалов в сухих строительных смесях нового поколения // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16, № 3. С. 345—355. doi: 10.22227/1997-0935.2021.3.345-355.

4. *Григорьев С. Ю., Левин С. А., Николаев А. Ю.* Влияние наноструктурированных добавок TiO_2 на антисептические свойства строительных покрытий // *Современные строительные материалы и технологии*. 2022. № 2. С. 25—31.

5. *Ильина О. А., Мелихова М. В.* Свойства фотокаталитических покрытий на основе диоксида титана в строительстве // *Строительство и техносфера*. 2021. № 4. С. 91—98.

6. *Васильев Н. В., Гуров И. А.* Сухие строительные смеси с биоцидным эффектом: состав и перспективы применения // *Наука и инновации в строительстве*. 2023. Т. 12, № 1. С. 112—118.

7. *Чжан Л., Цзян И., Дин Ю. и др.* Фотокаталитическая антибактериальная активность покрытий на основе TiO_2 , полученных различными методами : обзор // *Журнал науки и технологий материалов*. 2016. Т. 32, № 1. С. 1—14.

8. *Ван В., Юй Х., Чжан Х., Сюй Цз.* Фотокаталитическая дезинфекция с использованием материалов на основе TiO_2 : механизмы и эффективность // *Журнал чистого производства*. 2018. Т. 202. С. 273—289.

9. *Махди М., Хассан М.* Умные покрытия на основе TiO_2 для устойчивых зданий: самоочищение, антимикробные и очищающие свойства // *Журнал строительной инженерии*. 2021. Т. 42. Ст. 102406.

10. *Ранджбар Н., Кюнцель К.* Влияние наночастиц TiO_2 на свойства цементных материалов: обзор // *Строительные материалы*. 2017. Т. 142. С. 105—127.

М. О. Никитин

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»
(Москва, Россия)

НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ

THE MOST EFFECTIVE COMPOUNDS FOR INJECTING BRICKWORK

Аннотация. Данная статья посвящена одной из ключевых проблем современного строительного материаловедения — выбору наиболее эффективных инъекционных материалов, предназначенных для восстановления и усиления кирпичной кладки. В статье представлен детальный сравнительный анализ различных типов инъекционных составов, включая традиционные цементные и известковые, а также современные полимерные и нанокompозитные материалы. При этом учитываются такие важные факторы, как физико-механические свойства (прочность, адгезия, деформативность), совместимость с материалами кладки (кирпичом и раствором), показатели долговечности (устойчивость к атмосферным воздействиям и химической коррозии), а также экологическая безопасность. На основе анализа текущих рыночных предложений и данных, полученных из авторитетных литературных источников, в статье сформулированы конкретные рекомендации по выбору оптимального состава для инъектирования кирпичной кладки, с учетом целей реконструкции (например, сохранение исторического облика или повышение несущей способности), характеристик повреждений (типа и размера трещин), условий эксплуатации (воздействия влаги) и финансовых ограничений проекта.

Abstract. This article is devoted to one of the key problems of modern building materials science — the selection of the most effective injection

© Никитин М. О., 2025

materials for the restoration and reinforcement of brickwork. The article presents a detailed comparative analysis of different types of injection materials, including traditional cement and lime injection materials, as well as modern polymer and nanocomposite materials. Such important factors as physical and mechanical properties (strength, adhesion, deformability), compatibility with masonry materials (brick and mortar), durability (resistance to atmospheric influences and chemical corrosion) and environmental safety are taken into account. Based on the analysis of current market offers and data obtained from authoritative literature sources, the article formulates specific recommendations for selecting the optimal composition for injecting masonry, taking into account the objectives of reconstruction (e. g., preserving the historical appearance or increasing the load-bearing capacity), characteristics of damage (type and size of cracks), operating conditions (exposure to moisture) and financial constraints of the project.

Ключевые слова: *строительное материаловедение, кирпичная кладка, инъектирование, инъекционные составы, эффективность, полимеры, наноккомпозиты*

Keywords: *construction material science, brickwork, injection, injection compositions, efficiency, polimers, nanocomposites*

Введение

Восстановление и усиление кирпичной кладки является важной задачей при реконструкции и реставрации зданий и сооружений. Инъектирование представляет собой эффективный метод, позволяющий восстановить монолитность и прочность кладки путем заполнения трещин и пустот. Однако, эффективность инъектирования во многом зависит от правильного выбора инъекционного состава, который должен отвечать ряду требований, связанных с его физико-механическими свойствами, совместимостью с материалами кладки, долговечностью и экологической безопасностью. Целью данной статьи является определение наиболее эффективного инъекционного состава для кирпичной кладки на основе анализа современных научных исследований и экспериментальных данных.

Материалы и методы

- **Проблемы разрушения кирпичной кладки.** Разрушение кирпичной кладки является сложным и многофакторным процессом, зависящим от свойств материалов, характера распределения нагрузок и условий эксплуатации и внешних воздействий. Основными факторами, приводящими к разрушению кирпичной кладки, являются:

- **Водопоглощение и циклы замораживания-оттаивания.** Вода, проникая в поры кирпича и кладочного раствора, при замерзании расширяется, создавая внутренние напряжения, приводящие к разрушению материала.

- **Солевая агрессия.** Кристаллизация солей внутри кладки создает внутренние напряжения, вызывающие трещины и отслоение краевых кромок кирпича.

- **Химическая коррозия.** Кислотные дожди и другие агрессивные химические вещества разрушают кирпич и кладочный раствор.

- **Механические нагрузки.** Перегрузки, деформации основания кладки, вибрации приводящие к образованию трещин и разрушению, неравномерное распределение нагрузок.

- **Биологическое воздействие.** Микроорганизмы (грибки, плесень) и растения разрушают кирпич и кладочный раствор.

- **Требования к инъекционным составам с точки зрения повышения эксплуатационных свойств усиленной кирпичной кладки.** Инъекционные составы, применяемые для восстановления кирпичной кладки, должны отвечать ряду требований, обусловленных особенностями материала кладки и условиями эксплуатации:

- **Совместимость с материалами кладки.** Инъекционный состав должен быть химически и физически совместим с кирпичом и кладочным раствором, не вызывать их разрушения, коррозии и не препятствовать их совместной работе.

- **Высокая проникающая способность.** Состав должен обладать высокой текучестью и способностью проникать в мелкие трещины и пустоты, обеспечивая полное заполнение возникших в ходе эксплуатации трещин.

• **Прочность и деформационные характеристики.** Состав должен обеспечивать достаточную прочность и деформационную способность, чтобы воспринимать нагрузки совместно с раствором и кирпичом и предотвращать дальнейшее разрушение кладки. Вместе с этим не должен быть более или менее прочным чем кладка и раствор.

• **Водонепроницаемость и морозостойкость.** Состав должен обладать высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью для защиты кладки от воздействия влаги и низких температур.

• **Долговечность.** Состав должен быть устойчивым к воздействию атмосферных факторов, химических веществ и биологических организмов, обеспечивая долговечность восстановленной кладки.

• **Технологичность.** Состав должен быть удобен в применении, легко приготавливаться и подаваться в трещины и пустоты.

• **Экологичность.** Состав должен быть экологически безопасным, не содержать вредных веществ и не выделять их в окружающую среду.

• **Стоимость.** Состав должен быть экономически целесообразным с учетом его эффективности и долговечности.

• **Сравнительный анализ инъекционных составов.** Для сравнительного анализа различных инъекционных составов были рассмотрены научные статьи и нормативные документы по этой тематике [1—16], а также изучены популярные предложения на рынке строительных материалов [17—20]. Отбор был произведен на основе выбора составов с наиболее превосходящими физико-механическими свойствами, совместимости с материалами кладки, долговечности и экологической безопасности.

На основе анализа данных была составлена в таблице 1, в которой представлены основные характеристики и свойства различных инъекционных цементных, цементно-известковых и известковых составов.

Таблица 1

**Основные характеристики
и свойства инъекционных составов на цементных
и известковых вяжущих**

Наименование	$t_{\text{экспл}}$	Подвижность	Морозостойкость	Предел прочности на сжатие в возрасте 28 сут, МПа	Время жизни растворной смеси	Стоимость, руб/кг
Расширяющийся цементный состав Stabilcem	От + 5 °С до + 25 °С	Рк5	—	80	Не менее 1 ч	3140/20
Петромикс Инъекционный известково-цементный раствор для укрепления кладки ИМ-01	От + 5 °С до + 25 °С	Рк6	F50	15	Не менее 1 ч	1617/20
Инъекционная смесь на известковом вяжущем РЕКС Спецрас-твор, 20 кг	От + 5 °С до + 35 °С	Рк3	F50	12	Не более 1,5 ч	1282/20

На основе анализа данных была составлена в таблице 2, в которой представлены основные характеристики и свойства различных инъекционных цементных, цементно-известковых и известковых составов.

Таблица 2

**Основные характеристики и свойства эпоксидных
инъекционных составов**

Наименование	$t_{\text{экспл}}$	Предел прочности на изгиб/растяжение в возрасте 28 сут, МПа	Предел прочности на сжатие в возрасте 28 сут, МПа	Время жизни растворенной смеси	Стоимость, руб/кг
Эпоксидная смола для инъектирования РЕКС Эпо Инж, 5 кг	От +5 до +35	25	70	Не менее 2 ч	11 651/5

Результаты

• **Факторы, влияющие на выбор инъекционного состава.** Выбор оптимального инъекционного состава зависит от множества факторов, включая:

• **Тип и степень разрушения кладки:** для мелких трещин и пустот подойдут составы с высокой проникающей способностью (например, полимерные или нанокompозитные). Для крупных дефектов лучше использовать цементные или известковые составы.

• **Тип кирпича и кладочного раствора:** необходимо учитывать совместимость инъекционного состава с материалами кладки (например, не использовать кислотные полимеры для кладки с известковым раствором).

- **Условия эксплуатации:** для кладки, подверженной воздействию влаги, необходимо выбирать составы с высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью. Для исторических зданий следует отдавать предпочтение известковым составам.

- **Экологические требования:** при выборе состава необходимо учитывать его экологическую безопасность и влияние на окружающую среду.

- **Бюджет проекта:** стоимость инъекционных составов может существенно различаться, поэтому необходимо учитывать экономические ограничения.

- Выводы по выбору наиболее эффективного инъекционного состава. На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы по выбору наиболее эффективного инъекционного состава для кирпичной кладки.

- **Для реставрации исторических зданий:** наиболее рационально использовать известковые составы, обеспечивающие совместимость с материалами кладки и сохранение ее паропроницаемости, такие как Инъекционная смесь на известковом вяжущем РЕКС Спецраствор, 20 кг.

- **Для кладки с мелкими трещинами и пустотами:** использовать полимерные или нанокompозитные составы с высокой проникающей способностью, такие как Петромикс Инъекционный известково-цементный раствор для укрепления кладки ИМ-01.

- **Для кладки, подверженной воздействию влаги:** использовать составы с высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью (например, цементные с добавками или полимерные), такие как Эпоксидная смола для инъектирования РЕКС Эпо Инж, 5 кг или Расширяющийся цементный состав Stabilcem.

- **Для кладки, требующей высокой прочности:** использовать цементные составы с добавками или нанокompозитные материалы, такие как Эпоксидная смола для инъектирования РЕКС Эпо Инж, 5 кг или Расширяющийся цементный состав Stabilcem.

- **При ограниченном бюджете:** использовать цементные составы с минимальным количеством добавок, такие как Гидробетон СРГ1 Ремонтный цементный состав, 25 кг.

Важно помнить, что выбор конкретного инъекционного состава должен осуществляться на основе детального обследования кладки и консультаций со специалистами в области строительного материаловедения.

Заключение

Выбор наиболее эффективного инъекционного состава для кирпичной кладки является сложной задачей, требующей учета множества факторов. В первом приближении необходимо выяснить, для каких целей производится усиление, какого вида трещины в кладке, подвергается ли кладка воздействию влаги, есть ли ограничения в бюджете. Исходя из определения параметров усиления производится выбор подходящего инъекционного состава. В конечном итоге, предпочтение отдается тому составу, который будет наиболее эффективен и экономически выгоден.

Список литературы

1. *СП 15.13330.2012*. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*. Введ. 2013-01-01. М., 2012.
2. *СП 427.1325800.2018*. Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления. Введ. 2019-06-20. М., 2012.
3. *ГОСТ 7.32-2001*. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. Введ. 2002-07-01. М. : Стандартинформ, 2008.
4. *ГОСТ 530-2012*. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ 2013.
5. *ГОСТ 379-2015*. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия. Введ. 2015-10-01. М. : Стандартинформ, 2015.
6. *ЦНИИСК* им. В. А. Кучеренко. Рекомендации по повышению качества каменной кладки и стыков крупнопанельных зданий инъектированием под давлением. М. : Стройиздат, 1987.
7. *Методические* указания по усилению каменной кладки, в том числе исторических зданий, инъекцией раствором. М., 2019.

8. *Ханов Н. М.* Прочность и деформативность кирпичной кладки при местном сжатии с учетом ее инъектирования модифицированными полимерными композициями : дис. ... канд. техн. наук. М., 1993.

9. *Дубровская Л. В.* Прочность и деформативность кирпичной кладки памятников архитектуры Казахстана и разработка методов ее усиления : дис. ... канд. техн. наук. М., 2003.

10. *Воронина В. П.* Прочность и деформативность каменной кладки и стыков крупнопанельных зданий, инъектированных цементным раствором : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986.

11. *Иицук М. К., Фролова И. Г., Иицук Е. М.* Усиление каменных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 8. С. 28—30.

12. *Иицук М. К., Иицук Е. М., Фролова И. Г.* Усиление кладки методом инъекции эпоксидной смолы // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. С. 48—51.

13. *Иицук М. К., Иицук Е. М.* Усиление кирпичной кладки инъекцией метилметакрилата // Вестник НИЦ «Строительство». 2024. № 3. С. 111—123.

14. *Забелина О. Б., Кунин Ю. С.* Выбор способа усиления кирпичных вертикальных конструкций после детального технического обследования объекта федерального государственного бюджетного учреждения культуры Политехнический музей // Наука и бизнес. 2018. № 11. С. 102—107.

15. *Грановский А. В., Кунин Ю. С., Легецкий О. Е.* Оценка прочности кирпичной кладки, усиленной инъекционным составом // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 2. С. 37—43.

16. *Грановский А. В., Кунин Ю. С., Легецкий О. Е.* Инъекционные составы для повышения прочности и монолитности кирпичной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 4. С. 16—20.

17. *Торговый дом KSGidro.* URL: <https://ksgidro.ru> (дата обращения: 07.15.2025).

18. *Комплексное решение для бетонных конструкций* // WhiteMix. URL: <https://whitemix.su> (дата обращения: 07.15.2025).

19. *Сухие строительные смеси оптом от производителя* // ПЕТРОМИКС. URL: <https://www.petromix.ru/?ysclid=makxae1g8p452616985> (дата обращения: 07.15.2025).

20. *Центр СМ.* URL: <https://yaroslavl.tdcsm.ru/> (дата обращения: 07.15.2025).

**В. С. Коновалова¹, К. Б. Строкин²
А. А. Гальцев², Д. Г. Новиков²**

¹ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
(Иваново, Россия)

² ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»
(Южно-Сахалинск, Россия)

БИОРЕЦЕПТИВНОСТЬ БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ДОБАВКАМИ СТЕАРАТА КАЛЬЦИЯ

BIO-RECEPTIVITY OF CONCRETE MADE WITH CALCIUM STEARATE ADDITIVES

***Аннотация.** Работа посвящена установлению биообрастания бетона, изготовленного с гидрофобной добавкой стеарата кальция. Исследования проводились на образцах бетона из портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н, песка и гравийного щебня, изготовленного с В/Ц = 0,3. Для обеспечения объемной гидрофобизации бетона в цементную смесь добавлялся стеарат кальция в количестве 0,5 и 1 масс. %. Заражение поверхности бетона проводилось суспензией спор грибка *Aspergillus niger*. Гидрофобность поверхности бетона оценивалась по величине краевого угла смачивания. Степень биообрастания бетонной поверхности изучалась при комнатных условиях и при увлажнении. После заражения бетона суспензией спор черной плесени каждые 4 месяца делался снимок поверхности для оценки степени грибкового распространения. Добавки стеарата кальция в цементную смесь обеспечивают гидрофобность бетона со значениями контактного угла смачивания более 100 °. Гидрофобные бетонные поверхности не подвержены возникновению очагов грибкового поражения даже при увлажнении. Спустя 12 месяцев испытаний на бетонах с добавками*

© Коновалова В. С., Строкин К. Б., Гальцев А. А., Новиков Д. Г., 2025

стеарата кальция во влажных условиях сформировались небольшие локальные колонии грибов, при комнатных условиях образования биопленки не наблюдалось.

Abstract. *The work is devoted to the establishment of biofouling of concrete made with a hydrophobic addition of calcium stearate. The studies were carried out on concrete samples from Portland cement CEM I 42.5 N, sand and gravel crushed stone made with W/C = 0.3. To ensure volumetric hydrophobization of concrete, calcium stearate was added to the cement mixture in an amount of 0.5 and 1 wt. %. The concrete surface was infected with a suspension of *Aspergillus niger* fungal spores. The hydrophobicity of the concrete surface was estimated by the value of the contact angle of wetting. The degree of biofouling of the concrete surface was studied at room conditions and under humidification. After the concrete was infected with a suspension of black mold spores, a surface image was taken every 4 months to assess the degree of fungal spread. The addition of calcium stearate to the cement mixture ensures the hydrophobicity of concrete with a contact angle of more than 100°. Hydrophobic concrete surfaces are not susceptible to the appearance of fungal lesions, even when moistened. After 12 months of testing on concrete with calcium stearate additives, small local fungal colonies formed in humid conditions, and no biofilm formation was observed at room conditions.*

Ключевые слова: биорецептивность бетона, гидрофобный бетон, биокоррозия бетона, грибообрастание бетона

Keywords: *bio-receptivity of concrete, hydrophobic concrete, biocorrosion of concrete, fungal fouling of concrete*

Введение

Бетон и железобетон широко используются при строительстве жилых, промышленных, гидравлических, санитарно-технических и других сооружений в различных условиях эксплуатации. Бетон обладает биорецептивностью, что означает, что он может содержать микроорганизмы и позволять им заселять его поверхность [1—3]. Грибы рода *Aspergillus* являются одними из наиболее распространенных микроорганизмов, обитающих

на каменных и бетонных поверхностях [4—6], и наиболее активны во влажных условиях. Эти грибковые микроорганизмы могут наносить значительный ущерб каменным и бетонным конструкциям из-за их сложной метаболической активности и воздействия на поверхность [7—10].

Как правило, микроорганизмы прикрепляются к гидрофильным поверхностям, а заселение микроорганизмами гидрофобных поверхностей затруднено. Поэтому объемную гидрофобизацию цементного камня можно рассматривать как один из способов предотвращения биообрастания бетона и проникновения агрессивных сред вглубь его структуры. Гидрофобные добавки — это вещества, которые придают стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные (водоотталкивающие) свойства. Механизм действия гидрофобных добавок заключается в их осаждении при контакте с продуктами гидратации цемента с образованием мельчайших капель, которые создают гидрофобные покрытия на стенках мелких пор и капилляров.

Для придания строительным смесям водоотталкивающих свойств рекомендуется использовать стеарат кальция в дозировке 0,2—1 масс. % [11—14]. Коэффициент водопоглощения бетона, обработанного 2 %-ным раствором стеарата кальция, снизился до 2,5, 2,3 и 2,1 % в возрасте 7, 28 и 56 дней соответственно. Для бетона, содержащего 4 % стеарата кальция, водопоглощение снизилось до 1 % через 56 дней. Однако использование стеарата кальция в сочетании с другими гидрофобизирующими добавками в цементной смеси не показало такого же уровня эффективности, как при использовании только стеарата кальция [15].

Целью исследования является установление влияния добавок стеарата кальция в цементную смесь при изготовлении бетона на биообрастание поверхности бетона грибами *Aspergillus niger*. Для установления гидрофобности поверхности бетона использовали краевой угол смачивания. Степень биообрастания определяли по снимкам поверхности бетона после заражения грибами *Aspergillus niger*.

Материалы и методы

Образцы бетона изготавливались из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н, песка и гравийного щебня фракцией 5—10 мм. Расход цемента составлял 450 кг, песка и щебня — по 900 кг каждого компонента на 1 м³ бетона. На стадии замешивания цементного теста вводился стеарат кальция в количестве 0,5 и 1,0 масс. %.

Количество стеарата кальция было определено на основании предыдущих исследований, направленных на предотвращение хлоридной коррозии бетона с использованием этой добавки [16]. В цементный раствор был добавлен химически чистый мелкокристаллический стеарат кальция. Равномерное распределение этого порошка в цементной смеси было достигнуто путем механического перемешивания в течение 5 мин.

Нитевидные грибы *Aspergillus niger*, широко известные как «черная плесень», были использованы для заражения цементного камня. Штамм грибка был предоставлен лабораторией, специализирующейся на выращивании промышленных микроорганизмов. Образцы были оценены на их способность являться источником питания для микромицетов (устойчивость к грибкам) в соответствии со стандартным методом, изложенным в ГОСТ 9.048-89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». Способ включает заражение продуктов без очистки от внешних загрязнений суспензией микроорганизмов и последующее выдерживание их в течение 28 дней в оптимальных для роста условиях. Для тестирования используются две группы образцов: тестовые и контрольные. Тестовые образцы используются для оценки интенсивности развития микроорганизмов и их влияния на свойства материалов. Контрольные образцы используются для оценки свойств изделий с повышенной влажностью, исключаящих влияние микроорганизмов.

После заражения микроорганизмами одну часть образцов оставляли на воздухе при комнатной температуре на 12 месяцев. Еще одна часть образцов бетона подвергалась воздействию капиллярной влаги в течение 12 месяцев в емкости (рис. 1). Один

конец синтепоновой подкладки находился в сосуде с водой для поддержания влажности материала. Раз в 4 месяца делался фотоснимок образцов для фиксации образования очагов грибов.

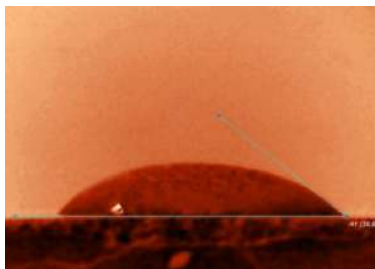


Рис. 1. Емкость для создания условий воздействия на образцы капиллярного смачивания

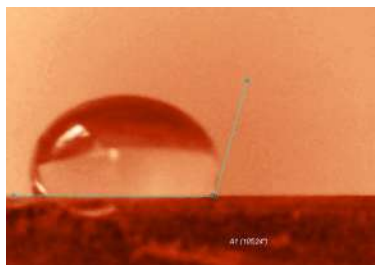
Гидрофобность поверхности бетона определялась по значению краевого угла смачивания (КУС) капель воды поверхности образцов. Краевой угол измерялся по снимкам, полученным с помощью цифровой камеры с нескольких ракурсов, установленной ортогонально к поверхности образца.

Результаты

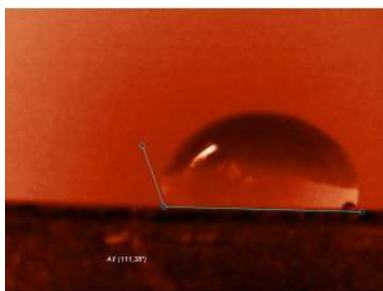
На рисунке 2 представлены результаты измерения краевого угла смачивания поверхности исследуемых образцов бетона. На гидрофобных поверхностях краевой угол смачивания равен или превышает 90° . Поверхность обычного бетона гидрофильна (рис. 2, а), следовательно, стоит ожидать восприимчивость к грибковым микроорганизмам. Краевой угол смачивания бетона с добавками стеарата кальция превышает 100° (рис. 2, б, в), поверхности гидрофобны, не проявляют смачиваемости, биообрастание должно быть затруднено. Повышение содержания гидрофобной добавки в бетоне отражается в увеличении КУС и возрастании водонепроницаемости, что обуславливает стойкость к действию жидких агрессивных сред [13; 16—18].



a



б



в

Рис. 2. Капля воды на поверхности бетона:
a — без добавок; *б* — с добавкой 0,5 масс. % стеарата кальция;
в — с добавкой 1 масс. % стеарата кальция

Первые очаги грибковых микроорганизмов сформировались быстрее всего во влажных условиях на поверхности бетона без добавок (рис. 3, *а*), но и при комнатных условиях по истечении 4 месяцев заметно присутствие грибов (рис. 4, *а*). Наибольший рост и распространение грибов по поверхности образцов наблюдается на обычном бетоне при увлажнении. Однако и комнатные условия можно назвать благоприятными для развития биообрастания.

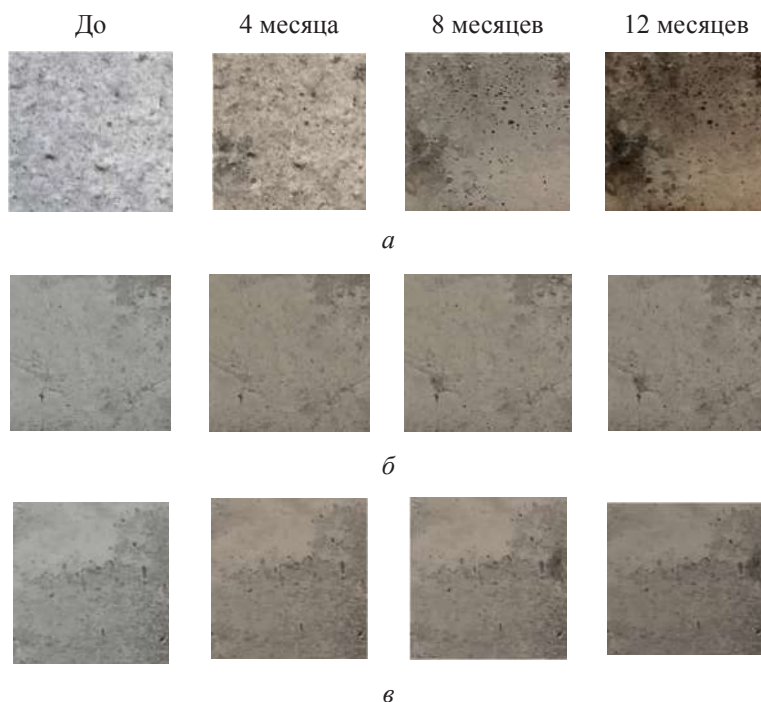


Рис. 3. Снимки поверхности образцов бетона:
а — без добавок; *б* — с добавкой 1 масс. % стеарата кальция;
в — с добавкой 0,5 масс. % стеарата кальция, через 4, 8 и 12 месяцев
 после заражения поверхности грибами *Aspergillus niger*
 при нахождении во влажных условиях

Образцы, содержащие добавки стеарата кальция не подверглись биообрастанию грибами *Aspergillus niger* ни в условиях увлажнения, ни при нахождении на воздухе. Однако заметно изменение цвета поверхности бетона, что связано с изменениями в питательной среде под действием микроорганизмов. По затемнению углублений поверхности можно судить о возникновении локальных грибковых формирований через 9—12 месяцев после заражения поверхности микроорганизмами. Количество вводимой добавки стеарата кальция не показало различия в состоянии поверхности бетона, находящегося при комнатных условиях.

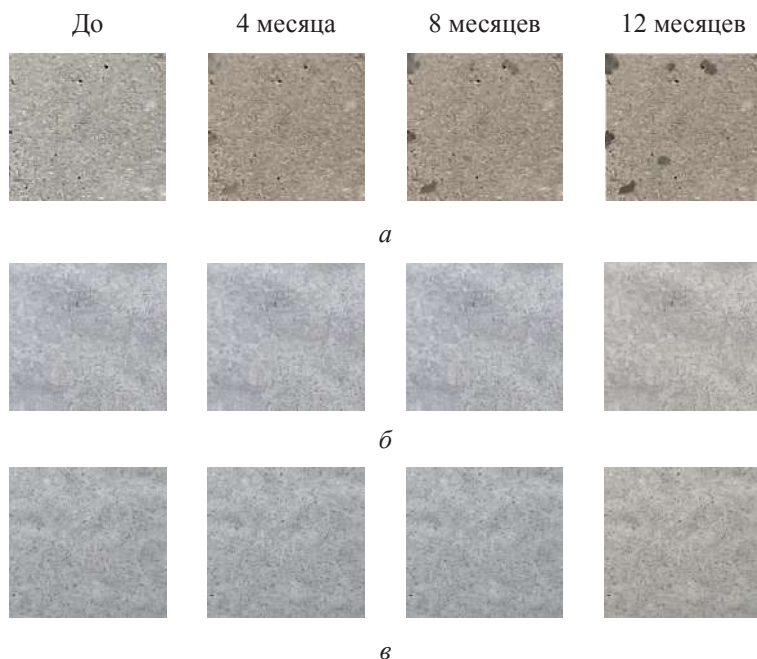


Рис. 4. Снимки поверхности образцов бетона:
a — без добавок; *б* — с добавкой 1 масс. % стеарата кальция;
в — с добавкой 0,5 масс. % стеарата кальция, через 4, 8 и 12 месяцев
 после заражения поверхности грибами *Aspergillus niger*
 при комнатных условиях

При увлажнении на образцах с добавкой стеарата кальция 0,5 масс. % локальных очагов грибков несколько больше, чем на поверхности образцов с добавкой 1 масс. %, поэтому количество гидрофобной добавки 0,5 % можно рекомендовать для бетона, эксплуатируемого без воздействия влаги, например, для стен внутренних помещений. Добавление в цементную смесь при изготовлении бетона гидрофобизатора в количестве 1 масс. % и выше целесообразно для изделий и сооружений, подвергающихся увлажнению, как постоянному, так и периодическому.

Заключение

Первые очаги черной плесени появляются на обычном бетоне уже спустя 4 месяца даже при комнатных условиях, а при увлажнении происходит заметный рост биопленки, что вызывает изменение цвета поверхности бетона. Уже через 8 месяцев на поверхности бетона появляются масштабные области грибкового поражения.

Бетон с добавками стеарата кальция в количестве 0,5—1 масс. % обладает хорошей стойкостью к биообрастанию вследствие гидрофобности поверхности. При комнатных условиях внешний вид гидрофобного бетона не изменяется в течение года ввиду отсутствия поверхностного заселения грибами. При увлажнении на бетоне с гидрофобными добавками со временем появляются небольшие очаги грибков на отдельных участках поверхности.

Таким образом, с помощью добавок стеарата кальция в цементную смесь при изготовлении бетона можно обеспечить биостойкость бетонных изделий и сооружений, эксплуатируемых при различных влажностных условиях.

Список литературы

1. *Ледяйкина, О. В., Родин А. И., Власов Д. Ю.* Исследование видового состава биодеструкторов цементных композитов, выявленных на образцах, выдержанных в условиях циклического воздействия температурно-влажностных сред // Вестник Поволжского государ-

ственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 1 (17). С. 7—18. doi: 10.25686/2542-114X.2021.1.7.

2. Чмыхало В. К., Золотухин П. В., Гунасекаран М. и др. Биобетон как антропогенная биокосная система. Обзор // Живые и биокосные системы. 2022. № 41. doi: 10.18522/2308-9709-2022-41-3.

3. Manso S., Calvo-Torras M. Á., De Belie N. et al. Evaluation of natural colonisation of cementitious materials: Effect of bioreceptivity and environmental conditions // Science of The Total Environment. 2015. Vol. 512—513. P. 444—453. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.086.

4. Gupta, S. P., Kurmi M. K. Impact of fungi on historical monument with reference to Mahadev temple Bastar of Chhatisgarh // International Journal of Life Science Research Archive. 2023. Vol. 04, iss. 01. P. 001—005. doi: 10.53771/ijlsra.2023.4.1.0150.

5. Василенко М. И., Гончарова Е. Н. Микробиологические особенности процесса повреждения бетонных поверхностей // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-4. С. 886—891.

6. Farooq M., Hassan M., Gull F. Mycobial deterioration of stone monuments of Dharmarajika, Taxila // Journal of Microbiology & Experimentation. 2015. Vol. 2, iss. 1. P. 29—33. doi: 10.15406/jmen.2015.02.00036.

7. Bertron A. Understanding interactions between cementitious materials and microorganisms: a key to sustainable and safe concrete structures in various contexts // Materials and Structures. 2014. Vol. 47. P. 1787—1806.

8. Ерофеев В. Т., Богатов А. Д., Богатова С. Н. и др. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7. С. 23—31. doi: 10.5862/MCE.33.3.

9. Уряшева Н. Н. Взаимодействие микроорганизмов с каменными строительными материалами // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Т. 17, № 3. С. 65—71. doi: 10.14529/build170310.

10. Li X., Kappler U., Jiang G. et al. The Ecology of Acidophilic Microorganisms in the Corroding Concrete Sewer Environment // Frontiers in Microbiology. 2017. Vol. 8. Art. 683. doi: 10.3389/fmicb.2017.00683.

11. Soloviev V., Shvetsova V. Influence of Calcium Stearate $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$ on the Properties of Fine-Grained Concrete // Solid State Phenomena. 2022. Vol. 334. P. 259—271. doi: 10.4028/p-ziihv0.

12. *Nemati Chari M., Naseroleslami R., Shekarchi M.* The impact of calcium stearate on characteristics of concrete // *Asian Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 20. P. 1007—1020. doi: 10.1007/s42107-019-00161-x.

13. *Федосов С. В., Румянцева В. Е., Коновалова В. С. и др.* Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2018. № 4 (56). С. 93—99.

14. *Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф. и др.* Анализ коррозионной стойкости штукатурных покрытий на основе извести и способы ее повышения // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2022. № 3 (44). С. 99—108.

15. *Jahandari S., Tao Z., Alim M. A.* Effects of different integral hydrophobic admixtures on the properties of concrete // *Proceedings of the 30th Biennial National Conference of the Concrete Institute of Australia*. Perth, Australia, 5—8 September 2021; Concrete Institute of Australia: Australia. 2021. 8 p. URL: https://www.ciaconference.com.au/concrete2021/pdf/full-paper_67.pdf (дата обращения: 30.04.2025).

16. *Konovalova V. S.* Investigation of the Effect of Volumetric Hydrophobization on the Kinetics of Mass Transfer Processes Occurring in Cement Concretes during Corrosion // *Materials*. 2023. Vol. 16, iss. 10. Art. 3827. doi: 10.3390/ma16103827.

17. *Maryoto A., Gan B. St., Setijadi R. et al.* Effect of Calcium Stearate in the Mechanical and Physical Properties of Concrete with PCC and Fly Ash as Binders // *Materials*. 2020. Vol. 13, iss. 6. Art. 1394. doi: 10.3390/ma13061394.

18. *Park J.-H., Yoon C.-B.* Properties and Durability of Cement Mortar Using Calcium Stearate and Natural Pozzolan for Concrete Surface Treatment // *Materials*. 2022. Vol. 15, iss. 16. Art. 5762. doi: 10.3390/ma15165762.

Е. А. Смирнов, И. А. Христофорова

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(Владимир, Россия)

**ПРЕИМУЩЕСТВА ПВХ МАРКИ C70
В КОМПОЗИЦИЯХ НА ЕГО ОСНОВЕ**

ADVANTAGES OF PVC GRADE C70 IN COMPOSITIONS BASED ON IT

***Аннотация.** Статья посвящена изучению свойств поливинилхлорида марки C70, его преимуществам и недостаткам для использования в качестве компонента композиции на его основе и вспененного полистирола (ПСВ), возможностями полученного материала и внедрению его в производство, и это является целью исследования. Также в статье описаны сравнения с другими марками поливинилхлорида, подобными той, что выбрана для исследования. Однако самой важной составляющей текущего исследования является именно изучение преимуществ материала, заключающиеся в его эксплуатационно-технических характеристиках. В ходе исследования определено, что марка C70 является самой подходящей для состава композита.*

***Abstract.** The article is devoted to the study of properties of polyvinyl chloride of C70 grade, its advantages and disadvantages for use as a component of compositions based on it and expanded polystyrene, the capabilities of the obtained material and its implementation in production and this is the aim of the study. The paper also describes comparisons with other PSV grades similar to the one selected for the study. However, the most important component of the current research is specifically the study of the*

© Смирнов Е. А., Христофорова И. А., 2025

advantages of the material, which consist in its performance and technical characteristics. In the course of the study it was determined that C70 grade is the most suitable for the composite composition.

Ключевые слова: ПВХ, марка C70, характеристики, преимущества и недостатки, сравнение с другими подобными марками

Keywords: PVC, brand C70, characteristics, advantages and disadvantages, comparison with other similar brands

Введение

На сегодняшний день производство поливинилхлорида (ПВХ) достигло колоссальных масштабов. Этот материал максимально упрощает человеческую жизнь и процессы производства. В этой области науки и техники прогресс в настоящее время невозможен без интенсивного применения данных материалов. Несмотря на огромное количество и видов пластмасс, самым распространенным и востребованным является именно ПВХ, а также другие термопласты [1].

ПВХ в свою очередь является классическим и универсальным полимером, который дает огромный и до сих пор продолжающийся расти ассортимент изделий и материалов. Производятся они в разных физических состояниях и цветах: мягкие, жесткие, непрозрачные, прозрачные и те, которые используются в разных температурных режимах [2].

Непрерывное изучение свойств ПВХ привело к возможности его с материалами, обладающих подобной химической структурой. Чтобы получить максимально безопасные с точки зрения экологии изделия, исследователи поставили для себя самую главную задачу — тщательный выбор марок, являющихся с их точки зрения и с точки зрения технических параметров самыми оптимальными для изобретения материалов на основе ПВХ, одним из плюсов которого являются приемлемые характеристики и способность к биодegradации.

Материалы и методы исследования

В ходе проведения работы для изучения теоретических аспектов нового композита взят суспензионный поливинилхлорид марки С70. Основной метод текущего исследования заключается в сравнении интересующей марки с себе подобными, выявления его преимуществ перед остальными марками на основании тех областей применения, для которых он предназначен и его технических параметров.

Теоретическая часть.

Поливинилхлорид — представляет из себя пластмассу, не имеющую цвета, прозрачную, термопласт, полученный модификацией винилхлорида [3].

Если рассмотреть его химический состав, то становится понятно, что он является разновидностью галогенпроизводных углеводов. Основными отличиями его от остальных полимеров заключаются в химической стойкости к щелочам, минеральным маслам, большинству кислот и растворителям. Благодаря своей термостойкости он не может гореть в чистом виде на открытом воздухе, но это достигается путем добавления различных добавок, которые отвечают за это свойство, тоже самое касается и других пластмасс на его основе [4].

Поливинилхлорид является одним из самых универсальных полимеров, на его основе разрабатывается большой ассортимент изделий и материалов, вместе с тем постоянно расширяющийся: мягкие, жесткие, непрозрачные, прозрачные и те, которые используются в режимах разных температур.

Упаковка, строительство, автомобилестроение и электроника являются главными и основными потребителями ПВХ. За длительное время многочисленных испытаний и тестов он многократно показывал свою профессиональную пригодность, экологическую безопасность, а также безопасность для человека и его здоровья в целом [5]. Остальные его положительные стороны и преимущества, такие как производительность при небольших затратах, небольшая стоимость, превосходные показатели эксплуатации (химическая стойкость, стойкость к морозам, невозможность к воспламенению) выставляют его как одного из наиболее важных, востребованных, незаменимых, а

также перспективным материалом на рынке товаров и услуг. Как и говорилось ранее, неоспоримым преимуществом ПВХ являются его показатели в температурных испытаниях — возможность его использования в разных температурных интервалах. Например, изделия, полученные из пластифицированного ПВХ, эксплуатируются и применяются при диапазоне до 50 °С, а те, которые произведены из не пластифицированного, имеют более широкий диапазон — до 80 °С [6].

Его плохая электропроводность (и даже невозможная) — неоспоримое и огромное преимущество над материалами, конкурирующими с ним [7].

В настоящее время ПВХ производится в марках 3 типов: суспензионный, эмульсионный и массовый [8].

Самые распространенные, выгодные и востребованные — суспензионные, которые составляют примерно 80 % всех производимых ПВХ. Остальные два — эмульсионный (10—12 %) и массовый (8—10 %) применяются редко.

Каждая категория имеет соответствующее обозначение, которое зависит от свойства, назначения и цены [9]. Так, суспензионные ПВХ имеют обозначение буквой «С» и имеют соответствующее название «ПВХ-С».

На данный момент известно 5 марок этого типа: ПВХ-С-7059-М, ПВХ-С-6359-М, ПВХ-С-6768-М, ПВХ-С-7058-М, ПВХ-С70 и 3 марки, подобные им (СИ): ПВХ-СИ-67, ПВХ-СИ-64, ПВХ-СИ-70 [10].

ПВХ-С-7059-М и ПВХ-С-7058-М — марки, которые применяются в производстве кабельных и медицинских пластиков, стойких к свету и температуре, материалов из пленки, искусственной кожи, труб с высокой прочностью, специальных линолеумов.

ПВХ-С-6359-М — марка, которая используется в производстве пластифицированных и полужестких изделий общего назначения, такие как искусственная кожа, материалы из пленки, линолеум и листов спецназначения.

ПВХ-С-6768-М — марка, которая применяется в производстве труб, профильных и погонажных изделий и оконных конструкций.

ПВХ-СИ-67 — марка, используемая для изготовления жестких и гибких прессований, дренажных труб, а также труб для напоров, канализаций, производстве окон и подоконников, фитингов, тарочных и упаковочных материалов.

ПВХ-СИ-64 — марка, которая применяется для производства мягких и твердых профилей, мягкой и твердой пленки, листов, плит, стенных панелей, плинтусов, гофрированных труб, кабельных каналов, литевых изделий под давлением, материалов для тары.

Смола ПВХ-СИ-70 — марка, которая используется для изоляции кабелей и проводов, материалов из пленки, медицинского пластиката, высокопрочных труб, искусственной кожи, оконных и строительных материалов.

Что же касается марки С70, то здесь нужно сказать, что у нее масса преимуществ перед остальными, потому что обладает более широким спектром применения, более подходящими по сравнению с другими марками техническими характеристиками, приведенных в таблице [11].

Характеристики ПВХ марки С70

Свойства	Значение
Внешний вид	Однородный порошок белого цвета
Количество загрязнений и посторонних веществ, в шт., не более	6
Количество прозрачных точек («рыбий глаз») в 0,1 см ³ , шт. не более 2	—
Значение константы Фикентчера К	70—72
Насыпная плотность, г/см ³	0,43—0,53
Остаток после просева на сите с сеткой № 0315, %, не более	0—0,1
Остаток после просева на сите с сеткой № 0063, %, не менее	80
Сыпучесть С, не более	20
Масса поглощения пластификатора, г на 100 г ПВХ, не менее	24

Окончание табл.

Свойства	Значение
Термостабильность пленки при 160 °С, мин., не менее	20
Массовая доля влаги и летучих в-в, %, не более	0,3
Массовая доля винилхлорида, млн ⁻¹ , не более	10
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20 °С после выдержки в дистиллированной воде в течение 2 ч, Ом.см, не менее	5,1—5,2

Результаты и их обсуждение

Сравнив технические характеристики других марок, выявленное преимущество данной марки состоит в том, что у нее более высокий спектр применения, а именно — еще и в судостроении (корпуса и палубы лодок, катамаранов, яхт, понтонов) [12], то есть у нее фактически нет водопоглощения.

Вместе с тем есть и другие не менее важные преимущества: отличная изоляция и шумоизоляция, высокая прочность и жесткость при минимальном весе, отличная ударостойкость и вибрационная стойкость, не пропускает воду и имеет повышенную химическую стойкость, долговечна и устойчива к УФ-излучению [13].

Практическая значимость работы. Работа посвящена изучению литературных данных о марке ПВХ-С70, ее технических характеристик, сравнению с другими подобными марками, установлении преимуществ, а также влиянии ее технологических параметров на свойства разработанного композита.

Заключение и выводы

Таким образом, данная марка наиболее подходит для сочетания с полистиролом, вспененным для получения композита. На данный момент получение композита на основе ПВХ марки С70 и ПСВ находится пока на стадии разработки. Однако нужно помнить, что ПВХ, несмотря на пригодность для многих областей использования, обладает рядом существенных недо-

статков, как и некоторые другие пластики. В общей сложности этими недочетами являются повышенная ломкость, низкая температура тепловой деформации, благодаря которым существуют и ограничения в применении, в связи с чем могут возникнуть и проблемы в использовании изготовленного композита на его основе. Основное решение проблемы заключается в выборе подходящих добавок, модификаторов и наполнителей.

Список литературы

1. *Николаев А. Ф.* Синтетические полимеры и пластические массы на их основе : учеб. пособие. Л. : Альянс, 2023.
2. *Волкова К. С.* Дegrадируемые полимерные композиционные материалы на основе ПВХ : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2018.
3. *Шарафутдинов Р. Ф.* Разработка модифицированных поливинилхлоридных композиций, совершенствование технологии формования изделий и нанесения покрытий для машиностроения : дис. ... канд. техн. наук. Набережные Челны, 2017.
4. *Мжачих И. Е., Орозбекова Д. Р., Шель П. Н. и др.* Разработка модифицированных композиций на основе вторичного полистирола // Успехи в химии и химической технологии : сб. науч. тр. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2018. Т. XXXII, № 6 (202). С. 89—91.
5. *Самуйлова Е. О.* Разработка пленочных композиционных материалов на основе поливинилхлорида и полигидроксипутирата : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2020.
6. *Исламов А. М.* Модификация поливинилхлоридных строительных композитов добавками полиизоцианата : дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2016.
7. *Шарава А. М., Христофорова И. А.* ПВХ-композиции и их применение // Сборник статей Международного научно-исследовательского журнала. Химия. 2019. № 2 (80). С. 84—85.
8. *Галеев Р. Р.* Разработка поливинилхлоридных строительных материалов с использованием неорганических отходов : дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2007.
9. *Кирич Б. С.* Модифицированные ПВХ-материалы функционального назначения : дис. ... канд. техн. наук. М., 2009.
10. *Коробко Е. А.* Разработка материалов на основе ПВХ с повышенной износостойкостью : дис. ... канд. техн. наук. М., 2000.

11. *ПВХ С-70*. URL: https://app-plast.ru/p_v_c/ (дата обращения: 07.03.2025).

12. *Сапаев Х. Х., Мусов И. В., Кучменова Л. Х. и др.* Разработка огнестойкого поливинилхлоридного пластика // *Пластические массы*. 2011. № 10. С. 34—36.

13. *Пат. 2358993*. Российская Федерация, МПК C08L 27/06. Поливинилхлоридная композиция / Руслан Разинович Галеев, Рашит Курбангалеевич Низамов, Ляйля Абдулловна Абдрахманова, Ирина Владимировна Колесникова, Людмила Владимировна Николаева, Вадим Григорьевич Хозин; заявитель и патентообладатель — Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный архитектурно-строительный университет ФГОУ ВПО КГАСУ М.Б.Х. № 2007141087/04; заявл. 26.10.2007; опубл. 20.06.2009 Бюл. № 17.

В. Г. Палкин, И. Ф. Кочуров

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» (Пермь, Россия)

**ОСОБЕННОСТИ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ
НА ПЛЕНОЧНОМ ПОЛИЭТИЛЕНОВОМ КЛЕЕ**

**FEATURES OF PLYWOOD PRODUCTS
ON FILM POLYETHYLENE ADHESIVE**

***Аннотация.** Изучением фанеры на пленочных полиэтиленовых клеях исследователи разных стран занимаются уже не первое десятилетие. Они решают вопросы адгезии его к древесине, за счет таких методов, как: обработка коронным разрядом, модифицирование добавками на основе канифоли, применение полиэтилена, привитого малеиновым ангидридом и т. д. Одним из первых шагов в исследованиях данного материала стали физико–механические испытания, в соответствии с нормативами [1]. Видны трудности, связанные с тем, что отличие марок фанеры (ФК и ФСФ) требуют разных подходов при изготовлении клея на основе пленочного полиэтилена для склеивания древесины, а именно, это отличие отображается в предварительной обработке образцов перед испытаниями, изложенными в документе [2]. Авторами данной публикации предложен новый способ установления адгезии поверхностных слоев полиэтилена к древесине. Данный способ снижает расход модификаторов в отличие от склеивания древесины пленочным клеем, при котором, добавки вводятся в состав пленки на стадии ее изготовления. Предполагается, что способ поможет повысить экологичность продукта — это требует дополнительных исследований. При применении нового способа возникла проблема неудобства нанесения и фиксации модификатора адгезии на поверхности пленки. При исследовании для сравнения были применены варианты поверхности пленочного полиэтилена: гладкая, гладко-коронированная и перфорированная.*

© Палкин В. Г., Кочуров И. Ф., 2025

Abstract. *Researchers from different countries have been studying plywood on film polyethylene adhesives for several decades. They solve the issues of its adhesion to wood, due to such methods as: corona discharge treatment, modification with rosin-based additives, the use of polyethylene grafted with maleic anhydride, etc. One of the first steps in the research of this material was physical and mechanical testing, in accordance with the standards [1]. The difficulties associated with the fact that the difference in plywood grades (FC and FSF) require different approaches in the manufacture of glue based on film polyethylene for gluing wood are evident, namely, this difference is reflected in the preliminary processing of samples before the tests described in the document [2]. The authors of this publication have proposed a new method for establishing the adhesion of polyethylene surface layers to wood. This method reduces the consumption of modifiers, unlike gluing wood with film glue, in which additives are introduced into the film at the stage of its manufacture. It is assumed that the method will help to improve the environmental friendliness of the product — this requires additional research. When using the new method, the problem of inconvenience of application and fixation of the adhesion modifier on the film surface arose. In the study, for comparison, the following film polyethylene surface options were used: smooth, smooth-corona and perforated.*

Ключевые слова: Полиэтилен, пленка, адгезия, модификаторы, скалывание

Keywords: Polyethylene, film, adhesion, modifiers, chipping

Введение

Стремление к инновациям затронуло многие сферы народного хозяйства, не осталось в стороне и производство строительных материалов, а именно изготовление листовых древесных композитов (фанеры). Основной объем такого продукта сегодня изготавливается при помощи адгезивов, которые в своем составе имеют формальдегидную основу, в частности фенолоформальдегидные и карбамидоформальдегидные клеи. Исследователи разных стран для создания фанеры обратили свой взгляд на такой материал как полиэтилен [3—7].

В процессе исследования этого направления требуется четко понимать, какую марку фанеры желательно изготовить: ФК — водостойкую, применяемую внутри помещений, или ФСФ — с водостойкостью повышенной степени для наружного и внутреннего применения [1].

Во-первых, фанера ФК и ФСФ, в соответствии с требованиями к испытаниям будут отличаться. В производстве фанерной продукции данный вопрос решается относительно просто: для определения адгезионных свойств одним из основных физико-механических испытаний является предел прочности при скалывании [2]. Для фанеры ФК перед испытанием на разрывной машине достаточно вымачивания образцов в воде в течение 24 ч при температуре 20 ± 3 °С. Для фанеры ФСФ все гораздо сложнее: перед аналогичным испытанием время погружения образцов в кипящую воду должно составлять минимум 1 ч с последующим выдерживанием при комнатной температуре в течение 10 ± 1 мин. Соответственно, готовый продукт марки ФСФ может работать в более требовательных условиях (повышенные температуры, влажности и т. д.).

Во-вторых, для того чтобы добиться производства фанеры марки ФСФ на пленочном полиэтиленовом клее, потребуется модифицировать данный продукт на стадии подготовки основных материалов: древесного шпона или полиэтиленовой пленки. На этом этапе дальнейшие исследования можно разделить на три вектора:

- модификация поверхности древесного шпона [8];
- модификация пленочного клея на стадии изготовления пленки [9];
- проведение модификации уже готовой пленки [10].

Однако если добавки распределяются по всей толщине клевого пленочного слоя, то это может быть нецелесообразно с экономической точки зрения. К тому же, если модификаторы для увеличения адгезионных свойств полиэтилена к древесине могут быть низко экологичны, значит, чем меньше будет объем добавок, тем более экологичной на выходе получится фанера.

Специалистами кафедры строительного инжиниринга и материаловедения ПНИПУ предложен метод склеивания поверхностных слоев полиэтилена с древесным шпоном, заклю-

чающийся в распределении модифицирующих добавок на пленочный полиэтилен с последующим укладыванием его между листами древесного шпона и дальнейшим горячим прессованием [10].

При модификации пленочного клея возникает острая проблема: так как пленка имеет гладкую и прозрачную поверхность, исследователю сложно удостовериться, на какую часть поверхности нанесен модификатор, а на какую нет. К тому же раствор стекает в разные стороны и нет определенной фиксации его на поверхности пленки. Таким образом, суть проблемы в несовершенстве способа нанесения раствора с инициатором на поверхность пленки.

В качестве альтернативы была создана перфорированная поверхность полиэтиленовой пленки. При нанесении раствора на нее видно, где раствор присутствует, а где его нет.

Материалы и методы

При изготовлении пятислойной березовой фанеры марки ФСФ толщиной 8 мм, в качестве субстрата при формировании образцов применялся лущеный березовый шпон (толщина 1,6 мм и влажность 6—10 %).

Адгезивом служил пленочный композиционный полиэтиленовый клей, состоящий из 80 % ПЭВД 10803-020 и 20 % LL30200 (двухслойный, толщина одного слоя 100 мкм). При исследовании были применены разные варианты поверхности пленочного полиэтилена:

- гладкий;
- гладкокоронированный;
- перфорированный.

Модификатором являлся пероксид дикумил «80-43-3». Масса модификатора составляла от 0,05 до 0,25 % от связующего.

При подготовке раствора для нанесения модификатора на полиэтилен использовали диметилкетон при комнатной температуре (соотношение массы диметилкетона к пленке составляло 0,5 к 1,0) и этанол при температуре 40 °С (соотношение массы

этанол к пленке составляло 0,6 к 1,0). Нанесение растворов на пленку было выполнено за сутки до горячего прессования фанеры. Для удобства работы составам были присвоены шифры:

- ПП200Д — пленка полиэтиленовая двухслойная (толщина одного слоя 100 мкм) с нанесением пероксид дикумила в растворе диметилкетона;

- ПП200Э — пленка полиэтиленовая двухслойная (толщина одного слоя 100 мкм) с нанесением пероксид дикумила в растворе этанола.

Температура пресса составляла 150 °С, а давление плит пресса — 0,5 МПа. Время прессования — 2,5 мин на 1 мм толщины фанеры.

В дальнейшем полученные образцы пятислойной фанеры марки ФСФ толщиной 8 мм были испытаны методом определения предела прочности при скалывании с предварительным часовым кипячением в воде и последующим охлаждением при комнатной температуре в течение 10 ± 1 мин [1; 2].

Результаты

Результаты адгезионной прочности пленочного полиэтиленового клея с древесным шпоном определялись в соответствии с нормативами. Предел прочности при скалывании должен составлять не менее 1,0 МПа [1; 2]. Результаты испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний фанеры на пленочном полиэтилене с нанесением модификатора в растворе диметилкетона

Состав клея	Поверхность пленки	Масса модификатора от массы пленки, %	Предел прочности, МПа
ПП200Д	Гладкая	0,05	1,053
ПП200Д	Гладкокоронированная	0,05	0,064
ПП200Д	Перфорированная	0,05	0,021
ПП200Д	Гладкая	0,1	1,116

Окончание табл. 1

Состав клея	Поверхность пленки	Масса модификатора от массы пленки, %	Предел прочности, МПа
ПП200Д	Гладкокоронированная	0,1	0,102
ПП200Д	Перфорированная	0,1	1,334
ПП200Д	Гладкая	0,2	1,87
ПП200Д	Гладкокоронированная	0,2	1,187
ПП200Д	Перфорированная	0,2	1,465

Таблица 2

**Результаты испытаний фанеры на пленочном полиэтилене
с нанесением модификатора в растворе этанола**

Состав клея	Поверхность пленки	Масса модификатора от массы пленки, %	Предел прочности, МПа
ПП200Э	Гладкая	0,1	0,075
ПП200Э	Гладкокоронированная	0,1	0,089
ПП200Э	Перфорированная	0,1	0,06
ПП200Э	Гладкая	0,2	0,424
ПП200Э	Гладкокоронированная	0,2	0,035
ПП200Э	Перфорированная	0,2	1,471
ПП200Э	Гладкая	0,25	1,553
ПП200Э	Гладкокоронированная	0,25	2,588
ПП200Э	Перфорированная	0,25	2,281

Заключение

Основными задачами исследования являлись:

- создание способа удобного нанесения модифицирующего раствора на поверхность полиэтиленовой пленки;
- понижение процентного содержания модификатора до уровня показателя предела прочности на скалывание выше 1,0 МПа [1].

Что касается влияния поверхности пленки на адгезионные качества готового продукта, то исследование пошло по двум направлениям:

- образцы, изготовленные на растворе диметилкетона;
- изготовление образцов при помощи этанола.

Оба состава испытывались на разных поверхностях пленки и отличались друг от друга количеством нанесенного модификатора.

В таблице 1 видно, что гладкая пленка на минимальном (0,05 %) и максимальном (0,2 %) перекиси дикумила в растворе диметилкетона превосходит пленку гладкокоронированную и перфорированную. А перфорированная пленка, в свою очередь, на проценте 0,1 превосходит гладкую и гладкокоронированную.

Таблица 2 демонстрирует, что перфорированная пленка на проценте 0,2 перекиси дикумила в растворе этанола соответствует нормативу предела прочности на скалывание после часового кипячения. Максимальный результат в этой части исследования показала гладкокоронированная пленка на проценте 0,25.

Предложенные новации для нанесения модифицирующего раствора при склеивания древесного шпона с использованием перфорированной полиэтиленовой пленки помогут облегчить труд операторов производственных линий.

Благодарности. Исследование выполнено с предоставлением пленочного полиэтиленового материала производственным предприятием ООО «ПРАНА — ПОЛИМЕР» г. Пермь.

Список литературы

1. ГОСТ 3916.1-2018. Межгосударственный стандарт. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. Введ. 2019-04-01. М. : Стандартинформ, 2019.
2. ГОСТ 9624-2009. Межгосударственный стандарт. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. Введ. 2011-01-01. М. : Стандартинформ, 2010.
3. Кочуров И.Ф., Палкин В.Г. О возможности производства фанеры на пленочных полиэтиленовых клеях с нулевым классом эмиссии по выделению и содержанию формальдегида // Жур-

нал Пермского национального исследовательского политехнического университета. Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2024. Т. 1. С. 190—195. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=68555329> (дата обращения: 10.05.2025).

4. Пат. 2482966 Российская Федерация МПК В32В 7/12, В32В 21/08, В32В 27/06, В32В 27/32, В32В 37/04, С09J 123/26. Поддающееся последующему формованию изделие из фанеры и способ его изготовления / Кильюнен С., Вилен Р., Ниеминен Х., Хейккиля Т.; заявитель и патентообладатель ЮПМ-Кюммене Вуд Ой. № 2010134494/04; заявл. 18.02.09; опубл. 27.05.13. Бюл. № 15.

5. Zheng S., Chen M., Wu J. *et al.* Effect of heat treatment on properties and interfacial compatibility of poplar veneer/polyethylene film composite plywood // Polymer Testing. 2023. Vol. 122. P. 1—8. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941823000867> (дата обращения: 10.05.2025).

6. Ashoria A., Ayrilmisb N., Heydaric V. Enhancing interfacial adhesion through coupling agent incorporation in plywood / plastic waste composite material // International Journal of Adhesion and Adhesives. 2023. Vol. 127. P. 1—10. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749623001938> (дата обращения: 10.05.2025).

7. Arya S., Kumar R., Chauhan Sh., Kelkar B. U. Development of natural fiber reinforced thermoplastic bonded hybrid wood veneer composite // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 368. P. 1—11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823001708> (дата обращения: 10.05.2025).

8. Fang L., Chang L., Guo W.-J. *et al.* Influence of silane surface modification of veneer on interfacial adhesion of wood-plastic plywood // Applied Surface Science. 2014. Vol. 288. P. 682—689. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433213019570> (дата обращения: 10.05.2025).

9. Пат. CN106928874A IPC B27D1/04; B27D1/08; C09J11/04; C09J11/06; C09J151/06; C09J7/00. Термореактивная клейкая пленка для фанеры и фанерных плит / Пань Сюэян; Шэнь Юйтинь. опубл. 07.07.17. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/059424870/publication/CN106928874A?q=CN%20106928874%20A> (дата обращения: 10.05.2025).

10. *Пат.* 2828198 Российская Федерация, МПК C09J 7/35 B32B 21/08 B27D 1/04. Способ изготовления фанеры с использованием пленочного клея / Кочуров И. Ф., Палкин В. Г.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет. № 2024100195 09.01.24; опубл. 07.10.24. Бюл. № 28.

А. О. Ковшов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»
(Саранск, Россия)

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЙСЯ БЕТОН И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ

SELF-HEALING CONCRETE AND THE PROSPECTS OF ITS IMPLEMENTATION

Аннотация. *Раскрыта сущность самовосстанавливающегося бетона, описана история его появления. Представлен принцип процесса самовосстановления под действием микроорганизмов. Обозначены ключевые задачи в процессе разработки рецептур самовосстанавливающегося бетона. Описан опыт и представлены примеры внедрения разработок в области самовосстанавливающихся бетонов.*

Abstract. *The essence of self-healing concrete is revealed, the history of its appearance is described. The principle of the process of self-healing under the influence of microorganisms is presented. The key tasks in the process of developing recipes for self-healing concrete are identified. The experience is described and examples of the implementation of developments in the field of self-healing materials based on binders are presented.*

Ключевые слова: бетон, самовосстанавливающийся бетон, трещины, микроорганизмы

Keywords: concrete, self-healing concrete, cracks, microorganisms

Введение

В настоящее время бетон остается самым распространенным строительным материалом на глобальном рынке и не теряет своей популярности в будущем. Обусловлено это тем, что бетон универсален и доступен по сравнению с другими каменными материалами. Важно отметить, что широко применяться этот композитный материал стал лишь в последние два столетия, но даже за такой сравнительно короткий промежуток времени учеными были разработаны многочисленные рецептуры бетонных смесей, позволяющих получать каменные материалы с разнообразными эксплуатационными характеристиками. Стойкость бетона к высоким сжимающим нагрузкам в сочетании с его экономической доступностью определяет его незаменимость в различных отраслях строительства. Уникальная способность данного материала принимать практически любые формы предоставляет архитекторам возможность реализовывать самые амбициозные концепции. Однако у бетона имеются и недостатки. Он показывает ограниченные механические свойства при растяжении и подвержен воздействию усадки и усталостных нагрузок, что снижает его эксплуатационные характеристики. Кроме того, природные и техногенные факторы окружающей среды могут негативно влиять на его долговечность и надежность в процессе эксплуатации [1; 2].

Концепция самовосстанавливающегося бетона

Исследование методов повышения физико-механических свойств бетона остается актуальной задачей современной науки. Среди наиболее многообещающих направлений в данной области выделяется создание специализированных рецептур, стойких к распространению трещин [1; 2]. Концепция самовосстанавливающегося бетона предполагает внедрение инновационных технологий и методик, способствующих изменению его внутренней структуры. Эти разработки открывают новые горизонты в возможности применения материала, позволяя бетону не только восстанавливаться после механических повреждений, но и становиться более устойчивым к воз-

действию агрессивных внешних факторов. Данные подходы не только способствуют повышению долговечности конструкций, но и служат шагом к устойчивому развитию строительной отрасли в целом.

Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций выступает в качестве ключевого индикатора, определяющего не только срок службы инженерных сооружений, но и сопутствующие затраты на их техническое обслуживание и восстановление. Понимание механизмов, способствующих возникновению трещин, представляет собой актуальную и сложную задачу как для практиков в строительной отрасли, так и для исследователей-материаловедов. Современные научные изыскания в данной области акцентируют внимание на разработке и внедрении инновационных подходов к повышению долговечности исследуемых строительных материалов. В этом контексте концепция самовосстанавливающегося бетона занимает особое место [3—6].

Под самовосстановлением бетона подразумевается любой процесс, в ходе которого данный материал способен восстановить свои эксплуатационные характеристики после первоначального повреждения. Это явление получает все большее внимание в научном сообществе, поскольку оно открывает новые горизонты для улучшения устойчивости конструкций и преодоления ограничений, связанных с долговечностью традиционных бетонных изделий [7].

Принципиальная схема восстановления бетона на основе биологической добавки выглядит следующим образом. В бетонном камне присутствуют микроорганизмы, инкапсулированные водоразлагаемой оболочкой, а в микрокапсулах — питательное вещество. При образовании трещины в поверхностные слои бетона просачивается влага, под действием которой оболочки капсул с бактериями и питательным веществом растворяются. Бактерии при этом начинают потреблять питательное вещество, размножаться и продуцировать известняк, который и «заживляет» трещину в цементном камне [2].

Ключевой задачей в процессе разработки рецептуры самовосстанавливающегося бетона является идентификация и отбор бактерий, обладающих способностью к выживанию в

экстремальных условиях эксплуатации. Немаловажной остается проблема дороговизны наиболее часто применяемого питательного вещества — лактата кальция, стоит вопрос о поиске более дешевого сырья для бактериального продуцирования известняка.

Проведенные исследования [8] демонстрируют, что в условиях лаборатории микроорганизмы способны за период в 7 сут превращать питательные вещества в известняк, что свидетельствует о высоком потенциале их использования для восстановления поврежденных бетонных конструкций. Таким образом, интеграция микробных метаболических процессов в систему самовосстанавливающегося бетона представляет собой перспективное направление в области материаловедения и строительной инженерии.

Применение самовосстанавливающегося бетона обеспечивает сохранение несущей способности бетонных и железобетонных конструкций через сохранение целостности конструкции при появлении микротрещин [1].

История появления самовосстанавливающегося бетона

Истоки самовосстановления бетонов прослеживаются с древнейших времен. Одним из старейших архитектурных свидетельств, подтверждающих использование этого строительного материала, являются сооружения, возведенные в античные римские города. Римляне, обладая выдающимися инженерными навыками, возвели обширные дороги, акведуки, порты и монументальные здания, которые дошли до наших дней, сохранив свои черты на протяжении более чем двух тысячелетий [9].

В 2023 г. группа ученых из Массачусетского технологического института представила в журнале «Science Advances» результаты своего исследования древних образцов римского бетона, датируемых примерно 2000 лет назад, найденных в археологических раскопках около коммуны Приверно в Италии [9]. Ранее считалось, что римские зодчие использовали гашеную известь, которая получалась путем термической обработки известняка, чтобы создавать высокореактивный порошок, после чего его «гасили» водой и соединяли с пуццолоной. Однако

подробное исследование образцов бетона дало новые данные, которые ставят под сомнение традиционные взгляды на технологии древнеримского строительства.

На рисунке 1 показаны результаты гиперспектральной съемки образцов бетона, извлеченных из коммуны Приверно в Италии. На изображении области, насыщенные кальцием, выделены красным цветом, что указывает на их значительное содержание в структуре бетона. Желтый цвет соответствует участкам, где зафиксировано наличие серы, в то время как синие зоны отражают концентрацию алюминия. Зеленые участки демонстрируют присутствие кремния, что дает представление о минералогическом составе бетонной матрицы.

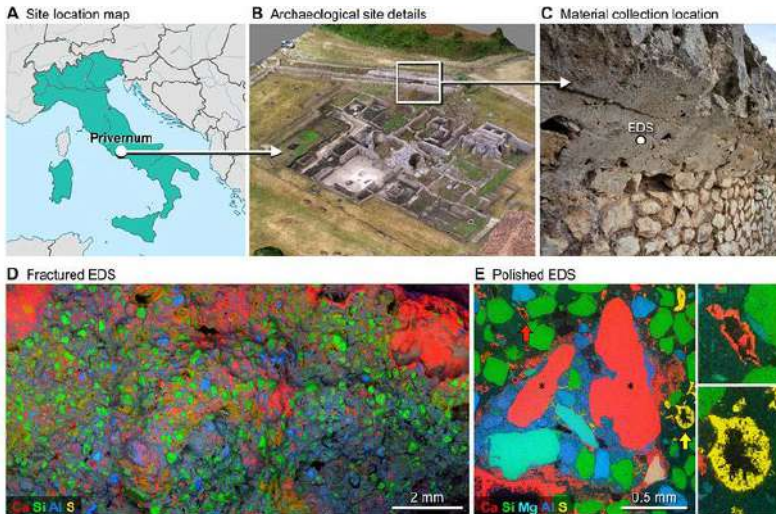


Рис. 1. Результаты гиперспектральной съемки бетонных образцов из коммуны Приверно [9]

Процесс приготовления раствора, согласно новым данным, заключается в нагревании извести, которая превращается в негашеную форму, расширяющуюся при контакте с водой. Хотя в процессе эксплуатации бетона возникают мелкие трещины, негашеная известь препятствует их дальнейшему распростра-

нению. При взаимодействии с дождем известь вступает в реакцию с водой, кристаллизуясь в различные формы карбоната кальция, что способствует быстрому заполнению трещин или взаимодействует с вулканическим пеплом для «восстановления» структуры материала [10].

Применение самовосстанавливающегося бетона

Идея о создании современного самовосстанавливающегося бетона родилась в Нидерландах, когда в 1990-х гг. группа исследователей Делфтского университета провела исследования, доказав возможность самовосстановления. Впервые самовосстанавливающийся бетон использовали при строительстве спасательной станции на озере в Нидерландах, затем новый материал применили при реализации проекта моста Zeelandbrug (рис. 2).



Рис. 2 Мост Zeelandbrug в Нидерландах [12]

В Токио (Япония) был реализован проект, в котором применение технологии самовосстанавливающегося бетона играло ключевую роль при строительстве многоэтажного офисного здания (рис. 3).



Рис. 3. Офисное здание компании Hugo Boss в Токио [11]

Инновационный строительный материал способствовал как ускорению темпов возведения сооружения, так и обеспечению высококачественной отделки бетонных поверхностей, что имело первостепенное значение для формирования современного архитектурного облика объекта. Это проявление передовых технологий в строительстве демонстрирует, как интеграция современных материалов может стать основой для устойчивого и эстетически привлекательного градостроительства [11].

Заключение

Примеры использования самовосстанавливающегося бетона в различных строительных проектах по всему миру наглядно иллюстрируют его удивительное многообразие применения и

функциональности. На сегодняшний день успешная эксплуатация таких конструкций не только подтверждает высокую эффективность этого инновационного материала, но и открывает новые горизонты для дальнейшего распространения таких технологий в современной архитектуре и строительстве. Эта перспектива придает огромную значимость изучению самовосстанавливающегося бетона, который приобретает все большую роль в будущем строительной отрасли.

Тем не менее самовосстанавливающийся бетон остается сравнительно малоизученным строительным материалом. Он обладает внушительными преимуществами, среди которых можно выделить значительное увеличение срока службы конструкций, сократившее необходимость в частом ремонте и обслуживании. Однако, наряду с этими достоинствами, существуют и определенные недостатки, которые необходимо учитывать. Наиболее заметными из них являются высокая стоимость этого материала и отсутствие технологии его массового производства. Проблема дороговизны может быть решена путем исследования и поиска более доступных компонентов для смесей.

Среди всех характеристик материала следует отметить, что самовосстанавливающийся бетон сочетает в себе лучшие качества как природных, так и искусственных материалов, что делает его уникальным в своем роде. Эти инновационные материалы не только улучшают устойчивость и долговечность конструкций, но и вносят вклад в умное строительство, которое в свою очередь стремится к более эффективному использованию ресурсов. Таким образом, самовосстанавливающийся бетон действительно представляет собой материал будущего, обладая явными преимуществами, которые с лихвой компенсируют имеющиеся недостатки. Данная технология может стать основой новой эпохи в строительстве, где синергия между природой и искусственными материалами обеспечит долговечность и устойчивость построек в условиях стремительно меняющегося мира.

Список литературы

1. Жукова Г. Г., Сайфулина А. И. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона // *Construction and Geotechnics*. 2020. Т. 11, № 4. С. 58—68. doi: 10.15593/2224-9826/2020.4.05.
2. Низина Т. А., Ковшов А. О. Современное состояние научных исследований в области самовосстанавливающихся бетонов // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 4. С. 35—54. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5562/view> (дата обращения: 20.04.2025).
3. Jacobsen S., Marchand J., Boisvert L. Effect of cracking and healing on chloride transport in OPC concrete // *Cement and Concrete Research*. 1996. № 26. P. 869—881.
4. Jacobsen S., Sellevold E. R. J. Self-healing of high strength concrete after deterioration by freeze/thaw // *Cement and Concrete Research*. 1995. № 26. P. 55—62.
5. Hearn N. Self-sealing, autogenous healing and continued hydration: what is the difference? // *Materials and Structures*. 1998. № 31. P. 563—567.
6. Ahn T. H., Kishi T. Crack self-healing behavior of cementitious composites incorporating various mineral admixtures // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2010. № 8. P. 171—186.
7. De Rooij M., Van Tittelboom K., de Belie N. et al. Self-Healing Phenomena in Cement-Based Materials: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 221-SHC // *Self-Healing Phenomena in Cement-Based Materials*. 2013. Vol. 11. doi: 10.1007/978-94-007-6624-2.
8. Ерофеев В. Т., Аль Дулайми Салман Д. С., Смирнов В. Ф. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2018. Т. 5, № 4. doi: 10.15862/07SATS418.
9. Seymour, L. M., Maragh J., Sabatini P. et al. Hot mixing: Mechanistic insights into the durability of ancient Roman concrete // *Science Advances*. 2023. № 9. doi: 10.1126/sciadv.add1602.
10. Kwong E., McCoy B., Lu T., Ramirez R. Why Ancient Roman Concrete Is So Strong and Self-Healing. URL: <https://www.npr.org/2023/02/22/1158783249/rome-wasnt-built-in-a-day-but-they-sure-had-strong-concrete> (дата обращения: 20.04.2025).

11. *Самовосстанавливающийся бетон*: Технология получения и свойства // DTF. 2024. URL: <https://dtf.ru/science/2691081-samovosstanavlivayushiisya-beton-tehnologiya-polucheniya-i-svoistva> (дата обращения: 28.03.2024).

12. *Голландия — Земля воды* // Zeelandbrug. URL: <https://www.hollandlandofwater.com/ru/zeelandbrug/> (дата обращения: 28.03.2024).

В. Ю. Сухопарова, Н. О. Копаница

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
(Томск, Россия)

**ВЛИЯНИЕ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИХ ДОБАВОК
НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ**

**THE EFFECT OF WATER-RETAINING ADDITIVES
ON THE PROPERTIES OF CEMENT SYSTEMS**

Аннотация. Цель работы заключается в сравнительной оценке влияния водоудерживающих добавок, таких как метилцеллюлоза модифицированная глиоксалем и эфир целлюлозы, на физико-технические характеристики цементных систем, включая улучшение свойств растворных смесей. Проведены исследования по изучению возможности применения тонкодисперсных компонентов, в качестве добавок в цементные системы. Представлены результаты исследований по влиянию добавки метилцеллюлозы модифицированной глиоксалем и эфира целлюлозы на свойства цементных систем. Метилцеллюлоза является водорастворимым полимером и способствует существенному улучшению технических характеристик растворных смесей, физико-механических показателей растворов, а также и конструкций на их основе. Выбор добавки обоснован анализом литературных источников. Установлено, что введение добавки повышает водоудерживающую способность смеси.

Abstract. The aim of the work is to compare the effect of water-retaining additives such as glyoxal-modified methylcellulose and cellulose ether on the physical and technical characteristics of cement systems, including improving the properties of solution mixtures. Studies have been conducted to study the possibility of using finely dispersed components as additives in cement systems. The results of studies on the effect of the addition of meth-

ylcellulose modified with glyoxal and cellulose ether on the properties of cement systems are presented. Methylcellulose is a water-soluble polymer and contributes to a significant improvement in the technical characteristics of mortar mixtures, physico-mechanical properties of solutions, as well as structures based on them. The choice of an additive is justified by the analysis of literary sources. It was found that the introduction of the additive increases the water retention capacity, increases the water demand and water retention capacity of the mixture.

Ключевые слова: вяжущее, цементный камень, метилцеллюлоза, глиоксаль, эфир целлюлозы, модифицирующие добавки

Keywords: binder, cement stone, methylcellulose, glyoxal, cellulose ether, modifying additives

Введение

На сегодняшний день во всех сферах нашей жизни на первый план выходит поиск новых, более современных, методов и технологий способных улучшить жизнь людей. В сфере строительства одним из таких методов является строительство при помощи аддитивных технологий. Аддитивные технологии (Additive Manufacturing — от слова аддитивность — прибавляемый) — это послойное наращивание и синтез объекта с помощью 3D-печати. Уникальность данной технологии заключается в том, что можно значительно сократить затраты при производстве. Несмотря на многие положительные качества 3D-печати, внедрение данной технологии в России не достигло значительного уровня.

Самые важные параметры бетона для 3D-принтера — это прочность, скорость застывания и набора прочности, пластичность. Свойства бетона регулируются составом смеси — количеством цемента и качества заполнителей, а также модифицирующими добавками [1].

Активное внедрение аддитивных технологий в области строительства ограничивается целым рядом проблем, одной из которых является разработка состава смеси для строительного

3D-принтера, так как многие составы находятся на стадии исследования. Применение классических цементных смесей для 3D-печати затруднительно, в виду того, что они не адаптированы к особенностям самой технологии, например, не обладают пластичностью, которая необходима для экструзии и не могут обеспечивать адгезионное взаимодействие между всеми слоями конструкции в ее затвердевшем состоянии. Для производства эффективных строительных конструкций и элементов с использованием аддитивных технологий необходимо учитывать требования по всем видам предельных состояний, с учетом достаточной трещиностойкости и долговечности при различных эксплуатационных режимах уже на этапе проектирования бетонных смесей. Поэтому подбор и изучение смесей является важной задачей, которая на данный момент времени затрудняет использование аддитивных технологий в строительной области [2].

Бетон является наиболее распространенным материалом в промышленном и гражданском строительстве. Он имеет множество разновидностей и применяется как конструкционный, отделочный и теплоизоляционный материал. Бетоны по показателям качества классифицируются по ряду признаков: назначению, по прочности, виду вяжущего, плотности, структуре, составу.

Одним из наиболее эффективных путей интенсификации производства, повышения качества, снижения себестоимости и материалоемкости железобетонных изделий и конструкций является применение химических добавок для бетонных смесей. В современной технологии бетона применяют различные виды модификаторов бетона, позволяющие целенаправленно регулировать структурообразование цементных композитов и совершенствовать технологию бетона на всех этапах изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций, при приготовлении и транспортировке бетонной смеси, ее формовании и твердении [3].

Водоудерживающие добавки являются необходимыми и актуальными для использования в строительных смесях, при-

меняемых в тонких слоях для штукатурных, кладочных и шпаклевочных работ, а также в аддитивных технологиях. Важность водоудерживающей способности обусловлена необходимостью обеспечения оптимальной гидратации цемента и набора прочности в таких конструкциях. В качестве эффективных водоудерживающих агентов широко применяются добавки на основе метилцеллюлозы, которые способствуют равномерному распределению воды в смеси и предотвращают ее преждевременную потерю.

Модификация строительных растворов производится водорастворимыми эфирами целлюлозы и релаксантами порошками латексов полимеров. Содержание полимера в строительном растворе колеблется в пределах 0,01...5 % от массы сухой смеси, соответственно назначению раствора [4]. Обеспечение необходимых физико-механических и технологических свойств раствора [3—17], водоудерживающей способности, удобоукладываемости, пластичности, высокой клеящей способности, времени корректировки, устойчивости раствора к сползанию происходит за счет модифицирующих добавок. Растворы, модифицированные добавками полимеров, в данный момент, нашли свое применение в довольно перспективных тонкослойных технологиях, отличающихся своими высокими эстетическими характеристиками [4].

Простые и сложные эфиры целлюлозы и их производные анионной и неионногенной природы с различной молекулярной массой, такие как метилцеллюлоза используется в качестве стабилизующей и водоудерживающей модификаторов [4].

Существует множество водоудерживающих видов добавок. Наиболее распространенными добавками полимеров в цементные бетоны и растворы являются водорастворимые смолы, латексы и поливинилацетат. Полимерные добавки-уплотнители: водорастворимые эпоксидные смолы ДЭГ-1, ТЭГ-1 и полиаминная смола С-89, которые, полимеризуясь в щелочной среде, повышают эластичность цементно-песчаной матрицы и улучшают деформативные свойства бетона.

Широкое применение в качестве полимерных синтетических добавок для сухих строительных смесей на цементном вяжущем находят редиспергируемые сополимерные порошки торговой марки Мовилит (Mowilith Pulver — производитель Clariant GmbH, Германия).

Данные добавки в основе своей импортные, либо дорогостоящие. Работа по модифицированию цементных систем с целью улучшения свойств и возможностью импортозамещения проводится на добавках с эфиром целлюлозы и метилцеллюлозай модифицированной глиоксалем.

Глиоксаль имеет свойство связывать компоненты добавок применяемых вместе с ним в прочный каркас и делает более эффективной работу этих веществ.

Развитие строительной индустрии требует постоянного поиска новых решений, направленных на повышение эффективности и экономичности производства. Одним из ключевых направлений является разработка строительных смесей с применением местных сырьевых ресурсов. Такая стратегия имеет ряд существенных преимуществ, включая снижение транспортных расходов, уменьшение экологической нагрузки и стимулирование локальной экономики.

Снизить стоимость стройматериалов возможно путем сокращения расходов на энергоносители, используемые в разнообразных технологических процессах в производстве строительных материалов. Этого можно достигнуть за счет применения комплексных химических модификаторов на основе отечественных добавок [18].

В рамках данного исследования была проведена работа по изучению возможностей применения разработанной комплексной добавки в цементных системах. Основная цель заключалась в оценке эффективности данной добавки, которая отличается от традиционной метилцеллюлозы наличием присадки глиоксала. Эта модификация направлена на улучшение характеристик цементной композиции, что делает данную работу актуальной и значимой для дальнейших исследований в области строительных материалов.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовались следующие материалы:

1. Вяжущее — портландцемент. ЦЕМ 0 42,5Б — портландцемент без вспомогательных компонентов и минеральных добавок типа ЦЕМ 0, класса прочности 42,5, быстротвердеющий; ГОСТ 31108-2020, ГОСТ 30515-2013.

Нормируемые физико-механические характеристики, химический и минеральный состав цемента приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Химико-минералогический состав цемента

Содержание оксидов, % по массе						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п. п. п.
20,46	4,29	3,69	63,63	1,94	1,77	2,44
Содержание минералов, % по массе						
C ₃ S	C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF	
69	11		7		13	

Таблица 2

Физико-механические характеристики портландцемента ЦЕМ 0 42,5Б

Наименование показателей	Единица измерения	Значение	Метод испытания
Тонкость помола (остаток на сите № 008)	%	3,2	ГОСТ 310.2-76
Истинная плотность	кг/м ³	3060	ГОСТ 310.2-76
Нормальная густота	%	29	ГОСТ 310.3-76
Начало схватывания	мин	180	ГОСТ 310.3-76
Конец схватывания	мин	263	

Окончание табл. 2

Наименование показателей	Единица измерения	Значение	Метод испытания
Предел прочности после 2 сут твердения — при сжатии	МПа	12,0	ГОСТ 310.4-81
Насыпная плотность	кг/м ³	1083	ГОСТ 9758-86
Удельная поверхность	м ² /кг	295	ГОСТ 310.2-76

2. Модифицирующие добавки — метилцеллюлоза с присадкой глиоксала и эфир целлюлозы.

В качестве модифицирующей добавки используется эфир целлюлозы Mecellose GMC 5220 — Средневязкий средне модифицированный этил целлюлозы. Характеристика представлена в таблице 3.

Таблица 3

Характеристика эфира целлюлозы

Характеристика	Значение
Вязкость 2 %-ного раствора по Брукфелдву, мПа · с	30 000—40 000
pH (2 %-ный раствор)	6,0—8,0

В качестве модифицирующей добавки используется метилцеллюлоза модифицированная глиоксалем МЦГ 300 и МЦГ 600. Характеристики представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Характеристика метилцеллюлозы модифицированной глиоксалем МЦГ 300

Параметр	Норма
Внешний вид	Мелкозернистый сыпучий материал от белого до бежевого цвета

Окончание табл. 4

Параметр	Норма
Содержание глиоксаля	3—5, % масс
Массовая доля воды	Не более 10 %
Степень замещения по карбоксиметильным группам	В пределах 60—75
pH 2 %-го водного раствора КМЦ при 20 °С	6,5—11
Массовая доля основного вещества в абсолютно сухом техническом продукте	Не менее 65
Степень полимеризации	Менее 450

Таблица 5

**Характеристика метилцеллюлозы модифицированной
глиоксалем МЦГ 600**

Параметр	Норма
Внешний вид	Мелкозернистый сыпучий материал от белого до бежевого цвета
Содержание глиоксаля	3—5, % масс
Массовая доля воды	Не более 10 %
Степень замещения по карбоксиметильным группам	В пределах 75—90
pH 2 %-го водного раствора КМЦ при 20°С	6,5—11
Массовая доля основного вещества в абсолютно сухом техническом продукте	Не менее 65
Степень полимеризации	600—700

С целью оценки влияния добавок на водоудерживающую способность смеси мы провели испытания. Смесь укладывали в металлическое кольцо вровень с краями, выравнивали ножом, протертым влажной тканью, взвешивали с погрешностью $\pm 0,1$ г и оставляли на 10 мин. По истечении 10 мин кольцо со смесью сняли вместе с марлей. Бумагу возвышали с погрешно-

стью $\pm 0,1$ г. Водоудерживающую способность смеси устанавливают по содержанию воды в пробе смеси после испытания (ГОСТ Р 58277-2018).

Исследуемые составы представлены в таблице 6.

Таблица 6

Составы исследуемых образцов

№ состава	Цемент, %	МЦГ 300, %	МЦГ 600, %	Эфир целлюлозы, %	Нормальная густота, %
К	100	—	—	—	30
1	100	0,5	—	—	39,7
2	100	—	0,5	—	41,7
3	100	—	—	0,5	37,5
4	100	—	0,1	—	34,3
5	100	0,1	—	—	33,3
6	100	—	—	0,1	34,3
7	100	—	—	0,3	34,5
8	100	—	0,3	—	37,5
9	100	0,3	—	—	37,1
10	100	—	0,07	—	33,9
11	100	0,07	—	—	32,8
12	100	—	—	0,07	33,0
13	100	0,05	—	—	33,0
14	100	—	0,05	—	33,5
15	100	—	—	0,05	32,3

При определении оптимального количества воды для всех составов нормальная густота подбиралась опытным путем.

В качестве добавки была использована добавка метилцеллюлозы, модифицированная глиоксалем, разной фракции МЦГ 300 и МЦГ 600.

Результаты

Из результатов, представленных в таблице 6, видно, что с введением метилцеллюлозы и эфира целлюлозы водопотребность цементного теста меняется у модифицированных составов по сравнению с контрольным образцом в зависимости от содержания добавки.

Исследование по водоудерживающей способности.

Результаты испытаний смеси на водоудерживающую способность представлены в таблице 7.

Таблица 7

Водоудерживающая способность смеси

№ состава	Водоудерживающая способность, % *
к	88,5
1	90,9 (+ 2,7)
2	87,1 (– 1,6)
3	98,9 (+ 11,8)
4	89,7 (+ 1,4)
5	87,7 (– 0,9)
6	94,4 (+ 6,7)
7	99,5 (+ 12,4)
8	88,5 (0)
9	85,3 (– 3,6)
10	85,4 (– 3,5)
11	83,7 (– 5,4)
12	92,7 (+ 4,7)
13	84,1 (– 4,9)
14	85,9 (– 2,9)
15	92,7 (+ 4,7)

Примечание: * в скобках указан процент изменения водоудерживающей способности по сравнению с контрольным составом.

Проанализировав полученные данные, можно увидеть, что введение в состав смеси эфира целлюлозы повышает водоудерживающую способность для 3 состава на 11,8 %, а для 7 состава на 12,4 % относительного контрольного, и является добавкой, максимально повышающей водоудерживающую способность. Составы с метилцеллюлозой модифицированной глиоксалем МЦГ 300 и МЦГ 600 повышают водоудерживающую способность в случае введения добавки МЦГ 300 с содержанием 0,5 % от массы цемента на 2,7 %. Добавка МЦГ 600 с содержанием 0,1 % от массы цемента повышает водоудерживающую способность на 1,4 %. Из таблицы 6 следует, что самый минимальный прирост нормальной густоты относительно контрольного у составов под номером 11 и 15, и составляет 7,3 и 7,6 %.

Заключение

Метилцеллюлоза модифицированная глиоксалем повышает водоудерживающую способность смеси на 2,7 % и эфир целлюлозы повышает водоудерживающую способность смеси на 12,4 %. Данные добавки способны существенно повысить водоудерживающую способность растворов, обеспечивая оптимальное распределение влаги и предотвращая ее преждевременную потерю. Это особенно важно для достижения высокой гидратации цемента и формирования стабильной структуры материала. В перспективе возможно применение метилцеллюлозы модифицированной глиоксалем и эфира целлюлозы совместно с другими модифицирующими добавками. Дальнейшее развитие направления связано с углубленным изучением механизмов воздействия этих добавок на структуру и поведение цементных композиций, а также поиском способов оптимизации состава для конкретных условий применения.

Список литературы

1. Самандасюк Г. В., Слесарев И. А., Кожен М. С. Аддитивные технологии в строительстве // GLOBUS. 2020. № 5 (51). С. 61—62.
2. Загороднюк Л. Х., Гридчин А. М., Лесовик В. С. Строительство и архитектура // Тенденции развития производства сухих строительных смесей в России. 2016. № 12. С. 6—14.

3. Якунина В. А., Кузнецов Д. В. Бетонные смеси для экструзии в отрасли аддитивных технологий в строительстве // Национальная ассоциация ученых. 2022. № 78. С. 56—60.

4. Майоров А. Г., Нурмагомедов Ш. А. Модифицирующие добавки для бетона: виды, применение // Актуальные исследования. 2022. № 50 (129), ч. 1. С. 63—70.

5. Оноприенко Н. Н., Сальникова О. Н. Повышение эффективности строительных растворов отечественного производства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2019. № 8. С. 22—29. doi: 10.34031/article_5d493d2bc70fd6.95554532.

6. Дегтев И. А., Донченко О. М., Тарасенко В. Н. Прочность и деформативность каменной кладки при силовом сжатии : монография. Белгород : Изд-во БГТУ, 2015. 174 с.

7. Жариков И. С., Лакетич А., Лакетич Н. Влияние качества бетонных работ на прочность бетона монолитных конструкций // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1, № 1. С. 51—58.

8. Оноприенко Н. Н., Калачук Т. Г. Перспективы развития инженерных изысканий для индивидуального жилищного строительства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 5. С. 11—15.

9. Дегтев И. А., Донченко О. М., Ежеченко Д. А. и др. Исследование прочности нормального сцепления стеновых материалов с раствором // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. № 1. С. 77—80.

10. Оноприенко Н. Н., Дегтев И. А., Рахимбаев Ш. М. Повышение прочности кирпичной кладки с использованием добавок водорастворимых полимеров // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 22—23.

11. Рахимбаев Ш. М., Дегтев И. А., Оноприенко Н. Н. Композиционные материалы с добавками водорастворимых полимеров // Строительные материалы. 2004. № 9. С. 15—16.

12. Оноприенко Н. Н., Дегтев И. А., Донченко О. М. Использование цементно-полимерных растворов для повышения эффективности каменной кладки // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.

13. Zhu M., Chung D. D. L. Improving brick-to- mortar bond strength by the addition of carbon fibers to the mortar // Cement and Concrete Research. 1997. Vol. 27, № 12. P. 1829—1839.

14. *Pascal S., Alliche A., Pilvin Ph.* Mechanical behaviour of polymer modified mortars // *Materials Science and Engineering*/ 2004. Vol. 380, № 1. P. 1—8.

15. *Maranhão F. L., Loh K., John V. M.* The influence of moisture on the deformability of cement-polymer adhesive mortar // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25, № 6. P. 2948—2954.

16. *Kopanitsa N. O., Demyanenko O. V., Kulikova A. A.* Effective poly-functional additive for composite materials based on cement // *Digital Technologies in Construction Engineering*. Vol. 2022. P. 125—131.

17. *Копаница Н. О., Демьяненко О. В., Куликова А. А. и др.* Композиционные строительные материалы на основе наномодифицированных цементных систем // *Нанотехнологии в строительстве*. 2023. Т. 15, № 5. С. 443—452.

18. *Демьянова В. С., Калашиников В. И.* Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов. М. : АСВ, 2001. 209 с.

19. *Власов В. А., Демьяненко О. В., Копаница Н. О. и др.* Разработка состава мелкозернистого бетона с комплексными полифункциональными добавками // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2023. № 1 (769). С. 24—29.

Ф. Абд Алвахед, Ю. Р. Кривобородов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет» (Москва, Россия)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУФА КАК ЗАПОЛНИТЕЛЯ
В СОСТАВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА**

**THE EFFECTIVENESS OF TUFF AS AGGREGATE IN HIGH-STRENGTH
LIGHTWEIGHT CONCRETE**

***Аннотация.** Настоящее исследование посвящено оценке эффективности применения туфа в качестве заполнителя для производства высокопрочного легкого бетона (ВПЛБ). Легкий бетон обладает рядом преимуществ: снижением массы конструкций, повышением сейсмостойкости, улучшением теплофизических характеристик и общей экономической эффективности строительных проектов. Представлен сравнительный анализ свойств бетона, изготовленного с использованием туфов из Армении и месторождения Козлинка-2 в Нальчике (Россия). Экспериментальные смеси были приготовлены и испытаны в соответствии с требованиями российских стандартов (ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 7473-2010). Результаты испытаний показали, что бетон на армянском туфе обладал более высокой прочностью на сжатие, достигнув 62,7 МПа через 28 сут, что примерно на 19,7 % превышает показатели бетона на туфе из Нальчика. Кроме того, бетон с армянским туфом имел меньшую плотность, соответствующую нормативным требованиям для легкого бетона, что обеспечивало улучшение теплофизических и механических свойств материала. Полученные данные подтверждают целесообразность использования вулканического туфа в качестве эффективного легкого заполнителя, рекомендуя армянский туф в качестве предпочтительного материала для производства высоко-*

© Абд Алвахед Ф., Кривобородов Ю. Р., 2025

качественного ВПЛБ, при этом туф из Нальчика остается приемлемым вариантом при наличии соответствующего технико-экономического обоснования.

Abstract. *This study evaluates the effectiveness of tuff as an aggregate for the production of high-strength lightweight concrete (HSLWC). Lightweight concrete offers several advantages, including reduced structural weight, enhanced seismic resistance, improved thermal properties, and overall economic efficiency of construction projects. A comparative analysis was conducted on concrete specimens produced using tuffs from Armenia and the Kozlinka-2 deposit in Nalchik (Russia). Experimental mixes were prepared and tested in accordance with Russian standards (GOST 10180-2012, GOST 7473-2010). The test results demonstrated that the concrete made with Armenian tuff exhibited higher compressive strength, reaching 62.7 MPa at 28 days, which is approximately 19.7 % greater than that of the concrete made with tuff from Nalchik. Additionally, the Armenian tuff concrete had a lower density that met the normative requirements for lightweight concrete, thereby enhancing both the thermal and mechanical properties of the material. The obtained data confirm the feasibility of using volcanic tuff as an effective lightweight aggregate, with Armenian tuff recommended as the preferred material for the production of high-quality HSLWC, while Nalchik tuff remains a viable alternative when supported by appropriate technical and economic justification.*

Ключевые слова: *туф, высокопрочный легкий бетон, прочность на сжатие, легкий заполнитель*

Keywords: *tuff, high-strength lightweight concrete, compressive strength, lightweight aggregate*

Введение

Современное развитие строительной отрасли направлено на создание конструктивных систем, сочетающих высокие механические характеристики, энергоэффективность и повышенную сейсмостойкость при одновременном снижении собственной массы сооружений. Достижение такого баланса

является ключевым фактором повышения эксплуатационных качеств и экономической эффективности зданий и инженерных объектов.

В этом контексте особо выделяется высокопрочный легкий бетон как перспективный строительный материал, способный удовлетворить комплекс современных требований. Данный тип бетона характеризуется сочетанием высокой прочности на сжатие (свыше 40 МПа) и объемной плотности менее 2000 кг/м³. Применение такого бетона позволяет снизить собственный вес конструкций на 30—40 % [1], что ведет к уменьшению нагрузок на фундаменты и улучшению поведения зданий в сейсмически активных районах. Кроме того, высокопрочный легкий бетон способствует улучшению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, что положительно сказывается на общей энергоэффективности здания. Снижение массы конструкций также обеспечивает уменьшение расхода материалов и затрат на транспортировку и укладку, что в совокупности повышает экономическую целесообразность строительных проектов без ущерба для прочности и долговечности сооружений [2].

Одним из ключевых факторов, влияющих на физико-механические свойства легкого бетона, является выбор заполнителя. В отличие от тяжелых заполнителей, таких как гранит и базальт, природные пористые материалы, например туф, способствуют снижению плотности бетонной смеси благодаря своей низкой объемной массе и высокой пористости [3].

Туф обладает хорошей совместимостью с цементной матрицей, что обеспечивает равномерное распределение нагрузки и надежное сцепление внутри структуры бетона. Дополнительным преимуществом является его экологическая безопасность, поскольку материал не требует энергоемкой термической обработки [4].

С точки зрения доступности, туф широко распространен в ряде стран, что делает его привлекательным для использования в строительстве. К числу таких стран относятся Армения, Турция, Италия, Греция, Россия, Мексика, США, Сирия и Иордания [5].

Учитывая существенное влияние типа заполнителя на эксплуатационные характеристики легкого бетона, настоящее исследование посвящено сравнительному анализу воздействия туфового заполнителя из двух различных месторождений — Армении и России (г. Нальчик, месторождение Козлинка-2) — на плотность и прочность при сжатии высокопрочного легкого бетона. Полученные результаты позволят дать объективную оценку техническим возможностям каждого вида туфа и обосновать выбор наиболее подходящего заполнителя для дальнейшего инженерного применения.

Материалы и методы

Достижение однородной и реологически стабильной консистенции смеси высокопрочного легкого бетона представляет собой одну из основных технологических задач при использовании пористых заполнителей. Согласно результатам исследований, склонность смеси к расслоению возрастает пропорционально увеличению разницы между средней плотностью зерен заполнителя и средней плотностью окружающей их растворной части. Для обеспечения стабильности смеси необходимо свести эту разницу к минимуму, что возможно тремя способами: за счет увеличения плотности заполнителя, снижения плотности растворной части или совмещения обоих подходов до достижения компромиссного уровня плотности [6].

В настоящем исследовании реализован третий подход, заключающийся в использовании пористого заполнителя как в составе растворной части (фракция 0—5 мм), так и в виде крупного заполнителя (фракция 5—10 мм), с целью улучшения плотностного баланса и снижения сегрегации частиц.

Для достижения требуемых характеристик высокопрочного легкого бетона состав смеси был тщательно подобран с учетом функциональной совместимости компонентов и их физико-механических свойств [7].

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5, а также модифицирующая добавка МБ10-50С, состоящая из 50 % микрокремнезема и 50 % золы-уноса.

В качестве заполнителей использованы следующие материалы: туфовый песок из Армении (фракция 0—5 мм, модуль крупности 2,31, плотность 1088 кг/м³); туфовый щебень из Армении (фракция 5—10 мм, плотность 1067 кг/м³); туфовый песок из Нальчика, Россия (фракция 0—5 мм, модуль крупности 2,75, плотность 1074 кг/м³); туфовый щебень из Нальчика, Россия (фракция 5—10 мм, плотность 1043 кг/м³) (табл.).

Состав бетонной смеси

Название смеси	Фактический состав бетонной смеси, кг/м³						Фактические характеристики бетонной смеси		
	Цемент	МБ 10—50С	Щебень 5—10	Песок 0—5	Вода	РК, см	γ, кг/м³	В/Ц	В/Т
Легкий бетон на туфе Козлинка-2 г. Нальчик	649	153	370	489	272	64	1933	0,42	0,34
Легкий бетон на Туф Армения	639	150	367	450	249	73	1855	0,39	0,32

Испытания физико-механических свойств высокопрочного легкого бетона проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 [8] и ГОСТ 12730.1-2020 [9] и включали следующие этапы: формование образцов, выдерживание, определение плотности и прочность на сжатие. Формование образцов осуществлялось в металлических формах: для проведения испытаний были изготовлены кубические образцы бетона размером 100 × 100 × 100 мм. В процессе формования применялась вибрация бетонной смеси с целью обеспечения ее однородности и удаления излишнего воздуха. Изготовленные образцы выдерживались в камере нормального твердения при температуре (20 ± Ф2) °С и относительной влажности не менее 95 % до достижения установленных сроков испытаний. После

завершения периода твердения плотность определялась в соответствии с ГОСТ 12730.1-2020 как масса образца, деленная на его объем.

Испытания на прочность при сжатии проводились на гидравлической пресс-машине на 7 и 28 сут согласно требованиям ГОСТ 10180-2012.

Для обеспечения достоверности результатов в каждой серии испытаний использовалось не менее трех образцов, а значение прочности определялось как среднее арифметическое полученных результатов.

Результаты

Анализ полученных результатов, представленных на рисунках (рис. 1, 2), показал, что использование туфов различного происхождения в качестве заполнителей позволяет получить высокопрочный легкий бетон, соответствующий требованиям стандарта ГОСТ 25820-2014 [10], с плотностью менее 2000 кг/м³.

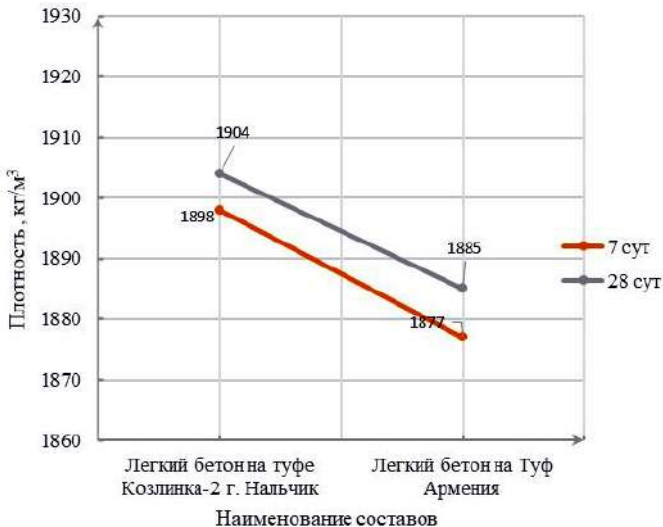


Рис. 1. График изменения плотности высокопрочного легкого бетона в зависимости от заполнителя

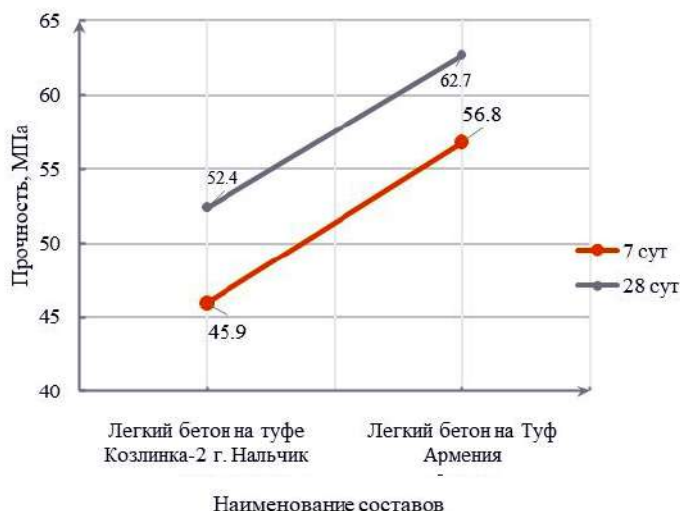


Рис. 2. График изменения прочности на сжатие высокопрочного легкого бетона в зависимости от заполнителя

Результаты испытаний на прочность при сжатии, выполненные по методике ГОСТ 10180-2012, показали явное преимущество туфа из Армении по сравнению с туфом из месторождения Козлинка-2 (г. Нальчик). Уже на 7-е сут бетон с туфом из Армении имел прочность 56,8 МПа, что превышает аналогичный показатель бетона на основе туфа из Нальчика (45,9 МПа) на 23,7 %. По достижении проектного возраста (28 сут) разница сохранилась, достигнув 62,7 МПа для бетона на туфе из Армении, что на 19,7 % выше, чем для бетона с туфом Нальчика (52,4 МПа).

Кроме того, бетон с туфом из Армении характеризовался более низкой плотностью по сравнению с бетоном на туфе из Нальчика, что соответствует рекомендациям ГОСТ 25820-2014 по плотности легких бетонов, обеспечивая дополнительное снижение массы конструкций и повышение их долговечности.

Заключение

Результаты проведенного исследования, выполненного в соответствии с требованиями российских стандартов (ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 25820-2014), подтвердили, что использование природных туфов различного происхождения в качестве заполнителя для высокопрочного легкого бетона является эффективным способом обеспечения необходимых физических и механических характеристик материала.

Туф армянского происхождения продемонстрировал превосходство по показателям прочности на сжатие и снижению плотности по сравнению с туфом из Нальчика, что связано с его более высокой пуццолановой активностью и оптимальной пористой структурой, способствующей развитию цементационных процессов.

Таким образом, выбор типа легкого заполнителя, в частности туфа, оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики легкого бетона, обеспечивая снижение плотности и повышение его прочностных и теплофизических свойств. По совокупности показателей туф из Армении рекомендуется рассматривать в качестве предпочтительного заполнителя для производства высококачественного высокопрочного легкого бетона, в то время как туф из Нальчика также может применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Список литературы

1. *Иноземцев А. В., Королев Е. В.* Высокопрочные легкие бетоны. СПб. : СПбГАСУ, 2022. 192 с.
2. *Болдов С. Е., Каретникова С. В.* Высокопрочные легкие бетоны, применение в строительстве : матер. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. Рязань, 2020. № 18. С. 213—216.
3. *Ковальченко О. В., Алфимова Н. И.* К вопросу о применении продуктов вулканической деятельности в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 6. С. 24—28.

4. Овсюков М. Ю., Сухов А. А., Хежев Т. А. Технология фибропенобетонов с применением отходов пиления вулканического туфа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 1. С. 107—113.

5. Муртазаев С. Ю., Саламанова М. Ш., Алиев С. А. и др. Горные породы вулканического происхождения как заполнители для получения легких бетонов // Научное обозрение. 2015, — № 7. С. 105—113.

6. Саркисов Д. А., Ляпидевская О. Б. Использование вулканического туфа в легких самоуплотняющихся бетонах : сб. матер. семинара молодых ученых XXII Междунар. науч. конф. 2019. № 22. С. 176—180.

7. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Введ. 2012-01-01. М. : Стандартинформ, 2018. 15 с.

8. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2018. 31 с.

9. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности. Введ. 2021-09-01. М. : Стандартинформ, 2021. 7 с.

10. ГОСТ 25820-2014. Бетоны легкие. Введ. 2015-07-01. М. : Стандартинформ, 2019. 18 с.

Аунг Хтет Паинг, Мьинт Тхет Наинг

Ю. Р. Кривобородов

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева» (Москва, Россия)

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ:
РАЗНОВИДНОСТИ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**

SPECIAL CEMENTS: TYPES, PROPERTIES AND APPLICATIONS

***Аннотация.** Исследованы процессы гидратации цементов на основе портландцемента с добавками двуводного гипса и сульфатированных клинкеров в воде и в морской воде. Установлено, что введение добавок двуводного гипса и сульфатированных клинкеров в состав цемента на основе портландцемента ускоряет образование этtringита и приводит к снижению нормальной плотности цемента, сокращению сроков схватывания, особенно для цементов с низкой удельной поверхностью, а также интенсифицирует процессы его твердения. При твердении в агрессивном растворе прочность цементов вначале увеличивается вследствие заполнения пор образующимися кристаллами этtringита и уплотнения цементного камня. Однако после заполнения свободного порового пространства продолжающие расти кристаллы этtringита начинают оказывать расклинивающее давление на стенки пор, что приводит к уменьшению прочности цементного камня. Вследствие образования более плотной структуры, препятствующей проникновению ионов SO_4^{2-} в цементный камень, коррозионная стойкость цементов на основе портландцемента с добавками двуводного гипса и сульфатированных клинкеров выше, чем у цементов на основе чистого портландцемента.*

© Хтет Паинг Аунг, Тхет Наинг Мьинт, Кривобородов Ю. Р., 2025

Abstract. *The hydration processes of Portland cement-based cements with additions of gypsum dihydrate and sulfated clinkers in water and sea-water have been studied. It has been established that the introduction of gypsum dihydrate and sulfated clinkers into the composition of Portland cement accelerates the formation of ettringite and leads to a decrease in the normal density of cement, a reduction in the setting time, especially for cements with a low specific surface area, and intensifies the processes of its hardening. When hardening in an aggressive solution, the strength of cements initially increases due to the filling of pores with ettringite crystals and compaction of the cement stone. However, after filling the free pore space, the ettringite crystals that continue to grow begin to exert a wedging pressure on the pore walls, which leads to a decrease in the strength of the cement stone. Due to the formation of a denser structure that prevents the penetration of SO_4^{2-} ions into the cement stone, the corrosion resistance of cements based on Portland cement with the addition of dihydrate gypsum and sulfated clinkers is higher than that of cements based on pure Portland cement.*

Ключевые слова: *портландцементный клинкер, сульфоалюмоферритный, сульфоферритный и сульфоалюминатный клинкера, гипс, пористость, прочность, водонепроницаемость*

Keywords: *Portland cement clinker, sulfoaluminoferrite and sulfoferrite, sulfoaluminate clinker, gypsum, porosity, strength, water resistance*

Введение

На современном этапе развития строительной индустрии одной из главнейших задач является обеспечение долговечности конструкций, которая может быть достигнута защитой строительных конструкций от коррозионного воздействия окружающей среды. Рост строительного производства требует постоянного наращивания выпуска, разработки и применения новых эффективных строительных материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами, повышенными эксплуатационными показателями и долговечностью [1—6]. В широком масштабе продолжаются по-

иски способов улучшения качества цемента и увеличение выпуска цемента при создании и внедрении малоотходных и безотходных технологий.

Наиболее перспективным решением для создания коррозионностойких бетонов, обеспечивающих долговечность строительных конструкций, является использование в их составах эффективных композиционных вяжущих материалов [7—10].

В России и других странах выпускаются сульфатостойкие цементы, которые используются при строительстве объектов, подверженных коррозионному воздействию минерализованных вод. Однако объемы их выпуска ограничены сырьевой базой. В Республике Союз Мьянма сульфатостойкие цементы не выпускаются и для строительства морских сооружений эти материалы приходится импортировать [11—15]. В связи с этим разработка составов композиционных цемента на основе портландцементных клинкеров ненормированного состава, обладающих повышенной коррозионной стойкостью, является весьма актуальным.

В настоящее время разработан сульфатостойкий портландцемент, которому предъявляются четкие требования относительно химико-минералогического состава, прежде всего ограничению содержания C_3A . Для повышения коррозионной стойкости цементного камня многими исследователями предлагается вводить в состав вяжущего активные минеральные добавки. Наиболее эффективные добавки, такие как микрокремнезем, метакраин, могут вводиться непосредственно в бетонную смесь, но в условиях цементного завода в связи с их физическим состоянием они являются нетехнологичными. Также во многих проектах строительных объектов рекомендуется использовать бездобавочный сульфатостойкий портландцемент, а минеральные добавки, как правило, снижают прочностные показатели вяжущего [15—18].

В последнее время для повышения технологичности введения добавок, а также для повышения прочности цементного камня предложены сульфатированные клинкера: сульфоалюминатный и сульфоалюмоферритный [19—21]. При гидратации их минералов образуется эттрингит, что является пред-

посылкой повышения сульфатостойкости цементного камня. В связи с этим, разработка коррозионностойких цементов с использованием рядовых портландцементных клинкеров в сочетании с сульфатированными клинкерами требует углубленного научного исследования с целью получения технологичного композиционного цемента оптимального минералогического состава, дисперсности, а также создание на его основе высокоэффективного материала, обеспечивающего коррозионную стойкость и долговечность строительных конструкций [22—25].

Цель работы — разработка составов цементов с повышенной коррозионной стойкостью на основе сульфотированных клинкеров и исследование их свойств.

Материалы и методы

В качестве вяжущих использовались цементы различных марок: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ОАО «Подольск-Цемент»); портландцементный клинкер для сульфатостойкого портландцемента (ОАО «Holcim»). Природный гипсовый камень Новомосковского месторождения. Модифицирующие добавки — сульфоалюмоферритный, сульфoferритный и сульфoалюминатный клинкера (ОАО «Подольск-Цемент»). Для определения физико-механических свойств материалов использовались стандартные методы и приемы, применяемые в исследовательской практике. Исследования фазового состава исходных компонентов и гидратированного цементного камня проводились на дифрактометре ДРОН-3М. Изучение фазовых переходов и превращений, происходящих в материале при его нагревании, проводили на дериватографе Q-1500 производства MOM (Венгрия). Исследования структуры цементного камня проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL 1610LV (JEOL, Япония; Oxford Instruments, Великобритания). Гранулометрический состав добавок определяли на лазерном микроанализаторе MASTERSIZER. Свойства затвердевших цементов были определены с использованием стандартных методов.

Таблица 1

Химико-минералогический состав исходных материалов

Наименование	Содержание оксидов (%)						
	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
ПЦК	1,1	22,1	5,2	4,9	65,4	1,2	0,3
САК	1,3	28,6	13,2	2,1	37,5	0,9	9,4
САФК	0,09	12,8	3,1	20,1	49,9	1,8	5,2
СФК	1,9	12,2	2,6	23,8	51,8	1,9	4,9
Гипс	23,1	2,4	0,5	0,3	32,2	2,6	38,9

Активные минеральные добавки содержат в аморфном состоянии оксиды кремния и/или оксиды алюминия, которые легко соединяются с оксидом или гидроксидом кальция с образованием в присутствии воды нерастворимых гидросиликатов и гидроалюминатов кальция различного состава.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы исследовались строительно-технические свойства композиционных цементов на основе портландцемента с добавками гипса и сульфатированных клинкеров; сульфоалюмоферритного, сульфоалюминатного сульфоферритного: нормальная густота, сроки схватывания и прочность при изгибе и сжатии образцов, твердевших в воде и в морской воде. Проведено исследование состава, морфологии кристаллогидратов, образующихся при твердении композиционных вяжущих. Химическим и рентгенофазовым анализами фракций цементов (менее 45 мкм, 45—80 мкм и более 80 мкм) установлено, что при совместном помоле портландцементного клинкера и сульфоалюминатного клинкера последний сосредотачивается в мелких фракциях цемента. Это приводит к быстрой гидратации частиц с образованием множества мелких кристаллов этtringита. Продукты гидратации представляют собой игольчатые кристаллы длиной 5—20 мкм и диаметром 0,5—1 мкм.

Результаты определения нормальной густоты и сроки схватывания цементов, измельченных до удельной поверхности

300 м²/кг, при различных соотношениях цементов, сульфатированных клинкеров и двухводного гипса CaSO₄ · 2H₂O представлены в таблице 2.

Таблица 2

Нормальная густота и сроки схватывания цементов

Состав цемента	S _{уд} — 300 м ² /кг	НГ, %	Сроки схватывания, мин	
			Начало	Конец
С-1 (95 % ПЦ + 5 % Гипс)	300	26,0	199	302
С-2 (86 % ПЦа + 7 % САФК + 7 % Гипс)	300	26,8	184	278
С-3 (86 % ПЦ + 7 % САК + 7 % Гипс)	300	26,9	164	245
С-4 (86 % ПЦ + 7 % СФК + 7 % Гипс)	300	27,2	191	289

Как видно из полученных результатов, в цемент добавок сульфатированных клинкеров и гипса приводит к небольшому повышению его водопотребности. Сроки схватывания цементов с добавками сульфатированных цементов несколько уменьшаются, цементы с добавкой САК имеют практически короче сроки схватывания, чем у остальных. Исследовались прочность при изгибе и сжатии цементов, хранившихся в воде и в морской воде.

Образцы на основе цемента с удельной поверхностью 300 м²/кг в течение 1 сут с момента затворения твердели в формах в воздушно-влажных условиях, затем в воде. По истечении 14 сут с момента затворения часть образцов продолжала твердеть в воде, а часть — помещалась в морской воде. Результаты определения прочности цементов с удельной поверхностью 300 м²/кг при изгибе и сжатии представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Прочность цемента с удельной поверхностью
300 м²/кг при изгибе**

Состав	S _{уд.} , м ² /кг	Прочность при изгибе, МПа, при твердении											
		В воде, сут								В агрессивном растворе, сут			
		1	2	7	28	90	180	360	28	90	180	360	360
C-1	300	3,2	5,8	7,8	11,6	16,7	21,5	23,7	10,2	8,9	6,6	6,3	
C-2	300	3,4	6,4	9,4	13,7	23,4	28,2	31,3	16,9	25,4	34,9	35,6	
C-3	300	3,9	7,1	9,8	14,2	22,9	27,8	29,1	15,8	24,6	32,6	32,4	
C-4	300	2,6	5,7	7,6	12,1	24,3	30,4	30,5	14,7	27,2	31,2	31,8	

Как видно из полученных результатов, цемент на основе портландцемента с добавками сульфатированных клинкеров и гипса твердеет в воде значительно возрастает, постепенно увеличивая свою прочность при изгибе до 360 сут.

При твердении в агрессивной среде скорость твердения цемента значительно возрастает, особенно при сжатии. Максимальные прочностные характеристики на основе сульфатированного клинкера наблюдаются при твердении 180 сут при хранении в агрессивном растворе.

Данное явление можно объяснить тем, что при хранении в агрессивном растворе в затвердевшем цементе быстро увеличивается содержание тригидросульфатоалюмината кальция — эттрингита $C_3A\hat{S}_3H_{32}$. Пока эттрингит заполняет поры затвердевшего цементного камня, общая пористость затвердевшего цемента уменьшается, а его прочность растет. Однако у бездобавочного портландцемента после заполнения всех пор образующийся эттрингит начинает создавать внутренние напряжения расширения в структуре цементного камня, что приводит к снижению его прочности.

Введение в состав портландцемента сульфатированных клинкеров и гипса приводит к заметному увеличению скорости его твердения в чистой воде, что связано, вероятно, с образованием дополнительного количества эттрингита уже на ранних этапах процесса гидратации за счет реакций между компонентами сульфатированных клинкеров и гипсом.

При хранении цементов на основе портландцемента сульфатированных клинкеров и гипса в агрессивном растворе также наблюдается тенденция к снижению прочности цементного камня при длительных сроках твердения, однако эта тенденция выражена не столь ярко, как для цемента на основе чистого портландцемента. В целом прочность цементов на основе портландцемента с добавками сульфатированных клинкеров и гипса при твердении в агрессивном растворе выше, чем у цемента на основе чистого портландцемента, что связано, вероятно, с уплотнением структуры твердеющего цемента и снижением скорости проникновения агрессивных ионов из агрессивного раствора вглубь цементного камня.

Установлено, что прочность цементного камня, твердевшего в агрессивном растворе существенно выше, чем при твердении в воде, что предопределяет перспективность использования цементов с добавками сульфатированных клинкеров для создания коррозионностойких бетонов. Повышение прочностных характеристик камня на основе композиционных цементов обеспечивается более плотной структурой, что подтверждается данными по определению общей пористости камня (табл. 4).

Для объяснения изменений прочности цементов на основе портландцемента с добавками сульфатированных клинкеров и гипса, твердевших в воде и в агрессивном растворе, исследовали общую пористость образцов. Результаты исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4

Пористость цементов с удельной поверхностью 300 м²/кг

Состав	S _{уд.} , м ² /кг	Общая пористость, %, при твердении											
		В воде, сут								В агрессивном растворе, сут			
		1	2	7	28	90	180	360	28	90	180	360	
C-1	300	32,8	28,6	15,7	9,6	6,3	5,8	5,6	11,3	14,4	18,1	22,8	
C-2		30,5	25,1	12,7	7,2	3,1	2,2	2,1	6,3	2,2	1,9	1,8	
C-3		27,7	25,9	13,3	7,5	3,9	2,6	2,3	7,1	2,6	2,3	1,6	
C-4		28,4	27,2	13,1	8,2	3,3	2,4	2,2	7,7	2,9	2,2	1,7	

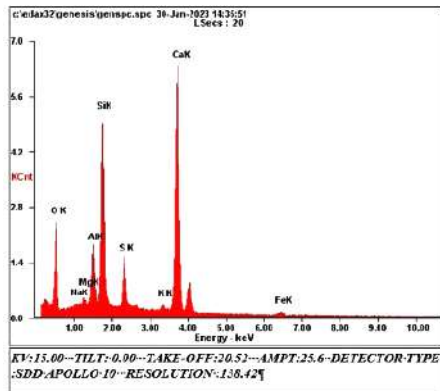
На основании изложенного в данном и в предыдущем разделах, можно предположить, что введение сульфатированных клинкеров и двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в состав портландцемента приводит к более быстрому образованию этtringита $\text{C}_3\text{A}\hat{\text{S}}_3\text{H}_{32}$ в цементном камне, вследствие чего пористость цементного камня уменьшается, а его прочность при изгибе и сжатии увеличивается. Хранение образцов в агрессивном растворе также приводит к более быстрому образованию этtringита, заполнению пор растущими кристаллами и, как следствие, к снижению пористости цементного камня. Однако, на основе бездобавочного портландцемента, после заполнения свободного объема пор, продолжающиеся образование и рост кристаллов этtringита вызывают внутренние напряжения в структуре материала, что приводит к некоторому увеличению его пористости и падению прочности.

Повышению коррозионной стойкости камня также обусловлено уменьшением пористости цементного камня, особенно резкое уменьшение наблюдается у цементов с оптимальной дозировкой 7 масс. % сульфоалюмоферритного клинкера и гипсового камня. Исследовали фазовый состав и микроструктуру образцов цементного камня на основе портландцемента с добавками сульфатированных клинкеров и двуводного гипса, твердевших в воде и в агрессивном растворе.

Установлено, что цементный камень на основе сульфатированных цементов, содержит в своем составе гидратные фазы, соответствующие гидроалюминатам и гидросиликатам кальция, портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и этtringит $\text{C}_3\text{A}\hat{\text{S}}_3\text{H}_{32}$ в образце отсутствует. При введении в состав портландцемента сульфатированных клинкеров и двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в составе кристаллогидратов цементного камня обнаруживается этtringит $\text{C}_3\text{A}\hat{\text{S}}_3\text{H}_{32}$.

Быстрое образование и стабильное существование этtringита $\text{C}_3\text{A}\hat{\text{S}}_3\text{H}_{32}$ в образцах на основе портландцемента с добавками сульфатированных клинкеров и гипса подтверждает гипотезу о том, что повышенная прочность и низкая пористость таких цементов при твердении в воде связаны именно с образованием в твердеющем цементе этtringита.

Определение объемного веса цементного камня, пористости и водопоглощения осуществляется путем гидростатического взвешивания. Эксперимент проводится на 2—3 образцах-балочках, конечный результат рассчитывается как среднее арифметическое между двумя значениями данных опытов. Изучением прочностных характеристик композиционных цементов с добавками сульфожелезистых (САФК и СФК) клинкеров установлено, что при их твердении в агрессивном растворе также наблюдается тенденция к повышению прочности камня (особенно при длительных сроках твердения). Это связано с уплотнением структуры твердеющего цемента и снижением скорости проникновения агрессивных ионов из агрессивного раствора вглубь цементного камня. Микрорентгеноспектральным анализом камня вблизи границы ($\sim 0,5$ мм) и в глубине (5—7 мм) образца показывает, что содержание элемента S меняется незначительно и оно существенно меньше в глубине образца по сравнению с образцом из бездобавочного портландцемента (рис. 1).



Element	Wt-%
Na2O	01.30
MgO	01.99
Al2O3	09.17
SiO2	31.77
SO3	10.30
K2O	00.68
CaO	44.37
Fe2O3	00.42

EDAX-ZAF QUANTIFICATION--STANDARDLESS-SEC-
TABLE--DEFAULT

a

б

Рис. 1. Рентгеновские спектры участков цементного камня (твердевшего в морской воде 90 сут) в глубине образца (5—7 мм):

a — чистый портландцемент;

б — с добавкой САК

На основании изложенного в данном и в предыдущем разделах, можно констатировать, что введение сульфатированных клинкеров и двуводного гипса в состав портландцемента приводит к более быстрому образованию $C_3AS_3H_{32}$ в цементном камне при твердении в нормальных условиях, вследствие пористость цементного камня уменьшается, а его прочность при изгибе и сжатии увеличивается. Хранение образцов в агрессивном растворе также приводит к более быстрому образованию этtringита, заполнению пор растущими кристаллами и, как следствие, к резкому снижению пористости цементного камня. Образование плотной структуры цементного камня, армированного игольчатыми кристаллами этtringита обеспечивает высокие коэффициенты стойкости композиционных цементов (рис. 2). Исследованиями, выполненными с применением физико-химических методов анализа, установлено, что в сульфатных средах портландцемент активно взаимодействует с сульфатами среды. Концентрация ионов SO_4^{2-} в растворе снижается, а содержание сульфатов в цементном камне непрерывно возрастает.

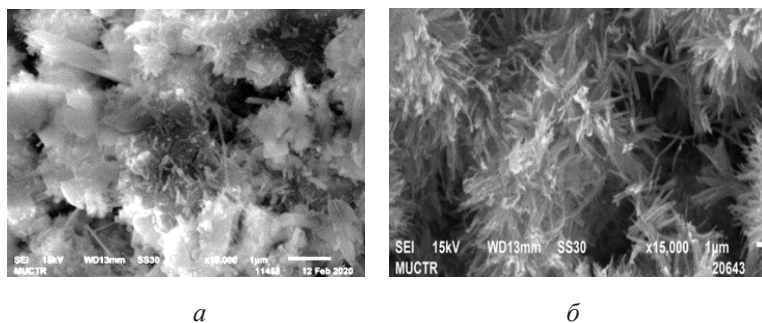


Рис. 2. Микроструктура цементного камня:
a — цемент с добавкой САФК; *б* — цемент с добавкой САК
 (РЭМ — $\times 15\,000$, 28 сут твердения в морской воде)

Исследования показали, что для портландцемента повышение прочности после 6 месяцев твердения сменяется резким снижением прочности, что свидетельствует о протекающих

процессах коррозии (рис. 2, а). Одной из отличительных черт процесса коррозии портландцемента под действием сульфатных сред является характер разрушения образцов. Установлено, что наиболее интенсивно выкристаллизовывание этtringита происходит в зоне образца, расположение которой зависит от состава среды и пористости камня. Расположение зоны кристаллизации этtringита на некоторой глубине можно объяснить тем, что в результате встречной диффузии сульфатов из раствора в образец и гидроксида кальция из образца создаются условия для кристаллизации этtringита. Дальнейшее развитие кристаллизации этtringита создает напряжение в структуре образца, что сопровождается искривлением и его разрушением.

Для цементов с добавками сульфатированных клинкеров (СФК, САФК, САК) взаимодействие сульфат-ионов с гидратными фазами характерно только в начальные сроки твердения образцов в агрессивных средах (28 сут), а в более длительное время реакция взаимодействия цементов с агрессивными средами затухает. Через 6 изменение концентрации сульфатных растворов практически не изменяется. Это связано с тем, что при гидратации сульфатированных минералов происходит активное связывание гидроксида кальция в гидроферриты и гидроалюмоферриты кальция, тем самым, предотвращается обменная реакция между гидроксидом кальция и щелочным сульфатом, а наличие в структуре клинкерных минералов сульфо-групп обеспечивает образование этtringитовых фаз уже на ранней стадии твердения цемента. Дальнейшее небольшое образование этtringитовых фаз при твердении в морской воде только уплотняет цементный камень, обеспечивая монотонный набор прочности.

Цементы с добавками других сульфатированных клинкеров (САК и СФК) также показывают интенсивный рост прочности в коррозионной среде и, соответственно, к 1 году твердения прочность их практически сохраняется в сравнении с образцами, твердевшими в нормальных условиях. Испытания бездобавочного портландцемента, приготовленного на основе клинкера нормированного состава (для сульфатостойкого цемента)

показали, что прочности композиционных цемента также превосходят значения для ССПЦ при твердении в морской воде (рис. 3).

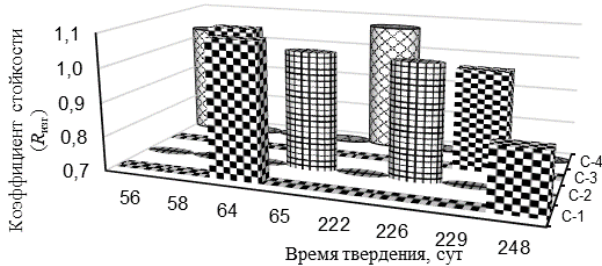


Рис. 3. Коэффициенты стойкости

Из представленных данных видно, что коэффициент стойкости для контрольного сульфатостойкого портландцемента к 8 месяцам твердения в морской воде составляет $\sim 0,6$; в то время как для композиционных цемента эта величина близка к единице. Образование плотной структуры цементного камня при использовании добавок сульфатированных клинкеров в составе цемента подтверждается результатами определения водонепроницаемости мелкозернистых бетонов (рис. 4). Установлено повышение водонепроницаемости на 2—3 марки.

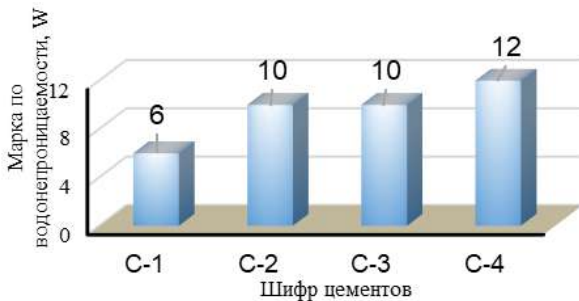


Рис. 4. Определение марки образцов ($R_{изг}$) на основе композиционных мелкозернистых бетонов по водонепроницаемости (W)

Заключение

На этой работе представлены результаты опытно-промышленных испытаний, проведенных на ОАО «ПодольскЦемент». Разработаны рекомендации по выпуску сульфатостойкого портландцемента на основе рядового клинкера с добавкой сульфалюмоферритного клинкера. Определена экономическая эффективность разработанного коррозионностойкого цемента в Республике Союз Мьянма взамен сульфатостойкого, импортируемого из других стран. Комплексом физико-химических методов доказана возможность получения композиционных цементов с повышенной коррозионной стойкостью на основе портландцементных клинкеров ненормированного состава. При высокой степени гидратации композиционного цемента образуется большое количество мелкокристаллических кристаллогидратов, устойчивых при длительном твердении в воде и при воздействии агрессивной среды.

Выводы

1. Гранулометрическим анализом установлено, что дисперсный состав композиционного цемента (КЦ), полученного совместным помолом портландцементного клинкера ненормированного состава и сульфатированных клинкеров, характеризуется бимодальным распределением частиц, фракции с размером 5—25 мкм и 35—65 мкм.

2. Определено, что оптимальные составы композиционного цемента, характеризующегося повышенными эксплуатационными характеристиками, содержат портландцементный клинкер ненормированного состава в количестве 80—90 %, сульфатированные клинкера — 5—10 % и гипса — 5—10 %.

3. Электронномикроскопическим анализом изучено формирование структуры цементного камня из композиционного цемента в сравнении с портландским. Установлено, что в композиционных составах образуется большое количество мелкокристаллических кристаллогидратов этtringита с размером $l = 5—10$ мкм, которые сохраняются при длительном твердении в воде и при воздействии агрессивной среды.

4. Установлено, что за счет формирования мелкокристаллических кристаллогидратов этtringита происходит формирование плотного, цементного камня с пониженной пористостью. Пористость композиционного цементного камня составляет через 28 сут 15—17 %, в сравнении с портландцементным камнем с пористостью 25—30 %, что в 1,5—2 раза ниже.

5. Физико-механические испытания композиционных цементов показали, что он характеризуется повышенной прочностью, прочность на сжатие составляет, что на 10—15 % выше портландского.

6. Формирование плотного, низкопористого цементного камня с повышенной прочностью при твердении разработанного композиционного цемента обуславливает высокую коррозионную стойкость. Коэффициент стойкости при хранении цементного камня в 5%-ном растворе Na_2SO_4 превышает единицу, при этом Кст у портландцемента составляет $\sim 0,6$. Определено, что при твердении в морской воде более 200 сут коэффициент стойкости КЦ близок к единице, это позволяет рекомендовать разработанные композиционные цементы для строительства портовых сооружений и объектов в прибрежной морской зоне.

7. Микроскопическим методом анализа в сочетании с микрорентгеноспектральным анализом установлено, что проникновение в глубь цементного камня из композиционного цемента сульфатных ионов составляет $\sim 0,5$ мм, у портландцементного — 3—5 мм (300—500 мкм) через 360 сут хранения в агрессивной среде. При этом химическим методом анализа определена кинетика поглощения ионов SO_4^{2-} из агрессивных растворов, показывающая интенсивное проникновение сульфат-ионов в портландцементный камень. Установлено, что проникновение сульфат-ионов в цементный камень композиционного цемента после 30 сут останавливается, то есть между цементным камнем и агрессивным раствором устанавливается химическое равновесие, что согласуется с ранее опубликованными данными другими учеными и не противоречит им.

8. Показано, что введение в состав мелкозернистого бетона разработанных композиционных вяжущих позволяет повысить марку бетона по водонепроницаемости с W6 до W12.

***Благодарности.** Исследование выполнено в Центре коллективного пользования им. Д. И. Менделеева при финансовой поддержке «Подольск цемент».*

Список литературы

1. *Осокин А., Кривобородов Ю. Р.* Сульфожелезистые цементы и их свойства // Труды Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева. 1985. Вып. 137. С. 23—29.
2. *Самченко С. В., Зорин Д. А.* Влияние дисперсности расширяющегося компонента на свойства цементов // Техника и технология силикатов. 2006. Т. 13, № 2. С. 84—87.
3. *Самченко С. В.* Электронно-микроскопические исследования цементного камня, подвергнутого сульфатной агрессии // Цемент и его применение. 2005. № 1. С. 10—11.
4. *Осокин А. П., Кривобородов Ю. Р., Потапова Е. Н.* Модифицированный портландцемент. М. : Стройиздат. 1993. С. 328.
5. *Самченко С. В.* Роль процессов при синтезе силикатных соединений в химии цемента // Техника и технология силикатов. 2018. Т. 25, № 1. С. 2—6.
6. *Кривобородов Ю. Р., Самченко С. В.* Цементные минералы и их твердые растворы минералов. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2020. С. 176.
7. *Зорин Д. А.* Применение расширяющихся цементов на основе сульфогеррита кальция в строительстве // Техника и технология силикатов. 2019. Т. 26, № 1. С. 21—25.
8. *Samchenko S. V., Zemskova O. V., Zorin D. A.* Corrosion-resistant cements based on sulfated clinkers // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. (SP 326). P. 234—237.
9. *Krivoborodov Y. R., Samchenko S. V., Kouznetsova T. V.* Chemistry composition and properties of sulfated cements // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. (SP 326). P. 154—161.

10. Кривобородов Ю. Р., Верецагин П. М., Самченко С. В. и др. Цементы с повышенной коррозионной стойкостью // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений : науч.-техн. сб. М. : ИРЦ Газпром. 2004. № 4 С. 8—16.
11. Кузнецова Т. В., Кривобородов Ю. Р. Состав, свойства и применение специальных цементов // Технологии бетонов. 2014. № 2. С. 8—11.
12. Харченко А. И., Харченко И. Я., Алексеев В. А. и др. Применение расширяющихся цементов для набрызгбетона в тоннельном строительстве // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, № 11 (134). С. 1438—1448.
13. Харченко А. И., Харченко И. Я., Алексеев В. А. и др. Применение расширяющихся цементов для фиброна брызгбетона при строительстве подземных сооружений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12, № 3 (102). С. 334—340.
14. Kharchenko I. Ya., Pustovgar A. P., Pashkevich S. A. Expanding cements hardening within the limited deformations conditions // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 7 (75). P. 161—170.
15. Кривобородов Ю. Р., Самченко С. В. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров. М. : ВНИИЭСМ. 1991. С. 55.
16. Самченко С. В. Сульфатированные алюмоферриты кальция и цементы на их основе. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2004. С. 120.
17. Кривобородов Ю. Р., Самченко С. В. Состав и свойства расширяющихся цементов : учеб. пособие. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2004. С. 54.
18. Samchenko S. V., Zorin D. A. Influence of fineness of expansive components on cement properties // Cement — Wapno — Beton. Krakow. 2008. Vol. XIII/LXXV, № 5. P. 254—257.
19. Зорин Д. А. Размалываемость расширяющих цементных добавок // Техника и технология силикатов. 2019. Т. 26, № 3. С. 90—93.
20. Самченко С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2005. С. 154.
21. Кузнецов Т. В., Самченко С. В. Микроскопия материалов цементного производства. М. : МИКХиС. 2007. С. 304.
22. Самченко С. В. Формирование и генезис структуры цементного камня : монография. М. : Московский государственный строительный университет, 2016. 284 с.

23. *Kharchenko I. Ya., Pustovgar A. P., Pashkevich S. A. et al.* Expanding cements hardening within the limited deformations conditions // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 7 (75). P. 161—170.

24. *Krivoborodov Y. R., Samchenko S. V.* Structure formation of cement paste at hydration of sulphoterrite cements // 12th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). Montreal : National Research Council Canada, 2007. P. 1006.

25. *Борисов И. Н., Гребенюк А. А.* Особенности гидратации и набора прочности сульфотерритных клинкеров и специальных цементов на их основе // Цемент и его применение. 2019. № 3. С. 88—91.

А. С. Мельникова, Р. М. Мамедова

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
МИКРОПУЗЫРЬКОВОЙ ВОДЫ ЗАТВЕРЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ БЕТОНОВ**

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF USING MICROBUBBLE MIXING WATER
IN CEMENT COMPOSITES FOR CONTROLLING
CONCRETE PROPERTIES**

***Аннотация.** Целью исследования является влияние микропузырьковой воды, полученной путем озонирования, на свойства бетона. Проведены лабораторные испытания пяти составов бетона: контрольного (водопроводная вода) и четырех модифицированных (озонированная вода с разной продолжительностью обработки). Оценены плотность, подвижность, нормальная густота свежей смеси, а также прочность на сжатие и изгиб на разных стадиях твердения. Используются стандартные методы. Основные результаты показали улучшение удобоукладываемости, увеличение подвижности, ускорение набора прочности. Выводы: применение микропузырьковой воды эффективно для управления свойствами бетона, особенно для раннего набора прочности и улучшения технологических характеристик смеси.*

***Abstract.** The aim of the study is the effect of microbubble water obtained by ozonation on the properties of concrete. Laboratory tests of five concrete compositions were carried out: control (tap water) and four modified (ozonated water with different treatment duration). The density, mobility, and normal density of the fresh mixture, as well as compressive and flexural strength at different stages of hardening, were evaluated. Stan-*

andard methods were used. The main results showed improved workability, increased mobility, and accelerated strength gain. Conclusions: the use of microbubble water is effective for controlling the properties of concrete, especially for early strength gain and improvement of the technological characteristics of the mixture.

Ключевые слова: микропузырьковая вода, озонирование, бетон, прочность

Keywords: microbubble water, ozonation, concrete, strength

Введение

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к разработке бетонов, обладающих улучшенными механическими и физическими свойствами. Современные требования к качеству бетонных смесей стимулируют поиск новых методов модификации их свойств. Использование модифицированных вод затворения в цементных композициях — перспективное направление в строительных технологиях, направленное на улучшение эксплуатационных характеристик бетонов.

Потенциальным направлением является применение микропузырьковой воды [1—5], получаемой путем озонирования. Данное исследование направлено на изучение влияния активированной воды на основные свойства бетона. Исследуемая технология позволяет улучшить реологические свойства бетонной смеси [1—5] и повысить прочностные характеристики бетона [1—5] без изменения его традиционного состава.

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния озонированной воды на:

- реологические свойства бетонной смеси (плотность, удобоукладываемость);
- прочностные характеристики (прочность на сжатие и изгиб);
- динамику набора прочности в различные сроки твердения (1, 7, 28 и 56 сут).

Материалы и методы

Исследование проводилось на образцах размером $40 \times 40 \times 160$ мм [6], приготовленных из пяти растворов с различным составом. В качестве исходного материала используется стандартный цементный раствор [7], который приготавливается путем смешивания следующих компонентов

- портландцемент ПЦ-500;
- кварцевый песок (фракция 0—2 мм);
- вода.

Для приготовления одного замеса цементного раствора [8], необходимого для изготовления трех образцов-балочек, взвешивается 2000 г цемента, 5000 г песка массой 1350 г и отмеряется или взвешивается 1000 г воды (1 л). Для обеспечения точности дозирования все компоненты взвешиваются с погрешностью не более $\pm 1\%$.

Все исследуемые составы отличались между собой только водой, остальные компоненты оставались неизменными. Базовый состав 0 или контрольный был замешан на водопроводной воде без какой-либо ее модификации. Первый и второй составы были приготовлены на деионизированной озонированной воде, растворы отличались продолжительностью насыщения воды озоном (состав 1 — 15 мин, состав 2 — 30 мин). Третий и четвертый составы замешивались на водопроводной озонированной воде, отличие было в продолжительности насыщения жидкости микропузырьками (состав 3 — 15 мин, состав 4 — 30 мин).

Модифицированная вода была получена с помощью генератора озона VOSOCO AZ-1G-G, который имеет производительность 1000 мг озона в час.

При проведении исследований реологических свойств цементных смесей, включающих определение таких важных характеристик как плотность, подвижность (удобоукладываемость) [1—5], нормальная густота были применены следующие методы:

- объемно-весовой метод [9] (плотность);
- метод с использованием встряхивающего столика [9] (подвижность / удобоукладываемость);

— метод с использованием прибора Вика [10] (нормальная густота).

В таблице 1 представлены значения реологических свойств для каждого исследуемого состава.

Таблица 1

Реологические свойства исследуемых составов

Состав	Плотность, кг/м ³	Подвижность, см	Густота, мм
№ 0 (Б)	2191	11,8	5
№ 1	2229	12,6	5
№ 2	2145	11,3	5,5
№ 3	2180	10,8	5
№ 4	2187	15,35	1,7

Определение прочности на сжатие и изгиб проводилось в лаборатории с применением машины для испытаний на сжатие и изгиб TONIPRAX. Испытания проводились в соответствии с нормативными документами [7] и инструкцией по эксплуатации прибора. После измерения усилий и получения результатов испытательной машины был произведен расчет прочностей.

Прочность при изгибе $R_{\text{изг}}$, МПа, отдельного образца-балочки вычисляют по формуле [7]

$$R_{\text{изг}} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b^3}, \quad (1)$$

где F — разрушающая нагрузка, Н; b — размер стороны квадратного сечения образца-балочки, мм; l — расстояние между осями опор, мм.

Окончательное значение прочности при изгибе рассчитывается путем усреднения данных трех образцов, с последующим округлением до 0,1 МПа.

В таблице 2 представлены значения прочности на изгиб для каждого исследуемого состава.

Таблица 2

Прочность на изгиб

Показатель	Сутки	Состав				
		Б(0)	1	2	3	4
Прочность на изгиб $R_{изг}$, МПа	1	1,7	2,7	2,6	3,1	3,1
	7	6,4	6,7	6,0	6,8	6,6
	28	8,3	7,0	7,2	6,6	8,2
	56	8,3	8,4	7,6	6,9	7,4

Прочность на сжатие R , МПа, отдельной половинки образца-балочки вычисляют формуле [7]

$$R_{сж} = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

где F — разрушающая нагрузка, Н; S — площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, мм².

Окончательное значение прочности на сжатие устанавливается путем вычисления среднеарифметического показателя, полученного в результате испытаний шести половинок подготовленных образцов-балочек. Полученный результат подлежит округлению с точностью до одной десятой мегапаскаля (0,1 МПа).

В таблице 3 представлены значения прочности на сжатие для каждого исследуемого состава.

Таблица 3

Прочность на сжатие

Показатель	Сутки	Состав				
		Б(0)	1	2	3	4
Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	1	8,7	17,0	14,7	20,4	22,0
	7	50,5	51,0	50,1	62,6	65,8
	28	74,9	66,7	66,8	75,4	78,9
	56	82,3	76,7	77,6	77,2	84,3

Результаты

В ходе исследования были выявлены изменения, как в реологических характеристиках, так и в прочностных показателях бетона.

При рассмотрении реологических свойств отмечается улучшение удобоукладываемости [1—5] бетонной смеси. В частности, наблюдается увеличение подвижности: если в контрольном образце расплыв конуса составлял 11,8 см, то в составах с озонированной водой этот показатель возрастал до 12,6 см (состав 1) и даже до 15,35 см (состав 4). Одновременно фиксируется снижение густоты смеси, что существенно облегчает процесс ее укладки. Также обращает на себя внимание некоторое уменьшение плотности отдельных составов — например, у состава 2 плотность составила 2145 кг/м³ против 2191 кг/м³ у контрольного образца, что может объясняться изменениями в структуре цементного теста под воздействием озона.

Анализируя прочностные характеристики, прежде всего отмечается выраженное ускорение набора прочности [1—5] в ранние сроки твердения. Уже через сутки после затворения состав 1 с 15-минутным озонированием воды демонстрирует прочность на сжатие 17,0 МПа, что в 1,95 раза превышает показатель контрольного образца (8,7 МПа). Через 7 сут разница остается существенной: состав 3 достигает 62,6 МПа при 50,5 МПа у контрольного образца. При этом в более поздние сроки (28—56 сут) максимальные значения прочности фиксируются у состава 4 с 30-минутным озонированием — 84,3 МПа через 56 сут, хотя некоторые составы показывают незначительное снижение прочности на 28-е сут по сравнению с контрольным образцом, что требует дополнительного изучения.

Исследуя прочность на изгиб, отмечают резкий рост показателей в первые сутки: состав 3 достигает 3,1 МПа против 1,7 МПа у контрольного образца. Однако в долгосрочной перспективе (56 сут) эта разница становится менее выраженной: составы 1 и 4 показывают 8,4 МПа и 7,4 МПа соответственно при 8,3 МПа у контрольного образца.

Заключение

Исследование показало положительное влияние озона на цементный раствор, как и в уже проведенных подобных работах [1—5], даже при применении бытового генератора озона.

Озонирование воды представляет собой перспективный метод модификации бетонных смесей, позволяющий существенно ускорить процесс твердения и улучшить прочностные показатели без изменения традиционного состава смеси. Однако для широкого внедрения этой технологии требуется дальнейшая работа по оптимизации режимов обработки и более глубокому изучению долгосрочных эффектов.

Следует продолжить исследования влияния озона на морозостойкость бетона, коррозионную стойкость арматуры, поведение бетона в реальных эксплуатационных условиях, долговечность бетонных и железобетонных конструкций и экономическую эффективность технологии в целом.

Список литературы

1. *Ki, W.-K., Kim W.-H., Hong G. et al.* Effect of Hydrogen Nanobubbles on the Mechanical Strength and Watertightness of Cement Mixtures // *Materials*. 2021. Vol. 14, № 8. P. 1823. doi: 10.3390/ma14081823.
2. *Grzegorzczak-Frańczak M., Barnat-Hunek D., Andrzejuk W. et al.* Physical Properties and Durability of Lime-Cement Mortars Prepared with Water Containing Micro-Nano Bubbles of Various Gases // *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 1902. doi: 10.3390/ma14081902.
3. *Arefi A., Saghravani S. F., Naeeni R. M.* Mechanical behavior of concrete, made with micro-nano air bubbles // *Civil Engineering Infrastructures Journal*. 2016. Vol. 49, № 1. P. 139—147. doi: 10.7508/cej.2016.01.010.
4. *Khoshroo M., Javid A. Akbar Shirzadi, Katebi A.* Effects of micro-nano bubble water and binary mineral admixtures on the mechanical and durability properties of concrete // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 164. P. 371m385. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.201.
5. *Kim Y. H., Park Y., Bae S. et al* Compressive strength evaluation of ordinary Portland cement mortar blended with hydrogen nano-bubble water and grapheme // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2020. Vol. 20, № 1. P. 647—652. doi: 10.1166/jnn.2020.17267.

6. *ГОСТ 22685-89*. Формы для изготовления бетонных образцов. Технические условия. Введ. 1990-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1989. 2 с.

7. *ГОСТ 30744-2001*. Методы испытаний цементов с использованием полифракционного песка. Введ. 2002-07-01.М. : Стандартиформ, 2001. 27 с.

8. *ГОСТ 27006-2019*. Бетоны. Правила подбора состава. Введ. 2020-07-01. М. : Стандартиформ, 2019. 24 с.

9. *ГОСТ 10181-2014*. Смеси бетонные. Методы испытаний. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартиформ, 2015. 56 с.

10. *ГОСТ 310.3-76*. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. Введ. 1977-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1976. 10 с.

Д. О. Смирнов, И. А. Христофорова

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(Владимир, Россия)

**ПВХ-КОМПОЗИТЫ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ЯИЧНОЙ СКОРЛУПЫ**

PVC COMPOSITES USING EGGSHELL FILLER

Аннотация. Рассмотрено применение отходов скорлупы яиц, как бионаполнителя для улучшения свойств ПВХ-композиций. Применение яичной скорлупы улучшает физико-механические показатели по сравнению с ненаполненным композитом. Оболочка яиц в измельченном виде при смешивании с ПВХ на микроскопическом уровне открывает широкий диапазон свойств, ранее не изученных и не открытых. Такой материал способствует его широкому применению во многих отраслях.

Abstract. The use of eggshell waste as a bio-filler to improve the properties of PVC compositions is considered. The use of eggshells improves the physical and mechanical properties compared to an unfilled composite. Egg shells in crushed form, when mixed with PVC at the microscopic level, reveal a wide range of properties that have not been studied or discovered before. This material contributes to its widespread use in many industries.

Ключевые слова: ПВХ, композиты, яичная скорлупа, реология, термостабильность

Keywords: PVC, composites, eggshell, rheology, thermal stability

© Смирнов Д. О., Христофорова И. А., 2025

Введение

Потребность к продуктам питания приводит к все большому количеству появляющейся яичной скорлупы. Чтобы снизить стоимость изделия и повысить характеристики, разработан способ добавления недорогих наполнителей. Широко используются неорганические наполнители, а именно: минеральный известняк или карбонат кальция. Также сильным спросом пользуются отходы биоматериалов. Среди них выделяются яичная скорлупа, раковины из морей (ракообразные, мидии, гребешки и др.). Они могут стать хорошим аналогом известняку. Отходы мела (или карбоната кальция) используются как добавки в корма для животных, для восстановления почв и др. Но значительная часть минеральных отходов (про которые описано выше) выбрасывается на полигоны, и не находят дальнейшего применения. При деструкции этих веществ в окружающую среду выделяется большое количество сероводорода, аминов с сильным запахом, а также аммиак [1].

Возникает вопрос вторичного применения данного вида отходов. Потребность во вторичной переработке яичной скорлупы находится в стадии разработки. В перспективе на будущее крупные заводы пластиков могут начать проявлять интерес к применению яичной скорлупы как наполнителя в композитах. Во многом все будет зависеть от цены данного отхода. Но учитывая его дешевизну, считается очень прогрессивным такой вид отхода для вторичного применения.

В статье осуществлена идея систематизировать большой пакет исследований в этой области. Также стоит задача выделить проблемы в теоретических знаниях о термопластах и других композиционных материала, которые имеют в составе тальк и карбонат кальция (мел) [2].

Материалы и методы

Яичная скорлупа представляет собой наружный слой яйца курицы. По цвету она, как правило, белая или коричневая. Яйцо по своему составу состоит на 60 % из белка, из желтка на 30 %, на скорлупу приходится 10—11 %. По химическому составу скорлупа состоит из карбоната кальция на 95 %, на другие ор-

ганические вещества приходится 5 %. Установлено в результате исследований, что цвет скорлупы и количество мела в ее составе не взаимосвязаны. Для крупного производства композитов на основе такого наполнителя потребуется не малое количество яичной скорлупы [3]. Домашние хозяйства не станут первоочередными поставщиками такого вида сырья, но прирост по такому сырью смогут дать заводы по переработке яиц. В процессе переработки происходит механическое отделение жидкого яйца от скорлупы [4].

Поливинилхлорид (ПВХ) представляет из себя порошок без цвета и запаха. Данный полимер обладает стойкостью к действию щелочей, минеральных масел и кислот. ПВХ не поддерживает горения на воздухе. Установлено, что ПВХ был впервые получен в 1835 г. ученым Анри Виктором Реньо. Широкую известность полимер приобрел после модернизации его эластичности ученым Уалдо Лонсбери Семоном в 1926 г. ПВХ в связи с своими хорошими эксплуатационными свойствами, возможности модернизации и по причине конкурентоспособной цены становится полимерным материалом с расширенной областью применения. Например, ПВХ нашло широкое применение в строительстве, где важна надежность и прочность конструкций. В современной медицине ПВХ также играет не малую роль, так как там важна биосовместимость. Более твердые виды этого композита используются для производства водопроводных труб, профилей для мебели, окон, а также для напольных покрытий. Более эластичные разновидности ПВХ (имеющие в своей матрице различные количества пластификатора) могут применяться для производства пленок, изоляции кабелей, кровельных покрытий, упаковочных пленок [5].

Также широко развито добавление в матрицу с ПВХ наполнителей минерального происхождения, таких как диоксид кремния, глинистые минералы, тальк, доломит измельченный и др. Практика применения различных наполнителей в матрице композита приводит к получению широкого спектра материалов с необходимыми свойствами. Основная часть производства ПВХ сосредоточена в Азии. Большую роль в производстве этого композита берет на себя Китай. Промышленность к КНР имеет высокую потребность в ПВХ-композитах. Следом за Китаем по

производству ПВХ идут американские страны — США и Канада, а также Россия. Наряду с преимуществами ПВХ имеет свои недостатки. Вследствие длительного попадания солнечных лучей на полимер, может происходить фотодеструкция. Из-за данной проблемы изделие начинает терять прочность и эластичность. Чтобы предостеречься от этого явления, в матрицу ПВХ вводят светопоглощающие красители [6].

Пластификаторы — вещества, которые вводятся в матрицу полимерных материалов для увеличения пластичности материала при эксплуатации и дальнейшей переработки. Использование пластификатора помогает уменьшить температурный режим переработки композиций. Пластификатор сам по себе также способствует увеличению показателя морозостойкости и термостойкости полимеров [7].

Диоктилфталат — является одним из самых востребованных пластификаторов. По свойствам схож со сложными эфирами. Диоктилфталат представляет из себя маслянистую жидкость. При воспламенении пластификатор нужно тушить пеной. Важным аспектом при работе с этим веществом является соблюдение норм противопожарной безопасности. Регламентировано, что диоктилфталат должен храниться в герметичной таре, как правило, в пластиковых бочках или стальных емкостях. Данный пластификатор причислен ко 2-му классу опасности, поэтому его перевозят только ж/д или автотранспортом. Установлено, что срок хранения диоктилфталата составляет полгода, но при соблюдении необходимых условий. Не менее важной способностью диоктилфталата является жидкостность, что обозначает способность пластификатора впитываться в композит. Таким образом, после смешивания в бункере на полимере не должно быть остатков пластификатора. Величина жидкостности является величиной зависимой от скорости поглощения пластификатора. Однако, как и во всех процессах, должна присутствовать «золотая середина».

В первую очередь, чтобы произвести наполнитель из яичной скорлупы, необходимо осуществить отделение самой скорлупы от белковой оболочки за счет отделения в воде и промывания заранее измельченной скорлупы. Для приготовления матрицы использовался порошок ПВХ и диоктилфталат (ДОФ). Полу-

ченная смесь смешивалась с наполнителем и отпрессовывалась. Далее полученный образец помещался на термообработку для дальнейшего получения образца композита [8].

Возможно осуществление измерения *термостабильности* полученного образца на приборе термического анализа. Данное оборудование представляет собой машину из 2-х приборов: прибор дифференциальной сканирующей калориметрии и прибор термогравиметрического анализа. Точность измерения температур у прибора составляет 50—1000 °С.

Также возможно осуществить измерение *показателя текущей расплава* (ПТР). Измерение было осуществлено способом капиллярной вискозиметрии. ПТР — это есть масса композиции на выходе из аппарата, вытекающей из капилляра прибора при заданной температуре и давлении за 10-минутный интервал времени [9].

Результаты

Принимая во внимание проведенные исследования над полученным композитом, установлено, что введение бионаполнителей из яичной скорлупы может широко использоваться во всех композитах для увеличения эксплуатационных свойств. В ходе проведения опыта яичная скорлупа использовалась в измельченном состоянии, что способствовало увеличению прочности наполненного полимера. В следствие этого можно полагать, что внедрение минеральных наполнителей в матрицу полимеров оказывает положительное влияние на термические свойства получаемых композитов и проявляют защитную функцию от воздействия большой температуры.

Также установлено, что внедрение минеральных наполнителей (в нашем случае яичной скорлупы) способствует увеличению температур, при которой происходит термодеструкция полимера. Этот показатель является ключевым в переработке ПВХ, так как ранняя деструкция при нагревании с выделением хлора ограничивает возможности переработки ПВХ. Не мало важным показателем любого композита является его ПТР. Введение яичной скорлупы в матрицу как раз повышает данное реологическое свойство, так как увеличивается вязкость раство-

ра. Установлено, что увеличение текучести раствора напрямую связано с возрастающей температурой переработки. Резюмируя, можно утверждать, что использование измельченной яичной скорлупы в смеси с ПВХ способствует улучшению реологических и термических характеристик композита [10].

Заключение

Получена модернизированная ПВХ-композиция на основе яичной скорлупы с применением пластификатора диоктилфталата. Осуществлено исследование термоаналитических и реологических свойств материала. Первостепенными преимуществами такого материала являются увеличенные термостабильность, а также текучесть расплава полимера. Данный материал привлекает внимание промышленности и исследователей.

Композиты, наполненные яичной скорлупой, имеют ряд преимуществ над незаполненными полимерами и поэтому открывают высокий спектр их применения. Будущие исследования связаны с доработкой композитов из минеральных наполнителей, чтобы они могли составлять конкуренцию полимерам другого происхождения. В настоящее время переработка яичной скорлупы не налажена на заводах. Но серьезные инвестиции в оборудование, исследования, возможно, дадут серьезный скачок к рыночному спросу на этот материал.

Список литературы

1. *Отходы яичной скорлупы* // MDPI. 2020. URL: <https://www.mdpi.com/2504-477X/4/2/70> (дата обращения: 27.03.2025).
2. *Murugan S., Munusamy Y., Ismail H. Effects of chicken eggshell filler size on the processing, mechanical and thermal properties of PVC matrix composite* // College Sidekick. 2017. Vol. 46. P. 42—51. URL: <https://www.collegesidekick.com/study-docs/20070180> (дата обращения: 27.03.2025).
3. *Скорлупа от яиц* // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Скорлупа_яиц (дата обращения: 28.03.2025).
4. *Польза от яичной скорлупы* // Оригитея. URL: <https://origitea.ru/news/v-chem-polza-tolchenoy-yaichnoy-skorlupy-usvaivaetsya-li-kalciy-iz-poroshka-skorlupy-kurinogo> (дата обращения: 28.03.2025).

5. *Поливинилхлорид* // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Поливинилхлорид> (дата обращения: 28.03.2025).
6. *Андреева В. К.* Мировой рынок ПВХ // Полимерные материалы. 2023. URL: <https://polymerbranch.com/articles/mirovoj-rynok-polivinilhlorida/> (дата обращения: 29.03.2025).
7. *Пластификаторы* // Википедия. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Plasticizer> (дата обращения: 29.03.2025).
8. *Пластификатор* диоктилфталат // ВитаХим. URL: <https://dioktil-ftalat.ru/?ysclid=m8rwnfcmxa918060911> (дата обращения: 30.03.2025).
9. *Викарева И. Н.* Формирование полимерных материалов повышенной термостабильности // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Химия. 2024. Т. 16, № 2. С. 136—147.
10. *Skórczewska K., Lewandowski K., Wilczewski S. et al.* Utilization of Ground Eggshell as a Biofiller of Plasticized PVC-Based Materials Fabricated Using Melt Blending // MDPI. 2025. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/4/434> (дата обращения: 30.03.2025).

А. А. Провоторов, Е. В. Тарарушкин

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»
(Москва, Россия)

**ВЫЯВЛЕНИЕ Р-ПРИМЕСЕЙ
В ФОСФОГИПСЕ МЕТОДАМИ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**PHYSICOCHEMICAL STUDIES OF PHOSPHOGYPSUM
FOR THE IDENTIFICATION OF P-IMPURITIES**

***Аннотация.** Применение фосфогипса при производстве строительных материалов и изделий является перспективным направлением по причинам утилизации многотоннажных отходов химической промышленности и дешевизны минерального вяжущего. Однако наличие примесей в составе фосфогипса не способствует широкому применению его в строительной отрасли. В настоящей работе проводится физико-химический анализ фосфогипса для определения Р-примесей (соединения фосфора). Методами рентгеноспектрального флуоресцентного и рентгенографического анализов и ИК-спектроскопией удастся выявить наличие Р-примесей в составе фосфогипса. Ориентировочное содержание Р-примесей оценивается в диапазоне 1—2 % от общей массы минерального вяжущего.*

***Abstract.** The use of phosphogypsum in the manufacture of building materials is perspective due to the utilization of chemical industry waste and lower cost of mineral binder. However, the presence of impurities in phosphogypsum is not favorable for its wide application in the building industry. In the present work the physicochemical analysis of phosphogypsum is carried out to determine the P-impurities (phosphorus compounds). Using chemical analysis, X-ray diffraction method and infrared spectroscopy*

© Провоторов А. А., Тарарушкин Е. В., 2025

copy, we identified the presence of P-impurities in phosphogypsum. Approximately the content of P-impurities is estimated 1—2 % of the total mass of mineral binder.

Ключевые слова: фосфогипс, Р-примеси, химический и рентгенографический анализы, ИК-спектроскопия

Keywords: phosphogypsum, P-impurities, chemical analysis, X-ray diffraction, IR-spectroscopy

При производстве строительных материалов широко применяются различные виды природных соединений безводного и водного сернокислого кальция (ангидрит, бассанит и гипс) [1—4]. Так, гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) является неотъемлемой составляющей портландцемента, а различные формы ангидрита (CaSO_4) и бассанита ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) активно используют при производстве штукатурных смесей и гипсокартонных листов [1—4]. В то же время актуальна проблема накопления многотоннажных гипсовых отходов (фосфогипса), которые возникают при производстве минеральных удобрений из фосфоритов [5]. Мировое ежегодное накопление фосфогипса (ФГ) оценивается в 100—300 млн т в год [6]. Проблема утилизации ФГ стоит остро и одним из способов утилизации является применение в сфере строительства ФГ, в частности, при производстве строительных материалов и изделий [7; 8]. Однако широкому применению ФГ в строительной отрасли препятствует наличие различных примесей в его составе, особенно так называемых Р-примесей (P-impurities) — соединения фосфора в количестве от 0,1 до 1,8 % [6]. Р-примеси могут быть представлены различными соединениями (например, HPO_4^{2-}) и могут негативно влиять на процесс гидратации и твердения вяжущего [6]. Поэтому при производстве строительных материалов на основе очищенного ФГ необходимо определять фазовый и химический составы ФГ, что и дает возможность в дальнейшем оценивать влияние Р-примесей на реологические свойства ФГ теста и механические характеристики затвердевшего ФГ.

В настоящей работе применяются метод рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, метод рентгенографического анализа и колебательной спектроскопии для определения наличия Р-примесей в составе негидратированного ФГ.

Материалы и методы

В настоящей работе исследовались образцы ФГ подвергнутые комплексной очистки исходного ФГ (ИФГ) от редкоземельных металлов. ИФГ являлся отходом производства минеральных удобрений на заводе АО «ВМУ».

Определение концентрации основных оксидов и некоторых микроэлементов в исследуемых пробах очищенного ФГ было выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на рентгенофлуорисцентном вакуумном спектрометре последовательного действия Axiosm AX фирмы PANalytical (Нидерланды). Определение потери массы при прокаливании (п. п. п.) было выполнено по методике НСАМ ВИМС 118-X при температуре 1000 °С из проб ФГ, высушенных до постоянной массы при температуре 105 °С.

Рентгенодифракционный анализ проб ФГ проводился при помощи рентгеновского дифрактометра ULTIMA-IV фирмы Rigaku (Япония). Рабочий режим — 40 кВ, 40 мА, Cu K α излучение, никелевый фильтр, диапазон измерений — 3—80 ° 2 θ , шаг по углу сканирования 0,02 ° 2 θ , фиксированная система фокусировочных щелей. Определение минерального состава ФГ выполнялось путем сравнения экспериментальных и эталонных спектров из базы данных PDF-2 с использованием программного комплекса Jade 6.5 от компании MDI. Количественный минеральный состав определялся методом полнопрофильной обработки рентгеновских дифракционных картин от неориентированных препаратов с использованием метода Ритвелда.

Колебательные спектры проб ФГ были получены при помощи ИК Фурье-спектрометра Spectrum One FT-IR фирмы PerkinElmer (США). Съемка образцов производилась в средней области (4000—400 см⁻¹) с разрешением 4 см⁻¹ в условиях вакуумной откачки. Образцы готовились в виде прессованных KBr-таблеток, которые снимались при естественной влажно-

сти и после прогрева в течение 20—24 ч при температуре 150 °С. Обработка полученных результатов проводилась при помощи программы OPUS 7.0 фирмы Bruker (Германия).

Результаты

В таблице 1 приведены основные оксидные соединения негидратированного ФГ. Как видно в основе ФГ преобладают оксиды кальция и серы в общей сумме до 86,8 %. Потеря массы при прокаливании составляет до 7,43 %. Также нужно отметить наличие щелочных металлов до 0,31 % и оксидов алюминия и кремния до 0,52 %, что указывает на наличие в исходном сырье небольшой концентрации алюмосиликатов. Количество оксида стронция составляет 1,89 %. Наличие Sr объясняется его присутствием в природном фторид-фосфате кальция, который применяют при производстве фосфорных удобрений [9]. Количество же Р-примесей составляет 0,97 %.

Таблица 1

Химический состав ФГ (масс. %)

CaO	SO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
35,11	51,69	0,14	0,38	0,03
K ₂ O	Na ₂ O	SrO	P ₂ O ₅	п. п. п.
0,07	0,24	1,89	0,97	7,43

На рисунке 1 и в таблице 2 представлены результаты рентгенографического анализа. Как видно основной фазой в ФГ является минерал бассанит (CaSO₄ · 0,5H₂O). С помощью оптического микроскопа было установлено, что бассанит в ФГ преимущественно присутствует в виде β-полугидрата (рис. 2). Содержание безводного и дигидрата сульфатов кальция (ангидрит и гипс соответственно) примерно одинаково. Анализ также показывает наличие незначительное содержание песка (кварц) и фосфатных соединений (α-CaP₂O₆ и апатит). Последние фазы как раз подтверждают присутствие в ФГ различных

соединений фосфора. Но все же в силу малых концентраций фосфорных соединений достоверно определить конкретную фазу затруднительно, особенно касаясь минерала апатит.

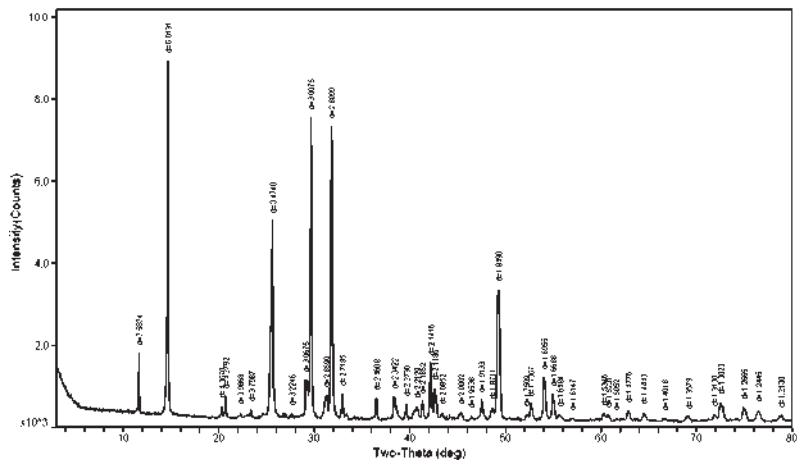


Рис. 1. Рентгенограмма негидратированного ФГ

Таблица 2

Фазовый состав ФГ, масс. %

Гипс	Бассанит	Ангидрит	Кварц	$\alpha\text{-CaP}_2\text{O}_6$	Апатит
4,7	85,8	5,7	0,6	2,7	0,5

На рисунке 3 представлен экспериментальный ИК-спектр ФГ. В высокочастотной области спектра присутствует пики на позициях 3611 и 3556 см^{-1} , которые относятся к валентным колебаниям связей О-Н молекул H_2O в структурах бассанита и гипса. Наличие структурной воды также подтверждается присутствием интенсивного пика на позиции 1621 см^{-1} , который относится к деформационным колебаниям Н-О-Н. Подобные частоты валентных и деформационных колебаний молекул H_2O наблюдаются и для других минеральных вяжущих [10]. В диапазоне частот 1000—1200 см^{-1} наблюдаются наиболее

интенсивные колебательные моды, которые относятся к симметричным и ассиметричным S-O колебаниям в сульфат-анионах. В диапазоне $600\text{--}700\text{ см}^{-1}$ пики относятся к деформационным O-S-O колебаниям. Подтверждением наличие Р-примесей в ФГ является присутствие слабого пика на позиции 834 см^{-1} . Данный пик характеризует колебания ν_1 аниона HPO_4^{2-} [6].

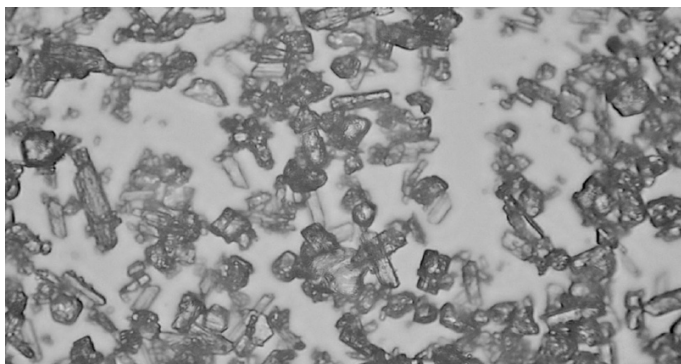


Рис. 2. Фото кристаллов ФГ

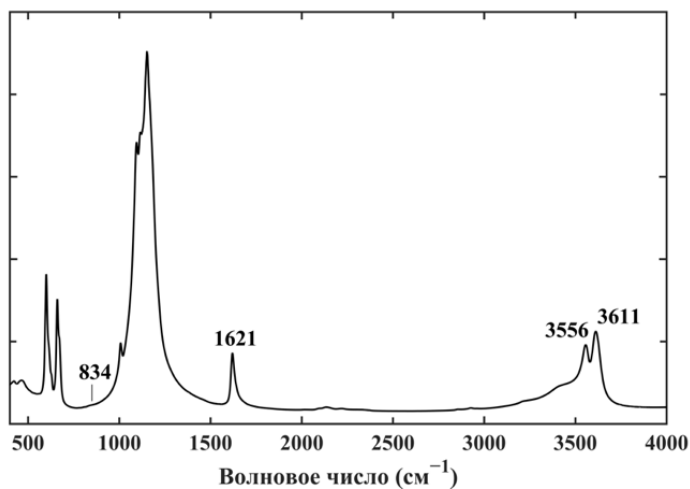


Рис. 3. ИК-спектр негидратированного ФГ

Заключение

Проведенные физикохимические исследования (методы рентгеноспектрального флуоресцентного и рентгенографического анализов, ИК-спектроскопия) очищенного от редкоземельных металлов ФГ позволяют детектировать наличие Р-примесей в его составе. Однако в силу малых концентраций Р-примесей можно утверждать о примерном содержании Р-примесей в исследуемом ФГ, которое можно оценить в диапазоне 1,0-2,0 %. Полученные результаты качественно совпадают с результатами недавних исследований на других образцах ФГ [6].

Список литературы

1. *Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник / под общей ред. А. В. Ферронской. М. : АСВ, 2004. 488 с.*
2. *Соколова Ю. А., Морева И. В. Эффективные композиционные материалы на основе низкомарочного строительного гипса. М. : ООО «Русайнс», 2024. 332 с.*
3. *Губская А. Г., Лебедевой О. Н., Меленько В. С. и др. Гипс и материалы на его основе. Минск : Стринко, 2009. 184 с.*
4. *Бурьянов А. Ф. Гипс, его исследование и применение — от П. П. Будникова до наших дней // Строительные материалы. 2005. № 9. С. 40—44.*
5. *Bilal E., Bellefqih H., Bourgier V. et al. Phosphogypsum circular economy considerations: a critical review from more than 65 storage sites worldwide // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 414. P. 137561. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137561.*
6. *Bellefqih H., Bourgier V., Bilal E. et al. Effect of HPO_4^{2-} and brushite on gypsum reactivity and implications for utilization of phosphogypsum in plaster production // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 451. P. 142013. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142013.*
7. *Соболь Ю. Б., Абрамов А. М., Полумиев Э. В. Новые технологические подходы в производстве искусственного гипсового камня из фосфогипса // Строительные материалы. 2022. № 8. С. 31—35. doi: 10.31659/0585-430X-2022-805-8-31-35.*

8. Алфимова Н. И., Левицкая К. М., Бурьянов А. Ф. Использование фосфогипса как сырья для производства многокомпонентных вяжущих и сульфоалюминатных цемента // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 2 (59). С. 30—46. doi: 10.54734/20722958_2024_2_30.

9. Rutherford P. M., Dudas M. J., Arocena J. M. Heterogeneous distribution of radionuclides, barium and strontium in phosphogypsum by-product // Science of The Total Environment. 1996. Vol. 180 (3). P. 201—209. doi: 10.1016/0048-9697(95)04939-8.

10. Tararushkin E. V., Shchelokova T. N., Kudryavtseva V. D. A study of strength fluctuations of Portland cement by FTIR spectroscopy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. P. 022017. doi: 10.1088/1757-899X/919/2/022017.

Д. О. Мясников, М. В. Тужилова

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(Владимир, Россия)

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ДЕРЕВЯННЫХ КОЛОНН, УСИЛЕННЫХ КОМПОЗИТНЫМИ
МАТЕРИАЛАМИ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ**

**NUMERICAL STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE
OF TIMBER COLUMNS STRENGTHENED WITH COMPOSITE MATERIALS:
A REVIEW OF MODERN APPROACHES**

***Аннотация.** Цель исследования — анализ современных методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния деревянных колонн, поврежденных пожаром и усиленных композитными материалами. В работе рассматриваются расчеты, выполненные в программных комплексах MBrase и ПК LIRA 10.12 с использованием метода конечных элементов. Оценивается влияние композитного усиления различной толщины на несущую способность конструкций. Установлено, что применение 2—3 слоев композита оптимально для восстановления прочности, снижая максимальные напряжения на 20—40 % и деформации на 15—30 %. Технология обладает экологическим и экономическим потенциалом, способствуя ресурсосбережению.*

***Abstract.** The study focuses on analyzing modern numerical modeling methods for the stress-strain state of fire-damaged timber columns strengthened with composite materials. Calculations performed in MBrase and LIRA 10.12 software using the finite element method are reviewed. The impact of composite reinforcement of varying thicknesses on*

© Мясников Д. О., Тужилова М. В., 2025

load-bearing capacity is evaluated. The results show that 2—3 composite layers are optimal for strength restoration, reducing maximum stresses by 20—40 % and deformations by 15—30 %. The technology demonstrates ecological and economic potential, contributing to resource conservation.

Ключевые слова: *деревянные колонны, композитные материалы, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, пожарное воздействие, усиление конструкций*

Keywords: *timber columns, composite materials, stress-strain state, numerical modeling, fire exposure, structural strengthening*

Введение

Деревянные конструкции широко применяются в строительстве благодаря экологичности, эстетичности и доступности. Однако пожарное воздействие снижает их несущую способность, что требует разработки эффективных методов восстановления [2]. Композитные материалы, обладающие высокой прочностью и коррозионной стойкостью, являются перспективным решением для усиления поврежденных конструкций [3]. Численное моделирование с использованием метода конечных элементов позволяет оптимизировать параметры усиления, прогнозировать долговечность и минимизировать затраты [4]. Настоящая работа посвящена обзору современных подходов к численному анализу напряженно-деформированного состояния деревянных колонн, поврежденных пожаром и усиленных композитами.

Материалы и методы

Численное моделирование выполнено в программных комплексах MBrase и ПК LIRA 10.12 с применением метода конечных элементов [5]. Рассматривались два типа колонн из хвойных пород древесины: средние (подверженные осевому сжатию) и крайние (испытывающие асимметричные нагрузки). Этапы моделирования:

1. Создание геометрической модели с учетом пожарных повреждений (обугливание, локальные дефекты) [6].

2. Задание граничных условий, включая механические и температурные воздействия [7].

3. Введение физико-механических характеристик композитов (толщина слоев, модуль упругости, предел прочности) [8].

4. Анализ напряженно-деформированного состояния для оценки напряжений, деформаций и устойчивости [9].

Рассматривались варианты колонн без усиления и с композитным усилением (1—4 слоя). Для крайних колонн анализировались изополя напряжений (N_x , N_y , N_z , T_{xy} , T_{xz} , T_{yz}) в ПК LIRA 9.2 для выявления зон концентрации усилий [10].

Результаты

Поврежденные пожаром колонны. Пожар вызывает обугливание древесины, снижение модуля упругости и локальное ослабление прочности. Расчеты в MBrase показывают значительные локальные напряжения и риск потери устойчивости (рис. 1) [11]. Изополя напряжений в ПК LIRA 10.12 подтверждают наличие зон концентрации усилий в крайних колоннах (рис. 2).

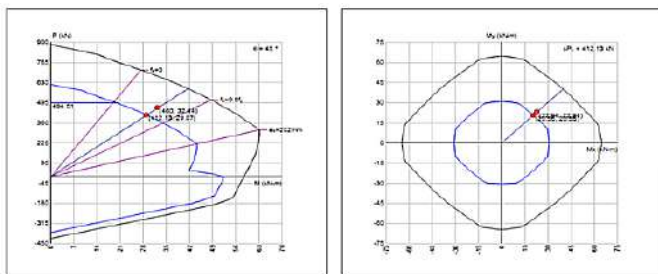


Рис. 1 . Колонна, поврежденная пожаром

Усиление композитами. Композитное усиление улучшает напряженно-деформированное состояние колонн. Результаты расчетов в MBrase:

1. Один слой композита снижает деформации, но недостаточен для глубоко поврежденных колонн (рис. 3) [12].

2. Два слоя значительно повышают несущую способность, особенно для средних колонн (рис. 4) [13].

3. Три слоя обеспечивают оптимальное сочетание прочности и экономичности, снижая напряжения на 20—40 % и деформации на 15—30 % (рис. 5) [14].

4. Четыре слоя дают максимальную прочность, но дальнейшее увеличение слоев неэффективно [15].

Анализ изополей напряжений (T_{xy} , T_{xz} , T_{yz}) в ПК LIRA 10.12 для крайней колонны ДН-1 подтверждает равномерное распределение усилий после усиления тремя слоями (рис. 6).

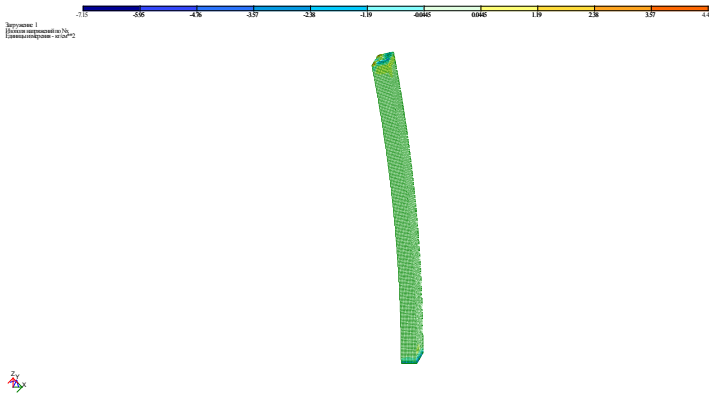


Рис. 2. Изополя напряжений N_x для крайней колонны, кг/см²

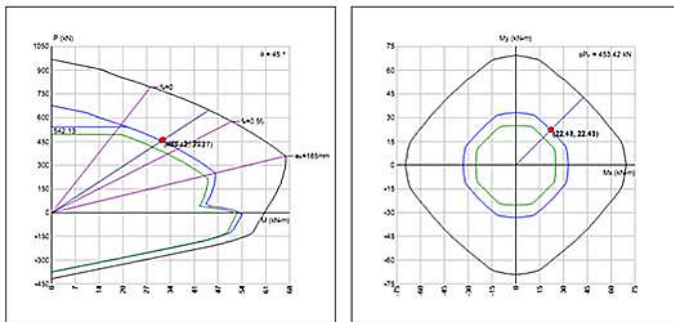


Рис. 3. Колонна, усиленная 1 слоем композита

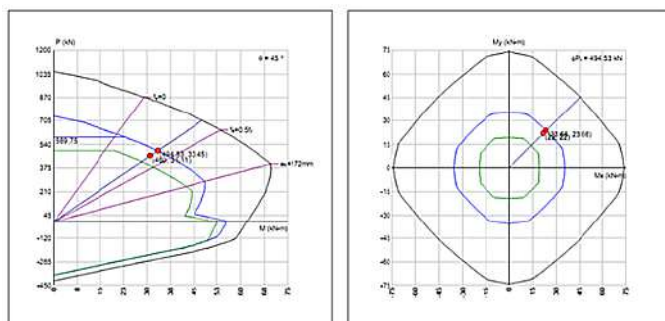


Рис. 4. Колонна, усиленная 2 слоями композита

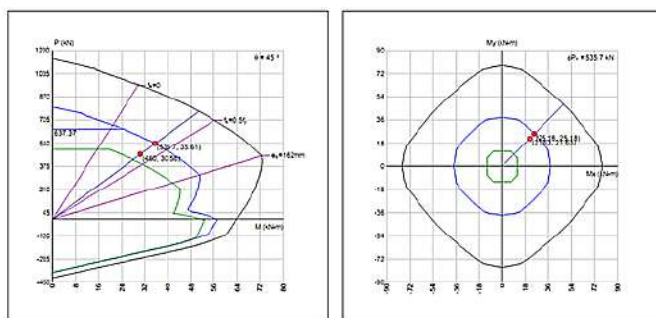


Рис. 5. Колонна, усиленная 3 и 4 слоями композита

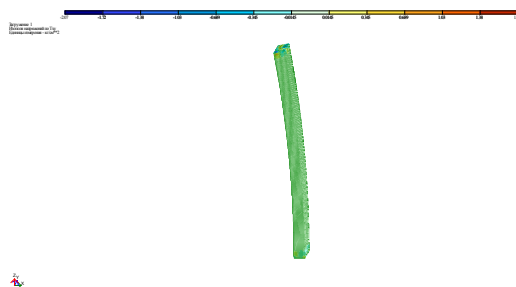


Рис. 6. Изополя напряжений T_{xy} для крайней колонны после усиления, кг/см²

Заключение

Композитное усиление эффективно восстанавливает несущую способность поврежденных колонн. Оптимальное число слоев (2—3) зависит от типа колонны, степени повреждений и нагрузок. Технология сокращает затраты, минимизирует отходы и повышает экологичность [1]. Ограничения метода включают зависимость от качества данных, необходимость учета динамических нагрузок и сложности интеграции с существующими конструкциями [3]. Перспективы исследований: разработка огнестойких композитов, внедрение BIM-технологий и натурные испытания [4].

Численное моделирование в MBrace и ПК LIRA 10.12 подтверждает эффективность композитного усиления пожароповрежденных деревянных колонн. Оптимальное решение 2—3 слоя композита, обеспечивающие баланс прочности и экономичности. Технология продлевает срок службы конструкций и способствует ресурсосбережению. Дальнейшие исследования должны совершенствовать модели, разрабатывать экологичные композиты и интегрировать передовые технологии проектирования [5].

***Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2024-0004, госзадание ВлГУ).*

Список литературы

1. Новак Т., Ясенько Ю., Чепижак Д. Экспериментальные испытания и численный анализ исторических элементов из гнутой древесины, армированных полосами из углепластика // Строительство и строительные материалы. 2013. Т. 40. С. 197—206.
2. Kliger R., Johansson M., Perstorper M. Strengthening of timber beams using carbon fiber composites // Journal of Structural Engineering. 2016. Vol. 142 4). P. 04015113. doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001410.
3. Пономарев А. Н., Рассохин А. Л. Численное моделирование деревянных конструкций: современные подходы // Вестник МГСУ. 2019. № 14 (3). С. 345—354. doi: 10.22227/1997-0935.2019.3.345-354.

4. *Bedon C., Fragiaco M* Numerical analysis of timber beams strengthened with composite materials // *Engineering Structures*. 2019. Vol. 181. P. 250—264. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.12.007.

5. *Рощина С. И., Смирнов Е. А., Лукин М. В. и др.* Деревяком-позитная балка: Патент на полезную модель № 146246 RU. Оpubл. 10.10.2014.

6. *Рощина С. И., Смирнов Е. А., Репин В. А. и др.* Деревянная балка: Патент на полезную модель № 121050 RU. Оpubл. 10.10.2012.

7. *Рощина С. И.* Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Владимир, 2009. 38 с.

8. *Щуко Ю. А., Рощина С. И.* Армированные деревянные конструкции : учеб. пособие. Владимир : ВлГУ, 2018. 220 с.

9. *СП 20.13330.2016.* Нагрузки и воздействия. М. : Стандартинформ, 2016. 80 с.

10. *ГОСТ 31937-2011.* Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М. : Стандартинформ, 2011. 24 с.

11. *Corradi M., Borri A., Righetti L.* The use of composite materials in the strengthening of timber structures // *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 113. P. 144—155. doi: 10.1016/j.compositesb.2016.12.037.

12. *Сидоров В. Н., Веришин В. В.* Метод конечных элементов в расчете сооружений. Теория, алгоритм, примеры расчетов в программном комплексе SIMULIA Abaqus: учебное пособие. М. : АСВ, 2015. 288 с.

13. *Добромыслов А. Н.* Расчет железобетонных сооружений с использованием программы «Лира». М. : АСВ, 2015. 200 с.

14. *ГОСТ 33081-2014.* Конструкции деревянные. Методы испытаний на устойчивость к воздействию огня. М. : Стандартинформ, 2015. 20 с.

15. *ASTM D7031-11.* Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2011. 12 p. doi: 10.1520/D7031-11.

16. *Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-1: General — Common rules and rules for buildings.* Brussels : European Committee for Standardization, 2014. 124 p.

Х.Х. Джунаидов¹, Н.Х. Сагателян²

¹ Бухарский государственный технический университет
(Бухара, Узбекистан)

² ОНК «Институт высоких технологий», Балтийский федеральный университет
им. И. Канта (Калининград, Россия)

ВАЖНОСТЬ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

IMPORTANCE OF CELLULAR CONCRETE IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Аннотация. Ячеистые бетоны, благодаря своим уникальным свойствам, играют важную роль в современном строительстве. Они обеспечивают высокую теплоизоляцию, легкость и прочность конструкций, что делает их незаменимыми в различных областях строительства. В данной статье рассматриваются основные характеристики ячеистых бетонов, их преимущества и недостатки, а также области применения. Приведены цифровые данные о производстве и использовании ячеистых бетонов в России и мире.

Abstract. Cellular concretes, due to their unique properties, play an important role in modern construction. They provide high thermal insulation, lightness and strength of structures, which makes them indispensable in various areas of construction. This article discusses the main characteristics of cellular concretes, their advantages and disadvantages, as well as areas of application. Digital data on the production and use of cellular concretes in Russia and the world are provided.

Ключевые слова: ячеистый бетон, строительная индустрия, теплоизоляция, прочность, экологичность

Keywords: cellular concrete, construction industry, thermal insulation, strength, environmental friendliness

Введение

Ячеистые бетоны представляют собой строительные материалы с пористой структурой, которые обеспечивают отличные теплоизоляционные свойства и легкость. Они используются в различных строительных энергоэффективных проектах, от жилых зданий до промышленных объектов. В последние годы наблюдается рост интереса к ячеистым бетонам из-за их экологичности и экономической эффективности.

Ячеистые бетоны можно классифицировать на несколько типов:

Аэрированный бетон — содержит воздух в виде мелких пузырьков.

Пенобетон — производится с использованием пены.

Газобетон — создается путем добавления газообразующих добавок.

Аэрированный бетон — это материал, который обладает легким весом и хорошими теплоизоляционными свойствами. Он производится путем добавления в бетонную смесь специальных добавок, которые создают пузырьки воздуха или газа, что приводит к образованию пористой структуры. Пористая структура также способствует хорошей звукоизоляции. Аэрированный бетон не горит и может выдерживать высокие температуры. Многие виды аэрированного бетона производятся из натуральных материалов и могут быть переработаны. Аэрированный бетон используется в строительстве жилых и коммерческих зданий, перегородок, стен и кровельных конструкций. Он также может применяться для создания блоков и панелей. Несмотря на множество преимуществ, у аэрированного бетона есть и недостатки. Например, он может быть менее прочным по сравнению с обычным бетоном и требует аккуратного обращения при монтаже. В целом, аэрированный бетон является популярным выбором в современном строительстве благодаря своим уникальным свойствам и универсальности применения.

Пенобетон — это материал, который представляет собой легкий бетон с добавлением воздуха. Он изготавливается из цемента, воды, песка и специальных добавок, которые создают пузырьки воздуха в смеси. Эти пузырьки делают пенобетон

легким и теплоизоляционным. Материал не горит и может выдерживать высокие температуры. Пенобетон часто изготавливается из экологически чистых материалов. Несмотря на свои преимущества, пенобетон имеет и некоторые недостатки: низкая прочность на сжатие по сравнению с обычным бетоном и уязвимость к воздействию влаги без дополнительной защиты. В целом, пенобетон является универсальным материалом, который широко используется в современном строительстве благодаря своим уникальным свойствам.

Газобетон изготавливается из цемента, песка (или золы-уноса), воды и газообразующих добавок (например, алюминиевого порошка) (табл. 1).

Таблица 1

Основные пропорции для приготовления газобетона

Компонент	Пропорция (по массе)
Цемент	1
Вода	0,5—0,6
Песок	2—3
Алюминиевая пудра	0,05—0,1
Вспениватель	По инструкции

Примечания:

1. *Использовался портландцемент.*
2. Количество воды может варьироваться в зависимости от желаемой консистенции.
3. Лучше использовать мелкий песок, чтобы добиться однородной структуры.
4. Алюминиевая пудра используется для создания ячеистой структуры; количество зависит от желаемой плотности.
5. Нужно следовать инструкциям производителя вспенивателя для достижения нужной плотности и прочности.

Эти пропорции могут варьироваться в зависимости от конкретных требований и условий производства, поэтому рекомендуется проводить тесты для оптимизации состава.

Процесс включает смешивание компонентов, в процессе химической реакции выделяется газ, образующий множество мелких ячеек внутри массы (рис. 1). Смесь заливают в формы и подвергают автоклавной обработке при высоком давлении и температуре, что обеспечивает прочность и долговечность материала или естественным отверждением. Газобетон отличается хорошей тепло- и звукоизоляцией, низким весом и простотой обработки, что делает его популярным в строительстве жилых и коммерческих зданий.

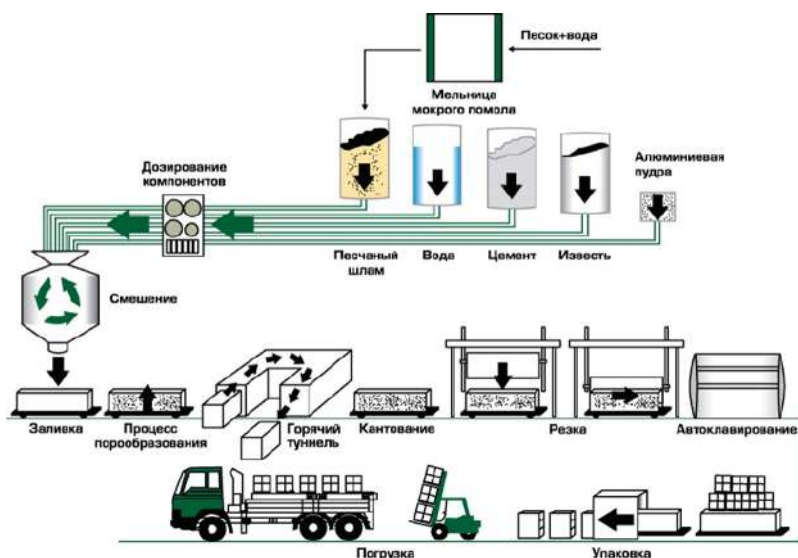


Рис. 1. Схема производства ячеистого бетона

Каждый из этих типов имеет свои особенности и области применения.

Преимущества ячеистых бетонов:

Теплоизоляция — ячеистые бетоны обладают низкой теплопроводностью, что позволяет значительно снизить затраты на отопление зданий. Например, коэффициент теплопроводности газобетона составляет около $0,1—0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, что делает его одним из лучших материалов для теплоизоляции.

Легкость — вес ячеистого бетона значительно ниже традиционных бетонных смесей. Это позволяет уменьшить нагрузку на фундаменты, сократить затраты на транспортировку и монтаж.

Экологичность — ячеистые бетоны производятся из экологически чистых материалов и могут быть переработаны после окончания срока службы (табл. 2, 3).

Таблица 2

Выбросы загрязняющих веществ

Показатель	Ячеистый бетон (на м ³)
CO ₂ (кг)	~ 250
Пыль (кг)	~ 5
NO _x (кг)	< 1
SO ₂ (кг)	< 0,5

Источник: Министерство экологии РУз (2023).

Таблица 3

Экологическое воздействие

Показатель	Ячеистый бетон
Энергопотребление	~ 180 кВт · ч/м ³
Использование вторсырья	Да

Рекомендации по снижению негативного воздействия:

Использование альтернативных видов топлива с низким уровнем загрязнения.

Разработка программ утилизации отходов производства.

Повышение энергоэффективности оборудования.

Несмотря на множество преимуществ, ячеистые бетоны имеют и свои недостатки:

Низкая прочность на сжатие — по сравнению с обычным бетоном.

Чувствительность к влаге — требует дополнительной защиты от воды.

Области применения. Ячеистые бетоны широко используются в следующих областях: строительство жилых зданий, промышленные сооружения, инженерные коммуникации и легкие перегородки (рис. 2).

По данным Росстата, в 2022 г. объем производства ячеистого бетона в России составил около 3 млн кубометров, что на 15 % больше по сравнению с предыдущим годом.



Рис. 2. Использование ячеистого бетона

Заключение

Ячеистые бетоны занимают важное место в строительной индустрии благодаря своим уникальным свойствам и преимуществам. Их использование способствует созданию более энергоэффективных и экологически чистых зданий.

Список литературы

1. *ГОСТ Р 51263-99 «Бетоны ячеистые».*
2. *Кузнецов А. В.* Современные технологии производства ячеистых бетонов : монография. М. : Стройинформ, 2020. 224 с.
3. *Петров И. И.* Экологические аспекты использования ячеистых материалов // Строительство : научно-технический и производственный журнал. М., 2021. № 5. С. 34—38.

4. *Статистика производства строительных материалов в Российской Федерации* : стат. сб. / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М. : Росстат, 2023. 156 с.

5. *Отчет о состоянии окружающей среды в Бухарской области за 2023 год* / Министерство экологии Республики Узбекистан. Ташкент, 2024. 48 с.

6. *Рахимов Ф. Ф., Акмалов М., Джунаидов Х. Х.* Некоторые аспекты использования полимерных композиций на основе сельскохозяйственных отходов в производстве строительных материалов на основе гипса // SCientific aspects and trends in the field of scientific research International scientific-online conference. 2022. С. 13—15.

7. *Джунаидов Х. Х.* Рост научных исследований в области экологии // Проблемы экологии и экологического образования : сб. тезисов 11—12 ноября 2022. 2022. С. 53—54.

8. *Rakhimov F. F., Djunaidov K. H.* Quantum-chemical analysis of the synthesized organosilicon oligomer based on monomethylolurea // Web of Discoveries: Journal of Analysis and Inventions. 2025. Vol. 3, № 2. P. 70—75.

9. *Shamsiyeva N. F., Raximov F. F., Djunaidov H. H.* Zamonaviy qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoatida alyuminiy va polimerlarning oʻrni // Formation of psychology and pedagogy as interdisciplinary sciences. 2024. Vol. 3, № 34. P. 6—13.

10. *Shamsiyeva N. F., Raximov F. F., Djunaidov H. H.* Metall kompozitsion qurilish materiallarning turlari va qoʻllanilishi // Interdiscipline innovation and scientific research conference. 2024. Vol. 3, № 25. P. 164—167.

11. *Shamsieva N. F. Djunaidov H. H.* Composites reinforced with fibers or fibrous crystals // International Multidisciplinary Research in Academic Science (IMRAS) September. 2024.

12. *Shamsiyeva N. F., Djunaidov H. H.* Polimer chiqindilari asosida xom-ashyo olish qurilmalarida energosistemalar oʻrnatish va uning samaradorligi // Zamonaviy taʼlimda fan va innovatsion tadqiqotlar. 2023. Vol. 1, № 3.

Ж. И. Илхомов¹, Г. Ф. Рамазанов¹, В. И. Пустовгаров²

¹ Бухарский государственный технический университет
(Бухара, Узбекистан)

² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

**РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ КОНСЕРВАТИВНЫМИ
И ИНТЕРПРЕТАТИВНЫМИ ПРИНЦИПАМИ
СОВРЕМЕННОЙ НАРОДНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

**DIFFERENCES BETWEEN CONSERVATIVE
AND INTERPRETATIVE PRINCIPLES
OF MODERN VERNACULAR ARCHITECTURE**

***Аннотация.** Статья представляет исследование нового течения в архитектуре XX и XXI в., прежде всего речь идет об интересе, который некоторые специалисты в области архитектуры, строительства и дизайна проявляют к народной архитектуре во всем мире. С другой стороны, значение, придаваемое также теоретиками, историками, художниками, литературоведами и социологами народной теме, подталкивает нас к изучению предмета частично историко-теоретически, пока не будет разработана новая терминология для современной народной архитектуры или просто неонародной архитектуры. В статье рассматриваются определение, ответвления и принципы, относящиеся к народной архитектуре, а значит, и к неонародной. Исследование подкрепляется анализом ряда примеров, а также выбором в качестве прототипа неонародного проекта, который может иллюстрировать, глобализировать и синтезировать общую идею статьи.*

***Abstract.** The article presents a study of a new trend in the architecture of the 20th and 21st centuries, first of all, it is about the interest that some*

© Илхомов Ж. И., Рамазанов Г. Ф., Пустовгаров В. И., 2025

specialists in the field of architecture, construction and design show in vernacular architecture all over the world. On the other hand, the importance attached to the topic of vernacular by theorists, historians, artists, literary scholars and sociologists pushes us to study the subject partly historically and theoretically, until a new terminology for contemporary vernacular architecture or simply Neo-Vernacular architecture is developed. The article examines the definition, branches and principles related to vernacular architecture, and therefore to Neo-Vernacular. The study is supported by the analysis of a number of examples, as well as the choice of a neo-vernacular project as a prototype, which can illustrate, globalize and synthesize the general idea of the article.

Ключевые слова: народная архитектура, современная народная архитектура, неонародная архитектура, местные материалы, традиционная архитектура

Keywords: vernacular architecture, contemporary vernacular architecture, neo-vernacular architecture, local materials, traditional architecture

Введение

Возрождение народного наследия и его включение в современные тенденции общества рассматривается как «архитектурно-градостроительный синтез существующего и нового» (Дух места и дух времени). Обзор современных теоретических и критических тенденций показывает, что неонародная (неовернакулярная) архитектура может быть определена и интерпретирована в рамках регионального, средового, контекстуального, локально-эkleктического, формалистского, ретро-традиционного и псевдоархитектурного подходов. В последнее время в архитектуре происходят большие изменения и во многих странах мы можем наблюдать феномен, заключающийся в том, что народные (вернакулярные) здания очень похожи на традиционные проекты.

Народная архитектура как область научных исследований

Народная архитектура, часто определяемая как архитектура без архитектора, и отражает культуру целой народности. Действительно, народная архитектура, как простейшая форма удовлетворения человеческих потребностей, возникла, когда для постройки здания и обеспечения в нем комфорта люди были вынуждены использовать окружающие их природные ресурсы. Использование термина народная архитектура встречается в конце 1960-х гг., и его источником служит латинское слово *Vernaculus*, означающее уроженца области древнего Рима. Термин был упомянут Бернардом Рудофски в его книге «Архитектура без архитектора», 1965 г. Народная архитектура рождается из ресурсов региона, в котором она построена, адаптируясь ко всем природным, климатическим, топографическим и культурным особенностям. В результате создается симбиоз, состоящий из климата местности, материалов ландшафта и местного образа жизни. Народная архитектура представляет собой источник вдохновения для архитекторов и дизайнеров, эта же архитектура может оказывать достаточное влияние на антропологию, археологию, историю и социологию. Как концепция народная архитектура не так нова, как кажется, хотя интерес к ней возрос сравнительно недавно. В середине XX в. современную архитектуру начали критиковать за бесполезность, институциональную анонимность и пренебрежение региональными строительными традициями. При этом, внимание архитекторов было направлено на традиционные здания, и их непосредственную связь между формой и функцией. В конце XX в. расширилось понимание культурного воздействия на здания: человеческие ценности влияют на формирование архитектуры, здания также интерпретируются как артефакты человеческой культуры. Таким образом, традиционные принципы народной архитектуры, в сочетании с современностью и технологическим развитием, рожают новую парадигму, которая называется неонародной (неовернакулярной) архитектурой (рис. 1).

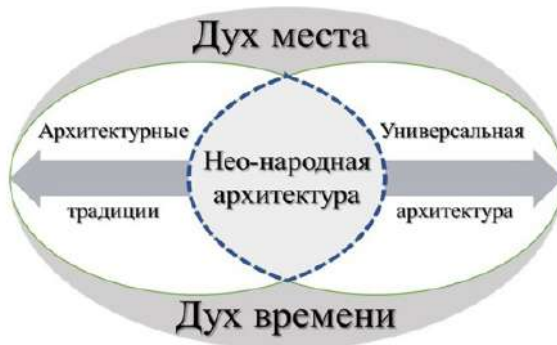


Рис. 1. Появление неонародной архитектуры из духа времени и духа места

Примечание: по Enrique Browne, Otra Arquitectura en America Latina, отредактировано автором.

Современная народная архитектура (неонародная архитектура)

Сегодня исследования народной архитектуры считаются важными по многим причинам. Важнейшей среди них является экономическая глобализация, которая проявляется как минимум в трех направлениях: глобальные коммуникационные технологии, глобальный экологический кризис и глобальная геополитика (рис. 2).

Каждое из этих явлений решительно повысило общий интерес к народной архитектуре в мире, поскольку она помогает формулировать решения экологических проблем, управление стихийными бедствиями и жилищными проблемами, с которыми сегодня сталкивается мировое сообщество; не как изучение прошлых традиций, а как вклад в новые методы, решения и достижения для будущей застроенной среды. Неовернакулярная архитектура в основном основана на двух подходах, которые, по существу, противоположны: интерпретативный и консервативный. Консервативный подход огра-

ничен в своей работе и представляет собой использование традиционных материалов и форм. Примером этого подхода может быть творчество египетского архитектора Хасана Фатиха. В то время как интерпретативный подход является лишь расширением старой существующей структуры и ее интеграцией в новые проекты, архитектурный проект не ограничен с точки зрения формы, материалов и функций. Амос Рапопорт предполагает, что для народных исследований настало время перейти от описания и документации строительства к следующему этапу, который будет проблемно-ориентированным, сравнительным, интегративным и более концептуальным / теоретическим. Такой подход устраняет разрыв между реальным строительством и теорией. Он предполагает, что более правильный подход состоит в том, чтобы извлечь более или менее общие уроки и принципы, анализируя местную среду с использованием моделей и применяя эти уроки к дизайну. Объединяя местные архитектурные традиции с универсальными архитектурными реалиями, можно создать неонародную архитектуру, снизив напряжение между «духом места» и «духом времени».



Рис. 2. Схема текущих проблем, приведших к появлению неонародной архитектуры

Энрике Браун в своей книге «Otra Arquitectura en America Latina» указывает, что народная архитектура развивалась в постоянном напряжении между своим положением во времени и своим положением в пространстве.

Пример проекта неонародной архитектуры THREAD

С целью представить лучший архитектурный пример, который может глобализировать фундаментальные принципы неонародной архитектуры, было изучено несколько примеров новых проектов домов и проектов оборудования по всему миру, которые основаны на народной архитектуре и методах ее формирования. В ходе аналитической работы с примерами был сделан выбор в пользу проектов, номинированных на Премию Ага Хана, которые соответствуют задаче улучшения качества жизни бедных слоев населения, в основном в Азии и Африке, а также проектов, сохраняющих в своей основе связь с традицией и нацеленных на развитие с точки зрения индустриализации и совершенствования строительных технологий. Комплекс THREAD, расположенный в сообществе им. Синтиан, недалеко от границы с Мали, 700 км от столицы Дакара, Сенегал, открыт в 2015 г. В комплексе располагаются детский сад и сельскохозяйственная школа, конференц-залы, арт-центр, площадки для отдыха и общения. Дизайн арт-центра, созданный по инициативе нью-йоркского архитектора Тошико Мори, в проекте предполагается использование местных натуральных материалов, таких как бамбук, кирпич и солома (рис. 3, 4). Группа архитекторов Тошико Мори воплотила эти материалы в современный пространственно-геометрический дизайн, который дополняет окружающий плоский ландшафт. Наконец, крыша собирает и удерживает дождевую воду, создавая жизнеспособный источник для удовлетворения 40 % потребности деревни в воде для бытовых нужд (рис. 5).

Миссия THREAD двояка: предоставить художникам доступ к вдохновляющим материалам, найденным в этом редко посещаемом регионе мира; и использовать искусство как средство развития связей между сельским Сенегалом и другими частями земного шара.



Рис. 3. Вид с воздуха. Отношение проекта к окружающей среде



Рис. 4. Реализация крыши на основе растений, тростника и бамбука



Рис. 5. Вид в разрезе роли крыши и системы каналов для приема и отвода дождевой воды

Заключение

Неонародная архитектура — это современная интерпретация народного строительства. Фактически, она представляет собой современную архитектурную интерполяцию в народной среде, которая черпает вдохновение из элементов народного наследия и выражает технологический и эстетический язык своего времени.

Многие архитекторы с неприятием отвергают возможность строительства на основе народной архитектуры, этот отказ связан с тем, что большинство считает, что это означает использование только местных материалов и применение их также к формам, ограниченным наследием местной архитектуры. Вопреки этой логике и посредством теоретического исследования и примеров, рассмотренных в этой статье, в определении и решении проблем, неонародная концепция должна идти гораздо дальше, чем образ и фасад здания, напоминая, что внешний вид и визуальная рецепция не являются целью проектирования. Анализ темы народной архитектуры в данном случае должен быть ориентирован на более широкое исследование, способное затронуть гораздо более широкое поле духовных, исторических, структурных, программных, пространственных и культурных вопросов в рамках развития и особенностей современной жизни, вводя новые функции и объекты, которые вообще неизвестны или не существовали в компонентах нативной архитектуры. В начале возникновения интереса к данной теме, ряд архитекторов, воплотивших неонародную тему в своих проектах, восприняли положительно традиции народной архитектуры и пытались помочь ее возрождению. Однако в настоящее время эти объекты, предназначенные в основном для целей развития туризма и культуры, заинтересованы и в других функциях, укрепляющих местную архитектуру и экономику страны, которая пока не заинтересована сегодня в развитии экологической программы защиты среды обитания и устойчивости культурного наследия. Поскольку неонародная архитектура представляет собой диалог между старым и новым, к программам, проектам и их реализации следует подходить детально и более профессионально. Потому что иногда новые функции могут воздей-

ствовать на живую культуру, отвлекая от нее или десакрализуя ее. Это может даже повлиять на определение национальной идентичности и снизить характеристики аутентичности региона из-за нового культурного или функционального внешнего влияния, иногда вызванного, например, требованиями создания комфортной среды для туристов, несмотря на положительные примеры новой архитектуры туристских зданий.

Список литературы

1. *Rudofsky B.* Architecture without Architects: A Short Introduction to Non-Pedigreed Architecture // Art Education. Albuquerque : University of New Mexico Press, 1970. 132 p.
2. *Paul O.* Dwellings: The Vernacular House World Wide // Rev. Ed. Phaidon. L. ; N.Y. : Phaidon, 2003. 296 p.
3. *Glassie H.* Architects, vernacular traditions, and society // Traditional Dwellings and Settlements Review. 1990. P. 9—21.
4. *Richardson V.* New Vernacular Architecture // Watson-Guptil Publications. N.Y. : Laurence King Publishing, 2001. 240 c.
5. *Гайбуллаев Б., Тожиев И. И.* Принципы проектирования энерго-активных зданий // Молодой ученый. 2016. № 7. С. 55—58.
6. *Tojiev I. I., Vakhitov M. M.* Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference // Chelyabinsk SUSU Publishing. 2020. P. 155—158.
7. *Вахитов М. М., Тулаганов А. А., Тожиев И. И.* Конструкции и материалы, использованные при строительстве архитектурных памятников Бухары конца XIX века // Фан ва технологиялар. 2018. Т. 2. 159 с.
8. *Рузиев Х. Р., Тожиев И. И.* Факторы, определяющие инсоляционный режим в помещениях // Молодой ученый. 2016. Т. 7. С. 158—161.

**И. И. Тожиев¹, Ж. И. Илхомов¹, Г. Ф. Рамазанов¹
А. А. Файзуллаев¹, Л. В. Шершова²**

¹ Бухарский государственный технический университет
(Бухара, Узбекистан)

² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ

MATERIALS USED IN THE CONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

***Аннотация.** Дальнейшее всестороннее изучение конструкций гражданских зданий, возведенных в конце XIX и начало XX в., вошедших в список охраны архитектурных памятников Бухары и материалов, использованных при их строительстве, имеет большое научное и практическое значение. В настоящей статье представлены результаты изучения архитектурных конструкций некоторых интересных и для туристов памятников архитектуры Бухары, указанного выше периода. Исследованы прочности при сжатии кирпичей и растворов кладки, использованных при строительстве фундаментов и стен зданий.*

***Abstract.** Further comprehensive study of the structures of civil buildings erected in the late XIX and early XX centuries, included in the list of protection of architectural monuments of Bukhara and materials used in their construction, has great scientific and practical significance. This article presents the results of studying the architectural designs of some interesting monuments of Bukhara architecture, for the tourists men-*

© Тожиев И. И., Илхомов Ж. И., Рамазанов Г. Ф., Файзуллаев А. А., Шершова Л. В., 2025

tioned above. The compressive strengths of bricks and masonry mortars used in the construction of foundations and walls of buildings were investigated.

Ключевые слова: конструкция, строительные материалы, архитектурные памятники, сейсмостойкость, раствор, кирпичная кладка, гипс, глиногипс, зол вяжущих «кыры», цемянки, известь

Keywords: Design, Construction Materials, architectural monuments, seismic resistance, solution, masonry, clay gypsum, evil knitting «kyry», clay potatoes, known

Введение

Место государства в мировом сообществе определяется не только объемом валового внутреннего продукта, но и масштабами культурного наследия и уровнем народного зодчества. Примером этому являются памятники культуры в странах Великого шелкового пути, в том числе памятники в г. Бухара Республики Узбекистан.

Бесспорно, в мире Бухара славится архитектурными памятниками и неповторимыми примерами народного зодчества. О памятниках архитектуры Бухары знают во всем мире и поэтому, как известно, по решению ЮНЕСКО при ООН этот город признан всемирным наследием человечества.

Архитектурные памятники мира изучены разными методами последовательно с античных времен до наших дней. Вопросами реставрации в большинстве случаях занимались специалисты в областях археологии, архитектуры, геодезии, гидрогеологии, сейсмологии, сейсмостойкости сооружений и др.

К сожалению, инженерными задачами при реставрации памятников архитектуры занимались немногие. Мало научных работ, посвященных вопросам исследования структуры, технологии и свойств использованных строительных конструктивных и отделочно-декоративных материалов. Проведенные исследования в этой области не систематизированы и имеют эпизодический характер.

Систематизированное археологическое и архитектурно-искусствоведческое изучение древней культуры Центральной Азии началось в основном в середине 30-х гг. XX в. Результаты многолетних систематизированных архитектурно-искусствоведческих и историко-археологических исследований были положены в основу создания многотомника «Всеобщая история архитектуры». В этой книге содержатся и материалы об историческом развитии архитектуры Центральной Азии. Однако в этом капитальном научном труде и в других работах недостаточно отражены вопросы, посвященные решению архитектурно-инженерных задач реставрации и реконструкции монументальных сооружений [1].

В связи с этим дальнейшее всестороннее изучение конструкций зданий, вошедших в список охраны архитектурных памятников Узбекистана в целом, Бухары в частности конструкций и материалов, использованных при их строительстве, имеет большое научное и практическое значение.

В древности во всех частях земли, в том числе в Центральной Азии гражданские (жилые и общественные) здания и сооружения были построены из глины. Широко использовалась глина, модифицированная отходами растений, чаще всего колосовых, однолетних растений и камыша. При строительстве крепостных стен Хивы, Бухары, Термеза и других городов также успешно использовали материалы из глины. Например, построенный в г. Хиве четырехэтажный дачный дом «Чодраховли» из глины (пахсы) является свидетельством умения узбекских мастеров.

Мониторинг архитектурных памятников, проведенный ЮНЕСКО, показывает, что более 50 % исторических зданий и сооружений были построены из керамических материалов, изделий и деталей [1]. Процесс обжига керамического кирпича, блоков, черепицы и других изделий в течение 5000—6000 лет практически не изменяется. Отделочная керамика и майолика получены 1000 лет до нашей эры, поэтапно разработаны методы глазурования и ангобирования их поверхности специальными глиняными составами.

Более 80 % архитектурных памятников Самарканда, Бухары, Хивы, Шахрисабза, Термеза, Кухна — Ургенча, Ходжанта

и других городов Центральной Азии были созданы с применением конструкционных и отделочных керамических материалов, изделий и деталей. Из глиняной массы были изготовлены стеновые, половые, кровельные, цветные и матовые, глазурованные и ангобированные изделия в виде облицовочных плит и терракот, труб и емкостей [3].

Жженный кирпич использован в монументальном сырцовом здании IX—X вв. в Кырк-кыз в древнем Термезе. Размер жженного кирпича, как и сырцового, составляют $29\text{—}34 \times 29\text{—}34 \times 4,5\text{—}6$ см. Цвет кирпича розовой, алый, бурый, коричневый, палевый, желтый и зеленоватый. Наружная и внутренняя отделка мавзолея Саманидов (864—868) (рис. 1), минарета Калаян (1127) в г. Бухаре полностью осуществлена с применением керамического кирпича орнаментальной кладкой (рис. 2).

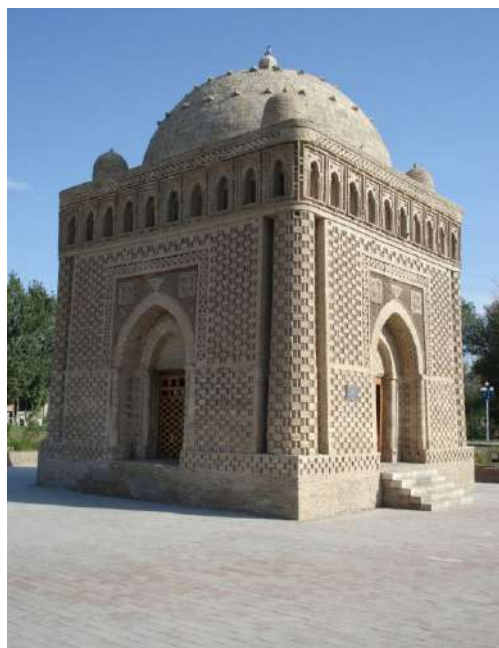


Рис. 1. Общий вид мавзолея Саманидов, построенного в 864—868 гг.



Рис. 2. Фрагмент внутренней части стен и лестницы минарета Калян, выполненных из жженого кирпича

Исследования физико-механических и деформационных свойств керамического кирпича, использованного при строительстве монументальных сооружений Узбекистана, показывают, что материалы и изделия изготовлены из тщательно очищенного глиняного сырца, при соблюдении технологии изготовления сырьевой массы и изделия, контроля качества конечной продукции [4; 5].

Анализ показывает, что проведение всесторонних исследований технологии и свойств конструкционных материалов зданий из керамики и традиционного кладочного раствора с применением современных методов и приборов с целью определения их составов, свойств и технологии их изготовления, возродить наследия с последующим применением их при реставрации архитектурных памятников Бухары является актуальной проблемой.

Результаты исследований свойств традиционного кирпича архитектурных памятников Шахрисабза [1] показывает, что прочность при сжатии кирпича колеблется от 5,9 до 22,8 МПа. Эти показатели практически соответствует действующим ныне нормам сейсмостойкого строительства.

По данным литературных источников в общих чертах известно, что в кирпичной кладке стен памятников архитектуры

Центральной Азии в качестве связующего были использованы глиняные, глино-гипсовые, гипсовые, известковые, известково-пущолоановые и др. строительные растворы. Отмечается, что связующие при кирпичной кладке или облицовке являются вяжущим без какой-либо добавки из тонкомолотых минеральных веществ [1].

В научных работах структуры строительных растворов отмечается, что при получении растворов редко использован инертный заполнитель типа естественного песка. В архитектурных памятниках стран Центральной Азии были использованы строительные растворы на основе чистого гипса, на основе гипса с добавками глины, на основе гипса с добавками цемьянки, на основе гипса с мелкозернистым песком, на основе гипса с добавками золы и извести и растворы на основе известково-зольных вяжущих «кыры».

В большинстве случаев применялся активный наполнитель в виде золы древнего угля или растений. Как правило, кладку стен выполняли на глиняном тесте без введения отошающей добавки. Наружные слои кладки выполняли на чистом гипсовом растворе или естественном глиногипсе, представляющий собой естественную смесь слабообожженного гипса, лесса и полуводного гипса.

Анализ состояния вопроса по литературным источникам показывает, что исследования по направлению изучения конструкций и материалов вошедших в список охраняемых архитектурных памятников — шедевров Бухары, построенных в разные годы, в том числе в конце XIX и начала XX в. изучены недостаточно. Указом Президента Узбекистана от 2 декабря 2016 г. «О мерах по обеспечению ускоренного развития туристской отрасли Республики Узбекистан» определены целевые задачи и приоритеты государственной политики в сфере туризма на среднесрочную перспективу. В целях дальнейшего развития и повышения эффективности туристического потенциала г. Бухары и Бухарской области Постановлением Президента Узбекистана от 19.05.2017 г. № ПП-2980 «О мерах по ускоренному развитию туристического потенциала г. Бухары и Бухарской области на 2017—2019 гг.» Министерству культуры поручено предложить адресный список проведения реставрации и вос-

становления объектов историко-культурного наследия Бухары на период 2018—2027 гг. В этой связи интенсивное развитие туризма и связанных с этим задач по реставрации и восстановлению объектов приобретает еще важное значение.

Бухара — один из древнейших городов Центральной Азии, наиболее крупных и известных торговых центров на Великом Шелковом пути. Город завоевал на протяжении тысячелетий всемирную славу своей богатой уникальной историей становления, неразрывно связанной с самыми важными вехами развития общемировой цивилизации, поистине огромным вкладом, внесенным в развитие культурно-просветительного и духовно-религиозного ценностей.

Прямым доказательством исторической ценности культурологической и цивилизационной значимости для всего просвещенного мира стало включение в 1993 г. исторического центра г. Бухары в список городов всемирного наследия ЮНЕСКО.

В настоящей работе изучены конструкции и их строительные материалы, использованные при строительстве неповторимых гражданских зданий Бухары в период конца XIX и в начале XX в., вошедшие в список охраняемых объектов архитектурного наследия. Представлены первые результаты исследования прочности материалов кирпичной кладки, использованной в конструкциях фундаментов, стен и других конструкций.

В конце XIX и в начале XX в. в Бухаре построены такие архитектурные шедевры, известные своими неповторимыми архитектурными решениями как Дом-музей Файзулла Ходжаева внутренними и наружными дворами, здания музея Ситораи-Мохи-хоса, здания мечети Эмира Алимхан в составе ансамбля Пойи Калон, двухэтажный театр им. С. Айний, расположенное в южной части архитектурного памятника «Болохавуз», двухэтажное здание нынешней общеобразовательной школы № 6, находящегося в южной части величественного Арка, двухэтажное здание нынешнего государственного художественно-архитектурного музея заповедника, находящегося в западной части «Токи Саррафон», двухэтажное административное здание Бухарского областного многопрофильного медицинского центра, двухэтажные лечебные корпуса этого медицинского учреждения, двухэтажное здание «Дома ученых» и одноэтажные зда-

ния, расположенные по ул. Б. Накшбандий, общественное здание (церковь) около железнодорожного вокзала в г. Кагане, здание администрации Вабкентского районного медицинского объединения, арочный каменный мост, возведенный на реку «Зеравшан» в центре Ромитанского района и ряд других неповторимых объектов архитектурного наследия.

1. Дом-музей Файзулла Ходжаева с подвалом, построенный в 1891 г., отличается своими масштабами, национальной архитектурной выразительностью, интересным объемно-планировочным и конструктивным решением, стойкостью и долговечностью. Если наземная часть здания использовалась как жилой дом, то подвальная часть предназначалась для производственной цели, что очень интересно и для наших дней в связи с развитием семейного предпринимательство (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид летних помещений дома-музея с внутреннего дворика

Стены подвала выполнены из каменной кладки с применением керамического кирпича и видимо гипсового строительного раствора. В настоящее время местами наблюдаются физическое повреждение частей кладки стен подвала, толщина которых составляет 100 см.

2. Архитектурное здание нынешнего Дома ученых построено в 1876 г. В разные годы здание использовали в разных целях, в

частности, в годы Бухарского эмирата оно использовалось в качестве военной казармы. Общие размеры здания по модульным разбивочным осям составляет $25 \times 22,3$ м. Служебные помещения и кабинеты размещены вокруг вестибюля, расположенного центральной части здания. Конструктивная система здания бескаркасная, конструктивная схема местами с продольными, местами с поперечными несущими стенами. Строительная система из традиционной кирпичной кладки. Фактическая высота этажа здания от пола до потолка составляет: для 1-го этажа 4,75 м, для 2-го этажа также 4,6 м (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид здания «Дом ученых» (с северо-запада)

Фундамент здания выполнены частично из бутовых камней, частично из кирпичной кладки. Стены здания выполнены из кирпичной кладки. Толщина кладки стен 51 см. Результаты исследований, выполненных с использованием современного электронного прибора «Оникс-2.51», относящихся к числу неразрушающих методов испытания, показали, что прочность кирпичей колеблется от 12 до 15 МПа, а прочность кладочного раствора составляет не менее 5 МПа.

Если проанализировать полученные данные по прочности кирпичной кладки стен, то они удовлетворяют требованиям действующих строительных норм [6]. Поэтому исследованное здание перенесло без значительного повреждения и разрушения воздействия сильных землетрясений, эпицентром которых

находился в Газли. Вместе с тем в процессе эксплуатации данного архитектурного памятника более 140 лет, в наружных стенах южных, западных и восточных ориентаций происходили значительные трещины (рис. 5). Заделка образовавшихся трещин современным цементным раствором существенно снижает архитектурную ценность наследия. Поэтому изучение состава и структуры примененного в как данное здание, так и в других архитектурных памятниках строительных материалов, в частности строительного раствора и кирпича является актуальной задачей.



Рис. 5. Фрагмент стены здания из орнаментальной кладки с значительными трещинами, требующими реставрацию историческими материалами

3. Архитектурное здание нынешнего театра имени С. Айний построено в южной части мечета Болохауз в 1922—1924 гг. (рис. 6). Объемно-планировочное решение неповторимого здания выполнено очень удобно для работающих в театре и посещающих в него. Размещение коридоров и помещений выполнено своеобразной планировкой, соответствующей назначению. Ширина зрительного зала здания в чистоте составляет 17,7 м. Общая длина зала на 1-м этаже составляет 21,4 м, а на 2-м этаже 25,5 м включая конструкции балкона. Конструктивная система

здания бескаркасная, конструктивная схема — с продольными несущими стенами. Строительная система выполнена из традиционной кирпичной кладки. При этом использованы и квадратные кирпичи размером $25 \times 25 \times 5$ см и обыкновенные керамические кирпичи размером $25 \times 12 \times 6$ см. Глубина заложения ступенчатого кирпичного фундамента составляет около 230 см, ширина подошвы его — 210 см. Подошва фундамента выполнена из кладки бутовых камней. Верхняя часть его выполнена из кладки с использованием квадратного кирпича с размером $25 \times 12 \times 5$ см и строительного раствора какого-то состава.



Рис. 6. Общий вид здания имени С. Айний — театра

Наружные несущие стены здания выполнены из кирпичной кладки толщиной 110 см (1-й этаж). Толщина несущих стен арок зрительного зала составляет 152 см. Общая высота зрительного зала от пола до потолка сцены составляет 9,1 м, в конце зала — 8,3 м. Фактическая ширина боковых коридоров здания в чистоте составляет 4,95 м, высота этажа от пола до потолка их — 3,9 м (2-й этаж).

Общая высота арки от фундамента до внутренней части стрелы составляет 7,5 м, до низа конструкций покрытия — 7,9 м. Высота верхней части арки составляет 0,4 м, пролет — 3,8 м, высота стрелы арки — 2 м. Ширина стоек арки составляет от 90 см (во внутренней части) до 10 см (в наружной части). Толщина стоек арки равно 110 см.

Средняя прочность кирпичей кладки стен составляет 18,2 МПа. Фактические прочности в отдельных участках составили 13, 18,2, 19, 22,7, 33,2 МПа. Средняя прочность кладочного раствора составляет 4,3 МПа (фактические показатели — 3,6, 4,2, 4,3, 4,4 и 5,1 МПа). Испытания показали, что отдельные показатели прочности кирпича достигает до 33,2 МПа. При ударе молотком распространяется звонкий звук. Вместе с тем, в стенах здания местами наблюдаются различные трещины.

Конструкции покрытия зрительного зала и сцены выполнены из деревянных ферм. Междуэтажные и чердачные перекрытия остальных частей здания выполнены из деревянных балок (кругляков) по национальному стилю. Несущие конструкции крыши деревянные, кровля выполнена из металлической жести.

4. Двухэтажное здание нынешнего Бухарского государственного архитектурно-художественного музея заповедника построено в 1912 г. на арыке «Шохруд», что требовал от проектировщиков и строителей большого знания и опыта (рис. 7). Это решение является достаточно сложным. Объемно-планировочное решение здания выполнено своеобразной планировкой по размещению интересных коридоров и помещений. Ранее в этом здании располагался центральный банк Бухары.



Рис. 7. Общий вид здания Бухарского государственного архитектурно-художественного музея заповедника с северо-востока

Конструктивная система исследованного здания стеновая, конструктивная схема — местами с продольными, местами с поперечными несущими стенами. Строительная система из кирпичной кладки. Междуэтажные и чердачные перекрытия выполнены из деревянных конструкций по национальному стилю. Полы дощатые, потолки в основном из фанеры. Кровля выполнена из цинковой кровельной жести.

Фундаменты здания частично выполнены из природного камня, частично из кирпичной кладки. Наружные стены здания выполнены из кирпичной кладки толщиной 64 см (местами и 77 см). Средняя прочность кирпичей здания составляет 9,5 МПа, а марка кирпича М 100, марка строительного раствора составляла М 50. Несмотря на высокие показатели прочности материалов, все же и в этом здании местами наблюдаются также существенные трещины, требующие реставрации историческими материалами желательного своего состава (рис. 8).



Рис. 8. Заделка трещины цементным раствором, снижающим архитектурную ценность здания

5. Двухэтажное здание нынешней общеобразовательной школы № 6, вошедшей в список охраняемых архитектурных па-

мятников г. Бухары, построено в 1924 г. В свое время в этом здании располагался Бухарский государственный педагогический институт. Общие размеры здания по разбивочным осям составляет $53,6 \times 40,5$ м. Фактическая высота этажа помещений составляет: для 1-го этажа 4,1 м, для 2-го этажа также 4,2 м. Планировка здания выполнена по коридорной системе (рис. 9, 10).



Рис. 9. Общий вид здания общеобразовательной школы № 6 (северная ориентация)

Конструктивная система здания бескаркасная, конструктивная схема — с продольными несущими стенами. Строительная система из кирпичной кладки; толщина наружных стен и внутренних продольных несущих стен составляет 0,51 м, а внутренних поперечных — 0,38 м. Междуетажные и чердачные перекрытия выполнены из деревянных конструкций (деревянные балки, полы дощатые, потолки фанерные). Несущие конструкции крыши (стропила) деревянные, ограждающие крыши из металлической жести.

Фундаменты здания многоступенчатые, они выполнены из каменной кладки. Марка кирпича М100, марка раствора М50.



Рис. 10. Фрагмент западной торцевой стены здания; имеются опасные осадочные трещины, рекомендуется выполнить реставрацию кладки историческими материалами

Наружные стены здания выполнены из кирпичной кладки толщиной в 2 кирпича (51 см), а внутренние стены — в 1,5 кирпича (38 см). Кроме того, каждый простенок усилен пилястрами шириной 70 см и толщиной 20 см.

6. Двухэтажное здание нынешней администрации областного многопрофильного медицинского центра, построенное в 1900 г. имеет своеобразный неповторяемый архитектурный облик (рис. 11). Ранее в этом здании располагалась почта Бухары. Общие размеры здания по разбивочным осям составляет $37,15 \times 18,6$ м. Планировка здания выполнена по коридорной системе. Конструктивная система здания бескаркасная, конструктивная схема — с продольными несущими стенами. Строительная система из кирпичной кладки. Междуэтажные и

чердачные перекрытия выполнены из деревянных конструкций по национальному стилю. Несущие конструкции крыши деревянные, кровля из кровельной жести и шифера.



Рис. 11. Общий вид здания нынешней администрации областного многопрофильного медицинского центра

Фактическая высота этажа помещений от пола до потолка составляет 4 м (2-й этаж). Фундаменты выполнены частично из бутовых камней, частично из кирпичной кладки. Стены здания выполнены из кирпичной кладки толщиной 51 см. Средняя прочность кирпичей кладки стен здания составляет 13,4 МПа, прочность кладочного раствора 5,7 МПа.

Заключение

В настоящее время нами продолжаются проведения исследований по комплексному изучению составов, структуры, физических и механических свойств материалов и технологии кладки (кирпичей и строительных растворов), использованных в неповторимых архитектурных памятниках Бухары конца XIX и начала XX в. с целью восстановления, возобновления и применения при реставрации

Список литературы

1. *Vaxitov M. M., Tojiev I. I., Tulaganov A. A.* Modified solutions based on calcium sulfate for architectural monuments of Bukhara // *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*. 2020. Vol. 7, № 7. P. 989—999.
2. *Тожиев И. И.* Химические и минералогические составы исторических строительных растворов // *Universum: технические науки*. 2022. Т. 2 (95).
3. *Юнусов Г. Г., Тожиев И. И.* Тарихий обидалар реставрацияси учун мўлжалланган қоришмаларнинг оптимал таркибларини топишнинг математик модели // *Физико-математические науки*. 2021. Т. 2, № 1.
4. *Исмаилов С. С., Вахитов М. М., Тожиев И. И.* Создание строительных растворов, соответствующими параметрами к оригиналу // *Polish science journal*. 2021. № 1. 34 с.
5. *Гражданкина Н. С.* Древние строительные материалы Узбекистана // Сборник «Строительные материалы Узбекистана» ; отв. ред. Е. П. Залесский. Ташкент : Изд-во АН Узбекской ССР, 1951. 359 с.
6. *Вахитов М. М., Тожиев И. И.* Физико-химические исследования строительных материалов памятников архитектуры Древней Бухары // *Материалы XIII Международной научной конференции*. 2020. С. 155—158.
7. *Tojiev I. I., Vakhitov M. M.* Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference // *Chelyabinsk SUSU Publishing*. 2020. P. 155—158.

А. И. Зубакова

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

РАЗРАБОТКА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С БИОЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ

DEVELOPMENT OF DRY BUILDING MIXES WITH BIOCIDAL PROPERTIES

Аннотация. В статье рассматривается проблема микробиологического разрушения строительных конструкций и пути ее решения путем создания сухих строительных смесей (ССС) с биоцидными свойствами. Целью настоящего исследования является разработка сухой строительной смеси на гипсовой основе с биоцидными свойствами за счет внедрения фотокаталитически активного диоксида титана. Методология исследования основана на теоретическом моделировании процессов генерации активных форм кислорода ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}_2^-$) при воздействии ультрафиолетового излучения на наночастицы TiO_2 , равномерно распределенные в гипсовой матрице. Проведены расчеты эффективной площади фотокаталитической поверхности, интенсивности образования радикалов и их способности к инактивации патогенной микрофлоры. Результаты моделирования показали, что при добавлении 2 масс. % TiO_2 достигается выраженный биоцидный эффект, позволяющий дезактивировать до 99 % микроорганизмов в течение одного часа УФ-облучения. Сделан вывод о целесообразности использования таких материалов в зонах с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями.

Abstract. This article addresses the issue of microbiological degradation of building structures and presents a solution through the development of dry building mixes (DBMs) with biocidal properties. The objective of this study is to develop a gypsum-based dry construction mix with biocidal

© Зубакова А. И., 2025

properties through the incorporation of photocatalytically active titanium dioxide. The research methodology is based on theoretical modeling of the generation of reactive oxygen species ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}_2^-$) under ultraviolet radiation acting on TiO_2 nanoparticles uniformly dispersed within the gypsum matrix. Calculations were conducted to estimate the effective photocatalytic surface area, the intensity of radical formation, and the microbial inactivation potential. Modeling results demonstrated that the addition of 2 wt% TiO_2 ensures a significant biocidal effect, capable of deactivating up to 99 % of microorganisms within one hour of UV exposure. The study concludes that such materials are suitable for use in environments with elevated sanitary and hygienic requirements.

Ключевые слова: гипс, диоксид титана, фотокатализ, биоцидные свойства, строительные смеси, наноматериалы, ультрафиолет, активные формы кислорода

Keywords: gypsum, titanium dioxide, photocatalysis, biocidal properties, dry mix, nanomaterials, ultraviolet, reactive oxygen species

Введение

Современные тенденции в строительной индустрии направлены не только на повышение прочностных и эксплуатационных характеристик материалов, но и на расширение их функциональных возможностей. Одним из приоритетных направлений является разработка строительных смесей и покрытий с санитарно-гигиеническими функциями, в частности — с антибактериальной активностью. Это особенно актуально для помещений с высокими требованиями к чистоте и стерильности: медицинских учреждений, пищевых производств, детских и учебных заведений, а также в местах массового пребывания людей.

Традиционные методы защиты строительных материалов от биологического загрязнения, как правило, включают использование химических биоцидов — соединений хлора, серебра, меди и других металлов. Однако такие вещества обладают ограниченным сроком действия, могут вымываться из материала, а также нередко представляют опасность для здоровья человека

и окружающей среды. В связи с этим возникает потребность в альтернативных решениях, обеспечивающих долговременное и безопасное ингибирование микробной активности.

Одним из перспективных путей является применение фотокаталитических материалов, в частности диоксида титана (TiO_2), способного под действием ультрафиолетового излучения инициировать образование активных форм кислорода, обладающих выраженной окислительной и биоцидной активностью. Радикалы $\cdot\text{OH}$ и $\cdot\text{O}_2^-$, возникающие на поверхности TiO_2 , разрушают клеточные стенки бактерий, вирусов и грибов, вызывая их гибель. При этом сам фотокатализатор не расходуется, а процесс саморегенерируется при повторном воздействии УФ-излучения, что делает его устойчивым во времени.

В контексте строительных технологий особый интерес представляет интеграция TiO_2 в состав сухих строительных смесей, особенно гипсовых, которые широко применяются для внутренней отделки помещений. Гипс — экологически безопасный, пористый и легко модифицируемый материал, обладающий хорошей адгезией и совместимостью с различными функциональными добавками. Совмещение гипсовой матрицы с фотокаталитическими свойствами может привести к созданию строительного покрытия, которое не только выполняет декоративную и конструктивную функцию, но и способствует постоянной очистке воздуха и подавлению микрофлоры.

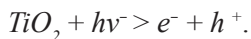
Цель данной работы — на основе теоретического анализа и моделирования фотокаталитических процессов обосновать возможность создания гипсовой строительной смеси с устойчивыми биоцидными свойствами за счет введения наночастиц диоксида титана. Работа направлена на количественную оценку эффективности предлагаемого материала без проведения экспериментальных испытаний, что актуально на этапе предварительной научной проработки концепции.

Материалы и методы

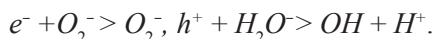
Матрица материала — гипсовое вяжущее $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, обладающее высокой реакционной способностью и способностью к кристаллизации с формированием пористой структуры [1; 5].

Пористость гипсовой основы способствует хорошей фиксации нанокomпонентов и созданию условий для доступа кислорода и водяного пара к активным зонам.

Активный компонент — наночастицы диоксида титана (TiO_2) в фазе анатаза, с шириной запрещенной зоны $E_g \approx 3,2$ эВ, что делает их активными при облучении УФ-светом с длиной волны до ~ 390 нм [2; 6]. Под действием фотонов происходит генерация электронно-дырочных пар:



Образованные носители заряда взаимодействуют с молекулами кислорода и воды на поверхности частиц, инициируя образование активных форм кислорода — ключевого элемента биоцидного механизма:



Эти радикалы обладают высокой окислительной способностью и приводят к инактивации клеточных структур бактерий, разрушению вирусных оболочек и деструкции органических загрязнений [7].

В рамках теоретического этапа исследования проводилось математическое моделирование с учетом следующих параметров:

1. Оценка активной поверхности: рассчитывалась эффективная удельная площадь поверхности фотокаталитических частиц при введении 2 масс. % TiO_2 , с учетом их распределения по объему гипсовой матрицы и частичного покрытия частицами гипса [4].

$$A_{\text{eff}} = S_{\text{BET}} \cdot m_{\text{TiO}_2} \cdot \alpha,$$

где: S_{BET} — удельная площадь поверхности (200—300 м²/г для анатаза); m_{TiO_2} — масса TiO_2 в составе смеси; α — коэффициент экспонирования поверхности (учет покрытия частиц гипсом).

2. Расчет фотокаталитической активности: анализировалась скорость генерации радикалов при стандартной интенсивности ультрафиолетового излучения 1 мВт/см², что соответствует естественным условиям освещения или работе УФ-ламп [2; 3].

Количество активных радикалов, генерируемых под воздействием УФ-излучения рассчитывалось по формуле

$$R = \phi \cdot I \cdot A_{\text{eff}} \cdot \eta,$$

где: ϕ — квантовый выход (для TiO_2 -анатаза принято значение 0,1—0,3); I — интенсивность УФ-излучения (Вт/м^2); A_{eff} — эффективная площадь фотокаталитической поверхности ($\text{м}^2/\text{г}$); η — коэффициент использования световой энергии.

3. Сравнение с порогом инактивации микроорганизмов: полученные значения сравнивались с литературными данными о минимально эффективной дозе активных форм кислорода, необходимой для инактивации распространенных видов бактерий, грибов и вирусов [7; 8].

4. Дополнительно учитывались физико-химические взаимодействия между компонентами смеси, в частности, влияние TiO_2 на структуру и схватывание гипса, а также его стабильность в сульфатной среде. Теоретическая модель не учитывает влияние посторонних загрязнителей или комплексных многокомпонентных добавок, сосредотачиваясь на базовом случае двухкомпонентной системы [1; 9].

Результаты

Результаты теоретического анализа подтвердили возможность формирования стойкого биоцидного эффекта в гипсовой строительной смеси при введении фотокаталитически активного TiO_2 . На основе расчетов и сопоставления с данными научной литературы были получены следующие ключевые выводы:

- Оптимальная концентрация TiO_2 составляет 2 масс. %. При таком содержании обеспечивается достаточная плотность распределения наночастиц в объеме гипсовой матрицы без ухудшения технологических свойств смеси и без избыточного расхода добавки. При добавлении 2 % наночастиц TiO_2 (20 г на 1 кг смеси) с удельной поверхностью $50 \text{ м}^2/\text{г}$ общая активная площадь достигает 1000 м^2 . Учитывая частичное покрытие гипсом, допустим, что 10 % остается открытым — 100 м^2 активной поверхности на 1 м^2 покрытия [4; 6].

- Эффективная площадь фотокаталитической поверхности при данной дозировке TiO_2 в стандартной гипсовой массе оценивается в пределах 3—6 м² на 1 м² обработанной поверхности, с учетом пористости гипсового покрытия и частичного выхода частиц на поверхность.

- При облучении смеси ультрафиолетом с интенсивностью 1 мВт/см² (соответствует УФ-А диапазону солнечного излучения или бытовым УФ-лампам) генерируется достаточное количество активных форм кислорода (в первую очередь $\bullet\text{OH}$ и $\bullet\text{O}_2^-$), способных инактивировать до 99 % бактериальной микрофлоры в течение 30—60 мин непрерывного воздействия [7; 8]. Эти значения соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям к отделочным материалам в медицинских и общественных зданиях [10].

- Радикалы, образующиеся в процессе фотокатализа, демонстрируют высокую реакционную способность по отношению к патогенным микроорганизмам, при этом сам TiO_2 остается химически стабильным и не расходуется, что подтверждает его долговременную активность.

- Теоретическая модель показала, что введение TiO_2 не оказывает отрицательного влияния на процессы кристаллизации гипса, а при равномерном распределении наночастиц не нарушает адгезионные и механические свойства материала [1; 5; 9].

- Пористая структура гипса способствует диффузии воздуха и водяных паров, обеспечивая поступление реагентов к поверхности TiO_2 . Образование активных форм кислорода происходит без участия химических реагентов, что делает материал экологически безопасным и долговечным [3; 6].

Таким образом, проведенные расчеты подтверждают, что гипсовая строительная смесь с добавлением 2 % TiO_2 потенциально может служить самоочищающимся и антисептическим покрытием, эффективным против широкого спектра микроорганизмов, особенно в условиях регулярного воздействия света.

Заключение

Проведенное теоретическое исследование подтвердило перспективность использования диоксида титана (TiO_2) в качестве фотокаталитической добавки для получения гипсовых строи-

тельных смесей с выраженными биоцидными свойствами. На основе физико-химического моделирования установлено, что при введении 2 масс. % TiO_2 в структуру гипсовой матрицы обеспечивается формирование эффективной активной поверхности, способной генерировать радикалы с высокой окислительной активностью под действием ультрафиолетового излучения.

Расчеты показали, что при воздействии УФ-света средней интенсивности (1 мВт/см^2) создаются условия, достаточные для инактивации до 99 % микроорганизмов на обработанной поверхности за сравнительно короткое время. При этом фотокаталитический компонент не вступает в нежелательные реакции с гипсом и не ухудшает его физико-механические свойства, что делает предложенную композицию устойчивой и технологичной.

Таким образом, гипсовая смесь с TiO_2 может быть рассмотрена как многофункциональный строительный материал, сочетающий отделочную и санитарную функции. Полученные результаты создают основу для дальнейших прикладных и экспериментальных исследований, направленных на разработку практической рецептуры и тестирование смеси в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Пискунов А. В., Савинова Н. В. Модификация гипсовых вяжущих с использованием диоксида титана для антимикробной защиты // Строительные материалы. 2020. № 3. С. 42—47.
2. Смирнов И. А., Козлова И. Е. Фотоактивные строительные покрытия на основе TiO_2 : возможности и ограничения применения в архитектуре // Строительные материалы. 2019. № 12. С. 60—64.
3. Подольская И. И., Ермаков А. В. Перспективы использования наноматериалов в сухих строительных смесях нового поколения // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16, № 3. С. 345—355. doi: 10.22227/1997-0935.2021.3.345-355.

4. Григорьев С. Ю., Левин С. А., Николаев А. Ю. Влияние наноструктурированных добавок TiO_2 на антисептические свойства строительных покрытий // Современные строительные материалы и технологии. 2022. № 2. С. 25—31.

5. Ильина О. А., Мелихова М. В. Свойства фотокаталитических покрытий на основе диоксида титана в строительстве // Строительство и техносфера. 2021. № 4. С. 91—98.

6. Васильев Н. В., Гуров И. А. Сухие строительные смеси с биоцидным эффектом: состав и перспективы применения // Наука и инновации в строительстве. 2023. Т. 12, № 1. С. 112—118.

7. Чжан Л., Цзян И., Дин Ю. и др. Фотокаталитическая антибактериальная активность покрытий на основе TiO_2 , полученных различными методами: обзор // Журнал науки и технологий материалов. 2016. Т. 32, № 1. С. 1—14.

8. Ван В., Юй Х., Чжан Х., Сюй Цз. Фотокаталитическая дезинфекция с использованием материалов на основе TiO_2 : механизмы и эффективность // Журнал чистого производства. 2018. Т. 202. С. 273—289.

9. Махди М., Хассан М. Умные покрытия на основе TiO_2 для устойчивых зданий: самоочищение, антимикробные и очищающие свойства // Журнал строительной инженерии. 2021. Т. 42. Ст. 102406.

10. Ранджбар Н., Кюнцель К. Влияние наночастиц TiO_2 на свойства цементных материалов: обзор // Строительные материалы. 2017. Т. 142. С. 105—127.

В. Г. Барсуков¹, М. А. Дмитриева², Е. В. Овчинников¹, М. Атак¹

¹ Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (Гродно, Республика Беларусь)

² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (Калининград, Россия)

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

MICROMECHANICAL ASPECTS OF TENSILE STRENGTH OF FIBERGLASS RODS

***Аннотация.** Рассмотрены микромеханические аспекты прочности стержней из однонаправленных стеклопластиков при растяжении с использованием микромеханической модели взаимодействия армирующего волокна и полимерной матрицы. Расчетная схема принята в виде элементарной ячейки, представляющий собой полый полимерный микро — цилиндр, в котором в виде соединения с изменяющимся под нагрузкой деформационным натягом расположен волокнистый армирующий наполнитель. Натяг обусловлен разностью поперечных деформаций волокна и связующего вследствие различий соответствующих коэффициентов Пуассона. Численный анализ выполнен на примере опубликованных в литературе данных по испытаниям стеклопластиковой полосы, содержащей 57 % стеклянных волокон по объему. Композит изготовлен из стекловолокна E и эпоксидной смолы СУ225 с отвердителем НУ225 в механической лаборатории университета Докуз Эйлюль, Турция. Для сравнения определены осевые и тангенциальные напряжения в окрестностях стекловолокнистого наполнителя для арматуры стеклопластиковой по стандарту Республики Беларусь СТБ 1103-98 «Арматура стеклопластиковая» и Межгосударственному стандарту ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» (Российская Федерация) с*

© Барсуков В. Г., Дмитриева М. А., Овчинников Е. В., Атак М., 2025

объемной степени заполнения 67 %. Показано, что вклад дополнительных напряжений, обусловленных различиями коэффициентов Пуассона, для однонаправленных стеклопластиков существенный и должен учитываться при выполнении технических расчетов.

Abstract. *The micromechanical aspects of the tensile strength of unidirectional fiberglass rods are considered using a micromechanical model of the interaction of reinforcing fiber and polymer matrix. The calculation scheme is adopted in the form of an elementary cell, which is a hollow polymer micro — cylinder, in which the fibrous reinforcing filler is located in the form of a joint with a deformation tension changing under load. The tension is due to the difference in transverse deformations of the fiber and binder due to differences in the corresponding Poisson's ratios. Numerical analysis is performed using the example of published data on testing a fiberglass strip containing 57 % glass fibers by volume. The composite is made of E glass fiber and CY225 epoxy resin with HY225 hardener in the mechanical laboratory of Dokuz Eylul University, Türkiye. For comparison, axial and tangential stresses in the vicinity of the fiberglass filler for fiberglass reinforcement according to the standard of the Republic of Belarus STB 1103-98 "Fiberglass Reinforcement" and the Interstate Standard GOST 32492-2015 "Composite Polymer Reinforcement for Reinforcing Concrete Structures" (Russian Federation) with a volumetric filling degree of 67 % are determined. It is shown that the contribution of additional stresses caused by differences in Poisson's ratios for unidirectional fiberglass is significant and should be taken into account when performing technical calculations.*

Ключевые слова: *стеклопластик, стержень, напряжения, растяжение, прочность, коэффициент Пуассона*

Keywords: *fiberglass, rod, stress, tension, strength, Poisson's ratio*

Введение

Стеклопластиковые стержни и полосы используются не только для усиления строительных конструкций, но также в качестве основных конструкционных материалов [1—4]. Исследования и разработки в области развития стеклопластиковых и гибридных композитов ведутся во многих научно-технических центрах

[5—9]. Однако, несмотря на достигнутый прогресс, многие вопросы обеспечения прочности стеклопластиковых элементов конструкций изучены недостаточно [10—12]. Механизмы разрушения однонаправленных стеклопластиков отличаются от механизмов разрушения не только металлов и блочных полимеров, но также и от углепластиков. Например, для металлических и углепластиковых стержней разрушение при разрыве происходит обычно путем образования поперечных трещин [10; 13], в то время как для стеклопластиковой композитной арматуры часто наблюдается продольное расслоение образцов или даже раздробление полимерного связующего в зоне разрушения с образованием своеобразной «метелки» из армирующих волокон [7; 14—16].

Исследования показывают, что в однонаправленных стеклопластиках разрушение происходит вследствие потери прочности полимерного связующего при уровне напряжений в стеклянных волокнах, далеко от их предела прочности [16]. Прикладываемая к образцам в процессе испытаний продольная растягивающая сила приводит к появлению объемного напряженного состояния в волокнах и полимерном связующем. Кроме номинальных осевых напряжений от действия растягивающего усилия, необходимо принимать во внимание дополнительные напряжения, вызванные химической и термической усадкой связующего [17], изгибом образцов вследствие неизбежного эксцентриситета рабочей части образца и зоны утолщения для захватов разрывной машины [15; 16], а также различиями коэффициентов Пуассона стеклянных волокон и полимерного связующего [18]. Причем опубликованные в научно-технической литературе сведения из смежных областей науки фрагментарны и противоречивы.

Цель работы — микромеханическая оценка неоднородности напряженного состояния и прочности стеклопластиковых стержней при растяжении.

Методика исследований и материалы

При анализе напряженного состояния использована приведенная в работе [18] микромеханическая модель взаимодействия армирующего волокна и полимерной матрицы. Расчетная

схема принята в виде элементарной ячейки, представляющий собой полый полимерный микро — цилиндр, в котором в виде соединения с изменяющимся под нагрузкой деформационным натягом расположен волокнистый армирующий наполнитель (рис.). Натяг обусловлен разностью поперечных деформаций волокна и связующего вследствие различий соответствующих коэффициентов Пуассона.

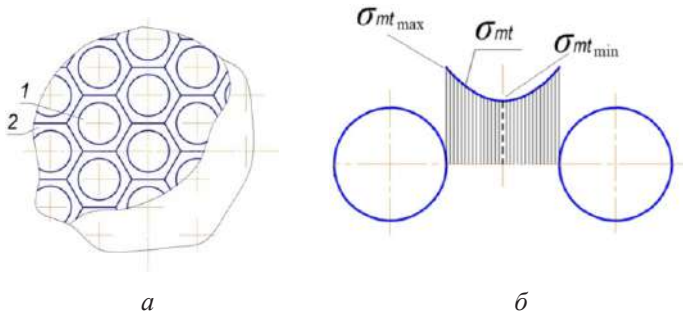


Рис. Схематическое изображение элементарных ячеек (а), и характера распределения окружных (тангенциальных) напряжений (б) в межволоконном пространстве:
1 — волокно, 2 — полимерная матрица

Максимальные напряжения $\sigma_{tm\max}$ в полимерной матрице, действующие на границе контакта со стеклянным волокном, определяли по формуле [18]:

$$\frac{\sigma_{tm\max}}{\sigma_{mn}} = \frac{(\mu_m - \mu_f)(1 + V_f)}{1 + V_f + \mu_m(1 - V_f) - 2\mu_m^2 V_f}; \quad (1)$$

где μ_f, μ_m — коэффициенты Пуассона волокон и матрицы соответственно;

V_f — объемное содержание волокон;

σ_{tmn} — номинальные растягивающие напряжения в полимерной матрице.

Для расчетной оценки минимальных напряжений $\sigma_{tm\min}$ использована зависимость [18]:

$$\frac{\sigma_{tm\min}}{\sigma_{mn}} = \frac{2V_f(\mu_m - \mu_f)}{1 + V_f + \mu_m(1 - V_f) - 2\mu_m^2 V_f}. \quad (2)$$

Аксиальные напряжения в полимерной матрице вычисляли по формуле [18]:

$$\frac{\sigma_{m0}}{\sigma_{mn}} = \frac{1 + V_f + \mu_m(1 - V_f) - 2\mu_m\mu_f V_f}{1 + V_f + \mu_m(1 - V_f) - 2\mu_m^2 V_f}. \quad (3)$$

Сравнительный численный анализ выполняли на примере опубликованных в научно-технической литературе данных по испытаниям стеклопластиковой полосы со степенью наполнения $V_f = 0,57$, изготовленной из стекловолокна E и эпоксидной смолы $CY225$ с отвердителем $HY225$ в механической лаборатории университета Докуз Эйлюль, Турция, а также арматуры стеклопластиковой по стандарту Республики Беларусь СТБ 1103-98 «Арматура стеклопластиковая» и Межгосударственному стандарту ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» (Российская Федерация) со степенью наполнения $V_f = 0,67$.

Результаты исследований и их обсуждение

Поскольку приводимые в справочной литературе численные значения коэффициентов Пуассона полимерных смол заметно различаются, а сведения о фактических значениях в композите отсутствуют, то расчет выполнен для широкого диапазона изменения этого коэффициента.

В таблице 1 приведены результаты расчетной оценки отношения осевых растягивающих напряжений в полимерной матрице к номинальным значениям этих напряжений, рассчитываемым по правилу смесей для стеклопластиковой полосы со степенью наполнения $V_f = 0,57$, изготовленной из стекловолокна E и эпоксидной смолы $CY225$ с отвердителем $HY225$.

Таблица 1

**Результаты расчетной оценки отношения
осевых растягивающих напряжений в полимерной матрице
к номинальным значениям этих напряжений**

Коэффициент Пуассона матрицы μ_m	Отношение σ_{m0}/σ_{mn} при коэффициенте Пуассона волокна, μ_f		
	0,22	0,23	0,24
0,33	1,024	1,021	1,019
0,34	1,027	1,024	1,022
0,35	1,030	1,027	1,025
0,36	1,033	1,031	1,028
0,37	1,036	1,034	1,032
0,38	1,040	1,037	1,035

Анализ показывает, что значения осевых растягивающих напряжений в полимерном связующем превышают на 1,9—4,0 % соответствующие номинальные значения (полученные по правилу смесей без учета упругого изменения площади сечения компонентов и различия коэффициентов Пуассона). Однако это превышение является незначительным.

В таблице 2 приведены расчетные значения отношения тангенциальных (окружных) растягивающих напряжений в полимерной матрице на границе раздела со стеклянным волокном, к номинальным осевым напряжениям в полимерной матрице для широкого диапазона изменения коэффициента Пуассона матрицы применительно к стеклопластиковой полосе со степенью наполнения $V_f=0,57$, изготовленной из стекловолокна E и эпоксидной смолы $CY225$ с отвердителем $HY225$.

Таблица 2

**Расчетные значения отношения максимальных
растягивающих тангенциальных напряжений
к номинальным осевым в полимерной матрице**

Коэффициент Пуассона матрицы μ_m	Отношение $\sigma_{tm\max}/\sigma_{mn}$ (%) при коэффициенте Пуассона волокна, μ_f		
	0,22	0,23	0,24
0,33	10,80	9,82	8,84

Окончание табл. 2

Коэффициент Пуассона матрицы μ_m	Отношение $\sigma_{tm\max}/\sigma_{mn}$ (%) при коэффициенте Пуассона волокна, μ_f		
	0,22	0,23	0,24
0,34	11,80	10,82	9,84
0,35	12,81	11,83	10,84
0,36	13,82	12,84	11,85
0,37	14,84	13,85	12,86
0,38	15,87	14,88	13,88

Из таблицы 2 видно, что максимальные тангенциальные растягивающие напряжения в полимерной матрице на границе раздела с волокном составляют от 8,84 до 15,87 % от номинальных осевых напряжений растяжения σ_{mn} для стеклопластика в зависимости от сочетания коэффициентов Пуассона волокна и полимера.

С целью сравнительной оценки в таблице 3 приведены значения отношения растягивающих тангенциальных напряжений к номинальным осевым в полимерной матрице для арматуры стеклопластиковой по стандарту Республики Беларусь СТБ 1103-98 «Арматура стеклопластиковая» и Межгосударственному стандарту ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» (Российская Федерация) со степенью наполнения $V_f = 0,67$.

Таблица 3

Расчетные значения относительных растягивающих тангенциальных напряжений в полимерной матрице для стеклопластиковой арматуры

Коэффициент Пуассона		Отношение σ_{tm}/σ_{mn} , (%)	
волокна, μ_f	матрицы μ_m	max	min
0,22	0,35	13,4	10,7
	0,37	15,6	12,4
0,23	0,35	12,3	9,9
	0,37	14,5	11,6
0,24	0,35	11,3	9,1
	0,37	13,5	10,8

Анализ показывает, что тангенциальные растягивающие напряжения в полимерной матрице на границе раздела с волокном составляют 11,3...15,6 % от номинальных осевых напряжений растяжения σ_{mn} в зависимости от сочетания коэффициентов Пуассона волокна и полимера. Минимальные растягивающие тангенциальные напряжения, действующие на середине расстояния между волокнами, составляют 9,1...12,4 % от σ_{mn} . Такой уровень тангенциальных напряжений свидетельствует о том, что их роль в разрушении композита существенна и в настоящее время недооценивается.

Заключение

Результаты выполненных исследований позволяют производить расчетную оценку неоднородности напряженного состояния стеклопластиковых стержней, обусловленную различиями коэффициентов Пуассона стеклянных волокон и полимерной матрицы. Показано, что уровень таких напряжений существенный и должен учитываться при оценке прочности конструкций.

Список литературы

1. Chaallal O., Benmokrane B. Fiber — reinforced plastic rebars for concrete applications // Composites Part B: Engineering. 1996. Vol. 27, iss.3-4. P. 245—252. doi: 10.1016/1359-8368(95)00023-2.
2. Cui Y., Cheung M. M. S., Noruziaan B. et al. Development of ductile composite reinforcement bars for concrete structures // Materials and Structures. 2008. Vol. 41. P. 1509—1518.
3. CNR-DT 203/2006. Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber- reinforced polymer bars. Rome : Italian National Research Council (CNR), 2006. 35 p.
4. Jarek B., Kubik A. Zastosowanie prętów zbrojeniowych z włókna szklanego (GFRP) w budownictwie // Przegląd budowlany. 2015. № 12. P. 21—26.
5. You Y.-J., Park Y.-H., Kim H.-Y., Park J.-S. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions // Composite Structures. 2007. Vol. 80, iss. 1. P. 117—122. doi: 10.1016/j.compstruct.2006.04.065.

6. *Sun Z., Tang Y., Luo Y.* Mechanical properties of steel-FRB composite bar under tensile and compressive loading // *International Journal of Polymer Science*. 2017. Vol. 2017, iss. 1. 11 p. doi: 10.1155/2017/5691278.

7. *Ashchepkau M. Yu., Shil'ko S. V., Drobysh T. V., Choe H.* Tensile fracture specificity of unidirectional metal- polymer glass-fiber composites with cord wire // *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2020. № 3 (52). P. 55—62.

8. *Ozsoy N., Mimaroğlu A., Ozsoy M., Ozsoy M. I.* Comparison of mechanical behavior of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites // *Acta physica polonica A*. 2015. Vol. 127, № 4. P. 1032—1034. doi:10.12693/APhysPolA.127.1032.

9. *Seo D-W., Park K-T., You Y. J.* Experimental investigation for tensile performance of GFRP-steel hybridized rebar // *Advanced in Materials Science and Engineering*, 2016. № 1. P. 1—12. doi: 10.1155/2016/9401427.

10. *Matthews F., Rawlings R.* Composite materials: engineering and science Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 1999. 470 p.

11. *Carvelli V., Fava G., Pisani M.* Anchor system for tension testing of large diameter GFRP bars // *Journal of composites for construction*. 2009. Vol. 13, № 5. P. 344—349. doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000027.

12. *Castro P. F., Carino N. J.* Tensile and nondestructive testing of FRP bars // *Journal of composites for construction*. 1998. Vol. 2, № 1. P. 17—27. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0268(1998)2:1(17).

13. *Okutan B., Karakuzu R.* The Failure Strength For Pin-loaded Multi-directional Fiber-glass Reinforced Epoxy Laminate // *Journal of Composite Materials*. 2002. Vol. 36, № 24. P. 2695—2712. doi: 10.1177/002199802761675502.

14. *Гиздатуллин А. Р., Хозин В. Г., Куклин А. Н., Хуснутдинов А. М.* Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // *Инженерно-строительный журнал*, 2014, № 3 (47). С. 40—47. doi: 10.5862/MCE.47.4.

15. *Барсуков В. Г., Лежава А. Г.* Напряжения при разрыве композитной арматуры, установленной эксцентрично в испытательных муфтах // *Известия вузов. Строительство*. 2024. № 8 (788). С. 133—143. doi: 10.32683/0536-1052-2024-788-8-133-143.

16. *Барсуков В. Г., Лежава А. Г., Евсеева Е. А.* Особенности напряженного состояния композитной арматуры при испытаниях на разрыв // *Наука и техника*. 2024. Т. 23, № 6. С. 492—499. doi: 10.21122/2227-1031-2024-23-6-492-499.

17. *Василевич Ю. В., Горелый К. А., Сахоненко С. В. и др.* Влияние химической усадки связующего в процессе отверждения на образование остаточных напряжений в цилиндрических оболочках из композита // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / редкол.: А. В. Чигарев (пред., гл. ред.) [и др.]. 2016. Вып. 31. С. 67—72.

18. *Барсуков В. Г., Лежава А. Г., Евсеева Е. А.* Напряжения в композитной строительной арматуре, обусловленные различиями коэффициентов Пуассона // Наука и техника. 2025. Т. 24, № 2. С. 124—133. doi: 10.21122/2227-1031-2025-24-2-124-133.

Н. О. Борисов, О. Н. Столяров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Санкт-Петербург, Россия)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТЕКСТИЛЬНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА

OPTIMIZATION OF CANTILEVER ROOF STRUCTURES MADE OF TEXTILE-REINFORCED CONCRETE

Аннотация. *Представлено численное исследование консольной кровельной конструкции из текстильно-армированного бетона (ТАБ), выполненной для условий юга России. Модель разрабатывалась с учетом особенностей геометрии и воздействия внешней среды, включая снеговые и ветровые нагрузки. Сравнительный анализ с армицементной системой показал повышение жесткости и снижение прогибов при использовании ТАБ. Полученные результаты демонстрируют потенциал материала для увеличения пролетов и повышения экономичности кровельных элементов спортивных сооружений.*

Abstract. *A numerical study of a cantilever roof structure made of textile-reinforced concrete (TRC) is presented for the climatic conditions of southern Russia. The model was developed considering geometry and external loads, including snow and wind. A comparative analysis with a ferrocement system demonstrated improved stiffness and reduced deflec-*

© Борисов Н. О., Столяров О. Н., 2025

tion when using TRC. The findings confirm the potential of TRC for span extension and increased structural efficiency in sports facility roofing systems.

Ключевые слова: *текстильно-армированный бетон, консоль, крыша, деформации, спортивные сооружения*

Keywords: *textile-reinforced concrete, cantilever, roof, deformation, sports facilities*

Введение

Текстильно-армированный бетон (ТАБ) — это композитный материал нового поколения, сочетающий цементную матрицу и щелочестойкие армирующие текстильные волокна, такие как стеклянные, углеродные или базальтовые. За счет высокой прочности на растяжение, низкой плотности и коррозионной стойкости, ТАБ получил широкое распространение в конструкциях с требованиями к малому весу и высокой жесткости [1; 2]. Его использование позволяет эффективно усиливать традиционные конструкции [3; 4], повышать их сопротивление изгибу и растяжению [5], а также улучшать энергоэффективность и устойчивость к динамическим воздействиям [6].

Актуальность применения ТАБ особенно возрастает в архитектурных и инженерных решениях с большими пролетами и выносами — например, в навесах и козырьках спортивных сооружений. Учитывая климатические условия южных регионов России (нагрузки от снега и ветра), важно обеспечить надежность и долговечность кровельных элементов, сохранив при этом визуальную легкость и экономичность [7; 8].

Современные численные методы моделирования позволяют точно оценивать поведение ТАБ-структур при сложных нагрузениях, включая изгиб, кручение и вибрации [9; 10]. При этом особое внимание уделяется интерфейсу «текстиль — матрица» и распределению напряжений в зоне растяжения [5; 6]. приме-

нение базальтового и углеродного армирования дает возможность дополнительно снизить массу конструкции и повысить ее трещиностойкость [11; 12].

Целью настоящего исследования является численный анализ кровельной консольной конструкции из ТАБ для климатических условий юга России с последующим сравнением ее деформационных характеристик с традиционной армоцементной системой. В рамках работы проводится оценка жесткости конструкции, предельных прогибов и допустимого увеличения длины консольного выноса без ущерба эксплуатационной надежности.

Материалы и методы

Объектом моделирования выступала консольная кровля спортивного сооружения с выносом 22,7 м и общей шириной 84 м, состоящей из изогнутой плиты и поддерживающих ребер. Расчеты выполнены методом конечных элементов в ANSYS. Материалом принят ТАБ с модулем упругости 35 ГПа, плотностью 2300 кг/м³ и прочностью на растяжение 3,0 МПа. В качестве контрольного варианта рассматривалась система из армоцемента с соответствующими характеристиками. Условия закрепления: жесткая фиксация на одном краю и свободный конец с другой стороны (классическая консольная схема). Влияние текстильной арматуры на распределение напряжений и деформации рассматривалось в линейной постановке без учета микрповреждений.

Результаты

Сравнительный анализ показал, что применение ТАБ позволяет уменьшить прогиб свободного края консоли в среднем на 30—35 % по сравнению с армоцементной системой. Это достигается благодаря более высокому модулю упругости и меньшей массе покрытия.

При этом конструкция сохраняет нормативную надежность даже при увеличении длины выноса до 25,5—26 м, что открывает возможность для проектирования более протяженных козырьков без усложнения несущей схемы (рис.). Поведение

конструкции под действием комплексной нагрузки сохраняет линейную зависимость между приложенным усилием и прогибом вплоть до граничных состояний. Графический анализ подтвердил эффективность использования ТАБ в условиях высоких изгибающих моментов, характерных для консольных элементов.

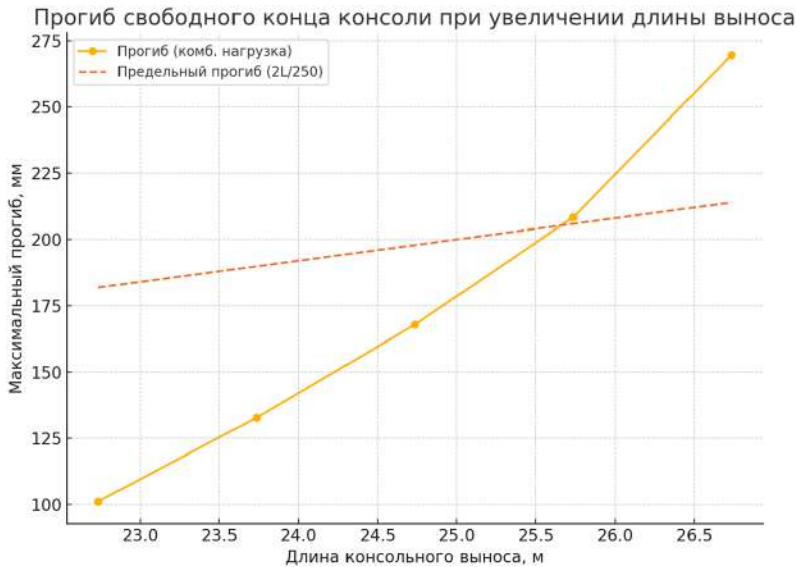


Рис. Зависимость максимального прогиба от длины выноса консоли

Заключение

Применение текстильно-армированного бетона в консольных кровельных элементах позволяет существенно повысить жесткость конструкции и снизить ее массу. Это дает возможность проектировать покрытия с увеличенными выносами или использовать облегченные конструкции при сохранении эксплуатационной надежности. Полученные результаты особенно актуальны для южных регионов России, где климатические нагрузки предъявляют особые требования к архитектурным реше-

ниям. Исследование подтвердило, что ТАБ — перспективный материал для современных кровельных систем с высокими требованиями к геометрической выразительности и механической эффективности.

Список литературы

1. *Qu F., Yin S., Wang F. et al.* Effects of textile-reinforced concrete on the cyclic shear behavior of damaged confined brick masonry walls // *Building Engineering*. 2023. Vol. 78. P. 107717. doi: 10.1016/j.jobe.2023.107717.
2. *Kalthoff M., Bosbach S., Backes J. G. et al.* Fabrication of lightweight, carbon extile reinforced concrete components with internally nested lat-tice structure using 2-layer extrusion by LabMor // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 395. P. 132334. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132334.
3. *Li Y., Yin S., Wang Q. et al.* Compressive behaviour of concrete columns confined with textile reinforced concrete composites // *Building Engineering*. 2024. Vol. 96. P. 110587. doi: 10.1016/j.jobe.2024.110587.
4. *Sciegaj A., Almfeldt S., Larsson F. et al.* Textile reinforced concrete members subjected to tension, bending, and in-plane loads: Experimental study and numerical analyses // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 408. P. 133762. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133762.
5. *Ye S., Lu C., She P. et al.* Numerical model of tensile behavior of textile reinforced concrete (TRC) based on stress field analysis // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 407. P. 133568. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133568.
6. *Wang C., Yin S., Zhao Y. et al.* Flexural behavior of composite beams with textile reinforced concrete (TRC) permanent formwork considering interface characteristics // *Building Engineering*. 2025. Vol. 99. P. 111602. doi: 10.1016/j.jobe.2024.111602.
7. *Priyanga R., Muthadhi A.* Bending analysis of textile reinforced concrete sandwich panels: Experimental and numerical evaluation // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 439. P. 137213. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137213.
8. *Esaker M., Thermou G. E., Neves L.* Behaviour of Textile Reinforced Concrete panels under high-velocity impact loading // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 445. P. 137806. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.137806.

9. *Immanuel S., Kaliyamoorthy B.* Investigating the effect of textile layers on the flexural response of Textile Reinforced Concrete (TRC) panels // *Structures*. 2025. Vol. 71. P. 108112. doi: doi.org/10.1016/j.istruc.2024.108112.

10. *Betz P., Marx S., Curbach M.* Biaxial compressive capacity of textile-reinforced concrete // *Case Studies in Construction Materials*. 2024. Vol. 20. P. e02986. doi: 10.1016/j.cscm.2024.e02986.

11. *Zhang X., Wang X., Liang X. et al.* Study on the factors influencing bending spalling failure in BFRP textile-reinforced concrete // *Building Engineering*. 2025. Vol. 99. P. 111468. doi: 10.1016/j.jobbe.2024.111468.

12. *Bai X., Chen M.* Lightweight design of tensegrity Michell truss subject to cantilever loads // *Compos Struct*. 2025. P. 118925. doi: 10.1016/j.compstruct.2025.118925.

А. В. Карпенко, И. В. Хомякова

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
(Калининград, Россия)

ПРОБЛЕМАТИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЛОСКИХ КИРПИЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

PROBLEMS OF INSPECTION OF FLAT BRICK CEILINGS

Аннотация. В статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при проведении обследований плоских кирпичных перекрытий на территории Российской Федерации. Приведен перечень дефектов таких перекрытий на примере строительных объектов, расположенных в Калининградской области. В результате проведения исследования на основании общих принципов расчета плоских кирпичных перекрытий составлено соотнесение дефектов с категориями технического состояния конструкций. Дан краткий анализ совокупности дефектов на примере перекрытия Высшей торговой школы, расположенной в г. Калининграде.

Abstract. The article examines the main problems that arise when conducting surveys of flat brick floors in the Russian Federation. A list of defects of such floors is given using the example of construction sites located in the Kaliningrad Region. As a result of the study, based on the general principles of calculating flat brick floors, a correlation of defects with the categories of the technical condition of structures was compiled. A brief analysis of the totality of defects is given using the example of the ceiling of the Higher Trade School located in Kaliningrad.

Ключевые слова: плоское кирпичное перекрытие, перекрытие Клейна, кирпич, перекрытие из керамоблоков

Keywords: flat brick ceiling, Klein ceiling, brick, ceiling made of ceramic blocks

© Карпенко А. В., Хомякова И. В., 2025

Введение

Калининградская область — особенный регион Российской Федерации. Ее отличие состоит в том, что по настоящее время сохранилось значительное количество зданий и сооружений, построенных в период, когда эта территория входила в состав Германской империи, Веймарской республики и нацистской Германии (вплоть до 1945 г.). Различающиеся по отношению к Российской империи и СССР приемы проектирования предопределили появление архитектурных и инженерных особенностей зданий, одной из которых является повсеместное применение плоских кирпичных перекрытий и перекрытий из пустотелых керамических блоков.

Многим из таких перекрытий на момент написания статьи (2025) исполнилось более ста лет. Также немаловажным фактором является то, что в период окончания Второй мировой войны большинство зданий на территории современной Калининградской области находились в поврежденном состоянии, что также отрицательно влияло на сохранность кирпичных перекрытий. Все это предопределяет необходимость в изучении работы этих строительных конструкций, систематизации их дефектов и выработки рекомендаций по определению технического состояния, остаточной несущей способности и положений безопасной эксплуатации.

1. Основные принципы расчета и конструирования

Принципы расчета и конструирования плоских кирпичных и керамоблочных перекрытий описаны в технико-исторической литературе (рис. 1) [1; 2], а также в строительной литературе 1950—1960-х гг. [3; 4]. Расчет и конструирование производится с некоторой аналогией по отношению к железобетонным сечениям:

- сечение приводится к бетону (цементу);
- принимается высота сжатой зоны сечения элемента;

— из равенства сжимающих сил в бетоне (цементе) и растягивающих сил в армировании расчетом определяются параметры элемента, такие как площадь армирования, толщина перекрытия и т. д.;

— при соединении кирпичей (либо керамоблоков) цементом армирование принимается из тонких стальных полос сечением 2×20 —30 мм с загибом концов полос за края кирпичей;

— при соединении керамоблоков бетоном и большой (более 20 мм) шириной швов между ними армирование предусматривается из арматурных стержней круглого сечения.



Рис. 1. Чертеж перекрытия, приведенный в [2]

2. Проблематика проведения обследований

В ходе проведения обследований строительных объектов, расположенных на территории Калининградской области авторами статьи выявлено:

— дефекты таких перекрытий не имеют количественного описания в современной российской нормативной литературе, в частности в [5—7];

— с учетом возраста перекрытий необходимо проводить измерение остаточной прочности материалов;

— наибольшая проблема обследования таких перекрытий и выполнения поверочных расчетов заключается в сложности подтверждения совместной работы армирования, кирпичей (керамоблоков) и раствора.

Выявленные проблемы свидетельствуют о необходимости систематизации дефектов, учете их количественных характеристик, а также их влиянии на несущую способность.

3. Дефекты плоских кирпичных перекрытий

Описание некоторых дефектов даны в работах польских авторов [8—10]. На основании опыта обследования плоских кирпичных перекрытий и соотнесения его с опытом польских авторов, авторами данной статьи выработана собственная систематизация дефектов.

3.1. Дефекты несущих стальных балок

Данная группа дефектов включает в себя:

- прогибы балок;
- образование коррозии (рис. 2).



Рис. 2. Расслаивающая коррозия металла

Прогибы балок рекомендуется учитывать в соответствии с положениями действующей нормативной документации, описывающей дефекты стальных перекрытий. Учет коррозии необходимо производить путем зачистки поверхности полки балки, измерения остаточной толщины сечения и проведения расчета несущей способности балки. При этом наличие расслаивающей коррозии будет свидетельствовать об аварийном техническом состоянии ввиду того, что кирпичное заполнение такого перекрытия опирается на полки балок. Также рекомендуется

производить определение состояния стенки балки, однако эту операцию возможно произвести только при вскрытии конструкции пола.

3.2. Дефекты армирования

К дефектам армирования относится коррозия арматурных элементов. Наличие коррозии влияет на:

- уменьшение расчетного сечения армирования;
- уменьшение сцепления между армированием и раствором, влекущее за собой снижение несущей способности ввиду нарушения совместной работы элементов конструкции;
- разрушение загибов армирующих элементов за кирпичи (в случае с армированием стальными полосами). Подобные загибы армирования представляют из себя простейший вариант анкеровки арматуры. В описании эксперимента [11] указывается, что при наличии анкеровки армирования, нагрузка, вызывающая трещины в растянутой зоне перекрытия, возрастает на 55 %, а разрушающая нагрузка — на 17,8 %.

Наличие вышеуказанных дефектов при отсутствии прогибов перекрытия и разрушения материалов (кирпич, раствор) свидетельствует об ограниченно-работоспособном состоянии конструкции.

3.3. Дефекты материалов

К дефектам материалов относятся:

- разрушения связующего раствора (бетонного или цементного). Если в результате разрушения произошло полное оголение арматуры (по всему периметру сечения на протяжении большей части пролета), из кладки перекрытия вываливаются отдельные кирпичи, то такой дефект свидетельствует об аварийном состоянии перекрытия. При меньших объемах разрушения раствора техническое состояние необходимо устанавливать в совокупности с другими дефектами;
- разрушение отдельных кирпичей (керамоблоков) в растянутой зоне, в том числе и трещины (рис. 3). Ввиду того, что при определении несущей способности подобных перекрытий растянутая зона не учитывается, такие дефекты свидетельству-

ют об исчерпании запаса прочности конструкции. При отсутствии иных дефектов (либо их незначительном проявлении) дальнейшая безопасная эксплуатация возможна. Следует отметить, что разрушения отдельных керамоблоков в зонах сцепления с бетоном будут снижать несущую способность ввиду нарушения совместной работы конструкции;



Рис. 3. Разрушение отдельных керамоблоков перекрытия

— разрушение кирпичей (керамоблоков) в сжатой зоне. С учетом особенностей расчета несущей способности таких перекрытий, наличие подобных дефектов свидетельствует о наступлении аварийного состояния.

4. Анализ дефектов перекрытия здания Высшей торговой школы

Здание Высшей торговой школы расположено в г. Калининграде на ул. Генерал-лейтенанта Озерова, 57. Год постройки зданий — 1930. В ходе проведения визуального осмотра были зафиксированы следующие дефекты:

— разрушение керамоблоков в растянутой зоне перекрытия (рис. 4, 5);

— частичное оголение армирования, вызванное разрушением бетона ребер перекрытия (рис. 4, 5).



Рис. 4. Разрушение керамблоков



Рис. 5. Частичное оголение арматуры

По своему конструктивному исполнению рассматриваемое перекрытие относится к системе Аккермана [10]. Стальные балки в его конструкции отсутствуют, их роль выполняют армированные бетонные ребра, расположенные между керамблоками.

Несмотря на то что керамоблоки разрушены в растянутой зоне, разрушением также затронуты несущие ребра перекрытия. Выявленные дефекты не только исчерпывают запас прочности, не учитываемый в расчете, но и снижают несущую способность за счет ухудшения совместной работы бетона, армирования и керамоблоков. В соответствии с определениями категорий технических состояний, представленных в [7], а также результатами исследования авторов, состояние перекрытия в здании Высшей торговой школы, расположенной в г. Калининграде на ул. Генерал-лейтенанта Озерова, 57, относится к категории «ограниченно-работоспособное». При этом следует отметить, что поскольку данный участок перекрытия выполняет функции покрытия, техническое состояние конструкции может ухудшаться в зимний период года при увеличении нагрузки за счет выпадения снега.

Заключение

В результате проведения исследования авторами статьи представлен перечень основных дефектов, возникающих в плоских кирпичных перекрытиях. Определено соотношение видов дефектов с их влиянием на категорию технического состояния конструкции.

На основании проведенного исследования выполнен анализ совокупности дефектов участка перекрытия Высшей торговой школы, расположенной в г. Калининграде на ул. Генерал-лейтенанта Озерова, 57, с определением категории технического состояния конструкции как «ограниченно-работоспособной».

Результаты данного исследования имеют практическую ценность при проведении обследований зданий постройки до 1945 г.

В статье не рассматриваются прогибы плоских кирпичных перекрытий, так как для соотношения величин прогибов с категориями технического состояния необходимо провести эксперимент с разрушением конструкции.

Список литературы

1. *Залесский В. Г.* Архитектура. Краткий курс построения частей зданий: учеб. пособие. М. : Типо-литография Т-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1904. 568 с.

2. *Залесский В. Г.* Атлас чертежей к курсу построения частей зданий. М. : Типо-литография Т-ва И. Н. Кушнерев и Ко, 1904.
3. *Пильдши М. Я., Поляков С. В.* Каменные и армокаменные конструкции зданий. 2-е изд., перераб. М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955. 400 с.
4. *Розенблюмас А. М.* Каменные конструкции. М. : Высшая школа, 1964. 302 с.
5. *ВСН 53-86(р).* Правила оценки физического износа жилых зданий. Введ. 1987-07-01. М. : ФГУП ЦПП, 2007.
6. *Методика* определения физического износа гражданских зданий : утв. приказом по Министерству коммунального хозяйства РСФСР 27.10.1970 г. № 404. М. : М-во комм. хоз-ва РСФСР, 1970.
7. *ГОСТ 31937-2024.* Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: нац. стандарт Рос. Федерации: дата введения 2024-05-01. М. : Стандартиформ, 2024.
8. *Drobiec Ł.* Uszkodzenia i sposoby napraw balkonów oraz stropów z belkami stalowymi i murowanym wypełnieniem // *Mono-grafia Awarie Budowlane*. Szczecin : Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 2017. S. 273—282.
9. *Nicer T.* Stropy płaskie w budowlach zabytkowych // *Budownictwo i Architektura*. 2009. № 5. S. 85—100.
10. *Drobiec Ł., Jasiński R.* Naprawy i wzmocnienia stropów w starym budownictwie // *Materiały 4 konferencyjne Izolacje 2017*. 2017. № 10. S. 50—58.

А. К. Омельченко, Н. С. Пичкурова

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
(Новосибирск, Россия)

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ С ГИБКИМИ ПЕТЛЯМИ
В КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ**

**STRESS-STRAIN ANALYSIS OF VERTICAL JOINTS WITH WIRE LOOPS
IN LARGE-PANEL BUILDINGS**

***Аннотация.** Крупнопанельное домостроение, активно развивавшееся в послевоенное время для выполнения задач по обеспечению населения благоустроенным жильем в короткие сроки, не потеряло актуальности и по сей день. Это заметно по растущим объемам ввода в эксплуатацию крупнопанельных зданий. В последние годы активно развиваются новые решения вертикальных стыков крупнопанельных зданий. Целью данного исследования является моделирование вертикального шпоночного соединения панелей с петлевыми гибкими связями. Исследование напряженно-деформированного состояния одношпоночного соединения проведено в ПК ЛИРА-САПР, реализующим метод конечных элементов. Результаты расчета показали, что использование различных конечных элементов для моделирования контактного слоя существенно меняет напряженно-деформированное состояние всего вертикального стыка. Отмечено, что работа шпоночного соединения подразумевает две стадии: без трещин и с трещинами. Таким образом, возникает необходимость поиска такого конечного элемента, которым можно было бы замоделировать контактный слой для обеих ситуаций.*

***Abstract.** Large-panel buildings have actively developed in the post-war period to quickly accomplish dwelling problem; it has not lost relevance*

© Омельченко А. К., Пичкурова Н. С., 2025

till nowadays. It is obvious by increasing amounts of commissioning large-panel buildings. New options of constructive joints for large panel buildings are developing intensively. Thus, the present study aims to investigate stress-strain analysis of vertical connection with wire. Stress-strain analysis of one-key joint was performed applying LIRA-FEM. The results showed a significant change in stress-strain of the whole vertical joint due to different finite elements for contact layer. It is observed that key joint work involves two stages i. e., without and with cracks. Therefore, it is necessary to seek a finite element which can be used as contact layer for both cases

Ключевые слова: крупнопанельные здания, вертикальный стык, гибкие петли, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние

Keywords: large-panel buildings, vertical connection, wire loops, finite-element model, stress-strain

Введение

В последние годы вертикальное соединение панелей гибкими петлями активно применяется в строительстве крупнопанельных зданий [1]. Технология устройства стыков при помощи соединительных петель была заимствована из стран Западной Европы. Так, в настоящее время в России наиболее распространены решения немецкой компании Halfen Loop Vox и финской компании Reikko [2]. При изготовлении стеновой панели в опалубке предусмотрены металлические коробки с гибкими петлями, которые установлены с шагом, определяемым расчетом. Во время монтажа стен петли вынимают и устанавливают в горизонтальное положение, располагая внутри них вертикальную арматуру на всю высоту стыка (поз. 3, рис. 1). Подготовленный стык заполняют безусадочным мелкозернистым бетоном (рис. 1).

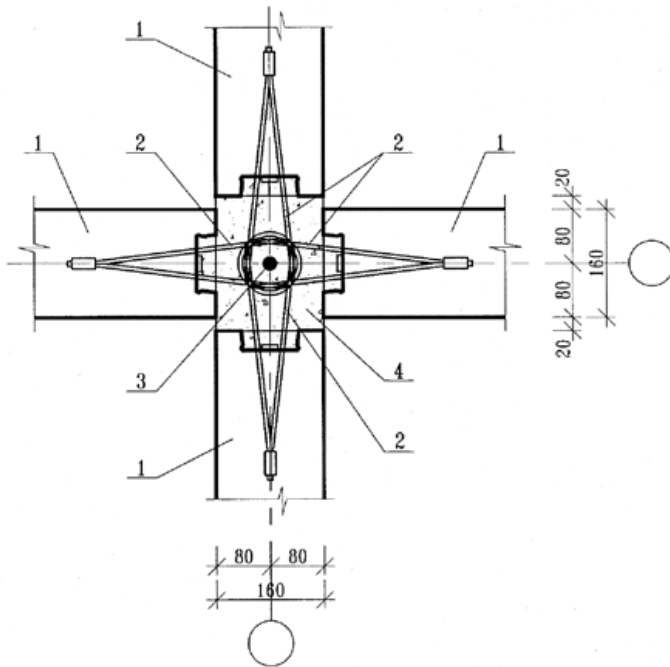


Рис. 1. Узел внутренних панелей с тросовыми петлями:

- 1 — внутренняя стеновая панель; 2 — гибкие петли из стального каната; 3 — продольная арматура Ø16–20 А400; 4 — мелкозернистый бетон кл. В25–В40

В настоящее время в сейсмически активных районах такое решение вертикального стыка распространения не получило. Это связано как с ограничениями в действующих нормативных документах [3–5], так и с отсутствием данных о характере работы вертикального стыка с гибкими петлями при сейсмических воздействиях.

Начиная с 1960-х гг. прошлого столетия в сейсмически активных районах для устройства стыков крупнопанельных зданий применяется сварка закладных деталей и арматурных выпусков (рис. 2) [6]. Результаты исследований крупнопанельных зданий

после землетрясений показали, что в стыковых соединениях возникали трещины, вплоть до раскрытия стыка и расхождения панелей [7]. Вертикальные стыки на сварке закладных деталей и арматурных выпусков крайне металлонасыщенны, что в свою очередь увеличивает общий вес здания. Соответственно с увеличением веса здания возрастают расчетные сейсмические нагрузки.

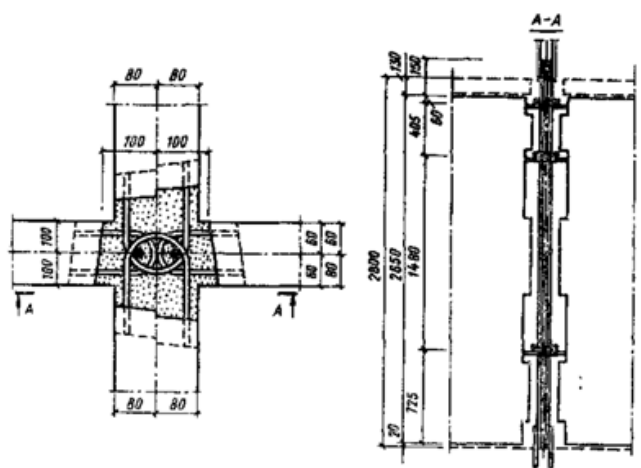


Рис. 2. Вертикальный стык внутренних стен 9-этажного здания серии 138 для сейсмичности 7 баллов

Бессварное соединение панелей с использованием гибких петель является более технологичным конструктивным решением вертикальных стыков в крупнопанельных зданиях, эксплуатирующихся в сейсмических районах.

Целью данного исследования является моделирование вертикального шпоночного соединения панелей с гибкими петлевыми связями для последующего анализа работы в сейсмически активных районах.

Задачами исследования являются:

1. Изучение существующих подходов моделирования вертикального шпоночного соединения.

2. Моделирование одношпоночного соединения вертикального стыка в ПК ЛИРА-САПР с заданием внешних нагрузок, полученных в ходе экспериментальных исследований в работах [8; 9].
3. Анализ полученных результатов.

Материалы и методы

Для исследования напряженно-деформированного состояния вертикального стыка необходимо провести численное моделирование. В настоящее время для подобных задач чаще всего применяют метод конечных элементов. Существует несколько подходов к численному моделированию вертикальных стыков [8; 9], на основе которых было замоделировано два одношпоночных соединения в ПК ЛИРА-САПР.

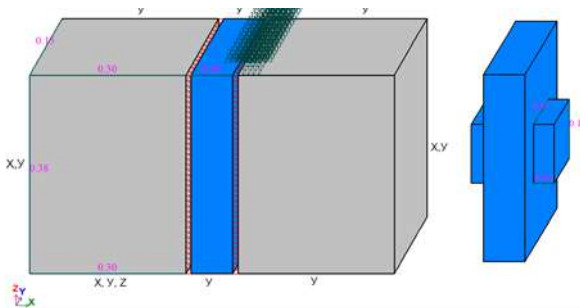


Рис. 3. Конечно-элементная модель в ПК ЛИРА-САПР

Значение нагрузки принято в соответствии с экспериментальными данными, полученными в [10]. При моделировании вертикального стыка основной сложностью является определение его податливости. В изученной литературе нет единой методики ее определения, а все описанные способы требуют уточнений.

В данной работе сборный бетон панелей и бетон омоноличивания замоделирован КЭ 36, контактный слой — для одной расчетной модели — КЭ 262, и для другой — КЭ 55. Для модели с КЭ 262 жесткость определялась по формулам [11; 12]

$$\lambda_{\tau,b} = l_{loc} (1/E_b + 1/E_{mon}) / (A_{loc} n_k); \quad (1)$$

$$\lambda_{\tau,s} = (6/d_s n_s) \cdot (1/E_b + 1/E_{mon}); \quad (2)$$

$$\lambda_{\tau,s} = \lambda_{ts} + \lambda_{\tau,b}, \quad (3)$$

где l_{loc} — условная высота шпонки, принимаемая при определении ее податливости при сдвиге 250 мм; A_{loc} — площадь сжатия шпонки, через которую передается в соединении сжимающее усилие; E_b — модуль деформации бетона сборного элемента; E_{mon} — то же, бетона замоноличивания; n_k — число однотипных шпонок в стыке, d_s — диаметр арматурных связей между сборными элементами, n_s — количество арматурных связей между сборными элементами

Эти формулы имеют довольно приближенный характер, поскольку не учитывает конструктивное решение стыка с гибкими связями. Моделирование связей в [4] при помощи специальных конечных элементов предполагает определение шести характеристик жесткости по шести степеням свободы (перемещения в трех направлениях и повороты вокруг осей). Жесткости КЭ 55 по оси Z, Y определены как жесткости на вертикальный сдвиг в плоскости и из плоскости панелей соответственно:

$$Q_1 = R_b \cdot l_k \cdot t_k \cdot n_k; \quad (4)$$

$$Q_2 = 1,5 \cdot R_{bt} \cdot l_k \cdot h_k \cdot n_k; \quad (5)$$

$$Q_3 = R_b \cdot t_k \cdot h_k \cdot n_k; \quad (6)$$

$$Q_2 = 1,5 \cdot R_{bt} \cdot t_k \cdot l_k \cdot n_k; \quad (7)$$

$$K = \frac{Q}{\Delta}, \quad (8)$$

где l_k — ширина шпонки, t_k — глубина шпонки, h_k — высота шпонки, n_k — общее количество шпонок по обеим граням панелей, R_b — расчетное сопротивление бетона шпонки на сжатие, R_{bt} — расчетное сопротивление бетона шпонки на сжатие, Q —

сдвиговое вертикальное усилие, приходящееся на 1 м. п. стыка и равное $Q_{\min}$ (Q_1, Q_2), Δ — смещение стыка, вызываемое усилием Q и равное 1 мм/м.п.

По оси X как жесткость на горизонтальное растяжение в плоскости панелей:

$$K = \frac{E_s \cdot A_s}{2 \cdot l_{an} \cdot w} \cdot n, \quad (9)$$

где E_s — ширина шпонки, A_s — глубина шпонки, l_{an} — высота шпонки, w — общее количество шпонок по обеим граням панелей, n — общее количество шпонок по обеим граням панелей.

Результаты

По результатам расчета для модели с КЭ 262 пиковые значения нормальных напряжений больше значений, полученных в модели с КЭ 55, примерно в 1,5 раза, а касательных почти в 3 раза. Разница значений перемещений по оси Z составляет около 0,2 мм. Также достаточно существенно различается картина изополей напряжений (рис. 4—6).

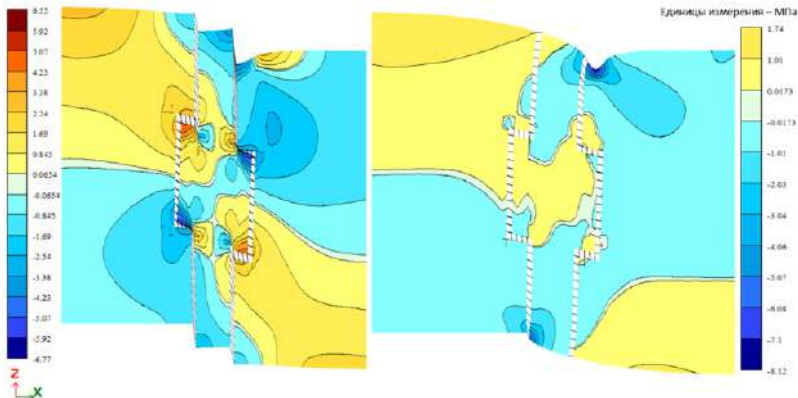


Рис. 4. Изополя напряжений N_x для модели с КЭ 262 (слева) и КЭ 55 (справа)

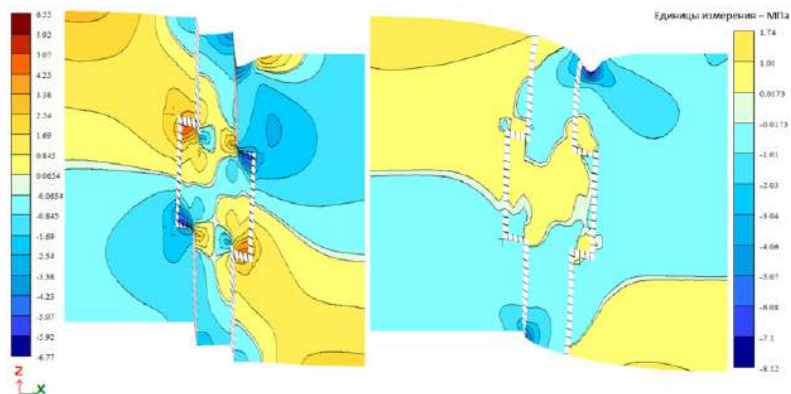


Рис. 5. Изополя напряжений N_z для модели с КЭ 262 (слева) и КЭ 55 (справа)

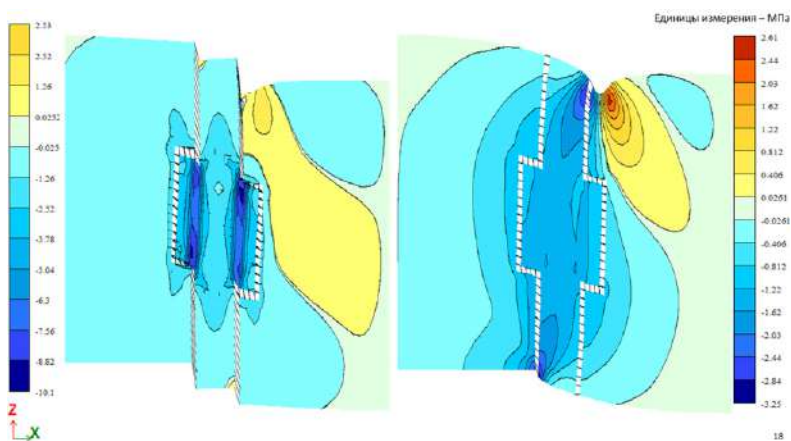


Рис. 6. Изополя напряжений τ_{xz} для модели с КЭ 262 (слева) и КЭ 55 (справа)

Заключение

Анализ литературы показал отсутствие единой методики определения жесткости вертикальных стыковых соединений, а также некоторые расхождения в нормативно-технических

документах по определению податливости стыка. Применение КЭ 262 и КЭ 55 для моделирования контактного слоя дает существенные различия в напряженно-деформированном состоянии стыка. Поскольку жесткость вертикального стыка до образования трещин и с трещинами различна, возникает необходимость поиска такого конечного элемента, которым можно было бы замоделировать линейную и нелинейную работу шпонки, что и является дальнейшей задачей исследования.

Список литературы

1. Омельченко А. К., Пичкурова Н. С. Анализ вертикальных стыковых соединений крупнопанельных зданий в сейсмически активных районах // *Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта*. 2024. № 2 (13) С. 66—71.
2. Киреева Э. И. Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций // *Жилищное строительство*. 2013. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kрупнопанельные-здания-s-petlevymi-soedineniyami-konstruktsiy> (дата обращения: 09.04.2024).
3. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Введ. 2018-11-25. М., 2018. URL: www.consultant.ru (дата обращения 09.05.2025).
4. СТО 36554501-026-2012. Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многопустотными плитами безопалубочного формования. Введ. 2012-01-27. М., 2012. URL: www.consultant.ru (дата обращения 09.05.2025).
5. СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования. Введ. 2017-12-07. М., 2017. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 08.05.2025).
6. Поляков В. С., Килимник Л. Ш., Черкашин А. В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М. : Стройиздат, 1989. 320 с.
7. Аишкинадзе Г. Н., Соколов М. Е., Мартынова Л. Д. и др. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования. М. : Стройиздат, 1988. 504 с.
8. Блажко В. П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // *Жилищное*

строительство. 2017. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-opredelenii-podatlivosti-svyazey-pri-formirovanii-raschetnyh-modeley-panelnyh-zdaniy> (дата обращения: 20.09.2024).

9. *Дербенцев И. С.* Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданиях : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2014. 158 с.

10. *Дербенцев И. С., Тарасов М. В., Карякин А. А.* Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2021. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naturnye-ispytaniya-vertikalnyh-shponochnyh-stykov-zhelezobetonnyh-stenovyh-paneley-s-petlevymi-gibkimi-svyazyami-na-sdvig> (дата обращения: 10.05.2025).

11. *Инструкция* по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 32-77 : утв. Госгражданстроем при Госстрое СССР 25.07.1977 г. М. : Стройиздат, 1978.

12. *Пособие* по проектированию жилых зданий // ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). М. : Стройиздат, 1989. 304 с.

И. Н. Журов

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МОДУЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ
MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN MODULAR HOUSING
CONSTRUCTION

***Аннотация.** В данной работе осуществляется комплексное исследование материалов и технологий, применяемых в модульном домостроении, с акцентом на современные методы и достижения в этой области. Актуальность темы обусловлена запросом от предприятия и растущим интересом к быстровозводимым конструкциям в Калининградской области, которые обеспечивают высокую степень мобильности, экономичности и экологической устойчивости. В первом разделе проводятся анализ и систематизация существующих литературных источников, а также технологий, внедряемых в процесс модульного строительства. Второй раздел сосредоточен на исследовании применяемых методов монтажа, проектирования и производства модульных домов, включая передовые подходы к много серийности и управлению строительным процессом. Также рассматриваются аспекты проектирования, эксплуатационных характеристик и энергоэффективности модульных зданий. В третьем разделе сосредоточено внимание на экономической транспортной части модульного домостроения, исследуется влияние логистики на стоимость и сроки поставки модульных единиц, а также анализируются возможности оптимизации транспортных расходов. Результаты работы подчеркивают важности направления в Калининградской области, интеграции новых технологий и материалов в модульном домостроении для повышения его экономической жизнеспособности и экологической безопасности.*

© Журов И. Н., 2025

Abstract. *This paper provides a comprehensive study of materials and technologies used in modular housing construction, with an emphasis on modern methods and achievements in this field. The relevance of the topic is due to the request from the enterprise and the growing interest in prefabricated structures in the Kaliningrad region, which provide a high degree of mobility, economy and environmental sustainability. The first section analyzes and systematizes existing literature sources, as well as technologies introduced into the modular construction process. The second section focuses on the study of the applied methods of installation, design and production of modular houses, including advanced approaches to multi-series and construction process management. Also, aspects of design, performance and energy efficiency of modular buildings are considered. The third section focuses on the economic transport part of modular housing construction, examines the impact of logistics on the cost and delivery time of modular units, and analyzes the possibilities of optimizing transportation costs. The results of the work emphasize the importance of the direction in the Kaliningrad region, the integration of new technologies and materials in modular housing construction to increase its economic viability and environmental safety.*

Ключевые слова: модульный дом, жилое строительство, технологии в модульном домостроении, экономичность, транспортировка

Keywords: *modular house, residential construction, technologies in modular house construction, cost-effectiveness, transportation*

Введение

Современное модульное строительство активно развивается благодаря новым материалам и технологиям, которые повышают эффективность возведения объектов и сокращают сроки строительства. Модульное домостроение является одним из самых перспективных направлений, основанным на использовании заранее готовых модулей, изготовленных на заводе. Этот метод обеспечивает сокращения времени строительства и минимизирует влияние внешних факторов, что делает его особенно привлекательным для массового и индивидуального жилищного строительства.

Модульное домостроение рассматривает разнообразные технологии, такие как каркасные системы и панели с теплоизоляционными свойствами, что обеспечивает высокой долговечностью и энергоэффективностью построек. В условиях растущей важности экономии ресурсов и снижения транспортных расходов это направление становится приоритетным в строительной отрасли.

Цель работы заключается в разработке и обосновании эффективных методов, технологий и материалов в модульном домостроении с учетом конструктивных, экономических и логистических особенностей.

В ходе выполнения исследования будет поставлено несколько задач. Первая задача заключается в анализе литературы по теме, которая включает в себя изучение современных материалов и технологий, применяемых в модульном домостроении, а также оценку опыта зарубежных и отечественных разработок в данной области. Вторая задача посвящена исследованию методов и технологий строительства модульных домов. Она предполагает изучение существующих технологий возведения основного каркаса модульных конструкций, анализ методов и материалов, применяемых для стеновой обшивки модульных домов, а также оценку типов кровельных покрытий, их совместимости с модульными конструкциями и эксплуатационных характеристик. Третья задача касается анализа экономических и транспортных аспектов. В рамках этой задачи необходимо исследовать логистические решения и способы транспортировки модульных элементов, оценить экономическую эффективность модульного домостроения по сравнению с традиционными способами строительства и выявить факторы, влияющие на себестоимость модульного строительства и сроки окупаемости. Такое комплексное исследование позволит получить полное представление о текущем состоянии и перспективах развития модульного домостроения.

Таким образом, каждая задача будет способствовать не только расширению теоретической базы в области модульного домостроения, но и практическому внедрению наиболее эффективных решений, что имеет большое значение в условиях активного развития модульной строительной отрасли.

Материалы и методы

Основной принцип модульного строительства заключается в производстве компонентов здания на заводе с последующей доставкой на стройплощадку, где они собираются в единую конструкцию. Такой подход существенно сокращает как время, так и затраты на строительство.

Объемно-блочная технология — готовые модули с чистовой отделкой и разведенными коммуникациями полностью изготавливаются в цехах, а затем привозятся на стройплощадку, где их соединяют.

Сварные соединения: характеризуются небольшой трудоемкостью и хорошей герметичностью, но возможны дефекты швов.

Основной каркас модульного дома обычно изготавливается из металлических профилей, таких как профильные трубы, с применением сварочного оборудования. Такой выбор материалов обеспечит высокую прочность и долговечность конструкции. Металлопрофильные трубы идеально подходят для создания устойчивого и надежного каркаса, поскольку они обладают хорошими механическими характеристиками, такими как стойкость к нагрузкам, износу и коррозии [1].

Для сборки необходимо использовать специальную площадку, расположенную на открытом воздухе (на улице). Эта площадка должна быть оборудована для удобной и безопасной сборки, с возможностью размещения необходимого оборудования и материалов. В качестве альтернативы, сборку можно проводить в производственном цеху, где имеются условия для работы с крупногабаритными элементами, включая наличие кранового оборудования. Крановые механизмы обеспечивают высокую производительность и эффективность сборки, позволяя быстро и точно манипулировать тяжелыми и громоздкими модулями, что существенно ускоряет процесс производства и минимизирует возможные трудозатраты.

Сетка рабица и плоский оцинкованный лист — это два разных материала, которые могут использоваться для защиты от грызунов, но их эффективность и области применения различаются.

Для удешевления процесса сборки каркасной конструкции и улучшения общего качества монтажа, в проекте было решено использовать несущие балки из дерева, предварительно обработанные специальными защитными растворами. Такой подход позволяет снизить затраты на материалы, при этом сохраняя необходимую прочность и стабильность каркаса [2].

Обшивка стен с применением сэндвич-панелей поэтапной сборки с использованием внутренних стеновых кассет представляют собой конструктивно сложный и эффективный элемент для облицовки и утепления зданий. Процесс монтажа таких панелей начинается с подготовки металлических или железобетонных колонн, к которым крепятся кассеты. На первом этапе устанавливаются демпфирующие прокладки шириной 70 мм и толщиной 3 мм, которые наклеиваются на колонны для обеспечения герметичности и уменьшения механических нагрузок на элементы конструкции [3].

Затем кассета крепится к колонне, причем количество креплений зависит от расчетных данных, однако оптимальным решением является использование 4 саморезов с каждой стороны кассеты, что обеспечивает надежное крепление в каждой волне, прилегающей к колонне. После этого на горизонтальные стыки между кассетами наклеивается уплотнитель, который помогает создать герметичное соединение между элементами. Уплотнитель имеет ширину 20 мм и толщину 5 мм, что способствует улучшению теплоизоляции и повышению энергоэффективности здания.

Кассеты между собой крепятся саморезами с шагом 600 мм, что обеспечивает дополнительную прочность и устойчивость конструкции. Для устранения мостиков холода, которые могут образовываться между кассетой и фасадным покрытием, на внешнее ребро каждой кассеты наклеивается термопрокладка, имеющая ширину 50 мм и толщину от 3 до 8 мм. Это помогает минимизировать потери тепла и повысить энергоэффективность здания.

Для утепления конструкции используется минеральная вата с объемным весом не менее 30 кг/м³. Важно, чтобы утеплитель точно повторял размеры кассеты (для плит с объемным весом

50—70 кг/м³) или имел ширину 610 мм, если используются плиты с объемным весом 30—45 кг/м³. Утеплитель укладывается внутри кассеты, после чего его закрывают ветрозащитной пленкой, что обеспечивает дополнительную защиту от внешних воздействий и увеличивает срок службы материала.

На завершающем этапе монтажа фасадное покрытие, такое как профнастил, фасадные панели или кассетоны, панели «Г фальц», крепится к кассетам с помощью саморезов, что гарантирует надежную и долговечную эксплуатацию внешней обшивки. После установки основного покрытия монтируются дополнительные элементы, такие как уголки, аксессуары и другие комплектующие, которые завершают конструктивное оформление здания.

Таким образом, сэндвич-панели поэтапной сборки с использованием внутренних стеновых кассет предлагают эффективное и экономичное решение для современного строительства, обеспечивая отличные теплоизоляционные характеристики и защиту от внешних факторов. Этот метод монтажа позволяет значительно ускорить процесс возведения зданий, при этом гарантируя высокую прочность и долговечность конструкции.

Кровельное покрытие является одной из наиболее затратных статей расходов при строительстве, что обусловлено как стоимостью материалов, так и трудозатратами на установку. В контексте нашего проекта мы остановили выбор на фальцевой кровле. Это решение было принято на основе большого опыта в ее использовании, наличия специализированных станков и оборудования для производства данного типа покрытия. Фальцевая кровля обладает рядом преимуществ, включая долговечность, надежность и эстетическую привлекательность. Благодаря современным технологиям и наличию необходимого оборудования, процесс ее изготовления и установки становится более эффективным, что позволяет значительно сократить затраты и повысить качество конечного результата [4].

Особенность фальцевой кровли заключается в том, что соединение элементов покрытия происходит с помощью специальных замков, что исключает необходимость в использовании дополнительных крепежных материалов, таких как гвозди или

шурупы. Это обеспечивает не только эстетическую привлекательность, но и повышенную герметичность, что особенно важно для защиты здания от внешних воздействий, таких как осадки или ветровые нагрузки. Применение фальцевой кровли также позволяет значительно увеличить срок службы крыши, так как материал обладает высокой устойчивостью к механическим повреждениям и воздействию окружающей среды.

Основными материалами для производства фальцевых панелей являются сталь, алюминий, медь и титан-цинк, каждый из которых имеет свои особенности и ценовые категории [5].

Транспортировка модульных конструкций является особой частью процесса строительства модульных домов, включая каркасные и контейнерные здания. Эффективная и безопасная перевозка конструктивных элементов требует строгого соблюдения стандартов и рекомендаций, поскольку от этого зависит не только сохранность материалов, но и безопасность всех участников процесса. Модульные дома, состоящие из отдельных блоков и элементов, подлежат специфическим условиям транспортировки, которые включают правила крепления и размещения блоков на транспортных средствах, ограничения на размеры и скорость движения, а также рекомендации по обеспечению их устойчивости.

Согласно требованиям, ГОСТ Р 58760-2019, предъявляемым к транспортировке блок-контейнеров, необходимо строго соблюдать ряд обязательных стандартов и рекомендаций для обеспечения безопасности и сохранности конструктивных элементов в процессе перевозки.

Закрепление конструктивных элементов и пакетов: при транспортировке блок-контейнеров все отдельные конструктивные элементы и пакеты должны быть надежно прикреплены к транспортным средствам. Размещение и крепление элементов на транспорте должны исключать возможность их смещения, повреждения или падения во время перевозки. Это гарантирует безопасность как для груза, так и для других участников транспортного процесса [6].

Быстрота изготовления — это еще один ключевой элемент, который делает наш продукт востребованным. Время — это

ценность, и возможность быстро построить дом, будь то для частного пользования или коммерческого объекта, имеет огромное значение для клиентов, которые ценят оперативность и минимизацию сроков. Модульные дома, благодаря своей конструкции, могут быть изготовлены и установлены значительно быстрее, чем традиционные здания, что позволяет нам предлагать решение «под ключ» в кратчайшие сроки.

Эстетические характеристики также играют важную роль. Мы понимаем, что внешний вид дома — это не только функциональность, но и отражение индивидуальности клиента. Наши модульные дома обладают современным и привлекательным дизайном, который гармонично вписывается в любой ландшафт. Возможность выбора отделки и архитектурных решений делает каждый дом уникальным и отвечает требованиям даже самых взыскательных заказчиков.

Удобство внутреннего пространства — это не менее важный аспект. Каждый модульный дом проектируется с учетом максимального комфорта для будущих жильцов. Продуманная планировка, высококачественные материалы и внимание к деталям создают уют и удобство в каждом доме, обеспечивая оптимальное использование пространства и долговечность.

Экономичность транспортировки — неотъемлемая часть нашего бизнеса. Мы учитываем, что в Калининградской области, как и в других регионах, важно снизить затраты на логистику. Использование одного вида транспорта — манипуляторов — для перевозки и установки модулей позволяет существенно сократить расходы, что также отражается на стоимости конечного продукта. Это делает наш продукт доступным для широкого круга потребителей.

Все эти особенности делают наши модульные дома уникальными на рынке и высоко конкурентоспособными. В отличие от многих конкурентов, наш продукт соответствует принципу «цена = качество», что означает: мы предлагаем не только доступную цену, но и высокое качество, надежность и долговечность. Мы не идем на компромиссы в вопросах материалов и технологий, чтобы обеспечить каждому клиенту комфортное, безопасное и долгосрочное использование нашего продукта.

Результаты

Были выделены несколько факторов, влияющих на себестоимость модульного строительства, среди которых сырьевые ресурсы, производственные технологии, затраты на транспортировку, а также эффективность проектирования. Наиболее значительными являются расходы на материалы и логистику.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую перспективность модульного домостроения как современного и эффективного подхода к строительству, который отвечает требованиям устойчивого развития и гибкости, позволяя адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и требованиям потребителей.

Заключение

В ходе проведенного исследования материалов и технологий, применяемых в модульном домостроении, а также анализа методов строительства, включая каркасные системы, стены и кровельные технологии, можно сделать несколько важных выводов.

Модульное домостроение, благодаря использованию современных технологий и высококачественных материалов, представляет собой эффективный способ создания жилых и коммерческих объектов. Это решение позволяет существенно сократить сроки строительства и повысить качество готовых объектов, что является важным фактором в условиях современной динамичной строительной отрасли.

Кроме того, проработав экономическую составляющую, можно утверждать, что организация производства модульных домов в Калининградской области является экономически целесообразной. Это не только позволит значительно снизить затраты на логистику и транспортировку, но и будет способствовать развитию местной экономики, созданию рабочих мест и сокращению зависимости от внешних поставок.

Таким образом, развитие производства уникальных модульных домов в регионе представляется не только выгодным с

экономической точки зрения, но и перспективным шагом в направлении инновационного строительства, соответствующего современным требованиям рынка и экологическим стандартам.

Список литературы

1. *Сварочные технологии: принципы, способы, классификация* // VT-Metall. URL: <https://vt-metall.ru/articles/943-svarochnye-tehnologii/?ysclid=m8t7s8nuhh674218744> (дата обращения: 11.04.2025).

2. *Что лучше для строительства малоэтажного объекта: профильная квадратная труба или брус?* // Металлсклад северо-запад. 2022. URL: <https://mssz.spb.ru/chto-luchshe-dlya-stroitelstva-maloetazhnogo-obekta-profilnaya-kvadratnaya-truba-ili-brus?ysclid=m8t9fy0pgw533085240> (дата обращения: 04.12.2024).

3. *Сендвич-панель поэтапной сборки с использованием внутренних стеновых кассет* // ADCity. URL: <https://adcitymag.ru/sendvich-panel-poetapnoj-sborki-s-ispolzovaniem-vnutrennix-stenovykh-kasset/> (дата обращения: 01.01.2025).

4. *Кровля модульного здания* // БК-Ресурс. 2025. URL: <https://bk-resurs.ru/poleznye-sovety/krovlya-modulnogo-zdaniya/> (дата обращения: 14.05.2025).

5. *Фальцевая кровля: устройство, монтаж, критерии выбора материалов* // Металл профиль. 2023. URL: https://metallprofil.ru/shop/informatsiya/press-tsentr/stati/faltsevaya-krovlya-osobennosti-ustroystva-i-montazh-/ysclid=m8tdl0p4fq423779064&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 24.03.2025).

6. *Транспортировка модульного дома: как мы перевозим готовые дома и подготавливаем участки к их доставке* // PazlDom | Строительство каркасных домов. 2023. URL: <https://dzen.ru/a/Y9lDrMGQQSNYX1Jj> (дата обращения: 03.04.2025).

С. О. Димитриева

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
(Санкт-Петербург, Россия)

**КАМЕННЫЕ СВОДЫ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ.
РОЛЬ И ВЛИЯНИЕ ЗАСЫПКИ
НА НЕСУЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОДЧАТЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ**

**STONE ARCHES OF HISTORICAL BUILDINGS.
THE ROLE AND INFLUENCE OF BACKFILLING
ON THE BEARING CHARACTERISTICS OF VAULTED CEILINGS**

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены конструктивные особенности сводчатых исторических конструкций, в частности указана роль засыпки пазух в каменных сводах. Приведены примеры исследований о влиянии засыпки сводов на несущие характеристики конструкций. Также, в статье уделено внимание механике работы сыпучих материалов, используемых в качестве засыпки, их физико-механическим свойствам. Автором работы выполнено моделирование крестового свода в программном комплексе ANSYS. На основании численного моделирования показано, что засыпка уменьшает главные растягивающие напряжения и деформации, что подтверждает ее значимость в сохранении устойчивости сводчатых перекрытий и учитывании свойств сыпучих материалов при оценке и проведении реставрационных мероприятий исторических зданий со сводчатыми конструкциями.*

***Abstract.** This article examines the design features of historical vaulted structures, in particular, the role of filling sinuses in stone vaults is indicated. Examples of studies on the effect of filling arches on the load-bearing characteristics of structures are given. The article also focuses on the mechanics of the bulk materials used as filling, their physical and*

mechanical properties. The author of the work has modeled the cross vault in the ANSYS software package. Based on numerical modeling, it is shown that backfilling reduces the main tensile stresses and deformations, which confirms its importance in maintaining the stability of vaulted ceilings and taking into account the properties of bulk materials when evaluating and carrying out restoration activities of historical buildings with vaulted structures.

Ключевые слова: *каменные своды, засыпка пазух, несущая способность, сыпучие материалы, исторические конструкции, численное моделирование*

Keywords: *stone arches, sinus filling, load-bearing capacity, bulk materials, historical structures, numerical modeling*

Введение

Своды и арки представляют собой древнейшие конструкции, которые берут свое начало в древних цивилизациях Месопотамии. При этом использование арок в строительстве стало значительным шагом вперед, позволив создавать более масштабные и прочные сооружения. В Древнем Риме арки и своды достигли кульминации своего развития, что способствовало строительству акведуков, мостов и грандиозных общественных зданий, таких как Пантеон и Колизей (рис. 1).

Арки и своды на протяжении столетий отличались своей способностью перекрывать большие внутренние пространства, а также служить архитектурной выразительностью в композиции зданий и сооружений. Помимо этого особенностью сводчатых конструкций является то, что их поверхность способна выдерживать значительные нагрузки благодаря особой форме и распределению усилий. Если рассматривать исторические конструкции, то материалом сводов является кирпичная кладка, поверх которой засыпали материал — засыпку — для выравнивания всей поверхности в горизонтальный уровень. Однако роль засыпки пазух в такой системе зачастую недооценивали, основываясь на эмпирических исследованиях.

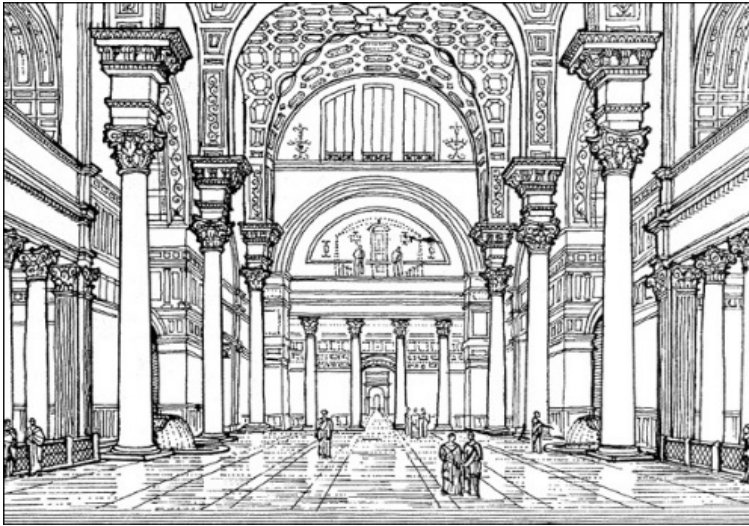


Рис. 1. Перекрытие сводчатыми конструкциями сооружения Древнего Рима. Термы Каракаллы

В данной же статье рассматривается вопрос влияния засыпки исторических сводов на их несущую способность, а также акцентируется внимание на механике работы сыпучих материалов, применяемых для заполнения пазух свода.

Материалы и методы

Назначение засыпки в сводах.

Засыпка пазух — это технологический процесс заполнения пустот между сводом и стеной либо между двумя пересекающимися сводами сыпучим материалом. В исторических зданиях она выполнялась для выравнивания поверхности под устройство полов, а также могла служить дополнительной тепло- и звукоизоляцией [4].

В зависимости от конструкции засыпку выполняли вровень со сводом или выше его шельги либо не на полную глубину (например, в чердачных сводах). Как правило, в качестве матери-

ала засыпки использовали строительные отходы: песок, битый кирпич и остатки раствора. При этом следует отметить, что вес сыпучего материала помогает стабилизировать конструкцию, противодействуя силам растяжения, возникающим в верхней части свода, таким образом, уменьшая вероятность разрушения свода из-за чрезмерных напряжений. Кроме того, засыпка служит неким амортизатором, поглощающим вибрации и динамические нагрузки (рис. 2). Это особенно важно в регионах с высокой сейсмической активностью, где здания подвергаются постоянным колебаниям почвы [6].

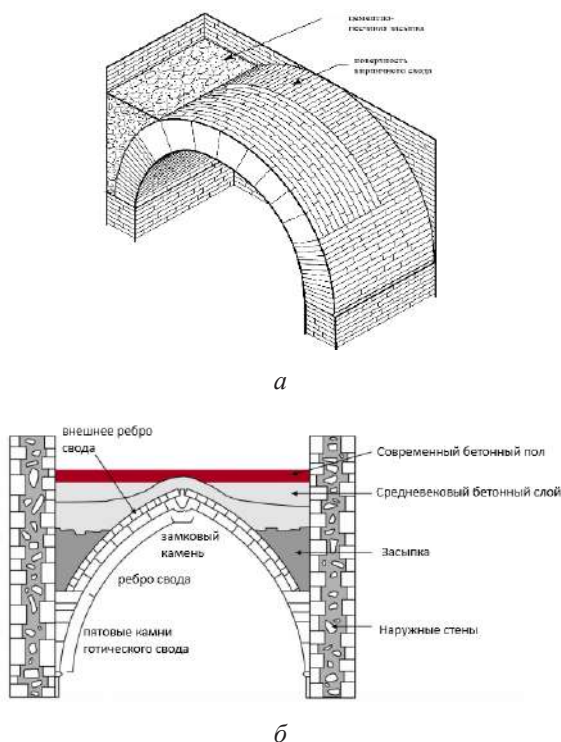


Рис. 2. Строение исторических сводов: *а* — цилиндрический свод с цементно-песчаной засыпкой; *б* — лучковый свод монументального комплекса Сан-Плачидо Калонеро, Италия

Помимо конструктивных соображений важными свойствами засыпки в сводчатых конструкциях является тепло и звукопроводимость. Так как многие виды сыпучих материалов имеют низкую теплопроводность, это позволяет поддерживать комфортную температуру внутри помещения независимо от погодных условий снаружи, а благодаря своей структуре засыпка эффективно гасит звуковые волны, создавая дополнительную защиту от внешнего шума.

Механика сыпучих материалов.

При расчетах сводов на их несущую способность, как правило, засыпку рассматривают как массу вышележащей конструкции, допуская при этом в виде твердого тела. Однако засыпка пазух сводов относится к сыпучим материалам, вещества которых состоят из множества мелких частиц, свободно перемещающихся относительно друг друга [3].

Плотность и пористость сыпучих материалов играет ключевую роль в расчете нагрузки на элементы конструкции. Поэтому важным механическим параметром засыпки является насыпная плотность — отношение массы материала к занимаемому объему. Для различных видов песка она варьируется от 1200 до 1800 кг/м³. Высокая пористость снижает прочность материала, но улучшает его изоляционные качества.

Помимо этого важным параметром для оценки устойчивости насыпи в пазухе является угол естественного откоса — угол, который образуется между горизонтальной поверхностью и наклоном, при котором материал еще сохраняет устойчивость. При этом главное значение отдается трению между частицами, которое влияет на сопротивление сдвигу внутри материала. Чем больше трение, тем сложнее сдвинуть насыпь.

Поведение сыпучих материалов в пазухах.

Как было сказано выше, в статических расчетах сводов обычно рассматривают засыпку их пазух лишь как нагрузку [7; 8]. Однако на практике засыпка активно взаимодействует со сводом, оказывая положительное влияние на его напряженно-деформированное состояние. Например, Н.К. Лахтин в труде «Расчет арок и сводов» указывает, что засыпка увеличи-

чивает массу свода около опорных пят, изменяя направление равнодействующей сил веса свода и его горизонтального распора, что способствует повышению устойчивости конструкции [4]. Также проведенные испытания авторами статьи «Influence of backfill on the capacity of masonry arch bridges» с моделями арочных мостов и с засыпкой из сухого песка указывают на то, что сопротивление засыпки повышает несущую способность на 30—35 %, а распределение нагрузки через засыпку увеличивает допустимую нагрузку на 29—32 % [11].

При этом важно отметить, что засыпка пазух оправдана до тех пор, пока дополнительная нагрузка не приведет к увеличению горизонтального распора свода. Подтверждение этому взаимодействию можно найти в случаях повреждения сводов при неравномерной разгрузке засыпки из пазух во время ремонта [1; 5].

В качестве объяснения влияния засыпки на сводчатые конструкции можно отметить, что при заполнении пазухи свода сыпучим материалом возникает распределение нагрузок, частицы начинают передавать давление через контакт друг с другом, образуя так называемую арочную структуру. Основным эффектом является возникновение вертикального давления на основание пазух — сила, действующая сверху, передается на нижние слои материала, которые, в свою очередь, передают нагрузку на опоры. При этом засыпка должна быть достаточно плотной, чтобы избежать оседания и перераспределения давления на опорные стены. Не следует забывать об эффекте трения между частичками материала и кирпичными поверхностями пазух, где трение создает дополнительное сопротивление сдвигу, что увеличивает стабильность всей системы.

Результаты

В данной работе для анализа влияния засыпки пазух на поведение сводов использовался метод численного моделирования в программном комплексе ANSYS.

Созданная модель представляет собой крестовый свод с опорными консолями, где сверху смоделирована засыпка твердотельным телом для упрощения. В качестве параметров мате-

риалов применены свойства сыпучего материала с плотностью $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$ и модулем упругости 15 МПа (как засыпка, которая участвует в процессе восприятия нагрузки) и модулем 2 МПа (как засыпка, которая не участвует в распределении нагрузки). Кирпичная кладка принята из кирпича марки М150 и раствора цементно-песчаного М50 с деформационными характеристиками $E = 1800 \text{ МПа}$ и $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, согласно СП 15.13330 «Каменные и армокаменные конструкции».

На конструкцию модели приложена нагрузка, равная 7,5 МПа в виде равнодействующей силы, а также постоянная гравитационная нагрузка. Граничным условием является закрепление консольных опор в качестве фиксированных элементов. Результаты максимального напряжения свода с учетом и без учета засыпки, а также его деформационные характеристики представлены на рисунках 3—5.

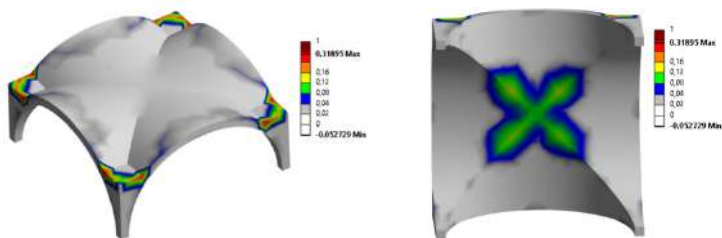


Рис. 3. Максимальные напряжения (растягивающие) с учетом засыпки

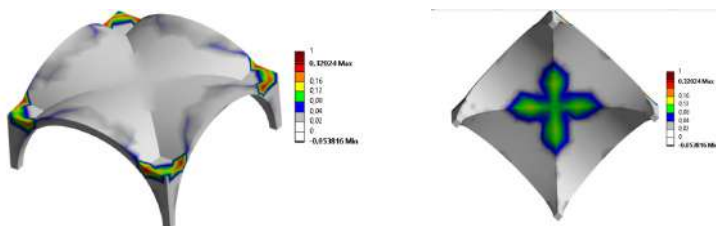


Рис. 4. Максимальные напряжения (растягивающие) без учета засыпки

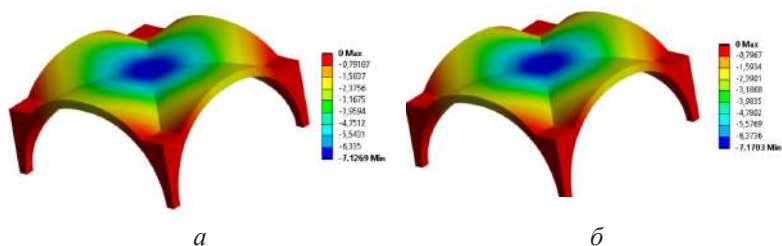


Рис. 5. Деформированное состояние крестового свода: *а* — с учетом влияния засыпки; *б* — без учета засыпки на работу сводов

Из численного анализа видно, что засыпка оказывает положительное влияние на напряженно-деформированное состояние свода. Максимальные растягивающие напряжения, как и деформации, уменьшаются, в данном случае на значение 0,1. При этом можно предположить, что данная величина зависит от типологии и классификации сводов, величины приложенной нагрузки и выбора сыпучих материалов и может варьироваться от малых величин до значительных.

Заключение

Проведенный численный анализ указывает на то, что засыпка пазух является важным элементом в обеспечении долговечности и надежности сводчатых конструкций, а ее наличие благоприятно отражается на их напряженном состоянии, уменьшая растягивающие напряжения и прогибы, тем самым предотвращая деформации.

Результаты исследования подчеркивают необходимость учета засыпки при проведении реставрационных работ и оценке исторических сооружений, а также указывают на целесообразность ее применения в современном строительстве арочных конструкций. Для дальнейших исследований рекомендуется углубленный анализ влияния различных типов засыпки на разные формы сводов с использованием более детализированных моделей.

Список литературы

1. *Бернгард В. Р.* Арки и своды: Руководство по устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. СПб. : Типография Ю. Н. Эрлих. 1901. 128 с.
2. *Гроздов В. Т.* Кирпичные своды перекрытий старых жилых и общественных зданий. СПб. : ВИТУ, 1999. 25 с.
3. *Бессонов Б.* Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. М. : Союзреставрация, 1989. 164 с.
4. *Лахтин Н. К.* Расчет арок и сводов. М. : Тип. Т-ва И. Д. Сытина, 1911. 215 с.
5. *Онищук Л. И.* Каменные конструкции. М. ; Л. : Госстройиздат, 1939. 208 с.
6. *Орлович Р. Б., Зимин С. С., Деркач В. Н.* Эффективность армирования каменных сводов композитными материалами // Строительство и реконструкция. 2022. № 2 (100). С. 44—54.
7. СП 15.13330.2018. Каменные и армокаменные конструкции. М. : Минстрой России, 2018.
8. *Федеральные стандарты по сохранению объектов культурного наследия. Методика реставрации сводчатых конструкций.* М. : Минкультуры, 2019.
9. *Ahnert R., Krause K. H.* Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1, 2. Berlin : Verlag für Bauwesen, 2009.
10. *Callaway P., Gilbert M., Smith C. C.* Influence of backfill on the capacity of masonry arch bridges // Bridge Engineering. 2012. Vol. 165, № 3. P. 147—157.

А. В. Бурминский, А. С. Марутян

Пятигорский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Пятигорск, Россия)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕТОВЫХ ГНУТОЗАМКНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

OPTIMIZATION OF Z-BENDED CLOSED PROFILES

Аннотация. Представлен зетовый (Z-образный) профиль с замкнутыми контурами полок и стенки, ограниченные горизонтальными и вертикальными гранями, которые объединены цилиндрическими оболочками с поперечным сечением в виде выкружки (половины круглого полукольца). Его составное сечение скомпоновано из двух одинаковых заготовок с зубчатыми кромками. Зубчатые крепления расположены в шахматном порядке, и после замыкания обеспечивают цельность составного сечения с равными габаритами по ширине и высоте. Такой профиль стал прототипом для зетового профиля с замкнутыми полками и перфорированной стенкой, у которого прочность на изгиб и высота вырезов максимальны, когда отношение габаритов ширины и высоты по средней линии расчетного сечения равно $1/2,15$, а высота вырезов достигает $0,535$ высоты сечения. При отсутствии вырезов прочность максимальна у зетового профиля с габаритов ширины и высоты $1/2,84$. Оригинальность зетовых профилей подтверждена патентной экспертизой. Отмечена эффективность применения таких профилей в несущих конструкциях, особенно в крутоуклонных кровлях.

Abstract. The article presents a Z-shaped profile with closed contours of shelves and a wall limited by horizontal and vertical edges, which are united by cylindrical shells with a cross-section in the form of a fillet (half of a round semi-ring). Its composite section is composed of two identical blanks with serrated edges. The serrated fasteners are staggered and, after

© Бурминский А. В., Марутян А. С., 2025

closing, ensure the integrity of the composite section with equal dimensions in width and height. This profile became a prototype for a Z-shaped profile with closed shelves and a perforated wall, which has maximum bending strength and cutout height when the ratio of the width and height dimensions along the center line of the calculated section is 1/2.15, and the cutout height reaches 0.535 of the section height. In the absence of cutouts, the strength is maximum for a Z-shaped profile with width and height dimensions of 1/2.84. The originality of Z-shaped profiles is confirmed by a patent examination. The effectiveness of using such profiles in load-bearing structures, especially in steeply pitched roofs, has been noted.

Ключевые слова: зетовый профиль, гнутый профиль, гнутозамкнутый профиль, расчет оптимальных параметров, оптимизация, вариантное проектирование, кровельный прогон

Keywords: Z-profile, bent profile, bent-closed profile, calculation of optimal parameters, optimization, variant design, roof purlin

Введение

Триггером для разработки гнутозамкнутых профилей стало рекламное объявление о продаже станка для изготовления рояльных петель, а базой — активный и эффективный учебный процесс подготовки инженеров ПГС, который был скомкан, к большому сожалению, введением бакалавриата. Рояльные петли в 1928 г. запустил Август Хеттих, наметив тем самым новый курс на производство фурнитуры для мебели [1]. Очевидно, что такая технология вполне применима в легких стальных тонкостенных конструкциях (ЛСТК) различных зданий и сооружений, для которых основным конструкционным материалом служит оцинкованная листовая сталь, а сварные соединения заменены заклепочными, винтовыми, фальцевыми, замковыми, резьбовыми, зубчатыми и другими креплениями. Более наглядно это на примере тонкостенных гнутых профилей. Так, гнутосварной профиль по определению представляет собой сортовой гнутый профиль, замкнутый контур которого обеспечен

сваркой полок¹. В гнутых профилях для ЛСТК такой же контур может быть обеспечен не сваркой, но замыканием зубчатых кромок листовых заготовок [2]. Поэтому в дальнейшем представляется целесообразным для большей определенности аналогично и созвучно гнутосварным профилям (ГСП) гнутозамкнутые профили сокращенно маркировать как ГЗП.

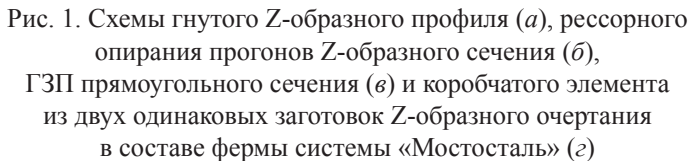
Зетовые (Z-образные) ГЗП могут быть использованы в качестве стержневых [3] и балочных [4; 5] элементов при разработке несущих конструкций зданий и сооружений различного назначения. В частности, это могут быть поясные элементы ферм покрытий, стеновые ригели или кровельные прогоны [6].

К известному техническому решению можно отнести стеновые ригели и кровельные прогоны из холодногнутого профиля Z-образного сечения (рис. 1, *а*) [7]. Они весьма востребованы на практике в составе ЛСТК. Однако их несущая способность ограничена сохранением местной (локальной) устойчивости и формы тонкостенного сечения.

Для увеличения несущей способности и надежности кровельных прогонов разработан узел рессорного типа опирания Z-образных прогонов на основные несущие конструкции с использованием дополнительных элементов такого же сечения, которые вкладываются один в другой под прогон на опоре и соединяются между собой и с прогоном болтами через овальные отверстия в стенках элементов (рис. 1, *б*) [8]. Такое решение превращает Z-образное сечение прогонов в составное, включающее до трех стенок и столько же пар полок, соединенных болтовыми креплениями, что приводит к определенному росту трудозатрат и расхода конструкционного материала.

Еще одно известное решение (принятое за аналог) представляет собой ГЗП прямоугольного сечения со стыком по середине одной из длинных граней, где каждая часть состыкованной грани имеет продолжение в форме ребра. Размер коротких граней в 2 раза меньше размера ребер и в 3 раза меньше размера длинных граней. Листовая заготовка такого профиля выполнена по всей длине с зубчатыми продольными кромками, зубцы которых

¹ ГОСТ 14350-80. Профили проката гнутые. Термины и определения. М. : Издательство стандартов, 1980. С. 10.



275

где узкая полка одной заготовки приварена к широкой полке другой заготовки и наоборот — широкая полка одной заготовки приварена к узкой полке другой заготовки (рис. 1, *з*) [10]. Такой коробчатый элемент имеет узкую конфигурацию, устойчивость которой обеспечивает решетчатая часть ферменной конструкции, а его сварные соединения ограничивают минимальную толщину свариваемых элементов и не позволяют применять оцинкованную сталь.

Техническим результатом зетового ГЗП является достаточная местная (локальная) и общая его устойчивость из плоскости и в плоскости несущей конструкции. Обеспечивается он тем, что в зетовом (Z-образном) ГЗП из двух одинаковых листовых заготовок Z-образного очертания, скрепленных между собой посредством зубчатых замыканий продольных кромок и взаимно опертых в зоне их контакта, одна из полок и половина стенки каждой заготовки в поперечном сечении имеют округлую форму в виде выкружки (половины круглого полукольца), радиус которой равен ширине полок. При этом округлая полка одной заготовки скреплена с прямой полкой другой заготовки и наоборот — прямая полка одной заготовки скреплена с округлой полкой другой заготовки (рис. 2, *а*) [11].

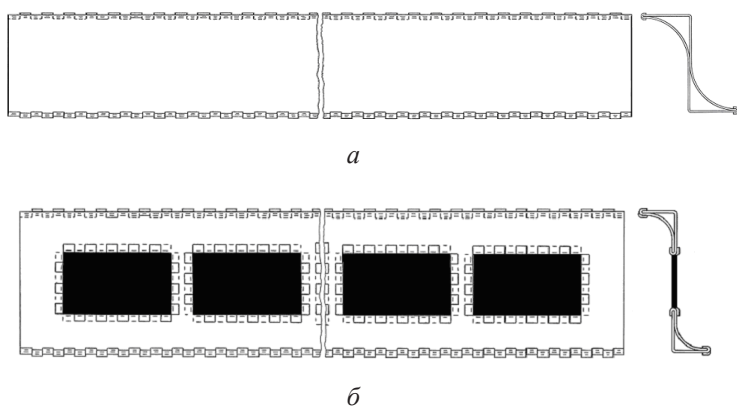


Рис. 2. Схемы зетового ГЗП (*а*) и зетового ГЗП с перфорированной стенкой (*б*)

Зетовый ГЗП послужил прототипом для такого же профиля с перфорированной стенкой, у которого прочность на изгиб и высота вырезов максимальны, когда отношение габаритов ширины и высоты по средней линии расчетного сечения равно $1/2,15$, а высота вырезов достигает $0,535$ высоты сечения (рис. 2, б) [12].

Конструктивно-компоновочное оформление

Зетовый (Z-образный) профиль образован, согласно определению, стенкой и двумя полками, расположенными по разные стороны от стенки под прямым углом¹. Применительно к ГЗП такое определение необходимо дополнить, поскольку их составные сечения включают элементы круглых очертаний, образующих совместно с прямолинейными элементами стенок и полк замкнутые контуры (рис. 2), заметно повышающие жесткостные характеристики профиля. При этом ГЗП обладают достаточно универсальным техническим решением, с реализацией которого для их изготовления можно использовать не только зубчатые замыкания, но и сварные, болтовые или заклепочные соединения. В случае изготовления ГЗП без сварных, болтовых или заклепочных соединений параметры зубчатых продольных кромок их листовых заготовок Z-образного очертания целесообразно подобрать так, чтобы одним зигзагообразным резом формировать кромки сразу двух заготовок. Издержки производства при этом будут минимальными, что обеспечит уменьшение дополнительных затрат. Загибы зубчатых креплений ГЗП увеличивают толщину смятия, что может способствовать определенному росту несущей способности соединений тонкостенных элементов, работающих в основном на сдвиг [13]. Загибы зубчатых креплений обеспечивают также сохранение местной (локальной) устойчивости и формы сечения тонкостенных элементов до достижения предельного состояния, что позволяет рассчитывать не редуцированные сечения, а сечения нетто [14]. Кроме того, загибы зубчатых креплений, распределенные равномерно по всей длине зетового ГЗП, обеспечивают его монолитность в большей степени, чем зоны контакта с трением

¹ ГОСТ 14350-80. Профили проката гнутые. Термины и определения. М. : Издательство стандартов, 1980. С. 7.

соединения фальцевого типа в прямоугольном профиле балки с креплениями торцов к зацепам, что позволило считать поперечное сечение балки монолитным [15]. Загибы зубчатых креплений по периметру каждого из вырезов в перфорированных стенках повышают цельность составных сечений еще больше.

Приближенная методика расчета

Для количественной оценки ресурсов несущей способности зетового ГЗП нужно рассчитать площадь A , а также моменты инерции его сечения I_x и I_y (рис. 3).

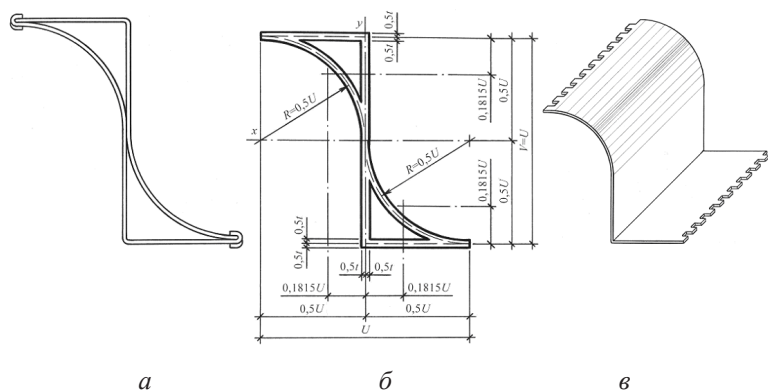


Рис. 3. Поперечное сечение зетового ГЗП (а), его расчетная схема со средней линией в виде пунктира (б) и аксонометрия листовой заготовки (в)

Расчетные выкладки при этом допустимы по средней линии тонкостенного сечения без учета его угловых закруглений и без учета численных величин, содержащих значения толщины, введенной во вторую и третью степень (t^2 , t^3):

$$A = 3,57tU; I_x = 0,5295918tU^3; I_y = 0,1720781U^2,$$

где t — толщина восьмиугольной трубы; U (V) — габарит ширины (высоты) поперечного сечения ГЗП по его средней линии, в данном расчетном случае $U/V = 1/1$.

Расчетные выкладки применительно к зетовому ГЗП с перфорированной стенкой (рис. 4) имеют следующий вид:

$$A = tU(2/n + 1,57); I_y = I_{y,0} = I_{y,h} = 0,1720669tU^3;$$

$$I_{x,0} = tU(0,1666666/n^3 + 0,3925/n^2 - 0,34955/n + 0,0054002)$$

$$I_{x,h} = I_{x,0} - th^3/6,$$

где n — отношение габаритов ширины и высоты,

$$n = U/V;$$

$I_{x,0}$ — момент инерции сечения без выреза ($h = 0$); $I_{x,h}$ — момент инерции сечения с вырезом ($h \neq 0$); h — высота выреза.

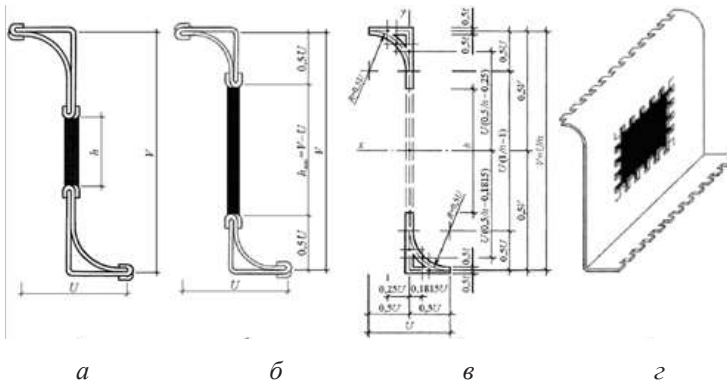


Рис. 4. Поперечные сечения зетового ГЗП с перфорированной (а) и максимально перфорированной (б) стенками, их расчетная схема (в) и аксонометрия листовой заготовки (г)

Расчетные формулы можно протестировать, подставив в них $n = 1/1$:

$$\Delta A = 3,56 / 3,57 \approx 1,0;$$

$$\Delta I_x = 0,5294118 / 0,5295918 = 0,9996601 \approx 1,0;$$

$$\Delta I_y = 0,1720669 / 0,1720781 = 0,9999349 \approx 1,0.$$

Расчет оптимальных параметров

Расчетные выкладки более наглядны в предельном случае, когда высота вырезов перфорированной стенки зетового ГЗП достигает своего максимального значения:

$$h/V = h_{\max}/V = 0,5350779 = 1/1,868867 \approx 1/1,869;$$

$$A = tU(2/n + 1,57); V = U/n; U(A/t)/(2/n + 1,57);$$

$$I_{x,h} = I_{x,0} - (0,535077tV^3)/6 = (A^3/t^2)(0,1411338/n^3 + 0,3925/n^2 - 0,034955/n + 0,0054002);$$

$$W_{x,h} = 2I_{x,h}/V = (A^2/t)(0,2822676/n^2 + 0,785/n - 0,06991 + 0,0108004n)/(2/n + 1,57)^2;$$

$$dW_{x,h}/dn = 0;$$

$$0,0266219n^4 + 0,135653n^3 - 2,2443765n^2 = 1/9341348n + 1,3673595 = 0;$$

$$n_2 = -11,71360; n_2 = -1,2688687; n_3 = 0,4643835;$$

$$n_4 = 7,4302439.$$

Из четырех корней прикладное значение имеет третий:

$$n = 0,4643835 = 1/2,1533926 \approx 1/2,153;$$

$$A = 5,8767852tU; U = 0,17016010A/t (60,75 \%);$$

$$V = 0,3664234A/t (130,8 \%);$$

$$h = 0,1960650A/t; h_{\max} = V - U = 0,1960650A/t;$$

$$h/h_{\max} = 0,9989943 \approx 1,0;$$

$$I_{x,h} = 0,0155666A^3/t^2 (133,7 \%);$$

$$W_{x,h} = W_{x,\max} = 0,084965A^2/t (102,2 \%);$$

$$i_{x,h} = 0,1247661A/t (115,6 \%); I_y = 0,0008477A^3/t^2 (30,47 \%);$$

$$W_y = 0,0099635 A^2 / t \text{ (36,90 \%)}; i_y = 0,0291152 A / t \text{ (47,34 \%)}.$$

Здесь в качестве эталонных (100-процентных) показателей приняты соответствующие параметры зетового ГЗП, послужившего прототипом для перфорированного профиля, при условии, что использована одна и та же исходная заготовка ($A = const$; $t = const$):

$$A = 3,57 \text{ тУ}; U = V = 0,2801120 A / t;$$

$$I_x = 0,0116395 A^3 / t^2; I_y = 0,0037819 A^3 / t^2;$$

$$W_x = 0,0831060 A^2 / t; W_y = 0,0270027 A^2 / t;$$

$$i_x = 0,1078865 A / t; i_y = 0,0614971 A / t.$$

Из полученных результатов расчетных выкладок и их сравнения следует, что с ростом строительной высоты перфорированного профиля в 1,308 раза момент инерции его сечения в силовой плоскости конструкции увеличивается в 1,337 раза, момент сопротивления — 1,022 раза, радиус инерции — 1/1,156 раза. При этом с одной стороны расчетное и максимальное значения высоты вырезов перфорированной стенки практически совпадают, поскольку погрешность их равенства остается ниже порога в 0,101 %, а с другой стороны величина первого из них не превышает величину второго. Такие итоги позволяют сделать основной вывод о рациональности зетовых ГЗП. Остается добавить, что параметры зетовых ГЗП практически совпадают с параметрами таких же швеллеров с поправкой на то, что первые в 2 раза шире вторых [16;17].

Заключение

Основные результаты оптимизации зетовых ГЗП более наглядны на графиках в зависимости от относительной высоты вырезов в стенке и отношения условных толщин полок и стенки (рис. 5).

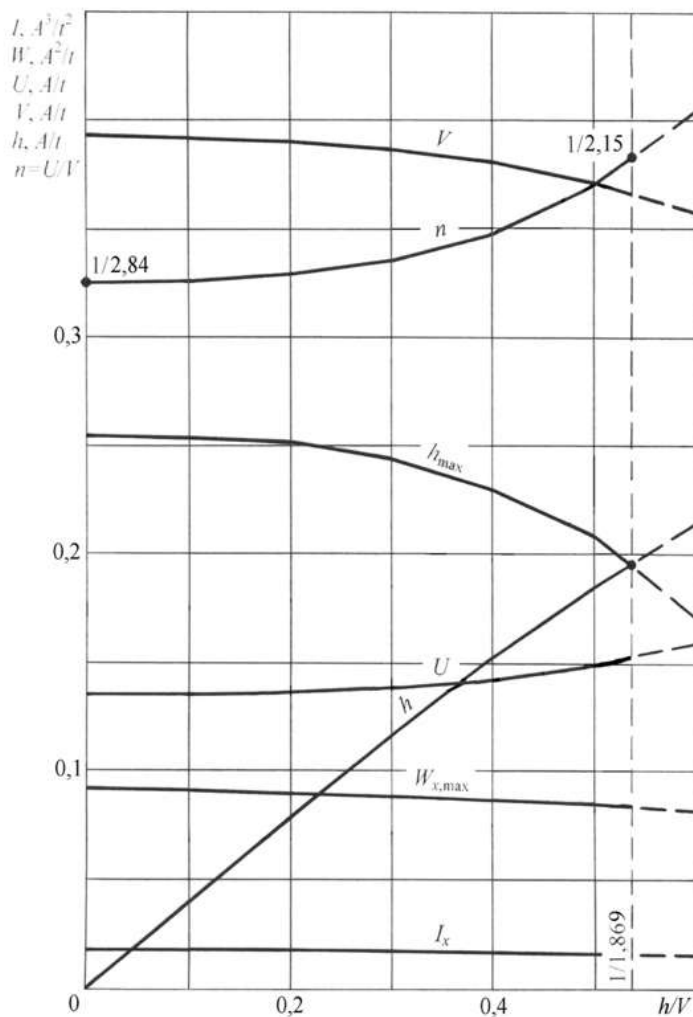


Рис. 5. Графики изменений основных расчетных параметров зетового ГЗП в зависимости от роста относительной высоты h/V вырезов его перфорированной стенки, где h — высота вырезов, V — высота профиля по средней линии его расчетного сечения

По осям ординат этих графиков для единиц измерений использованы обозначения площади сечения и толщины листовой полосы ($A=\text{const}$, $t=\text{const}$), которая подлежит зигзагообразному резу на две заготовки для зетовых ГЗП.

Итоговые графики позволяют сделать ряд некоторых обобщений и выводов.

1. По своим геометрическим (статическим) характеристикам зетовый профиль с замкнутыми полками достаточно устойчив из плоскости и в плоскости конструкции при отношениях габаритов ширины и высоты по средней линии сечения $1/1$, что повышает рациональность его применения в балочных конструкциях, особенно в кровельных прогонах крутоуклонных покрытий.

2. У зетового ГЗП с замкнутыми полками и перфорированной стенкой прочность на изгиб и высота вырезов максимальны, когда отношение габаритов ширины и высоты по средней линии расчетного сечения равно $1/2,15$, а высота вырезов достигает $0,535$ высоты сечения.

3. У зетового ГЗП с замкнутыми полками и сплошной (неперфорированной) стенкой прочность на изгиб максимальна, когда отношение габаритов ширины и высоты по средней линии расчетного сечения равно $1/2,84$.

4. Тестирование приближенной методики расчета сечений по их средним линиям подтвердило приемлемую корректность, возможность применения в вариантном и оптимальном проектировании несущих конструкций из оптимизированных модификаций зетового профиля.

Список литературы

1. *Город в городе* // Мебельный бизнес. 29.11.2018. № 173. URL: <https://www.promebel.com>gorodvgorode> (дата обращения: 16.05.2025).
2. *Марутян А. С.* Гнутозамкнутые профили и расчет их оптимальных параметров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15, № 1. С. 33–43.

3. *Li Sh., Zhao O.* Flexural buckling of press-braked stainless-steel Z-section columns: Testing, numerical modelling and design // *Engineering Structures*. 2024. Vol. 300. P. 117169.

4. *Abu-Sena A. B. B., Abdelfattah F. A., Soliman M. S. et al.* An experimentally verified new approach for web crippling design of cold-formed steel Z-Sections // *Constructional Steel Research*. 2020. Vol. 164. P. 105813.

5. *Wan H.-X., Huang B., Mahendram M.* Experiments and numerical modeling of cold-formed steel beams under bending and torsion // *Thin-Walled Structures*. 2021. Vol. 161. P. 107424.

6. *Seek M. W., Avcı O.* Assessment of purlins with torsion bracing in sloped roof systems: Direct strength method approach // *Structures*. 2024. Vol. 62. P. 106157.

7. СТО 0061-2008. Прогоны и ригели стальные, оцинкованные из холодногнутых профилей С-образного и Z-образного сечений для систем покрытий и стен зданий. М. : ЦНИИПСК им. Мельникова, 2008. 90 с.

8. *Данилов А. И., Туснина О. А.* Узел рессорного типа опирания Z-образных прогонов на основные несущие конструкции. Патент № 2548268. 20.04.2015. Бюл. № 11.

9. *Марутян А. С.* Гнутозамкнутый профиль. Патент № 2641333. 17.01.2018. Бюл. № 2.

10. *Брудка Я., Лубиньски М.* Легкие стальные конструкции. М. : Стройиздат, 1974. С. 299.

11. *Марутян А. С.* Зетовый (Z-образный) гнутозамкнутый профиль. Патент № 2683839. 02.04.2019. Бюл. № 10.

12. *Марутян А. С.* Зетовый (Z-образный) гнутозамкнутый профиль с перфорированной стенкой. Патент № 214485. 31.10.2022. Бюл. № 31.

13. *Кузнецов И. Л., Фахрутдинов А. Ф., Рамазанов Р. Р.* Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // *Вестник МГСУ*. 2016. № 12. С. 34—43.

14. *Белый Г. И.* К определению редуцированных сечений стержневых элементов легких стальных тонкостенных конструкций // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6. С. 33—37.

15. *Яковлева Е. Л., Атавин И. В., Казакова Ю. Д. и др.* Прочностные характеристики тонкостенных элементов // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 12. С. 125—139.

16. *Марутян А. С.* Сравнительный расчет оптимальных параметров швеллерных гнутых и гнутозамкнутых профилей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15, № 6. С. 415—432.

17. *Марутян А. С.* Оптимизация швеллерных и двутавровых гнутозамкнутых профилей с перфорированными стенками // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18, № 2. С. 111—139.

**А. С. Лаврова, Н. В. Заслуженная
А. А. Носочевская, А. Э. Костандова**

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
(Калининград, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-МОДЕЛИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ЗДАНИЯ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ: ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

THE USE OF A BIM MODEL IN CONSTRUCTING A DESIGN SCHEME FOR A BUILDING OF COMPLEX GEOMETRY: PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM

Аннотация. В данной работе был рассмотрен экспорт модели здания из программы для проектирования Renga в ПК ЛИРА10. В качестве исследуемой BIM-модели было выбрано здание сложной геометрии со смешанной конструктивной системой. Целью исследования является выявление проблем при экспорте и поиск способов их решения.

Abstract. In this paper, the export of a building model from the Renga design software to the software packages LIRA10 was considered. A building of complex geometry with a mixed structural system was chosen as the BIM model under study. The aim of the study is to identify problems in export and find ways to solve them.

Ключевые слова: BIM-моделирование, программные комплексы, расчетная схема, экспорт

Keywords: BIM modeling, software packages, calculation scheme, export

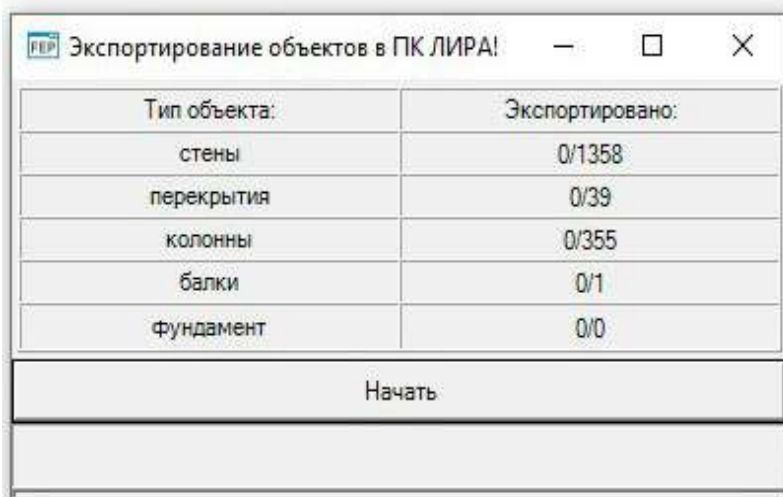
© Лаврова А. С., Заслуженная Н. В., Носочевская А. А., Костандова А. Э., 2025

Введение

В последнее время в проектировании зданий широко применяется информационное моделирование (BIM). С появлением трехмерного моделирования разработчики ПК начали создавать подпрограммы (плагины) для ускорения построения расчетных схем зданий и сооружений. Процесс преобразования 3D-модели в расчетную схему призван сократить временные трудозатраты инженера, однако это не всегда так.

Материалы и методы

С помощью плагина Renga→ЛИРА10 производится сопоставление материалов и сечений конструктивных элементов (рис. 1, 2). Передача данных производится для основных несущих элементов (стены, колонны, балки, перекрытия, фундаменты) через журнал сопоставления.



Тип объекта:	Экспортировано:
стены	0/1358
перекрытия	0/39
колонны	0/355
балки	0/1
фундамент	0/0

Начать

Рис. 1. Экспорт объектов

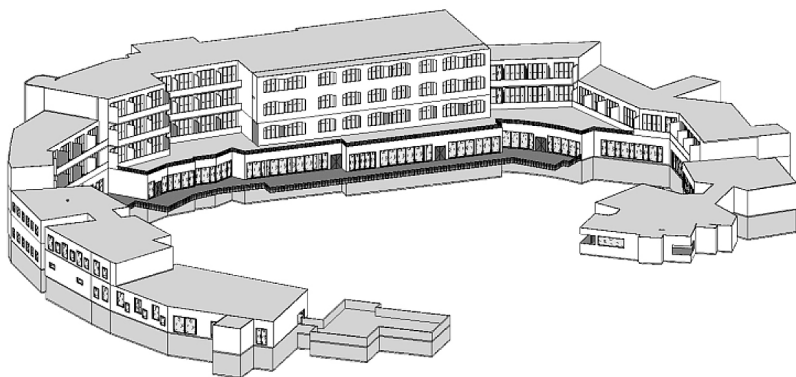


Рис. 2. Модель здания в Renga

Результаты

Проведенное исследование показало, что модель, полученная при экспорте (рис. 3), существенно экономит время построения расчетной схемы, однако при сложной геометрии здания требует значительных доработок (табл.).

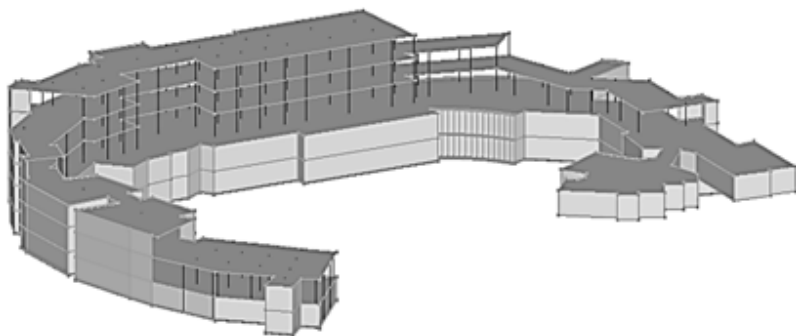
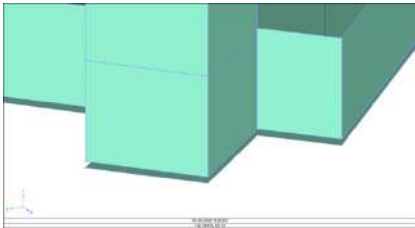
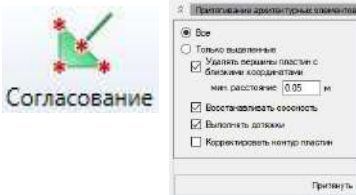
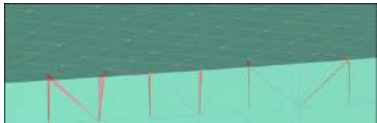


Рис. 3. Расчетная схема в ПК ЛиРа10,
полученная в результате экспорта

Проблемы и их решения

Проблема, возникающая в расчетной схеме после выгрузки	Решение проблемы
Конструктивные элементы не согласованы между собой. В полученной расчетной схеме можно заметить зазоры между несущими элементами здания, из-за чего система становится изменяемой и дальнейший расчет невозможен 	Необходимо изначально при построении BIM-модели в Renga учитывать положение сопряжений осей конструктивных элементов или воспользоваться такими функциями, как «Притяжение архитектурных элементов» или «Согласование сетей» в ПК ЛИРА10 
Появление «вырожденных» элементов при триангуляции пластин. Из-за сложной геометрии элементов невозможно сразу корректно выполнить триангуляцию. В конечно-элементной сетке появляются, так называемые, «вырожденные» элементы, из-за которых в протоколе расчета могут появиться предупреждения об ошибках решения 	После триангуляции архитектурных элементов в ПК ЛИРА10 необходимо избавиться от «вырожденных» элементов, путем поиска элементов малой площади через фильтр выбора. Найденные элементы необходимо удалить и доработать сетку вручную 

Заключение

По результатам исследования можно заключить, что использование плагина Renga→ЛИРА10 для построения расчетных схем зданий сложной конфигурации требует дальнейших доработок схемы для корректного выполнения расчета. Однако, несмотря на необходимые доработки, конвертация модели несколько упрощает и ускоряет построение расчетной схемы.

Список литературы

1. *Филонова М. А., Широбокова С. Н., Шутова М. Н.* Анализ систем автоматизированного проектирования по реализации технологии ВІМ // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : матер. XXI Междунар. науч.-техн. конф., Новочеркасск, 27 октября 2022 г. Новочеркасск : Лик, 2022. С. 48—52. EDN: EVISHB.
2. *Козлов Н. А., Попова К. А.* Проблемы внедрения технологий ВІМ проектирования в России // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. № 1 (15). С. 18—21. EDN: VSEXRL.
3. *Диханов Н., Абрахманова К. К.* Эффективность внедрения ВІМ-проектирования // Наука и инновационные технологии. 2016. № 1 (1). С. 27—30. EDN: XCONAR.
4. *Лотов А. А., Кукарский С. Н.* Применение различных программных комплексов в процессе ВІМ-проектирования // Нефть и газ Западной Сибири : матер. Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 2—3 ноября 2017 г. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. Т. 1. С. 151—154. EDN: ZQRTST.
5. *Информационные технологии в архитектуре и строительстве* : матер. II Всерос. науч.-практ. семинара, Саранск, 29 мая 2017 г. / отв. ред. А. Низина [и др.]. Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2017. 170 с. EDN: TBZEMI.
6. *Медведев А. Е.* Сравнительный анализ расчета конструкций высотного здания в программных комплексах ЛИРА-САПР и ЛИРА-СОФТ // Студенческие исследования — производству : матер. 31-й студ.

науч. конф. по естественным, техническим и гуманитарным наукам, Благовещенск, 8 ноября 2023 г. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. С. 63—71. EDN: DPMVXQ.

7. *Тонконог М. П., Субботин О. С.* Информационное моделирование в сфере архитектурного проектирования (BIM-моделирование) // Вектор современной науки : сб. тез. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 г. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубиллина, 2022. С. 935—936. EDN: REAQVF.

8. *Окладникова С. В., Полякова К. В.* Практики внедрения BIM-моделирования в России а// Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : матер. VII Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 9 февраля 2024 г. Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. С. 30—34. EDN: PXUTCT.

9. *Патеев Д. Р.* Анализ программного обеспечения для проектирования и расчета строительных конструкций // 73-я Международная студенческая научно-техническая конференция : матер. конф., Астрахань, 17—22 апреля 2023 г. Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2023. С. 50—51. EDN: GQOFKI.

10. *Ковальчук О. А., Колесников А. В., Русанова Е. М. и др.* Введение в программный комплекс ЛИРА 10.4 : учеб. пособие. М. : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. 186 с. EDN: TCYVLM.

Л. С. Артюхова, И. А. Чернышкова

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) им. М. И. Платова» (Новочеркасск, Россия)

**ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЙ**

**APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS
FOR ESTIMATING BUILDING DEFORMATIONS**

Аннотация. В статье рассматривается применение сверточных нейронных сетей (CNN) для автоматической оценки деформаций зданий по изображениям. Предлагаемый способ построен на анализе изображений, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для выявления и классификации трещин на фасадах зданий. Рассмотрены основные преимущества и недостатки применения сверточных нейронных сетей. Произведен анализ деформаций многоэтажного жилого дома с использованием разработанной CNN модели.

Abstract. The article discusses the use of convolutional neural networks (CNN) for automatic assessment of building deformations from images. The proposed method is based on the analysis of images obtained using unmanned aerial vehicles (UAVs) to identify and classify cracks on building facades. The main advantages and disadvantages of using convolutional neural networks are considered. The deformations of a multi-storey residential building were analyzed using a CNN-developed model.

Ключевые слова: компьютерное зрение, сегментация, нейронные сети, обследование зданий и сооружений

Keywords: computer vision, segmentation, neural networks, inspection of buildings and structures

© Артюхова Л. С., Чернышкова И. А., 2025

Введение

Оценка технического состояния зданий — это неотъемлемая часть обследования зданий и сооружений. Классическим методом оценки здания является визуальный осмотр, инструментальные измерения и анализ данных наблюдений, что считается субъективным и трудоемким.

В наше время все чаще стали использовать технологию, связанную с искусственным интеллектом. К ним можно отнести экспертные системы, нечеткую логику, компьютерное зрение, искусственные нейронные сети и др. Некоторые из них используются совместно, например при создании экспертной системы с применением искусственных нейронных сетей [1; 2].

Применение сверточных нейронных сетей (СНС или CNN, англ. Convolutional Neural Networks) — это перспективное направление в области компьютерного зрения и строительной инженерии, используемое для оценки деформаций зданий по изображениям [4; 5].

Данный метод позволяет автоматизировать процесс обнаружения и анализа дефектов, что повышает эффективность и объективность обследования зданий и сооружений.

Материалы и методы

К основным преимуществам использования СНС можно отнести автоматизацию (автоматизирует трудоемкий процесс визуального обследования зданий); объективность (минимизирует влияние человеческого фактора на оценку деформаций); эффективность (позволяет обрабатывать большой объем данных за короткий срок); раннее обнаружение (позволяет обнаружить небольшие деформации, которые были пропущены при визуальном осмотре); доступность (использование изображений полученных с помощью устройств (дроны, наземные камеры и др)).

СНС хорошо подходит для обработки изображений, так как они могут автоматически извлечь характерные признаки деформаций зданий. Для оценки деформаций зданий с помощью СНС происходит обучение на большом наборе изображений фасадов,

содержащих различные дефекты (трещины, прогибы, перекосы и т. д.). Эти дефекты маркируются специалистами, затем указывается тип деформации и его местоположение (рис. 1).

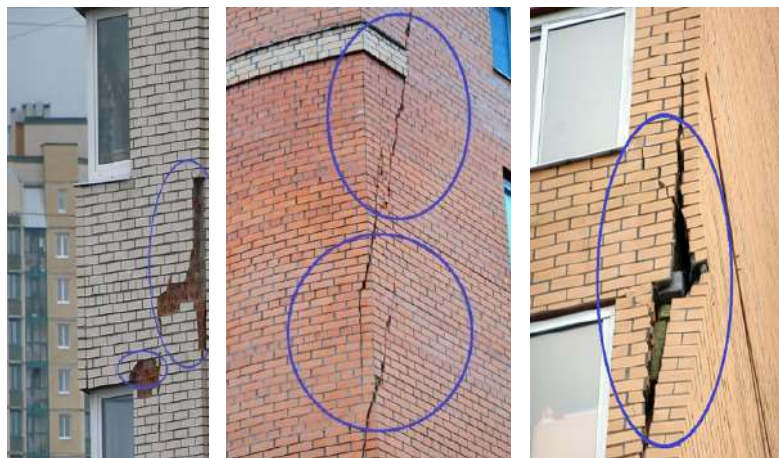


Рис. 1. Маркировка дефектов на фасаде зданий

Процесс обучения СНС включает в себя четыре этапа: предварительную обработку данных; архитектуру модели; обучение модели; проверку и применение модели.

На первом этапе происходит сбор данных фасадов, которые будут сегментироваться с помощью нейронной сети. Ряд собранных изображений должен иметь разметку сегментов, которые будут подаваться на вход нейронной сети, для ее последующего обучения. Конечный файл первого этапа сохраняется в формате txt, csv и др. (рис. 1).

Второй этап включает в себя выбор архитектуры СНС, которая способна выделить из изображения основную информацию в виде фитчей, включающая несколько сверточных слоев, слоев пулинга и полносвязных слоев. Сверточные слои извлекают характерные признаки из изображений, слои пулинга, в свою очередь, уменьшают размерность признакового пространства, а полносвязные слои уже классифицируют изображения по типам трещин (рис. 2).

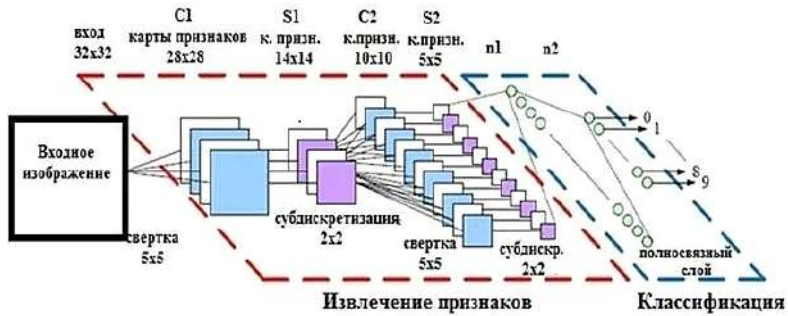


Рис. 2. Общая структура сверточной искусственной нейронной сети

На третьем этапе происходит загрузка данных и обучение нейронной сети. Информация маркированных изображений подается на «вход» сети, происходит сравнение ее прогнозов с аннотациями. Основываясь на разнице между прогнозом и аннотацией, все нейронные сети корректируются, для улучшения точности предсказаний. Данный процесс повторяется до тех пор, пока не достигнет приемлемой точности.

Для процесса обучения сети была выбрана архитектура Mask R-CNN (рис. 3). Mask R-CNN использует многозадачную функцию потерь, которая включает в себя компоненты для классификации, регрессии bounding boxes и сегментации, что позволяет оптимизировать все три задачи одновременно. Вычисляются градиенты функции потерь по отношению к весам сети. Производим выбор алгоритма оптимизации (например Adam, SGD) для обновления весов сети во время обучения. Далее выполним настройку гиперпараметров, таких как learning rate, batch size, количество эпох. На заключительном этапе отслеживаем метрику производительности (например, loss, mAP, IoU) на валидационном наборе во время обучения для контроля переобучения и выбора лучшей модели.

На четвертом этапе производится анализ результатов на валидационном и тестовом наборах данных, что позволяет выя-

вить слабые места модели и определить пути для ее улучшения. Подбор оптимальных значений гиперпараметров может существенно повлиять на производительность модели. Также возможно дообучение (Fine-tuning) отдельных слоев или всей сети с измененными гиперпараметрами [5].

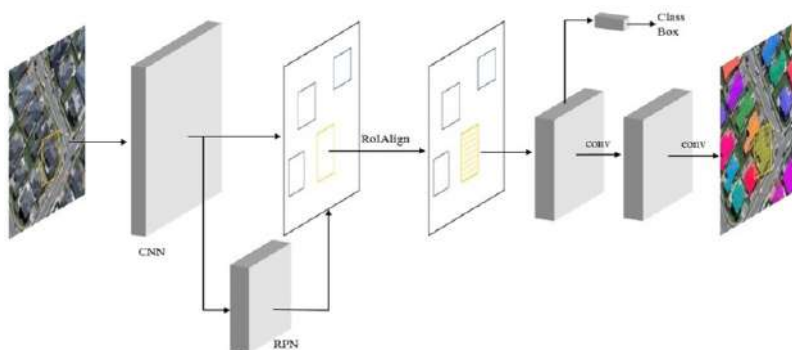


Рис. 3. Архитектура HC Mask R-CNN

Результаты

Для оценки эффективности разработанного алгоритма при обследовании зданий и сооружений были запечатлены фото дефектов фасадов зданий. Всего было сделано 100 фотографий с трещинами и 100 фотографий без трещин, далее фото были разделены на 184×146 пикселей, в результате на выходе получили 325 изображений с трещинами и 325 изображений без трещин. На рисунках 4, 5 представлены примеры фото из набора данных.



Рис. 4. Фото конструкций с трещинами



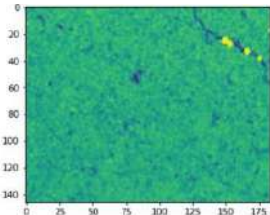
Рис. 5. Фото конструкций без трещин

Изображения были подобраны с разным расположением трещин (сбоку, посередине, в углу), а также с разной конфигурацией, шириной и длиной. В местах расположения трещин наблюдался фоновый шум, который обусловлен растительностью, соединениями конструкций и краями элементов.

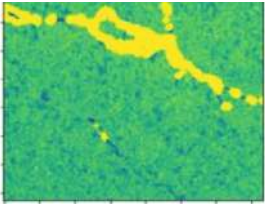
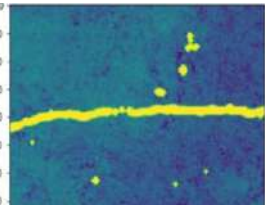
Для улучшения качества и уменьшения шума изображений были использованы различные фильтры, которые преобразуют цветовые каналы. Такая подготовка изображений повышает точность модели машинного обучения [6—8].

После создания модели нейронной сети произвели ее обучение и протестировали на тестовом наборе данных. Набор данных был разбит на две папки Crack и No Crack, далее папке с трещинами присваиваем 1, без трещин — 0. Результаты теста сведены в таблице.

Результаты тестирования

Обработанные изображения	Предполагаемый дефект	Необработанная прогнозируемый дефект (числовая)	Истинный дефект
	Трещина	0,8549	Трещина

Окончание табл.

Обработанные изображения	Предполагаемый дефект	Необработанная прогнозируемый дефект (числовая)	Истинный дефект
	Трещина	0,9863	Трещина
	Трещина	0,9889	Трещина

Обученная нейросетевая модель продемонстрировала на тестовых данных среднюю точность 85 %, что можно считать достойным показателем, поскольку трещины отличаются изменчивостью формы, размером и расположением, что затрудняет их идентификацию.

```
100/100 [=====] - 14s 53ms/step - loss: 1.0507 - accuracy: 0.8549
Final Accuracy : 85.49324235650962 %
Final Loss : 1.050747947883608
```

Рис. 6. Результат оценки точности классификатора

Дальнейшая доработка нейронной сети должна проводиться в соответствии с конкретными задачами, которые поставит организация [9; 10].

Заключение

В заключении хочется отметить, что применение СНС для оценки деформаций зданий и сооружений по изображениям — это мощный инструмент, который может значительно улучшить процесс обследования и мониторинга зданий и сооружений, повышая безопасность и надежность строительных конструкций. Однако, необходимо учитывать ограничения метода и использовать его в сочетании с другими методами обследования для получения полной картины состояния здания. Приведенный пример демонстрирует, как СНС могут использоваться для автоматической оценки деформаций зданий, средняя точность обучения модели составила 85 %, однако, важно помнить, что точность и эффективность модели зависят от качества набора данных, выбранной архитектуры СНС и параметров обучения. Результаты СНС должны всегда интерпретироваться специалистами, и этот метод является дополнением, а не заменой традиционных методов оценки.

Список литературы

1. *Сикорский О. С.* О влиянии цветового пространства изображений на обучение сверточной нейронной сети в задаче классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 2018. № 21. С. 340—343.
2. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. М. : Вильямс, 2004. 928 с.
3. *Васильев А. Н., Тархов Д. А.* Принципы и техника нейросетевого моделирования. М. : СИНТЕГ, 2017. 218 с.
4. *Степанов П. П.* Искусственные нейронные сети // Молодой ученый, 2017. № 4 (138). С. 185—187.
5. *Рысьмятова А. А.* Использование сверточных нейронных сетей. М. : МГУ, 2016. 34 с.
6. *Ченг Дж., Ван М.* Автоматическое обнаружение дефектов канализационных труб на изображениях замкнутого телевидения с использованием методов глубокого обучения // Автоматизация в строительстве. 2018. № 95. С. 155—171.

7. Ким Б., Чо С. Автоматизированное визуальное обнаружение трещин на бетонных поверхностях с использованием метода глубокого обучения // Датчики. 2018. № 18 (10). С. 1—18.

8. Дорафиан С., Томас Р. Дж., Магуайр М. Сравнение глубоких сверточных нейронных сетей и детекторов краев для обнаружения трещин в бетоне на основе изображений // Строительство и строительные материалы. 2018. № 186. С. 1031—1045.

9. Ли Ю., Чжао В., Чжан С. и др. Двухэтапный метод обнаружения трещин в бетонных мостах с использованием сверточных нейронных сетей // Транзакции IETICE по информации и системам. 2018. № E101.D (12). С. 3249—3252.

10. Наумов А. Е., Юдин Д. А., Долженко А. В. Совершенствование технологии строительства и технической экспертизы с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник Белгородского государственного технологического университета. ВГ Шухов. 2019. № 4. С. 61—69.

И. Д. Ржаников, Н. Е. Таран

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
(Тюмень, Россия)

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ БЛОК
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК «TEMPER-3D»**

**DIGITAL SIMULATION OF THE HEAT TRANSFER PROCESS THROUGH
A WINDOW UNIT USING A PC “TEMPER-3D”**

***Аннотация.** Цель данной статьи заключается в возможностях и важности трехмерного моделирования температурных полей узла оконного блока в рамках повышения энергоэффективности жилого дома. Методологией помимо трехмерного моделирования является расчет энергетического паспорта многоквартирного жилого дома, сравнение требований с фактическими значениями и дальнейшие предложения по утеплению и решению проблем энергоэффективности. Результаты показывают эффективность и важность внедрения программных комплексов для трехмерного моделирования, для точного определения температур в узлах оконных блоков и рассмотрению мер по оптимизации их конструкций*

***Abstract.** The purpose of this article is to explore the possibilities and importance of three-dimensional modeling of the temperature fields of a window block node as part of improving the energy efficiency of a residential building. In addition to three-dimensional modeling, the methodology is to calculate the energy passport of an apartment building, compare requirements with actual values, and make further proposals for insulation and energy efficiency solutions. The results show the effectiveness and importance of implementing software systems for*

three-dimensional modeling, for accurately determining temperatures in the nodes of window blocks and considering measures to optimize their designs.

Ключевые слова: энергоэффективность, многоквартирный дом, тепловая защита, трехмерное моделирование, температурные поля, оконные блоки, теплопотери, инновационные технологии

Keywords: energy efficiency, apartment building, thermal protection, three-dimensional modeling, temperature fields, window blocks, heat loss, innovative technologies

Введение

Энергоэффективность — характеристика, отражающая отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю [1].

Температурное поле — это совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого пространства, которая математически задается уравнением, связывающим значение температуры в каждой точке тела с ее координатами [2].

Тепловые потери здания — количество тепловой энергии, необходимое для компенсации теплопередачи через ограждающие конструкции здания в наружную окружающую среды [3].

Актуальность капитального ремонта многоквартирных домов и повышения их теплотехнических показателей в настоящее время обусловлена политикой в области энергосбережения, в частности требованиями Федерального закона № 261, направленными на сокращение расходов энергетических ресурсов, улучшение экологической ситуации и стимулирование экономического роста. На региональном уровне также разработана программа капитального ремонта, включающая перечень домов и необходимых видов работ на 2015—2053 гг.

Проведение расчетов энергоэффективности объекта и моделирование температурных полей дает возможность оценить его состояние, выбрать оптимальные решения для улучшения эксплуатационных характеристик, и повысить качество жизни жителей.

Цель — оптимизация температурных полей оконных блоков многоквартирного жилого дома с целью повышения энергоэффективности, уменьшения теплопотерь методом моделирования в программном комплексе Temper-3D.

Задачи: 1) сбор исходной информации, натурное и тепловизионное обследование жилого дома. Создание цифровой модели; 2) расчет энергетического паспорта, определение соответствия требованиям нормативов и выявление дефектов ограждающих конструкций; 3) разработка предложений по улучшению теплотехнических показателей ограждающих конструкций; 4) численное моделирование температурных полей оконных блоков с использованием программного комплекса Temper-3D.

Исходные данные

Объектом анализа был выбран, жилой дом, расположенный по адресу: г. Тюмень, ул. Флотская, 15. Согласно проведенному анализу, он оказался наиболее оптимальным вариантом, так как данный объект состоит в программе капитального ремонта фасада, подвала, инженерных сетей (водоотведения, теплоснабжения, электроснабжения) и нуждается в проведении вышеперечисленных видов работ, находится в шаговой доступности для всех участников исследования.

После выбора объекта был произведен сбор и анализ исходных данных, выполнение модели здания и недостающих чертежей, проведен опрос. Основные сведения о жилом доме были получены из онлайн-сервиса Дом.МинЖКХ [4]. Состав ограждающих конструкций наружных стен, цокольного и чердачного перекрытий, окон, дверей, балконов был определен на основе документации, предоставленной управляющей компанией, и серии типового проекта 1-467А-15. Таким образом, расчетное проектное значение сопротивления наружной стены, состоящей из 2 слоев цементно-песчаного раствора и стеновой панели из

ячеистого бетона толщиной 275 мм, составляет $1,42 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ при нормируемом показателе, равном $3,48 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Расчетное проектное значение сопротивления чердачного перекрытия, состоящего из железобетонной плиты перекрытия, цементно-песчаной стяжки и 2 слоев насыпного керамзита толщиной 100 и 325 мм соответственно, составляет $4,023 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ при нормируемом показателе, равном $4,59 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Расчетное проектное значение сопротивления цокольного перекрытия, состоящего из железобетонной плиты перекрытия, цементно-песчаной стяжки толщиной 50 мм и деревянного пола, составляет $0,531 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ при нормируемом показателе $4,59 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Был проведен анализ и подсчет количества деревянных и пластиковых ограждающих конструкций окон и балконов. Двери также были заменены на металлические без теплоизоляционного слоя, дверь в подвал и технические помещения — деревянная.

Для более точного определения существующих проблем в данном объекте и выбора оптимального пути решения был проведен социологический опрос населения, проживающего в многоквартирном доме. Большинство ответило, что их не устраивает коммунальные платежи, дом требует срочного капитального ремонта и утепления фасада, управляющая компания игнорирует существующие проблемы. Количество опрошенных жителей — 32.

Расчет энергетического паспорта

Расчет показателей энергетического паспорта объекта был проведен согласно требованиям, указанным в СП 50.13330.2024 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» [1].

После расчета энергетического паспорта были определены общие теплопотери здания, за отопительный период они составили

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 595843,26 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Данный дом требует реконструкции. Теплозащитная оболочка здания не удовлетворяет одновременно всем показателям:

А. Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

$$R_{0, \text{ст}}^{\text{расч}} = 1,42 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} > R_{0, \text{ст}}^{\text{норм}} = 3,48 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{ок } 1, 2, 5, 7}^{\text{расч}} = 0,77 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} < R_{0, \text{ок}}^{\text{норм}} = 0,6 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{ок } 3, 4, 6, 8, 11}^{\text{расч}} = 0,65 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} < R_{0, \text{ок}}^{\text{норм}} = 0,6 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{дв } 1}^{\text{расч}} = 0,802 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} < R_{0, \text{дв}}^{\text{норм}} = 3,49 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{дв } 2}^{\text{расч}} = 1,058 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} < R_{0, \text{дв}}^{\text{норм}} = 3,49 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{черд}}^{\text{расч}} = 4,023 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} > R_{0, \text{черд}}^{\text{норм}} = 4,59 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{0, \text{цок}}^{\text{расч}} = 1,058 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} > R_{0, \text{цок}}^{\text{норм}} = 4,59 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

Б. Удельная теплосащитная характеристика здания должна быть не более нормируемого значения (комплексное требование);

$$k_{\text{об}}^{\text{расч}} = 0,5162 (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} < k_{\text{об}}^{\text{норм}} = 0,546 (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

В. Температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Для ограждающей конструкции:

$$\tau_{\text{в, ст}} = 11,1 ^\circ\text{C} > t_{\text{p}} = 7,72 ^\circ\text{C} \text{ — измерение прибором};$$

$$\tau_{\text{в, ст}} = 15,5 ^\circ\text{C} > t_{\text{p}} = 7,72 ^\circ\text{C} \text{ — построение графиков}.$$

Для цокольного перекрытия:

$$\tau_{\text{в, цок}} = 21,1 ^\circ\text{C} > t_{\text{p}} = 7,72 ^\circ\text{C} \text{ — измерение прибором};$$

$$\tau_{\text{в, цок}} = 16,7 ^\circ\text{C} > t_{\text{p}} = 7,72 ^\circ\text{C} \text{ — построение графиков}.$$

Для чердачного перекрытия:

$\tau_{в, черд} = 17\text{ }^{\circ}\text{C} > t_p = 7,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ — измерение прибором;

$\tau_{в, черд} = 19\text{ }^{\circ}\text{C} > t_p = 7,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ — построение графиков.

Таким образом, теплозащитная оболочка не удовлетворяет условия только поэлементным требованиям.

Жилой дом, расположенный по адресу: г. Тюмень, ул. Флотская, 15, не соответствует нормативному требованию теплозащиты и требует проведения реконструкции с утеплением или последующей заменой ограждающих конструкций.

Моделирование окна без утепления фасада

Для нахождения точного значения температуры в углу оконного блока возникла необходимость замоделировать оконный блок в программном комплексе. Выбор был сделан в пользу отечественной программы Temper-3D. Temper-3D — это уникальная российская программа, которая предназначена для расчета трехмерных температурных полей и приведенного сопротивления ограждающих конструкций зданий и сооружений. В России аналогов такой программы нет, так как остальные программы рассматривают только плоские и стационарные концепции.

Исходными данными для моделирования принимается любой оконный блок или его узел. Необходимо знать состав ограждающей конструкции стен и формулу остекления оконного блока. Моделирование узла оконного блока можно разделить на несколько пунктов: 1) создание базовой модели, в качестве исходного узла был принят пластиковый оконный блок, состав ограждающей конструкции и коэффициенты теплопроводности изложены выше; 2) задача граничных условий. Граничные условия задаются как температура на внешней и внутренней стороне ограждающей конструкции.

В результате расчета температура в углу узла оконного блока составила $1,86\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это означает, что оконный блок имеет проблемы с продуванием и в помещении около окна будет создаваться дискомфортный микроклимат (рис. 1).

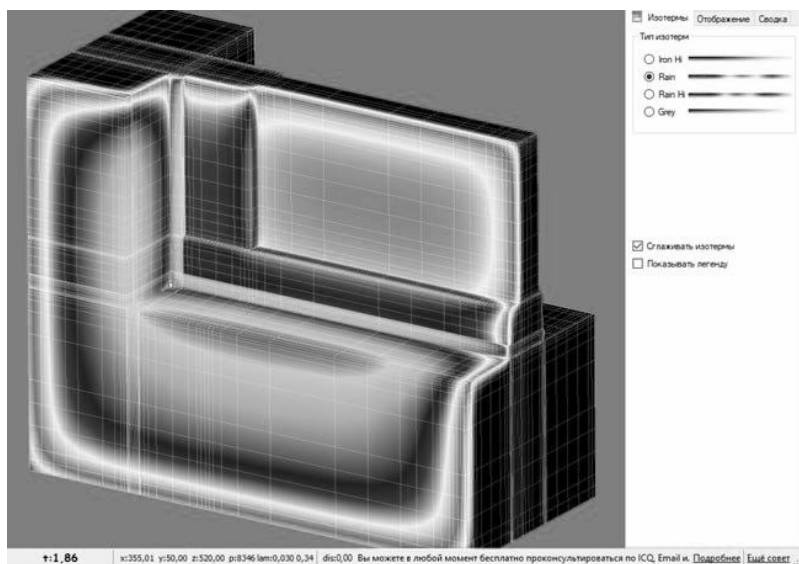


Рис. 1. Показания расчетов оконного блока до утепления

Моделирование окна с утеплением

В качестве мер по утеплению применена технология мокрого фасада с использованием минераловатного утеплителя. Также было принято решение заменить монтажную пену инновационным утеплителем. В качестве утеплителя будет выступать аэрогель. Дополнительно к уже существующему слоям ограждающей конструкции стены добавляются утеплитель $\delta = 80$ мм, $\lambda = 0,034$ Вт/м $\cdot$ °C; штукатурка минеральная F75 $\delta = 10$ мм, $\lambda = 0,7$ Вт/м $\cdot$ °C; силикатная краска $\delta = 5$ мм, $\lambda = 0,8$ Вт/м $\cdot$ °C.

Теплотехнические свойства аэрогеля были изучены и коэффициент теплопроводности составил $\lambda = 0,013$ Вт/м $\cdot$ °C. В теории это позволит решить проблему продувания, а также ввиду простоты монтажа будут исключены ошибки при его выполнении (рис. 2).

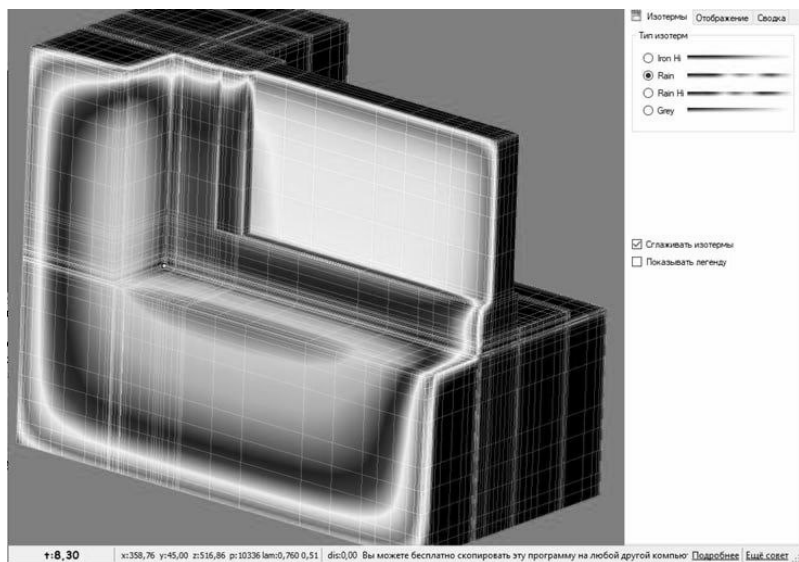


Рис. 2. Показания расчетов оконного блока после утепления

После получения расчета и осмотра в программе можно сделать вывод, что цвета стали более «теплыми», что свидетельствует о повышении температуры оконного блока в целом. В углу оконного блока температура составила $8,3^{\circ}\text{C}$. Что выше температуры образования точки росы при 45 % и внутренней температуре помещения 21°C [5], в отличие от окна до утепления.

Заключение

В результате проведенного исследования и сравнения расчетов температурных полей в программе Tempreg-3D температура в углу оконного блока увеличилась в $1,86/8,3 = 4,5$ раза. Также можно сравнить температуру в любой точке оконного блока, это особенно необходимо при моделировании не узлов, а цельных оконных или балконных блоков.

Повышение энергоэффективности помимо положительного влияния на срок службы здания также является неотъемлемой частью развития экономики ввиду снижения затрат на отопление и содержание зданий и сооружений.

Такие программы позволяют наглядно сравнивать различные материалы в различных или идентичных условиях, проверять соблюдение требований энергоэффективности. Это полезно для проектных институтов и важно для заказчиков.

Трехмерное моделирование температурных полей и повышения энергоэффективности необходимо для создания приятной среды и микроклимата в помещении для комфортного проживания людей.

Это показывает важность внедрения программ для трехмерного моделирования в образовательный процесс направлений связанных с строительством и проектированием зданий и сооружений, для повышения их энергоэффективности и раннего выявления проблем в оконных и балконных блоках, что положительно скажется на долговечности и стоимости эксплуатации таких зданий.

Список литературы

1. *СП 50.13330.2024. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий* // Консорциум кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 12.04.2025).

2. *СП 131.13330.2020. Строительная климатология. СНиП 23-01-99** (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.12.2020 г. № 859/пр) (ред. от 30.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. *ГОСТ 30494-2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях* (введен в действие Приказом Росстандарта от 12.07.2012 г. № 191-ст) (ред. от 20.12.2022). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. *Жилой фонд в Тюмени* // Дом.МинЖКХ. URL: <https://dom.mingkh.ru/tyumenskaya-oblast/tyumen/234691> (дата обращения: 16.11.2024).

5. *СП 23.101.2004. Проектирование тепловой защиты зданий // Меганорм. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294813/4294813064.pdf?ysclid=mah0kmwhpc460525290> (дата обращения: 12.09.2024).*

6. *СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные». Введ. в действие 15.05.2018. М. : Стандартиформ, 2018. 51 с.*

7. *Насонова А. Е. Энергоэффективные дома глазами потребителей // АВОК. 2024. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4941 (дата обращения: 12.09.2024).*

8. *Щелоков Я. М. Энергетика России: вопросы энергоэффективности и политики // АВОК. 2024. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6582&ysclid=maiixhakle767008941 (дата обращения: 12.09.2024).*

9. *Щелоков Я. М., Семенов М. Т. К вопросу об энергетической эффективности зданий // АВОК. 2024. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8413&ysclid=maij25io9c631684741 (дата обращения: 12.09.2024).*

**Е. В. Диваков¹, М. С. Бельмега², Е. И. Чурилов²
Е. Ю. Курочкин¹, И. В. Хомякова²**

¹ ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

² ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
(Калининград, Россия)

КАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫЙ ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

CATALYTICALLY ACTIVE FILTER MATERIAL FOR GROUNDWATER DE-ICING STATIONS

***Аннотация.** Разработка эффективных каталитически активной фильтрующей загрузки с применением дешевых строительных материалов и простых химических реагентов, способных составить конкуренцию европейским фильтрующим материалам является актуальной задачей. Выполнен анализ технологий изготовления каталитически активных фильтрующих материалов для обезжелезивания подземных вод. В работе проведен обзор методов модификации фильтрующих загрузок для повышения их каталитической активности, устойчивости к органическим загрязнениям и увеличения срока службы. Представлены результаты лабораторных исследований по доочистке водопроводной воды, демонстрирующие возможность использования разработанной фильтрующей загрузки.*

***Abstract.** The development of effective catalytically active filter material using cheap building materials and simple chemical reagents capable*

© Диваков Е. В., Бельмега М. С., Чурилов Е. И., Курочкин Е. Ю., Хомякова И. В., 2025

of competing with European filter materials is an urgent task. The analysis of technologies for the manufacture of catalytically active filtration materials for the de-icing of groundwater has been performed. The paper provides an overview of methods for modifying filter loadings to increase their catalytic activity, resistance to organic pollutants, and longer service life. The results of laboratory studies on the post-treatment of tap water are presented, demonstrating the possibility of using the developed filter material.

Ключевые слова: вода, железо, марганец, каталитически активная фильтрующая загрузка

Keywords: water, iron, manganese, catalytically active filter media

Введение

Проблема загрязнения подземных вод железом является актуальной для многих регионов России. Превышение допустимых концентраций железа в воде не только ухудшает ее органолептические свойства (цветность, мутность, привкус), но и негативно сказывается на состоянии водопроводных сетей, вызывая зарастание и коррозию, а также может представлять опасность для здоровья человека. Многие фильтрующие материалы (Birm, QUANTUM DMI65, Manganese Greensand и др.) для работы фильтров подземных водозаборов поставлялись из Европы или США. В современных условиях создание новых материалов, способных качественно очищать подземные воды, используемые в системе хозяйственно-питьевого водопровода, и обеспечивать экологическую безопасность регионов РФ является важной научно-практической задачей.

Среди существующих технологий обезжелезивания, особое внимание привлекают методы, основанные на использовании фильтрующих материалов с каталитической активностью. Данные материалы, за счет своей способности ускорять процессы окисления и осаждения железа, позволяют значительно повысить эффективность очистки воды при относительно невысоких эксплуатационных затратах.

В настоящее время существуют методы создания каталитически активного фильтрующего материала. Например, одним из них является способ получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала путем дробления и сортировки горелой породы с получением фракции 0,5—2,0 мм. Последующую пропитку породы вначале раствором марганцевокислого калия, а затем раствором железного купороса с образованием на поверхности породы оксидов марганца, причем после пропитки раствором марганцевокислого калия осуществляют сушку при 150—200 °С и охлаждают материал до комнатной температуры, и после пропитки раствором железного купороса осуществляют сушку при 150—200 °С. Изобретение позволяет повысить механическую прочность материала [1].

Разработан способ получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала, включающий модификацию природного материала дробленой и сортированной горелой породы раствором марганцевокислого калия, а затем вторым реагентом — сульфитом натрия, который способствует образованию на поверхности носителя оксидов марганца, и сушку [2].

Известен способ получения гранулированного фильтрующего материала, путем измельчения доломита и классификации до фракции 0,3—1,5 мм. Дальнейшего отжига в атмосфере воздуха при температуре 500—900 °С в течение 1—3 ч. Затем остужают до комнатной и обрабатывают раствором, содержащим ионы двухвалентного марганца (Mn^{2+} — 0,01—0,2 моль/л). После этого материал подвергают сушке при 100—200 °С [3].

Известно изобретение, в котором используется носитель — бентонитовая глина, которую термообработывают при температуре 1200 °С, затем проводят активацию азотной кислотой. Предложен сорбционно-фильтрующий материал для очистки воды, содержащий диоксид марганца на алюмосиликатной основе, в качестве которого он содержит бентонитовую глину, подвергнутую последовательно термической и кислотной активации, при этом он содержит компоненты при следующем соотношении, масс. %: диоксид марганца — 10—14, активи-

рованная бентонитовая глина — остальное. Способ получения заключается в термоактивации бентонита, кислотной обработке и обработке растворами Mn и $KMnO$ [4]. Недостаток — в использовании кислоты, которую необходимо нейтрализовать. Кроме того, бентонитовая глина в процессе приготовления сорбционно-фильтрующего материала проходит термообработку, что влечет затраты на электроэнергию.

Известен фильтрующий материал для очистки воды от марганца и железа, выбранный в качестве прототипа. В этом фильтрующем материале в качестве носителя используется зернистый материал природного происхождения — горелая порода, а на поверхности горелой породы образован каталитически активный слой, состоящий из смеси оксидов MnO , Mn_2O_3 и MnO_2 [5]. Данный зернистый материал хорошо работает при pH 7,8—9,0. К недостаткам данного модифицированного фильтрующего материала можно отнести следующее: модифицированная горелая порода хорошо удаляет из воды железо при pH 6,3—6,5. Однако при этих значениях pH происходит растворение оксидов марганца, что приводит к увеличению содержания в воде ионов марганца выше ПДК.

Также известен обезжелезивающий фильтрующий материал. Обезжелезивающий фильтрующий материал содержит, масс. %: мел 13—36, пиролюзит 10—33, жидкое стекло 48,96—52,18, кремнефтористый натрий 1,82—5,04 [6]. Недостатком которого является искусственное получение фильтрующего материала, кроме того, он трудоемок в изготовлении, поскольку сушка длится 1 сут, а термообработка длится 20—30 ч при температуре 120—130 °С, это энергозатратно, также этот материал дорог в изготовлении, поскольку получается искусственным путем.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью поиска новых эффективных и дешевых фильтрующих материалов для применения в качестве фильтрующих материалов для станций обезжелезивания подземных вод. Изготовление фильтрующего материала должно быть не дорогим, технологически выполнимым, а фильтрующий материал должен быть экологически безопасным.

Материалы и методы

Поставленная задача относится к способу получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала для очистки железомарганецсодержащих природных и сточных вод.

Технической задачей является разработка способа получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала, обеспечивающего технологическую эффективность очистки железомарганецсодержащих подземных вод, прочное сцепление оксидных соединений марганца с поверхностью крошки, износоустойчивость оксидной пленки при обратных промывках, невысокую стоимость изготовления материала и эксплуатации фильтрующей загрузки.

Для решения поставленной технической задачи применялся следующий способ получения каталитически активного зернистого материала.

Первоначально опыты проводились на керамзитовой крошке. Однако результаты экспериментов показали, что фильтрующий материал не прошел проверку по истираемости в соответствии с [7].

В качестве материала была выбрана мраморная крошка фракции 2 мм (рис. 1). По показателям истираемости, измельчаемости, он соответствует требованиям [7]. Мрамор может вступать в реакцию с растворенной в воде углекислотой, тем самым уменьшая кислотность. Это позволяет более эффективно окислять железо из двухвалентно состояния в трехвалентное, в соответствие с диаграммой Пурбе.

В способе получения каталитически активного зернистого материала, порода сначала пропитывается раствором марганцево-кислого калия, а затем раствором, приводящим к образованию на поверхности мрамора оксидов марганца. В качестве раствора, приводящего к образованию на поверхности породы оксидов марганца, используют раствор железного купороса, при этом после пропитки раствором марганцево-кислого калия осуществляют сушку при 105 °С и охлаждают материал до комнатной температуры, и после пропитки раствором железного купороса осуществляют сушку при 105 °С.



Рис. 1. Внешний вид мраморной крошки до обработки

Получаемый предлагаемым способом каталитически активный зернистый фильтрующий материал имеет на поверхности мрамора прочно закрепленную, стойкую к разрушению при механическом воздействии оксидную пленку (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид мраморной крошки после обработки

Для проведения опытов использовалась фильтрующая установка типа собственного производства. За основу была взята установка (рис. 3) [7] .



Рис. 3. Внешний вид фильтрующей установки

Результаты

В испытаниях опытным путем оценивалась работа каталитически активной фильтрующей загрузки, а именно удаление железа и марганца из воды. Результаты испытаний представлены в таблице. Анализы выполнялись проводились в соответствии с [8; 9].

Показатели качества воды

№	V _л	T _с	C _{Fe}	C _{Mn}	pH	ORP	TDS	EC	SAL, %	V, м/ч
0	—	—	0,13	0,18	8,25	127	224	412	0,02	—
1	0,567	772	0,12	0,17	7,53	164	215	424	0,02	8,28
2	0,620	1640	0,11	0,15	7,62	256	212	399	0,02	4,3
3	0,458	3600	0,12	0,14	7,72	229	230	462	0,02	1,44

Примечание: pH — водородный показатель, ORP — окислительно-восстановительный потенциал, TDS — общая минерализация, EC — электропроводность, SAL — соленость.

Результаты экспериментов по динамике изменения концентраций железа и марганца при доочистке водопроводной воды представлены на графиках (рис. 4, 5).

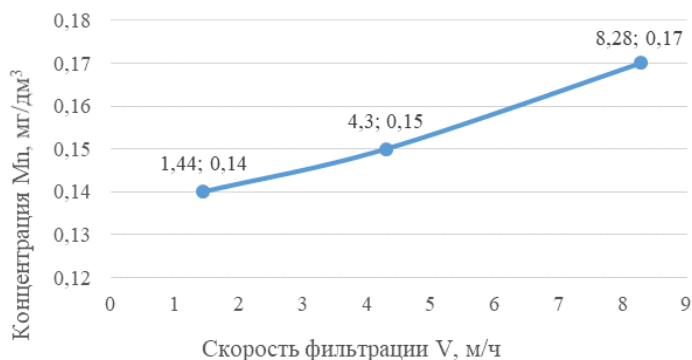


Рис. 4. График изменения концентрации марганца

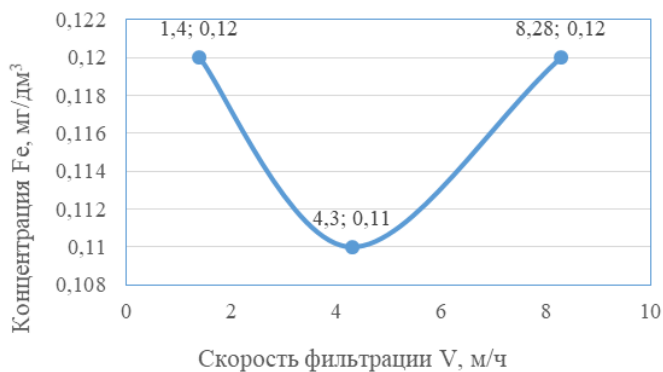


Рис. 5. График изменения концентрации железа

Заключение

Экспериментальные данные показывают, что изготовленная каталитически активная загрузка работает на водопроводной воде, доочищая железо и марганец. Железо в исходной воде

почти в 3 раза ниже, а концентрация марганца почти в 2 раза выше нормы. После очистки воды, концентрации железа и марганца всегда уменьшались при различных скоростях фильтрации. Наиболее оптимальная скорость фильтрования (по показателю качество воды «железо») находится в интервале 4—5 м/ч. Марганец, как более трудно окисляемый металл требует большей продолжительности контакта с каталитически активной загрузкой. Рекомендуем апробировать фильтрующий материал на сырой подземной воде с изначально более высокими концентрациями загрязняющих веществ.

Список литературы

1. *Патент* № 2363536 С1. Российская Федерация, МПК B01J 20/06, B01D 39/06. способ получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала: № 2007145999/15: заявл. 10.12.2007: опубл. 10.08.2009 / Е. Л. Войтов, Ю. Л. Сколубович, М. Н. Бредихин, А. Ю. Сколубович; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин).

2. *Патент* № 2574754 С1. Российская Федерация, МПК B01D 39/06, B01J 20/06, B01J 20/28. фильтрующий материал для очистки питьевой воды: № 2014148675/05: заявл. 02.12.2014: опубл. 10.02.2016 / Т. А. Губайдулина, В. Н. Губайдулин, А. А. Маркин, А. П. Матвеев; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». EDN: ZENBYT.

3. *Патент* № 2162737 С1. Российская Федерация, МПК B01J 20/02, B01D 39/02, B01J 20/06. Способ получения гранулированного фильтрующего материала: № 2000119716/12: заявл. 26.07.2000: опубл. 10.02.2001 / Д. В. Дудин, Б. О. Бодягин, А. О. Бодягин.

4. *Патент* № 2229336 С1. Российская Федерация, МПК B01J 20/12, B01J 20/06. Сорбционно-фильтрующий материал для очистки воды и способ его получения: № 2003114030/15: заявл. 15.05.2003: опубл. 27.05.2004 / А. А. Иванов, А. Ю. Палажченко, М. А. Спевак; заявитель ЗАО «Мембранная техника и технология». EDN: YLFJXG.

5. *Патент* № 2275335 С2. Российская Федерация, МПК B01D 39/06, C02F 1/64, B01J 20/06. Фильтрующий материал для очистки воды от марганца и железа, способ его получения и способ очистки воды от марганца и железа: № 2004119351/15: заявл. 24.06.2004: опубл. 27.04.2006 / Т. А. Губайдулина, Н. А. Почуев. EDN: EANNPD.

6. *Патент* № 2184600 С2. Российская Федерация, МПК B01D 39/06, B01J 20/04, C02F 1/64. Активный обезжелезивающий фильтрующий материал: № 2000122374/12: заявл. 24.08.2000: опубл. 10.07.2002 / В. Д. Назаров, Н. В. Вадулина; заявитель Уфимский государственный нефтяной технический университет. EDN: GDYMF0.

7. *ГОСТ* Р 51641-2000. Материалы фильтрующие зернистые. Введ. 2001-07-01. М. : Изд-во стандартов, 2000. № 219-ст.

8. *ГОСТ* 4011-72. Методы измерения массовой концентрации общего железа. Введ. 1974-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1974.

9. *ГОСТ* 4974-2014. Определение содержания марганца фотометрическими методами. Введ. 2016.01.01. М. : Изд-во стандартов, 2015.

В. К. Парфенов, Е. Ю. Курочкин

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ENVIRONMENTAL SITUATION OF WATER BODIES
IN THE KALININGRAD REGION**

***Аннотация.** На основании теоретических обобщений статистических данных по Калининградской области о географических и экологических параметрах, а также на основании сравнительных исследований Балтийского моря и рек региона рассматривается вопрос загрязненности биогенными элементами водных объектов. Цель исследования: оценить эффективность существующих и перспективных технологий очистки сточных вод от азота и фосфора с учетом географических и экологических особенностей Калининградской области, а также обосновать необходимость модернизации систем водоочистки региона в контексте соблюдения международных и национальных экологических стандартов. Подчеркивается взаимосвязь сброса недоочищенных сточных вод по показателям азота и фосфора и эвтрофикации водоемов, а также необходимость соблюдения как региональных, так и международных норм по очистке сточных вод. На основании сравнительного анализа выявлены общие и специфические направления биологического, химического и гальванохимического методов применительно к очистке бытовых сточных вод, загрязненных биогенными элементами.*

***Abstract.** Based on theoretical generalizations of statistical data on geographical and ecological parameters in the Kaliningrad region, as well as comparative studies of the composition of water bodies, the issue*

© Парфенов В. К., Курочкин Е. Ю., 2025

of pollution by biogenic elements of the Baltic Sea, as well as rivers in the region, is being considered. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of existing and promising technologies for wastewater treatment from nitrogen and phosphorus, taking into account the geographical and environmental characteristics of the Kaliningrad region, as well as to justify the need to modernize the region's water treatment systems in the context of compliance with international and national environmental standards. The author emphasizes the relationship between the discharge of untreated wastewater in terms of nitrogen and phosphorus and the eutrophy of reservoirs, as well as the need to comply with both regional and international standards for wastewater treatment. Based on a comparative analysis, the author has identified common and specific areas of biological, chemical and galvanoechemical methods in relation to the treatment of domestic wastewater contaminated with biogenic elements.

Ключевые слова: эвтрофикация, биогенные элементы, азот, фосфор, очистные сооружения, Балтийское море

Keywords: eutrophication, biogenic elements, nitrogen, phosphorus, sewage treatment plants, Baltic Sea

Введение

Калининградская область, расположенная в уникальных географических условиях, сталкивается с особыми экологическими вызовами, связанными с загрязнением водоемов. В регионе наблюдается высокая концентрация сточных вод, содержащих азот и фосфор, что требует особого подхода к их очистке. Учитывая близость области к Балтийскому морю, проблема загрязнения водных ресурсов приобретает международное значение. Важно адаптировать современные методы очистки к экологическим условиям региона, что требует учета специфики местной флоры и фауны [1]. Эффективное решение задач по очистке сточных вод в регионе может способствовать улучшению экологической ситуации в акватории Балтийского моря.

Калининградская область сталкивается с рядом экологических вызовов, связанных с очисткой сточных вод. Высокая

плотность населенных пунктов региона приводит к увеличению объема сточных вод, создавая дополнительную нагрузку на существующие системы водоочистки. По данным Росстата, уровень загрязнения сточных вод в регионе превышает средний показатель по России на 15 % [2], что подчеркивает необходимость модернизации очистных сооружений и внедрения более эффективных технологий.

Калининградская область, являясь эксклавом Российской Федерации, обладает уникальным географическим положением, обязана соблюдать международные экологические нормы, направленные на защиту водных ресурсов. Поэтому в регионе действуют строгие требования к очистке сточных вод, которые учитывают как национальные, так и международные стандарты.

Калининградская область — это приморский регион с высокой плотностью водоемов, что делает его особенно уязвимым к загрязнению. Гидрографическая сеть Калининградской области включает более 400 рек и водоемов, что формирует сложную систему водных ресурсов. Это требует комплексного подхода к управлению водоочисткой, учитывающего как локальные особенности, так и взаимосвязь между различными водоемами. Региональные особенности, такие как высокая плотность гидрографической сети и значительное количество водоемов, требуют более строгого контроля качества сбрасываемых сточных вод. Это обусловлено тем, что даже незначительное загрязнение может быстро распространяться по водной системе, влияя на состояние всей экосистемы. Таким образом, экологические нормы в Калининградской области учитывают не только общие, но и специфические факторы, характерные для данного региона.

Важным аспектом является учет международных стандартов и соглашений, таких как Директива Европейского Союза 91/271/ЕЕС, регулирующая очистку городских сточных вод. Эти стандарты устанавливают допустимые уровни загрязняющих веществ, которые могут быть сброшены в водоемы, и требуют внедрения технологий, обеспечивающих достижение этих показателей. Соблюдение норм играет ключевую роль

в обеспечении устойчивого использования водных ресурсов. Действующее законодательство в области очистки сточных вод играет ключевую роль в обеспечении экологической безопасности. Нормативными документами определяются требования к качеству сточных вод, устанавливаются предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, включая азот и фосфор, и предписываются меры по предотвращению их попадания в водные ресурсы. Эти нормы служат основой для разработки региональных и муниципальных программ по модернизации очистных сооружений.

Материалы и методы

Калининградская область сталкивается с особыми проблемами, связанными с воздействием азота и фосфора на водные экосистемы. В малых населенных пунктах (особенно курортных зонах) системы очистки устарели или отсутствуют. В ряде населенных пунктов (например, Зеленоградск, Светлогорск) технология водоочистки не позволяют обеспечить должное качество [3]. Результатом этого является частое цветение воды, что было заметно в 2020 г., когда значительные площади водоемов региона были охвачены этим процессом. Негативные последствия таких цветений сказываются на биоразнообразии и качестве воды. Особо это заметно в летний период, когда цветение воды приводит к массовым жалобам со стороны населения и ухудшает условия для рыбного промысла. Исследование выявило [4], что наибольший уровень загрязнения вод характерен для восточного района и Приморской бухты, что подтверждается многолетними данными.

Согласно исследованиям [5] в 2018 г. по химическим и микробиологическим показателям, фиксируются превышения по БПК_п, аммонийному азоту и фосфатам. В связи с этим эффективные методы очистки должны учитывать химический состав сточных вод.

Калининградская область, хоть и не выделяется жесткими климатическими условиями, и имеет благоприятную среду для водоочистки, все же, обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выборе методов очистки сточных вод.

Температура воздуха варьируется от -24 до $+23,5$ °С, что, влияет на эффективность биологических методов очистки сточных вод. Условия региона требуют адаптации технологий к сезонным изменениям температуры.

В Калининградской области применяется широкий спектр технологий очистки сточных вод. К числу таких технологий относятся биологическая очистка, физико-химическая, использование фильтрационных систем и комбинированные подходы. Выбор методов очистки осуществляется с учетом специфики региона и направлен на снижение уровня азота и фосфора в сточных водах, что способствует улучшению экологического состояния водоемов.

Согласно информации ГП КО «Водоканал», биологическая очистка сточных вод г. Калининграда осуществляется в городских канализационных очистных сооружениях, состоящих из четырех параллельных линий, каждая из которых разделена на пять различных зон. Аэротенки с процессами нитрификации, денитрификации и дефосфации предназначены для удаления биогенных элементов из сточных вод. Эти аэротенки разработаны на основе технологии анаэробно-аноксидно-оксидной биологической очистки, кроме того, в 2017 г. в Калининграде были введены в эксплуатацию крупнейшие в регионе очистные сооружения канализации мощностью около 150 тыс. м³/сут [7]. Проект был реализован в рамках сотрудничества со странами Балтийского региона. Уровень очистки сточных вод на этих сооружениях соответствует требованиям Хельсинкской комиссии (ХЕЛКОМ) и природоохранного законодательства РФ. Для повышения эффективности биологической дефосфации следует учитывать, что модификация сооружений биологической очистки сточных вод активным илом требует создания потока идеального вытеснения и предотвращения аэрации в реакторах, расположенных в верхних частях схемы [8]. Бактерии активного ила, применяемые в биологических очистных сооружениях, способствуют созданию последовательного расположения анаэробных, анноксидных и аэробных зон. В свою очередь это обеспечивает очистку стоков до уровней, соответствующих требованиям сброса в открытые

водоемы рыбохозяйственного назначения [8]. В аэробных зонах одним из решений для повышения качества и эффективности очистки сточных вод являются механизмы и технологии, которые улучшает контакт иловой смеси с кислородом воздуха. Это способствует более эффективному процессу очистки [9]. Учет режимов работы анаэробных, аноксидных и аэробных зон представляет собой комплексное решение проблемы загрязнения водоемов.

Химические методы играют важную роль в очистке сточных вод от фосфора. Применение химической коагуляции позволяет сократить содержание фосфора на 60 %. Этот метод основан на добавлении реагентов, которые связывают фосфор в нерастворимые соединения, удаляемые в процессе фильтрации. Транспортировка реагентов на территорию Калининградской области существенно влияет на выбор технологий очистки сточных вод от азота и фосфора в пользу безреагентной технологии удаления биогенных элементов [1].

Комбинированные подходы, объединяющие биологическую и химическую очистку, показывают высокую эффективность в Калининградской области. Внедрение таких систем на 30 % очистных сооружений региона позволяет значительно снизить содержание азота и фосфора в сточных водах. Комбинированная технология очистки позволяет при меньших затратах реагентов добиваться стабильного удаления биогенных элементов вне зависимости от меняющихся параметров температуры и концентрации загрязняющих веществ. Однако, данная технология требует двухступенчатой системы доочистка биологически очищенных сточных вод.

Гальванохимический метод очистки сточных вод, в отличие от других широко распространенных технологий, позволяет одновременно извлекать из стоков тяжелые металлы, нефтепродукты и другие органические вещества. Опыты по очистке бытовых сточных вод с применением гальванопары железо-медь в соотношении 3:1 обеспечивает значительное снижение азота с фосфором в очищенной воде, что подтверждает перспективность данного метода [11].

Международные стандарты оказывают значительное влияние на формирование национальных норм в области очистки сточных вод. Европейский союз, например, установил строгие требования к содержанию азота и фосфора в сточных водах, что способствует снижению уровня эвтрофикации водоемов. Калининградская область, будучи прибрежным регионом и частью Балтийского бассейна, обязана соблюдать положения ХЕЛКОМ — Конвенции по защите Балтийского моря. Законодательные меры часто становятся стимулом для внедрения инновационных технологий. Например, в странах Европейского союза строгие экологические нормы привели к разработке и применению таких технологий, как анаммокс и Bio-P, которые позволяют эффективно удалять азот и фосфор из сточных вод.

Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к выбору и внедрению технологий очистки с учетом гидрогеологических и климатических условий нашей области.

Результаты и обсуждение

По данным [12], ситуация с очисткой сточных вод в Калининградской области остается напряженной, несмотря на некоторые улучшения.

В Калининградской области часть сточных вод сбрасывается без необходимой очистки на рельеф либо в водоемы. Это указывает на высокий уровень загрязнения водоемов региона. Согласно данным [13] сброс органических веществ в воды Балтийского моря колеблется от 30 000 до 70 000 т азота и 1500—3000 т фосфора в год. Многие из очистительных сооружений устарели и требуют модернизации, а это в свою очередь создает угрозу для экосистемы Балтийского моря. Так же Калининградская область имеет высокий процент (91 %) загрязненных сточных вод, прошедших очистку, но недостаточно очищенных для сброса в водоем [14]. Такие воды не позволяют водоему производить в полном объеме самоочистку.

Перед областью поставлены задачи к 2030 г.:

- модернизировать 80 % существующих очистных сооружений области;

- перевести малые населенные пункты на локальные станции биологической очистки сточных вод;
- снизить сбросов фосфора и азота в Куршский залив до требуемых нормативов.

Ситуация постепенно улучшается, но остается критичной из-за износа инфраструктуры и роста антропогенной нагрузки. Требуются ускоренные инвестиции в модернизацию, особенно в курортных зонах.

Для эффективного решения проблемы загрязнения сточных вод в регионе рекомендуется внедрять современные технологии водоочистки, такие как физико-химические методы. Эти технологии позволяют снизить содержание азота и фосфора на 90 %, что значительно уменьшает экологическую нагрузку на водоемы.

Повышение экологической грамотности населения, использование в быту стиральных порошков, не содержащих азот и фосфор, является важным шагом для улучшения ситуации. Это способствует более осознанному подходу к использованию природных ресурсов и соблюдению экологических норм. Организация образовательных программ и тренингов поможет повысить осведомленность о современных методах очистки сточных вод и их значимости для экосистемы региона.

Эффективное взаимодействие между местными органами управления и предприятиями играет ключевую роль в решении проблемы загрязнения водных ресурсов. Совместная работа по разработке и реализации экологических проектов, таких как модернизация очистных сооружений и внедрение инновационных технологий, позволит достичь значительных результатов. Регулярные консультации и обмен опытом между сторонами способствуют более успешной реализации экологических инициатив.

Заключение

Ключевые проблемы при очистке сточных вод:

Высокий износ очистных сооружений. До 60—70 % объектов требуют модернизации или замены. В малых населенных пунктах (особенно курортных зонах) системы очистки уста-

рели или отсутствуют. В ряде населенных пунктов (например, Зеленоградск, Светлогорск) применяются только механические методы, что не обеспечивает должного качества очистки.

Загрязнение водных объектов. В реки Преголя, Неман, а также в Куршский и Калининградский заливы продолжают поступать недостаточно очищенные стоки. Основные загрязнители: азот, фосфор, нефтепродукты, БПК (от жилищно-коммунального хозяйства и сельского хозяйства). Это вызывает цветение водоемов и замор рыбы.

Несоответствие нормам сбросов. Остро обстоит проблема со сбросом сточных вод, которые зачастую сбрасываются с превышением ПДК [15]. Особенно острая ситуация в Калининграде, Советске, Балтийске из-за перегруженности инфраструктуры [16].

Исследование позволило выявить ключевые проблемы, связанные с загрязнением водоемов, и определить наиболее эффективные подходы к их устранению. Результаты анализа показали, что внедрение современных технологий очистки сточных вод, таких как физико-химические, биологические и комбинированные методы. Это, в свою очередь, способствует снижению экологической нагрузки на водные экосистемы региона и улучшению качества водных ресурсов, что является важным шагом на пути к устойчивому развитию Калининградской области.

Применение современных технологий очистки сточных вод имеет ключевое значение для обеспечения экологической безопасности региона. Такие методы, как биологическая очистка с использованием биофильтров и анаэробных процессов, показывают высокую эффективность в удалении органических загрязнений и соединений азота и фосфора, что подтверждено примерами успешного внедрения в Калининградской области. Кроме того, комбинированные технологии, сочетающие физико-химические и биологические методы, обеспечивают более глубокую очистку сточных вод. Их применение позволяет учитывать климатические и географические проблемы региона, что делает их использование перспективными.

Список литературы

1. *IV Балтийский морской форум. Международная научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов»: Труды / под ред. К. В. Тылик. Калининград : ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2016. 243 с.*

2. *РД 52.24.380-2017. Руководящий документ. Массовая концентрация нитратного азота в водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редукторе. Введ. 2018-10-01. Ростов н/Д : Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2017.*

3. *Спирин Ю. А., Зотов С. И. Проблемы геоэкологического состояния и использования поверхностных вод Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 2. С. 221—230. doi: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230. EDN: RTMSPW.*

4. *Александров С. В., Сташко А. В. Экологическое состояние Вислинского залива с учетом параметров качества и эвтрофирования вод // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2023. № 3. С. 78—91. doi: 10.5922/gikbfu-2023-3-6. EDN: UNQNUU.*

5. *Кирилюк Н. Ю., Сташко А. В., Чукалова Н. Н. и др. Исследование состояния Калининградского гидрологического района Вислинского залива по химическим и микробиологическим показателям в 2018 году // Вестник молодежной науки. 2020. № 2 (24). С. 18. EDN: STZTGM.*

6. *Веремейчик Л. А., Дыбаль С. А., Адамин Р. И. Анализ состояния и обеспечение экологической безопасности водных объектов бассейна реки Неман // Повышение качества жизни и обеспечение конкурентоспособности экономики на основе инновационных и научно-технических разработок : сб. ст. VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 3—5 декабря 2024 г. : в 3 т. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2024. С. 89—94. EDN: CLKSJAJ.*

7. *В Калининграде заработали крупнейшие в регионе новые очистные сооружения канализации // Вода Magazine. 2017. URL: <https://>*

watermagazine.ru/novosti/proekty/18719-v-kaliningrade-zarabotali-krupnejshie-v-regione-novye-ochistnye-sooruzheniya-kanalizatsii.html (дата обращения: 12.05.2025).

8. *Денисов А. А., Баженов В. И., Кореньков А. Д.* Очистка сточных вод свинокомплексов от фосфора биологическим методом // Свиноводство. 2011. № 3. С. 34—37. EDN: NTRNLL.

9. *Инновационная наука и современное общество: сборник статей Международной научно-практической конференции (20 августа 2014 г., г. Уфа) / отв. ред. А. А. Сукиасян.* Уфа : Аэтерна, 2014. 118 с.

10. *Минашкина А. В., Кондратенко С. В.* Изменчивость химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов в пос. им. А. Космодемьянского Калининградской области // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 558—574. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-558-574. EDN: AQGFLY.

11. *Исследование: стоки очистных сооружений в водоемы области плохо очищены* // Новый Калининград.Ru. 2019. URL: <https://www.newkaliningrad.ru/news/briefs/community/23554440-issledovanie-stoki-ochistnykh-sooruzheniy-oblasti-plokho-ochishcheny.html> (дата обращения: 12.05.2025).

12. *Диньмухаметова Л. С., Самойлик Е. Н., Тягунова В. Г.* Анализ эффективности применения гальванохимического метода к комплексной очистке промышленных сточных вод // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 10. С. 15—19. EDN: UMMCYJ.

13. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году : гос. доклад* // Экологические показатели, рекомендованные решениями ЕЭК ООН. 2023. URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/pokazateli/ekologicheskie-pokazateli-rekomendovannye-resheniyami-eek-oon/vodnye-resursy/> (дата обращения: 12.05.2025).

14. *Управление развитием водных ресурсов в Калининградской области, Россия, в целях укрепления экономического роста и экологически устойчивого развития с примерами из практики Литвы, Польши и Швеции.* URL: https://siwi.org/wp-content/uploads/2015/09/Paper_Kaliningrad_RUS_Final.pdf (дата обращения: 12.05.2025).

15. *Лукьянов К. В., Коронкевич Н. И.* Особенности распределения сточных и возвратных вод на территории Европейской части

России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 5. С. 763—778. doi: 10.31857/S2587556622050077. EDN: VNMUHU.

16. «Водоканал» получил предостережение за сброс стоков в реку // Калининград РБК. 2025. URL: <https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/13/05/2025/682319089a7947fb10b286de> (дата обращения: 12.05.2025).

А. М. Воропай, Д. М. Мечетин, Е. Ю. Курочкин

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

**НОВЫЕ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДОЖДЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ
МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

**NEW RAINWATER WASTEWATER MANAGEMENT SYSTEMS USING
THE EXAMPLE OF MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDINGS**

***Аннотация.** Рассматриваются подходы при которых дождевая вода используется в месте сбора (в многоквартирном доме), а не транспортируется к очистным сооружениям. По результатам рассмотрения зарубежного опыта выявлены основные аспекты, которые должны быть учтены при проектировании подобных систем. Разработаны две принципиальные схемы использования дождевой воды.*

***Abstract.** The approaches in which rainwater is used at the collection point (in an apartment building), rather than transported to sewage treatment plants, are considered. Based on the results of the review of foreign experience, the main aspects that should be taken into account when designing such systems have been identified. Two basic schemes for the use of rainwater have been developed.*

***Ключевые слова:** дождевая вода, устойчивое развитие, экология, система сбора осадков, кровля*

***Keywords:** rainwater, sustainable development, ecology, precipitation collection system, roof*

© Воропай А. М., Мечетин Д. М., Курочкин Е. Ю., 2025

Введение

Своевременный организованный отвод дождевых и талых вод крыш зданий и сооружений предотвращает подтопление помещений, сохраняет фасад от беспорядочного потока дождя, защищает кровлю от нагрузки создаваемой слоем воды, позволяет предотвратить подтопление территорий. Стандартные системы ливневой канализации призваны собрать дождевую воду, очистить от загрязнений и вернуть в водный объект. Такие системы содержат как минимум 3 принципиальных элемента: водосборная площадь, водоотводящую сеть, очистные сооружения.

Задача водосборной площади собрать воду и под уклоном (то есть самотеком) доставить ее в приемные точки — в водосборные воронки, расположенные на кровле.

Транспортирующая сеть состоит из трубопроводов, фасонных частей и колодцев. Задача этого элемента — передача собранных ливневых и талых вод на очистные сооружения.

Задача очистных сооружений — при минимальных затратах на эксплуатацию довести концентрацию загрязнений до нормативных показателей для сброса в водный объект.

Дождевая вода, собираемая кровлей, содержит мало солей и по своему химическому составу близка к параметрам дистиллированной воды. Загрязнения происходят по ходу транспортировки, причем, чем ближе к очистным сооружениям, тем концентрация загрязнений больше. Также очевидно, что почти все здания и сооружения, оснащаемые водостоками, в той или иной степени нуждаются в воде различного качества. В этой связи представляется рациональным использование дождевой воды, а не транспортировка ее на очистные сооружения.

Материалы и методы

Разработка технологии использования дождевых и талых вод для нужд зданий и сооружений выполнялась на основании анализа научных публикаций, посвященных теме использования дождевой воды, статистических климатических данных,

нормативных документов. Был проанализирован опыт других стран, где реализованы системы использования дождевой воды.

В октябре 2022 г. в силу вступил новый стандарт из группы зеленых стандартов [1]. Документ устанавливает требования к методам и оборудованию в отношении системы сбора, очистки и последующего использования дождевой воды. Данный стандарт едва ли не единственный публичный материал, касающийся использования дождевой воды в России. Объекты, на которых используют дождевую воду, на сегодняшний день, являются скорее исключениями.

Согласно работе [2], мониторинг и контроль потребления питьевой воды в зданиях являются наиболее важными действиями в процессе их эксплуатации. Они должны предшествовать другим инструментам устойчивого развития, таким как сбор дождевой воды и повторное использование сточных вод. Определение конечного использования имеет важное значение с точки зрения управления потреблением, поскольку оно позволяет количественно оценить потребность в воде для питьевых и не питьевых целей, что позволит эффективно использовать альтернативные источники [3—4].

Для оценки перспективности и разработки новых схем использования дождевой воды было необходимо определить следующие параметры:

1. Определение среднегодовых объемов поверхностных сточных вод согласно [5; 6]:

$$W_d = 10 \cdot h_d \cdot \Psi_d \cdot F; \quad (1)$$

$$W_t = 10 \cdot h_t \cdot \Psi_t \cdot F \cdot K_y, \quad (2)$$

где 10 — переводной коэффициент;

F — общая площадь стока, га;

h_d и h_t — слой осадков за теплый период и холодный период соответственно, мм, определяется по [7];

Ψ_d и Ψ_t — общие коэффициенты стока дождевых и талых вод соответственно;

K_y — коэффициент, учитывающий частичный вывоз и уборку снега.

2. Распределение осадков по дням в холодный и теплый периоды года согласно [7].
3. Требования к показателям качества дождевой воды [5; 8].
4. Водопотребление системы (зависит на прямую от конечного потребителя) [9—11].

Результаты

В результате проделанной работы наиболее перспективными выглядят две схемы использования дождевой воды:

1. Схема использования дождевой воды на технические нужды жилого дома.
2. Схема использования дождевой воды для орошения сельскохозяйственных культур, располагаемых на эксплуатируемой кровле жилого дома.

Также в рамках работы были проанализированы города РФ с точки зрения располагаемых объемов дождевых вод, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Объемы поверхностных сточных вод, образующихся на кровле здания в периоды выпадения дождей и таяния снега

Города	h_d , мм	h_t , мм	В год		В день	
			W_d , м ³	W_t , м ³	W_d , м ³	W_t , м ³
Петропавловск-Камчатский	475	611	451,2	366,6	2,11	2,43
Калининград	493	306	468,3	183,6	2,19	1,22
Москва	465	225	441,7	135,0	2,06	0,89
Санкт-Петербург	423	202	401,8	121,2	1,88	0,80
Красноярск	374	112	355,3	67,2	1,66	0,44
Краснодар	404	290	383,8	174,0	1,79	1,15
Норильск	317	203	301,1	121,8	1,41	0,81
Хабаровск	588	89	558,6	53,4	2,61	0,35
Оренбург	221	134	209,9	80,4	0,98	0,53
Ханты-Мансийск	397	151	377,1	90,6	1,76	0,60
Салехард	334	115	317,3	69,0	1,48	0,45
Якутск	189	48	179,5	28,8	0,84	0,19

Значения, представленные в таблице рассчитаны на площадь равную 0,1 га или же 1000 м².

С точки зрения объемов осадков наиболее перспективными можно выделить такие города, как Петропавловск-Камчатский и Калининград.

Разработана схема использования дождевой воды на технические нужды жилого дома.

Для определения количества требуемой воды не питьевого качества в жилом доме было оценено процентное потребление воды приборами [12]. Было замечено, что душ является основным ответственным фактором в быту, за ним следуют туалет и стирка белья. Учитывая, что туалет, стирка белья и категория «другие (жилые)» могут использовать не питьевую воду, потенциал экономии в этом типе зданий варьировался от 22 до 50 %.

Конфигурация системы. В качестве системы транспортировки воды с водосборной площади могут применяться как сифонно-вакуумная, так и самотечная системы.

Согласно [1] будет производиться подготовка дождевой воды, заключающаяся в удалении взвешенных веществ, доочистке и обеззараживании с помощью ультрафиолетовой обработки.

Подготовленная вода поступает в безнапорные пластиковые резервуары. Их количество принимается не менее двух штук для резервирования и распределения нагрузки на плиту перекрытия. Резервуары могут работать, как сообщающиеся сосуды. У каждого резервуара собственная система перелива в ливневую канализацию. От каждого резервуара идет подача подготовленной воды, которая объединяется в общедомовой стояк технического водоснабжения. Система не нуждается в насосе, так как работает под геометрическим собственным напором. В случае нехватки дождевой воды на нужды туалетов, предусмотрена подпитка резервуаров от хозяйственного водоснабжения. Для промывки системы подготовки также можно воспользоваться хозяйственным водоснабжением, в котором будет достаточный напор. Промывочную воду можно сливать в бытовую канализацию в воронку с разрывом струи либо в общий для всего помещения трап (рис. 1).

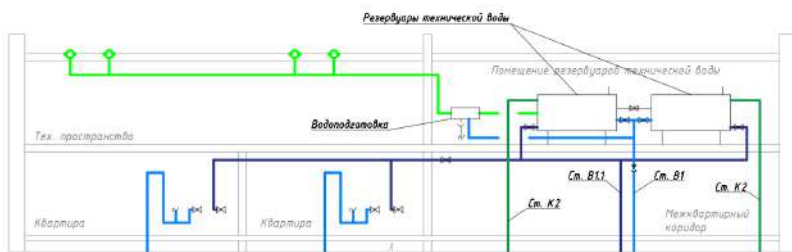


Рис. 1. Схема использования дождевой воды на технические нужды жилого дома

Такая система технического водоснабжения для туалетов имеет надежность более 30 %. Соответственно экономит 30 % воды питьевого качества. Помимо этого, мы экономим на отводе и очистке дождевых стоков, а также на электроэнергии требуемой для подъема питьевой воды.

Разработана схема использования дождевой воды для орошения сельскохозяйственных культур, располагаемых на эксплуатируемой кровле жилого дома (рис. 2).

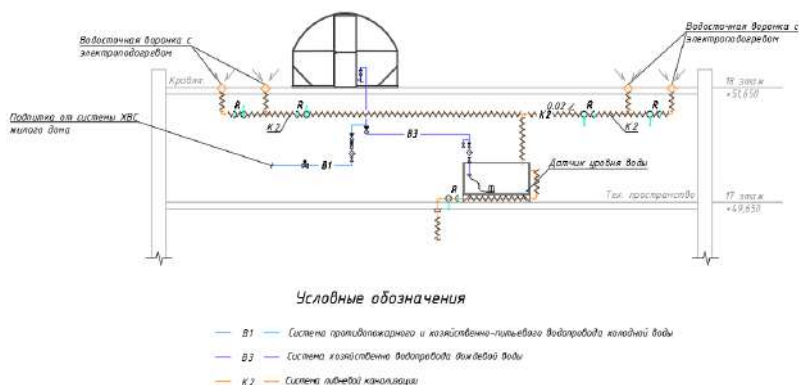


Рис. 2. Схема использования дождевой воды для орошения сельскохозяйственных культур, располагаемых на эксплуатируемой кровле жилого дома

Вода, выпавшая на кровлю гражданского здания, собирается с помощью водосточных воронок с электрообогревом и системы дождевых сточных вод в аккумулирующий резервуар. Далее с помощью погружного насоса вода поступает в систему хозяйственного водоснабжения дождевой водой, на которой предусмотрен косой фильтр, обратный клапан и другая запорная арматура, далее уже вода попадает в систему капельного полива. На случай переполнения аккумулирующего резервуара предусмотрен переливной трубопровод, который направляет излишки воды в систему дождевых сточных вод. На случай нехватки воды предусмотрен подпитывающий трубопровод от системы холодного водоснабжения, оснащенный двухпозиционным клапаном с электроприводом, который будет открываться / закрываться по сигналу от датчика уровня воды, предусмотренного в аккумулирующем резервуаре.

Исходя из того, что данная система самостоятельная, не мало важным критерием является возможность полного обеспечения требований по количеству воды всецело за счет объема дождевых вод. Поэтому, применения данной схемы сильно зависит от расположения объекта, исходя из чего было необходимо разработать методику оценки возможности обеспечения водопотребности.

Опираясь на формулы [5; 6] получены следующие неравенства

$$0,000317 \cdot h_{\text{д}} > \frac{F_{\text{полив}}}{F_{\text{кровли}}}; \quad (3)$$

$$0,000284 \cdot h_{\text{т}} > \frac{F_{\text{полив}}}{F_{\text{кровли}}}, \quad (4)$$

где $h_{\text{д}}$ и $h_{\text{т}}$ — слой осадков за теплый и холодный периоды года, зависящие от местоположения объекта, мм;

$F_{\text{полив}}$ — площадь засева сельскохозяйственными культурами, м^2 ;

$F_{\text{кровли}}$ — площадь кровли здания, м^2 .

Коэффициенты неравенств учитывают:

- 1) неравномерность распределения дней в рамках холодного и теплого периода;
- 2) переводные коэффициенты единиц измерения;
- 3) коэффициенты стока дождевых и талых вод.

Также, исходя из того, что на этапе проектирования невозможно определить какие культуры будут выращены, а также с какой плотностью, в рамках методики был принят максимальный расход воды $Q_{\text{сут. макс}} = 14 \text{ л/м}^2$ согласно данным норм технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц и методическим рекомендациям по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов, который также уже учтен в неравенстве [10; 11].

Выполнение неравенства при заданных площадях кровли здания и засева сельскохозяйственными культурами, свидетельствует о том, что в выбранном регионе возможно полностью обеспечить требования по количеству воды всецело за счет объема дождевых вод.

Применяя предлагаемую методику, предлагается рассмотреть возможность обеспечения водопотребности разными городами Российской Федерации. Зададимся показателями площади кровли и засева сельскохозяйственными культурами, примем отношение площади засева к площади кровле равным 15 %, такое соотношение вполне легко обеспечивается с точки зрения архитектуры.

Таблица 2

**Проверка возможности обеспечения водопотребности
различными городами РФ**

Города	h_d , мм	h_t , мм	$\frac{F_{\text{полив}}}{F_{\text{кровли}}}$	$0,000317h_d$	$0,000284h_t$	Обеспечение в теплый период года	Обеспечение в холодный период года
Петропавловск-Камчатский	475	611	0,15	0,1505	0,1735	Да	Да
Калининград	493	306	0,15	0,1562	0,0869	Да	Нет

Окончание табл. 2

Города	h_d , мм	h_r , мм	$\frac{F_{\text{полив}}}{F_{\text{кровли}}}$	$0,000317h_d$	$0,000284h_r$	Обеспечение в теплый период года	Обеспечение в холодный период года
Москва	465	225	0,15	0,1474	0,0639	Нет	Нет
Санкт-Петербург	423	202	0,15	0,1340	0,0573	Нет	Нет
Красноярск	374	112	0,15	0,1185	0,0318	Нет	Нет
Краснодар	404	290	0,15	0,1281	0,0824	Нет	Нет
Норильск	317	203	0,15	0,1005	0,0576	Нет	Нет
Хабаровск	588	89	0,15	0,1863	0,0253	Да	Нет
Оренбург	221	134	0,15	0,0701	0,0381	Нет	Нет
Ханты-Мансийск	397	151	0,15	0,1258	0,0429	Нет	Нет
Салехард	334	115	0,15	0,1059	0,0327	Нет	Нет
Якутск	189	48	0,15	0,0599	0,0136	Нет	Нет

Как видно из таблицы, обеспечить заданные параметры в летний период возможно только в Хабаровске, Петропавловске-Камчатском и Калининграде. Что касается зимнего периода, в случае использования круглогодичных теплиц, их потребности возможно обеспечить только в г. Петропавловск-Камчатский.

Заключение

Системы сбора дождевой воды могут внести значительный вклад в устойчивое развитие городов. Помимо очевидных преимуществ (таких как экономия питьевой воды и децентрализация системы на случай аварии), есть и снижение нагрузки на наружные дождевые сети и очистные сооружения, а также экономия электроэнергии.

Список источников

1. ГОСТ Р 70319-2022. «Зеленые» стандарты. Системы сбора дождевой воды: очистка, хранение, использование. Введ. 2022-09-02. М. : Изд-во стандартов, 2022. 12 с.

2. *Kiperstok A., Kiperstok A. C.* Technology Improvements or Influencing User Behaviour for Water Savings in Administrative and University Buildings: Which One Should Come First? // *Frontiers in Civil Engineering*. 2017. Vol. 2. Art. 11. P. 1—14.

3. *Stewart R. A., Willis R., Giurco, D. et al.* Web-Based Knowledge Management System: Linking Smart Metering to the Future of Urban Water Planning // *Australian Planner*. 2010. Vol. 47. P. 66—74.

4. *Beal C. D., Stewart R. A., Fielding K.* A Novel Mixed Method Smart Metering Approach to Reconciling Differences between Perceived and Actual Residential End Use Water Consumption. // *J. Clean. Prod.* 2013. Vol. 60. P. 116—128.

5. *Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты (дополнение к СП 32.13330.2012).* М. : ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014, 88 с.

6. *СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants.* Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85: свод правил: издание официальное : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 декабря 2018 г. № 860. М. : Изд-во стандартов, 2019. 142 с.

7. *СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Building climatology.* Актуализированная редакция СНиП 23-01-99: свод правил: издание официальное : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. № 859. М. : Изд-во стандартов, 2021. 114 с.

8. *Янцен О. В., Гогина Е. С., Колосова К. Г. и др.* Возможности повторного использования дождевых сточных вод // *Природообустройство*. 2023. № 5. С. 73—80.

9. *СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. Internal water supply and sewerage of buildings.* Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85: свод правил: издание официальное : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 920, М. : Изд-во стандартов, 2021. 96 с.

10. *РД-АПК 1.10.09.01-14.* Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады: система рекомендательных докумен-

тов агропромышленного комплекса министерства сельского хозяйства российской федерации: издание официальное : утв. Департаментом научно-технологической политики и образования Минсельхоза России от 13 августа 2014 г. М. : ФГБНУ «Росинформагротек», 2014. 104 с.

11. *НТП-АПК 1.10.09.001-02*. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: нормы технологического проектирования: издание официальное : утв. министерством сельского хозяйства Российской Федерации от 20 ноября 2002 г. М., 2002.

12. *Teston A., Colasio B. M., Ghisi E.* State of the Art on Water Savings in Buildings in Brazil: A Literature Review // *Frontiers in Civil Engineering* ; ed. by E. Ghisi. Sharjah : Bentham Science Publishers, 2017. P. 3—64.

М. Барекат

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»
(Москва, Россия)

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОФИЛЬНОГО ДИЗАЙНА В ТРАДИЦИОННЫХ ИРАНСКИХ ДОМАХ

PATTERNS OF BIOPHILIC DESIGN IN TRADITIONAL IRANIAN HOUSES

***Аннотация.** В современном мире рост урбанизации и перенаселенности привел к увеличению неконтролируемого строительства в городской среде. Рост строительства приводит к дальнейшему уничтожению зеленой среды, садов, нетронутых и естественных пространств, которые необходимы городской среде и городским жителям. Это повсеместное разрушение окружающей среды наряду с постройками, противоречащими природе, привело к увеличению количества различных загрязняющих веществ в окружающей среде городов и жилых помещений и возникновению многочисленных проблем для жителей. Эти многочисленные проблемы, которые в настоящее время увеличивают физический и психический ущерб городским жителям, показывают необходимость возвращения к более детальным и психологическим проектам для окружающей среды и новых городских зданий. Таким образом, развитие биофильной архитектуры необходимо для проектирования и строительства архитектурных пространств таким образом, чтобы они напоминали или содержали природные компоненты. Биофильный дизайн — это не просто сильная эстетика, это метод проектирования, учитывающий связь человека с природой. Он помогает*

© Барекат М., 2025

создать приятную и уютную атмосферу. Это может снизить уровень стресса, повысить концентрацию внимания и обеспечить общее благополучие. Поскольку наибольшая связь человека с искусственным пространством наблюдается в жилых помещениях, необходимость проектирования жилых зданий с использованием этого подхода ощущается больше, чем в любой другой области городской среды.

Abstract. *Today, the increase in urbanization and population congestion has led to an increase in uncontrolled construction in the urban environment. The increase in construction causes further destruction of the green environment, gardens, pristine and natural spaces, which are the required of the city environment and city dwellers. This widespread destruction of the environment, along with constructions contrary to nature, has caused the increase of various pollutants in the environment of cities and human living spaces and the emergence of numerous problems for residents. These many problems, which are now increasing the physical and mental damage of urban people, show the need to review and return to more detailed and psychological designs for the environment and new urban buildings. Thus, the development of biophilic architecture is necessary for the design and construction of architectural spaces in a way that is reminiscent or contains natural components. Biophilic design is more than just a powerful aesthetic, it's a design method that takes into account the human connection to nature .It helps to create a pleasant and cozy atmosphere. This can reduce stress levels, increase concentration and ensure overall well-being .Since the greatest human relationship with artificial space is in residential spaces, the need to design residential buildings with this approach is felt more than any other area in urban environments.*

Ключевые слова: характеристики биофильного дизайна, биофильная архитектура дизайна, традиционные иранские дома

Keywords: patterns of biophilic design, biophilic design architecture, traditional Iranian houses

Introduction

Life in the urban environment is such that people are surrounded by concrete, iron, traffic and noise. This type of life has a profound effect on physical and mental health, which causes imbalance in the body and leads people to illness and long-term recovery. There are many observations that show that nature-inspired environments help to reduce and control stress and also increase productivity, creativity, and job satisfaction [1]. Richard Lowe in his famous book "The Last Child in the Forest" mentioned "Attention deficit disorder to nature." According to Lowe, attention deficit disorder is not an anomaly in the brain. This disorder is caused by a person's loss of connection with the surrounding nature. Proximity to nature improves a person's physical, mental and spiritual health. It gives a person the feeling that they are alive from the inside, and we should not jeopardize this because of recent developments such as urbanization, technology or social media. Connecting with nature helps reduce stress and improve our ability to recuperate. On the other hand, one of the main goals of biophilic design is to bring humans back to nature. In a way that not only wants to connect humans with nature physically and outwardly but also one of its main goals is to connect humans to nature mentally and psychologically [2]. Therefore, it can be said; Biophilic design is a careful effort to understand the inherent human need for solidarity and connection with the natural world and its effect on designing and building suitable environments for life [3]. The need for people living in a building is not just to work, play, eat or sleep. They want to be inspired by their environment and feel comfortable and strong in it [1]. Therefore, in contemporary times and today's cities, while designing buildings and living environments, the need to pay attention to biophilic architecture is noticeable [4]. The method used in this article is an applied research method And the method of study is descriptive-analytical according to the method and nature of the research, and the collection of information was based on the study of library sources and their content analysis. The results of the study show that biophilic design patterns in traditional Iranian houses were created directly by ancient architects, using various

strategies, which after years still bring peace, comfort and a sense of belonging in humans. So by modeling them, can take a step towards improving the well-being of residents and increasing their satisfaction.

Materials and Methods

This study adopts an applied research approach aimed at identifying and analyzing the presence of biophilic design patterns in traditional Iranian residential architecture. The methodology is descriptive-analytical, based on qualitative content analysis. Data was collected through a documentary and library-based method, including review of scholarly articles, books, and valid architectural resources on biophilic design and traditional Iranian architecture. To analyze the patterns, 14 biophilic design patterns defined by Browning et al. (2014) were used as the primary framework. These patterns were compared with architectural features of traditional Iranian houses in hot and arid regions, such as courtyards, water features, windcatchers (badgirs), orsi windows, and natural materials. A series of case studies of traditional houses — including the Tabatabaei House in Kashan, Boroujerdi House, and Dolatabad Garden in Yazd — were examined. Visual and functional elements from these examples were analyzed and matched with specific biophilic design patterns to show how traditional architecture has inherently applied these principles.

Biophilic architecture

The word biophilic is taken from biophilia, as a result, to understand the concept of the word biophilic, it should be said: the word biophilia consists of two components, bio and philia. The word bio is a prefix that is used at the beginning of nouns, adjectives and adverbs that are related to living or life-giving things. The word philia is the attraction and positive feeling that people have towards habits and activities and all things in nature around us. As a result, biophilia is the positive feeling of humans towards nature [5].

Approaches of biophilic architecture

Biophilic design can be manifested in design by using different methods, but it generally includes two main approaches [6].

The first approach: This approach is defined as shapes and forms in the artificial environment that directly, indirectly, or symbolically reflect the inherent dependence of humans on nature. Direct experience refers to relatively unstructured contact with self-sustaining features of the natural environment such as daylight, plants, animals, natural inhabitants, and ecosystems. Indirect experience involves contact with nature, such as a plant in a pot, fountain, or aquarium that requires constant human care to survive. Symbolic experience does not involve any contact with real nature, but creates a connection with the real natural world through images, photos and videos, metaphors, etc.

The second approach: This approach is defined as buildings and landscapes that relate to the culture and ecology of a place or geographic region. This approach involves what is called a sense, or rather, the spirit of a place. Understanding how people's intended buildings and visions align with their individual and collective identities metaphorically transforms inanimate matter into something that feels alive and often survives [6].

Mr. Kellert divided these two main approaches to biophilic design into 6 general components (environmental characteristics, natural shapes and forms, natural processes and patterns, light and space, space-oriented relationships, evolved human-nature relationships) and then described these six components in more than 70 more detailed characteristics [6]. After that, this category has developed in a way that has been inevitably modified and improved over time.

In a 2014 article titled "*14 biophilic patterns, health and well-being in the built environment*", William Browning and colleagues have separately presented and analyzed biophilic design patterns in three categories of user experience to reveal emotional dependence on the built environment, in addition to providing a framework for understanding and enabling a rich diversity of strategies in the built environment [7].

14 Patterns of biophilic design

Table 1

Definitions of the 14 main biophilic patterns [9]

	№	Biophilic patterns	Definitions
Nature in the space	P1	Visual connection with nature	A view of the elements of nature, living systems, and natural processes
	P2	Non-visual connection with nature	Auditory, tactile, olfactory, or gustatory stimuli that elicit intentional and positive attitudes toward nature, living systems, or natural processes
	P3	Non-rhythmic sensory stimuli	Stochastic and ephemeral relationships with nature that can be analyzed statistically but cannot be accurately predicted
	P4	Thermal & air-flow variability	Subtle changes in air temperature, relative humidity, air currents relating to skin and surface temperature that mimic a natural environment
	P5	Presence of water	A condition that enhances the perception of a place through sight, hearing, or touching the water
	P6	Dynamic & diffuse light	The use of light and shadow of varying intensities that change over time, mimicking conditions that occur in nature
	P7	Connection with natural systems	Awareness of natural processes, especially the seasonal and temporal changes that characterize a healthy ecosystem
Natural Analogues	P8	Biomorphic forms & patterns	Symbolic references to contours, patterns, textures, or numerical distributions that are observed in nature
	P9	Material connection with nature	Natural materials and elements that, with minimal processing, reflect the local ecology or geology, creating a special sense of place
	P10	Complexity & order	Hierarchies similar to those found in nature

Nature of the space	№	Biophilic patterns	Definitions
	P11	Prospect	The possibility of going to a far point for a better view of the horizon
	P12	Refuge	A place for seclusion from environmental conditions or basic activity in which a person is protected from behind and above
	P13	Mystery	The promise of more information through vague vistas that encourage one to move deeper into the environment
	P14	Risk/peril	A detectable threat that comes with a reliable security

According to the above (table 1), it can be said that biophilic design is a study focused on the presence of nature in the artificial environment according to the different stages of the users' experience of nature, based on which the user experiences the human benefits of connecting with nature in the design. In this regard, biophilic architecture is trying to expand nature in buildings and the relationship of residents with nature and a reciprocal relationship, most of which benefits return to humans [10].

Patterns used in traditional Iranian houses

Traditional Houses in Iran represent a style of architecture that was used in the construction of residential buildings in old Iran. In general, the architecture that is prevalent in a region is called the traditional architecture of that region. Iranian house is also an example of this type of architecture. Iran's traditional architecture has special charms. It can be said that this style of architecture, which used to be done in Iran, was one of the most perfect architectural styles in the world. Because creativity has a special place in this style. The traditional architecture of Iran has been a manifestation of the culture of Iranian society in ancient times. The old architects and designers did not pay much attention to the exterior of the old Iranian houses. Instead, they mostly focused on the interior design of the houses and yards. One of the strongest points that can be seen in the old

architecture of Iran is the excessive attention of architects to details. Here we examine the characteristics of traditional architecture in hot and dry regions and find biophilic design patterns in them [13].

Central courtyard: The yard has been a gathering place for holding parties, eating food, playing music and generally having fun. Geographical determinism has also been very effective in creating a courtyard garden, the lands of the Middle East have often been dry with a hot climate, so the presence of a courtyard full of greenery and flowing water was of great importance. The yard is the soul of the house. This place has a direct relationship with the free spirit of man, and on the other hand, it is a factor for the natural ventilation of the home. In a hot weather, a green yard with a pond filled with water can lower the temperature of the house. However, the advantages of having a yard in traditional houses are as follows:

The joy of nature: The courtyards of traditional houses provide the maximum pleasure of freshness and freshness among the green space. The great advantage of old courtyards is that you can enjoy what different seasons bring. From the blossoming of trees under the spring sun to the sound of autumn rain and the joy of observing snow in winter, the courtyard is a manifestation of the seasons {P7} (Fig. 1).



Fig. 1. Mortaz house, Yazd [17]

The presence of all kinds of plants, along with a pond full of water, and vases full of fresh flowers, are all reminiscent of the garden of paradise, which are reflected in the old courtyard houses {P1_P2_P3_P4_P5} (Fig. 2).



Fig. 2. Tabatabae house, Kashan [18]

Lighting: The central courtyard is under the open sky and floods the surrounding space with daylight. Any room that opens to the courtyard can bring natural light into the house. The benefits of exposure to this optimal amount of sunlight are well evident, leading to mental relaxation {P6} (Fig. 3).

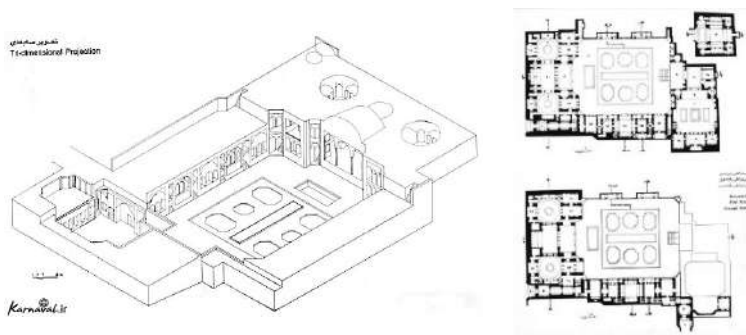


Fig. 3. Tabatabae house, Kashan [19]

In Iranian architecture, different types of windows were used to bring light into the House , three of them are explained here:

Orsi: it is a lattice window made of wood, inside each grid, small colored glasses are placed next to each other. The combination of these colored glasses creates a very beautiful effect that dazzles the eyes of every viewer. Colored glasses let the sunlight pass through them and create very beautiful patterns {P6} (Fig. 4).



Fig. 4. Moshirilmolk house, Isfahan [20]

Shabak: Another type of building window in traditional Iranian architecture is the Shabak window. These windows do not have glass, and the material for their construction can be wood, tile, brick and stone. These windows allow the air to pass through the estuary and create a cool breeze {P4_P6} (Fig. 5).



Fig. 5. Shabak window in traditional house in Iran [21]

Jamkhane: it is another type of window in traditional Iranian architecture. These windows were used on dome-shaped roofs to

regulate the temperature or humidity of the space on the roofs. And through that, lighting and ventilation were done {P4_P6} (Fig. 6).

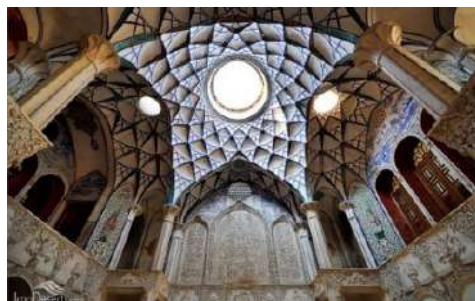


Fig. 6. Boroujerdiha house [22]

Building a central courtyard has been more common in traditional houses in the central regions of Iran. Due to the existence of such an element, in addition to being a unifying factor and a link between various elements of the physical space of the house, it has connected natural elements such as water, plants, wind, light and shadow with the life of the residents of the house. For centuries, central courtyards have been created to help the goal of natural ventilation. Self-ventilation alone offers many goals. It provides fresh air, improves oxygen, and redirects odors from the indoor environment to the outside {P4} (Fig. 7).

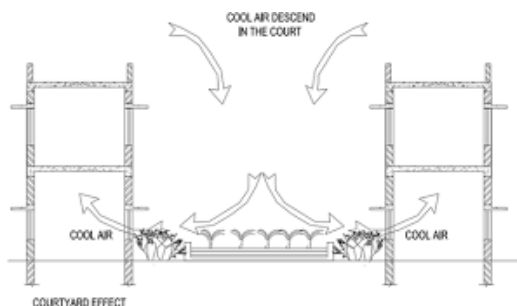


Fig. 7. The performance of the central courtyard [23]

In traditional houses, *Badgir* (Windcatcher) also play an important role in cooling the air inside {P4}. *Badgir* is a traditional architectural element, originated in Iran (Persia), used to create cross ventilation and passive cooling in buildings. Windcatchers come in various designs, depending on whether local prevailing winds are unidirectional, bidirectional, or multidirectional, on how they change with altitude, on the daily temperature cycle, on humidity, and on how much dust needs to be removed. Despite the name, windcatchers can also function without wind {P4} (Fig. 8).

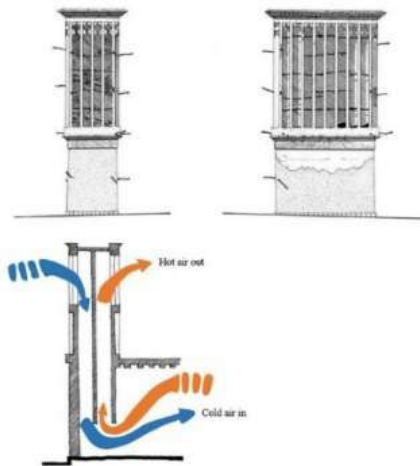


Fig. 8. Windcatcher function [24]

Hozkhane also is a covered space and receives light from the roof, and in some of them, cool air enters the interior of it with the construction of a high Windcatcher. The functional system of the hozkhane was that the spraying of water by the fountain cooled the environment and provided relaxation. Usually, in the hot and dry areas of Iran, inside the building, a covered and elevated space was considered with a water pond in the center, and wind deflectors that directed the wind to this space [14]. Therefore, it was considered a suitable place for hot summer days, which was also called summer residence {P4_P5_P6} (Fig. 9).

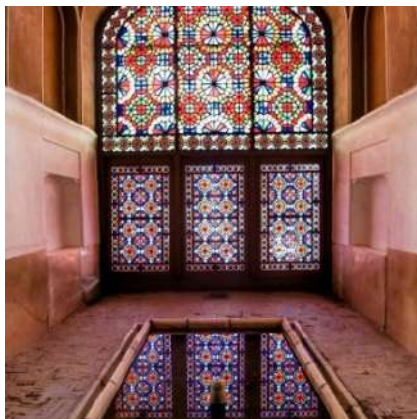


Fig. 9. Dolatabad garden, Yazd [25]

Traditional architectural order in Iranian houses is synonymous with geometry. Mathematics and geometry have played a very decisive role in the architecture of all traditional Iranian buildings. In Iranian art, the most complex forms have always been created from very basic but intelligent geometrical combinations {P10} (Fig. 10).



Fig. 10. A view of the roof of the Boroujerdi Iranian house [26]

Dalan: In the architecture of the old houses, there was a narrow corridor that led the person entering the courtyard with a twist from the hashti (Hashti or Dlan-e-voroudi, in most traditional houses and buildings in Iran, is the space behind the sar-dar (doorway). The term, which is derived from the Iranian word hasht or eight, refers to its design as an octagonal space. However, hashtis are constructed in many different shapes such as hexagonal, square and rectangular designs [15]. The corridor was to protect the privacy of the house so that the passerby could not quickly notice the ongoing activities in the yard {P4_P6_P13} (Fig. 11).

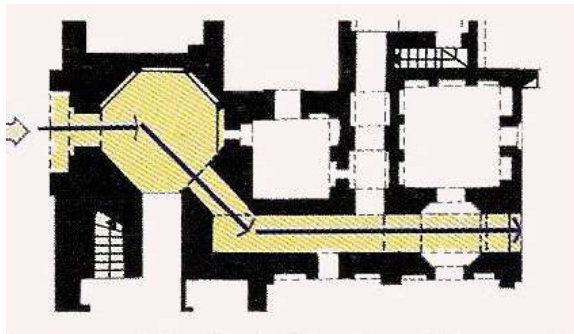


Fig. 11. Dalan in traditional houses [27]

In the interior of traditional houses, plant motifs are seen on walls and ceilings, as well as the design of windows and columns, specifically inspired by the motifs found in nature {P8} (Fig. 12). Color in Iranian architecture is often associated with motifs and is used in various forms of geometric and plant shapes with linear inscriptions (Fig. 12).

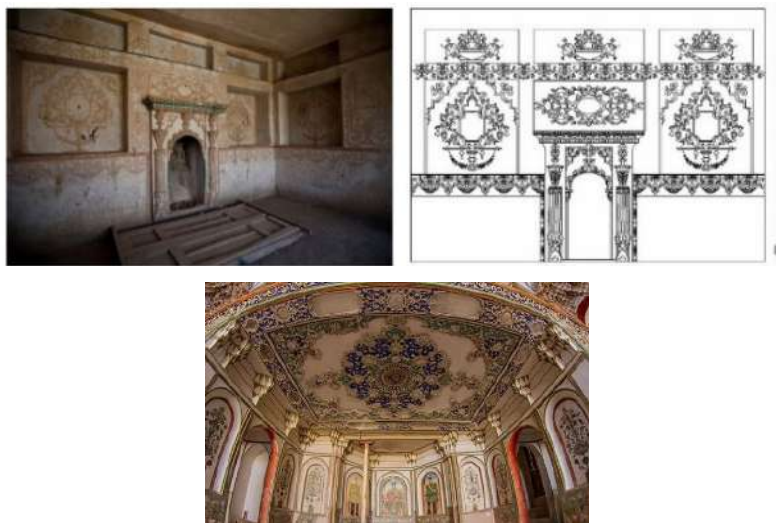


Fig. 12. Decorations of rooms in Beheshtian house

In some parts of the house, cozy spaces have been created for sitting and interacting with nature {P12} (Fig. 13).

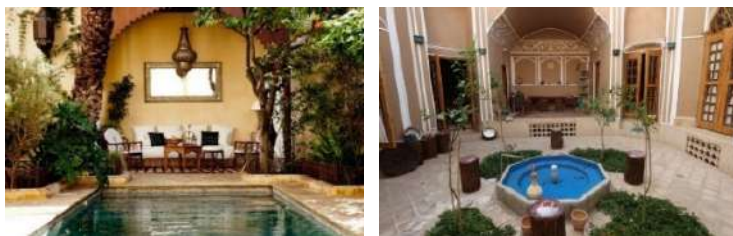


Fig. 13. Cozy environment created in traditional houses

The range of colors used in different Iranian buildings is very wide and includes every color from red to purple, but the main colors used by Iranians in most buildings are turquoise, blue, white and azure, which is probably due to its holiness and The spiritual dimension of colors and the effect it has on the human spirit has been used to this extent{P9} (Fig. 14).



Fig. 14. The importance of color in Iranian architecture [28]

The following table summarizes the biophilic patterns used in traditional Iranian houses (Table 2).

Table2

Biophilic design patterns in traditional Iranian architecture

№	BDPS	Design Strategies in traditional design house in Iran
P1	Visual connection with nature	Designing a visual connection to the nature of the yard that can be experienced daily for at least 5 to 20 minutes, as well as providing opportunities to sit near the green space of the yard

Continuation of the Table 2

№	BDPS	Design Strategies in traditional design house in Iran
P2	Non-visual connection with nature	In these houses, by integrating natural water and ventilation with architecture through a very close relationship, between the outside and inside of the building, the penetration of sun heat from certain neighborhoods and the whisper of nature's sound, the presence of fragrant plants including: Rose Mary and green case, the presence of a fireplace and a water fountain, the non-visual connection with nature is well experienced
P3	Non-rhythmic sensory stimuli	The fluctuating movement of trees and plants in the yard, the sounds of insects and birds that are visible from the surrounding windows have led to non-rhythmic sensory movement in this space
P4	Thermal & air-flow variability	The passive design of these houses draws fresh air in from the outside area and helps maintain thermal comfort. Also, the windows of the rooms can be opened, which makes the people of the house have more personal control. The interior and exterior facade design is designed to maximize daylighting and shadow/light variability, while reducing glare. The elevated corridors connecting the interior to the exterior also allow access to breeze, shade, and heat from the sun
P5	Presence of water	The presence of water ponds in the courtyards of houses and inside the building (Hoz-Khaneh Room)
P6	Dynamic & diffuse light	Scattered and dynamic light in home spaces when sunlight is shining on stained glass used in home facades and having direct sunlight when raising Windows (orsi).using shabak windows and Jamkhane
P7	Connection with natural systems	The view of the yard from different spaces of the house, which has significant appearance changes throughout the year, visually connects the residents with the seasons and the internal ecosystem

The end of table 2

№	BDPS	Design Strategies in traditional design house in Iran
P8	Biomorphic forms & patterns	The interior is particularly full of natural similarities with plant motifs on the walls and ceiling and the design of the windows and columns
P9	Material connection with nature	The use of brick and wood has visually warmed the space outside. The range of colors used in different Iranian buildings is very wide and includes every color from red to purple inside
P10	Complexity & order	Mathematics and geometry have played a very decisive role in the architecture of all traditional Iranian buildings
P11	Prospect	In these houses, the orientation of the building, opening, and corridors have helped to optimize the visual access to internal and external places, to create a landscape pattern
P12	Refuge	In some parts of the house, cozy spaces have been created for sitting and interacting with nature
P13	Mystery	In the architecture of the old houses, there was a narrow corridor(Dalan) that led the person entering the courtyard with a twist from the hashti
P14	Risk / peril	Not found

Results

The analysis of traditional Iranian houses reveals a deep-rooted application of biophilic design principles long before the concept was formally introduced in modern architecture. Through a descriptive-analytical approach and the examination of case studies, it was observed that nearly all of the 14 biophilic design patterns identified by Browning and colleagues are present in these historical structures — either explicitly or implicitly. Central courtyards, water features, windcatchers, and the use of natural light and ventilation illustrate a profound integration of nature into living environments. Architectural elements such as orsi and shabak windows, hozkhaneh, and symbolic natural motifs further enhance sensory engagement and emotional connection with the environment. These features not only

provided functional benefits like thermal comfort and ventilation but also contributed to residents' psychological well-being, sense of belonging, and spiritual connection with nature.

Conclusions

The research shows that traditional Iranian architecture exemplifies biophilic design through thoughtful integration of natural elements, materials, and spatial arrangements. The presence of water, greenery, dynamic light, natural air flow, and visual access to seasonal changes demonstrates a sophisticated understanding of human-nature relationships in historical design. By studying and modeling these traditional architectural strategies, modern architects and designers can create more livable, resilient, and health-promoting urban environments. Reintroducing these patterns into contemporary housing design can help address the increasing mental and physical challenges of urban life, restoring the vital connection between humans and nature in today's built environments.

Traditional architecture incorporates biophilic design through various solutions:

- *Natural Materials*: Use of locally sourced, natural materials like wood, stone, and clay to connect the building with its surroundings.
- *Natural Light and Ventilation*: Maximizing windows and openings to allow ample natural light and ventilation, creating a healthier and more comfortable indoor environment.
- *Courtyards and Atriums*: Designing open spaces within the structure, such as courtyards and atriums, to bring nature into the heart of the building.
- *Water Features*: Incorporation of water elements, like ponds or fountains, for both aesthetic appeal and a calming effect.
- *Biophilic Landscaping*: Thoughtful landscaping using native plants and creating outdoor spaces that mimic natural environments.
- *Connection to Nature*: Designing spaces that provide direct views of nature, connecting occupants with the outside environment.
- *Natural Patterns and Textures*: Integrating patterns and textures inspired by nature into the architectural elements, fostering a sense of connection.

- *Multi-sensory Experiences*: Engaging multiple senses through design elements, such as the sound of flowing water or the feel of natural textures.
- *Flexible Spaces*: Designing flexible spaces that can adapt to changing needs, allowing for a more dynamic and natural experience within the built environment.

List of references

1. *Khodaverdi J., Yousofi A.* Biophilic architecture and sustainable development // Published by Sima knowledge. Tehran. 2017.
2. *Taheri A., Tahmasbi A.* Examining the relationship between biophilic architectural principles and Environmental Psychology // Third international congress of civil engineering, architecture and Urban Development. Tehran. 2015.
3. *Soltanifar H., Sadroodin M.* Introduction to the biophilic approach to sustainable planning and design // Proceedings of the International Conference on Civil, Architecture and Sustainable Development. 2015.
4. *Jalalvand H., Hamzelou S.* Psychological components and approaches to biophilic architecture // International conference on engineering and Applied Sciences. Dubai. 2017.
5. *Mirgholami M., Modghalchi L., Shakibamanesh A. et al.* Revival of Urban Rivers based on two approaches to biophilic urban design and the feeling of water in the landscape. 2020.
6. *Kellert St. R.* Dimensions, Elements, and Attributes of Biophilic Design // ResearchGate. 2008. URL: https://www.researchgate.net/publication/284608721_Dimensions_elements_and_attributes_of_biophilic_design (дата обращения: 03.06.2025).
7. *Browning W., Catherine R., Joseph C.* 14 patterns of biophilic design: Improving Health & Well-Being in the Built Environment. N.Y. : Terrapin Bright Green LLC, 2014.
8. *Ryan C. O., Browning W. D., Clancy J. O. et al.* Biophilic design patterns: Emerging Nature-Based Parameters for Health and Well-Being in the Built Environment // International Journal of Architectural Research. 2014. Vol. 8, iss. 2. P. 62—76.

9. *Hatami H., Sarafinik A., Imantaleb H.* The importance of biophilics with humans, nature and architecture // Third international conference on science and engineering. Istanbul : The Institute of idealistic managers of the capital of Vieira, 2020. Vol. 11 (1). P. 114—141.

10. *Wilson E.* Biophilia. Cambridge : Harvard University press, 1984. 157 p.

11. *Amjad A., Almssad A., Abdushaik Z. Kh. et al.* Biophilic architecture, the concept of healthy sustainable architecture // The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland 6—8 September. Geneva, 2006.

12. *Louise C.* Biophilic Design: The Architecture of Life // Children, Youth and Environments. 2012. Vol. 22, № 1. P. 346—347.

13. *Esmaelimoghadam M.* Examination of the presence of natural light and the confidentiality of the interior spaces of the inner houses of the city of Yazd // International Congress of religious culture and thought. Qom: cultural engineering management center of the Public Culture Council of Bushehr province. 2015.

14. How to give quality to a residential architectural space with a biophilic attitude.”Third international conference on science and engineering. Istanbul-Turkey: the Institute of idealistic managers of the capital of Vieira

15. *Hatami H., Sarafinik A., Imantalab H.* The importance of biophilics with humans, nature and architecture // Third international conference on science and engineering. Istanbul : The Institute of idealistic managers of the capital of Vieira. 2018.

16. Archilearn. URL: <https://archilearn.net/blog/https-archilearn-net-blog-https-archilearn-net-blog-4722/> (дата обращения: 20.03.2025).

С. А. Кизилова

Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»
Научно-исследовательский институт теории
и истории архитектуры и градостроительства
(Москва, Россия)

**БИОУКРЫТИЯ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ТЕПЛИЦАМИ:
УСТОЙЧИВАЯ СТРАТЕГИЯ В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНЫХ
И ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ РИСКОВ**

**BIO-SHELTERS WITH INTEGRATED GREENHOUSES:
SUSTAINABLE STRATEGY IN THE CONTEXT OF SOCIAL
AND GEOPOLITICAL RISKS**

***Аннотация.** Архитектурные объекты с интегрированными теплицами становятся устойчивой стратегией для обеспечения населения продовольствием в условиях вынужденных миграций, социальных и геополитических конфликтов, угроз антропогенного и природного характера. В статье рассмотрены способы организации инновационных биоукрытий с точки зрения технологии интеграции теплиц. Выявлены такие способы интеграции теплиц, как пристроенная, объединенная, сопровождающая, микрокапсульная. На примере студенческого экспериментального проекта в рамках учебного проектирования апробируются принципы интеграции теплиц.*

***Abstract.** Architectural structures featuring integrated greenhouses are emerging as a sustainable solution for food provision amid forced migrations, social and geopolitical conflicts, and both human-made and natural threats. This article examines innovative bio-shelters through the lens of greenhouse integration methods. The identified methods include attached,*

combined, accompanying, and microcapsule integration. An example from a student experimental project within educational design illustrates the principles of greenhouse integration in practice.

Ключевые слова: биоукрытие, теплица, экоустойчивая архитектура, вегетарий, агроэкология

Keywords: bio-shelter, greenhouse, eco-sustainable architecture, vegetarianism, agroecology

Введение

В условиях социальной и геополитической нестабильности набирают популярность архитектурные концепции с интегрированными технологическими элементами. Объединение всех функций в рамках единой структуры позволяет обеспечить автономное выживание в условиях экстремальности.

Материалы и методы

Под термином «биоукрытие» в данной статье подразумевается архитектурный объект с основной жилой функцией, в структуру которого включен биокомпонент — теплица. Родственным термином является «дом-вегетарий», представляющий собой пристроенную к внешним стенам теплицу для загородного дома [1]. «Биоукрытие» представляет собой инновационный объект, способный предоставить защищенное укрытие и автономно выращивать ресурсы в условиях социальной и геополитической напряженности (недобровольных миграций, последствий политических конфликтов, иных антропогенных угроз).

Интеграция биокомпонентов в состав архитектурных сооружений входит в спектр задач агроэкологии и осуществляется в рамках прогрессивных концепций модульных высотных структур [2]. Дефицит ресурсов может быть восполнен с помощью инновационных методов растениеводства, реализуемых на базе архитектурных объектов: аква- и аэропоника, гидропоника, капельное орошение, мостовое земледелие [3]. В экспериментальных разработках А. В. Бастрона и соавт. осуществляется внедрение в состав индивидуальной жилой архитектуры

пристроенных объектов-теплиц с энергоэффективными установками [4]. При общей усложненности технологического наполнения современной застройки, согласно исследованиям В. Сайбель и М. А. Квартенко, необходимы поиски путей сбережения природных ресурсов в среде high-tech архитектуры [5]. По мнению А. Н. Тетиор, внедрение подобных объектов с интегрированными биокомпонентами способно сформировать биопозитивную городскую среду [6]. Устройство теплиц в виде компонентов вертикального озеленения в урбанизированной среде способно обеспечить равномерный приток ресурсов в условиях холодного климата [7]. Подобные объекты становятся пространственными гибридами, по мнению Е. Ю. Зайковой формирующими новые свойства взаимодействия между антропогенной средой и естественным ландшафтом [8].

Характер интеграции теплиц в биоукрытие может быть осуществлен несколькими способами. Рассмотрим следующие основные подходы.

Пристроенные теплицы. Собственная теплица может быть включена в состав архитектурного объекта как пристройка. Проект объединенного жилища и теплицы из сборного каркаса “ReGenVillage”, разработанной архитекторами Effekt, предназначен для реализации в Алмере, Нидерланды. Концепция предлагает новую устойчивую модель проживания на личном приусадебном участке, основанную на регенерации территории застройки и снижении площади обслуживающих компонентов по производству энергии, продуктов, хранению воды (рис. 1).



Рис. 1. Экопоселение “ReGenVillage”, арх. Effekt, Нидерланды

Подобный принцип характерен для формирования устойчивой архитектуры экопоселений [9]. В среднем участок в Дании занимает 1400 м², тогда как только 139 м² используется как площадь для проживания. За счет превращения придомовой территории в теплицу и место для производства ресурсов, снижается нагрузка на естественный ландшафт. В домашнем хозяйстве аэропонным и гидропонным методом выращивается урожай и обеспечивает провизией весь дом. Кровля пристроенной теплицы оборудована солнечными батареями и имеет резервуар для воды. Избыток накопленной энергии поставляется в единую для поселения сеть, за счет которой работают электромобили.

Отходы используются для разнообразных хозяйственных нужд. Компост от сельского хозяйства применяют для получения биогаза и производства энергии. Другие отходы идут на поддержание ферм насекомых (вид *hermetia illucens*), которые способны естественным образом разлагать биоотходы и служить кормовым ресурсом для рыбной фермы. Отходы от жизнедеятельности рыб, превращенные в нитриты через биофильтры, идут на поддержание роста растений в аквапонной ферме. Таким образом достигается замкнутый цикл производства внутри одной жилой ячейки. Дом актуален для холодных регионов, так как сохраняет тепло в пристроенном помещении при низких температурах и продлевает урожайный сезон.

Объединенные теплицы. Теплица может быть объединена с конструктивным каркасом архитектурного объекта. Архитекторы Studio Precht разработали проект теплицы “Farm House”, интегрированной в базовую ячейку дома. Предполагается, что подобный тип жилища будет использоваться в городах для снижения негативного влияния транспортировки продукции на экологию. Модули могут быть использованы как для формирования индивидуальных жилищ, так и для составления высотных структур (рис. 2).

Жилые ячейки разработаны из поперечно-клееных древесных панелей CLT на А-образной раме. Стены модуля включают три слоя: интерьерный, в котором расположены домовые коммуникации, срединный, содержащий изоляцию, и внешний, на котором будут организованы теплицы, функционирующие ги-

дроппонным методом. Минимальный модуль площадью $10,5\text{ м}^2$ спроектирован двухэтажным с объединенной зоной кухни и гостиной на первом этаже и спальней на втором. При высотной конфигурации структуры в местах стыковки квартир будут расположены буферные зоны теплиц.



Рис. 2. Модульные жилые дома из CLT-панелей “Farm House”,
арх. Studio Precht

Сопровождающие теплицы. Индивидуальная теплица может выполнять роль «спутника» жилого дома, перемещаясь вместе с ним в различных средах, в том числе и на воде. Проект “Jellyfish Barge” разработанный Studiobile представляет собой каркасную деревянную ферму, которая может быть обслуживать различные поселения, перемещаясь по водным путям [10]. Конструкция имеет план в виде восьмиугольника площадью 80 м^2 и размещена на подвижном основании в виде пластиковых баков, закрепленных на каркасе и обеспечивающих плавучесть. Устройство способно получать конденсат из пара загрязненной воды, проходя процесс естественной очистки. Кровля оснащена солнечными батареями, которые производят

питание для работы насосов и вентиляторов. Плавающая теплица использует на 70 % меньше воды для выращивания продукции гидропонным методом чем традиционная.

Микрокапсульные теплицы. Теплица может быть организована в виде микро-объекта, входящего в состав жилища и представляющего собой малую подвесную или встроенную конструкцию. “Zero yen house”, спроектированный японским художником и архитектором Кехеем Сакагучи, предполагается построить из повторно используемых материалов без привлечения дополнительных средств. Дома сделаны из картонных коробок, древесных отходов, виниловых листов, старых телефонных будок и тростниковых сеток. «Дом за 0 иен» в Нагое, входящий в серию подобных домов, был построен на основе заброшенной горки от детской площадки. В состав жилища интегрирована портативная гидропонная ферма и солнечная батарея, установленная на кровле.

Реализация принципов дома-теплицы в учебном проектном моделировании

Принцип объединения индивидуального жилища и самоподдерживаемой теплицы реализован в рамках учебного проектирования студентов МАРХИ. Студенческий проект по теме «Индивидуальный жилой дом», выполненный студенткой II курса бакалавриата В. Тумановой (рис. 3), представляет собой быстровозводимый дом-теплицу на каркасной основе из дерева. Жилые помещения находятся на втором этаже, в то время как вход в теплицу расположен на уровне земли. Естественное проветривание теплицы осуществляется за счет применения подвижных экранов. В холодное время года нижний отапливаемый этаж способствует снижению затрат на обогрев жилых помещений наверху. Дом рассчитан на одновременное пребывание до 6 человек, имеет объединенную зону кухни, столовой и гостиной, три спальни, 4 санузла, подсобные и технические помещения. Подобный дом может быть использован для ведения домашнего хозяйства и приспособлен для ярмарочной торговли.



Рис. 3. «Индивидуальный жилой дом: Экодом с теплицей»,
выполнила студентка II курса бакалавриата В. Туманова,
руководители Ю. А. Ермаков, С. А. Кизилова

Заключение

В результате исследования установлены следующие способы интеграции теплиц на современном этапе:

- *пристроенная теплица*, в рамках которой осуществляется присоединение объема теплицы к одной из ограждающих поверхностей жилища;
- *объединенная теплица*, компоненты которой встроены в несущий каркас, модульные элементы дома;
- *сопровождающая теплица*, представляющая собой отдельный объект, перемещаемый по транспортным путям и обслуживающий основное жилище;
- *микрокапсульная теплица*, представляет собой компактные решения, встроенные в оболочку микродома.

Установленные принципы были внедрены на этапе студенческого экспериментального проектирования. Пристроенный

тип теплицы применен для организации теплицы-маркета на 1 этаже, микрокапсульный тип теплицы внедрен в конструкции помещений кухни-столовой.

Благодарности. Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2025 г., тема 1.2.3.2 «Стратегические ресурсы корректировки неустойчивости жилой среды: архетипы устойчивости».

Список литературы

1. Зиновьева Е. А., Тер-Закарян А. К., Жуков А. Д. и др. Купольный дом вегетарий // Жилищное строительство. 2019. № 7. С. 35—40. doi: 10.31659/0044-4472-2019-7-35-40.
2. Сапрыкина Н. А. Стратегии формирования экологически безопасной городской среды в условиях системных перемен // Архитектура и современные информационные технологии. 2024. № 3 (68). С. 183—199. doi: 10.24412/1998-4839-2024-3-183-199.
3. Султанова А. Инновационные технологии и их влияние на архитектуру предприятий растениеводства // Архитектура и современные информационные технологии. 2018. № 1 (42). С. 163—177.
4. Бастрон А. В., Гайдаш Г. В., Цугленок Н. В. Теплоснабжение индивидуального жилого дома и теплицы с использованием солнечной энергии // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 1 (34). С. 35—40.
5. Сайбель А. В., Квартенко М. А. Биопозитивность и архофитомелиорация как очередной этап развития архитектуры high-tech // Научное обозрение. 2017. № 7. С. 60—63.
6. Тетиор А. Н. Долгий путь к городу, позитивному для человека и природы // Sciences of Europe. 2020. № 48-2 (48). С. 3—14.
7. Мхитарян К. О. Типология форм вертикального озеленения в городской среде // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (39). С. 65—72.
8. Зайкова Е. Ю. Междисциплинарный подход в науке в целях совершенствования среды // Архитектура и строительство России. 2022. № 4 (244). С. 18—21.

9. Манеева Т. О. Принципы устойчивой архитектуры, влияющие на формирование генплана экопоселения // Экономика строительства. 2022. № 4 (76). С. 95—100.

10. Кизилова С. А. Моделирование гетеротопии экоустойчивости в условиях водной среды // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 4. С. 60—67. doi: 10.24411/1816-1863-2018-14060.

А. В. Гомес Лопес

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»
(Москва, Россия)

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЦЕНТРАХ
НА ЭТНИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ КОЛУМБИИ**

**BUILDING MATERIALS AND TECHNOLOGIES
IN COMMUNITY CENTERS
IN THE ETHNIC TERRITORIES OF COLOMBIA**

***Аннотация.** Цель исследования — проанализировать роль инновационных материалов и технологий в строительстве культурных центров в постконфликтных районах Колумбии. Методология основана на качественном анализе кейсов и интервью с архитекторами, местными жителями и экспертами. Основные результаты показывают, что использование местных материалов (бамбук, глина, древесина) в сочетании с современными технологиями (солнечные панели, системы сбора дождевой воды, 3D-печать) способствует устойчивому развитию, укреплению культурной идентичности и социальной интеграции. Выводы подчеркивают необходимость обучения местных сообществ и поддержки со стороны государства и частного сектора для дальнейшего распространения таких практик.*

***Abstract.** The aim of this research is to analyze the role of innovative materials and technologies in the construction of cultural centers in post-conflict regions of Colombia. The methodology is based on qualitative case studies and interviews with architects, local communities, and sustainability experts. The main findings show that the use of local materials (bamboo, earth, wood) combined with modern technologies (solar pan-*

© Гомес Лопес А. В., 2025

els, rainwater harvesting, 3D printing) supports sustainable development, strengthens cultural identity, and promotes social integration. Conclusions highlight the need for local capacity building and public-private support to scale these practices.

Ключевые слова: *устойчивость, местные материалы, технологии, культурные центры, постконфликт, архитектура, Колумбия*

Keywords: *sustainability, local materials, technologies, cultural centers, post-conflict, architecture, Colombia*

Введение

После десятилетий внутреннего конфликта Колумбия вступила в фазу восстановления, где архитектура играет важную роль в укреплении социальной ткани. Культурные центры стали не только пространствами для культурной жизни, но и символами мира, примирения и устойчивого развития. Использование местных материалов и инновационных технологий в строительстве этих объектов позволяет создавать экологичные, доступные и культурно значимые сооружения.

Материалы и методы

В работе рассмотрены культурно-образовательные центры (КОЦ), реализованные в этнических территориях Колумбии в контексте послеконфликтного восстановления. Основное внимание уделено выбору местных строительных материалов (земля, бамбук) и архитектурных решений, способствующих укреплению идентичности и устойчивому развитию.

Методы исследования включают:

- анализ проектной и строительной документации КОЦ;
- полевые наблюдения и интервью с представителями местных сообществ;
- изучение климатических и культурных факторов, влияющих на проектные решения;
- сопоставление архитектурных подходов в доиспанский, колониальный, республиканский и современный периоды.

Объектами рассмотрения стали: Центр знаний предков (департамент Амасонас), Центр развития ребенка El Guadual (Каука), Библиопарк Давида Санчеса Хулиао (Кордова), Центр памяти, мира и примирения (Богота).

Результаты

Результаты исследования подтвердили, что использование местных природных ресурсов, таких как земля и бамбук (в частности, гуадуа), позволяет создавать устойчивые, низкоуглеродные конструкции, адаптированные к климатическим и сейсмическим условиям различных регионов Колумбии. Земля применялась в форме адоба, трамбованной земли и системы бахареке, обеспечивая высокую термоизоляцию и стабильность конструкций, а бамбук использовался как в традиционном виде, так и в виде современных ламинированных элементов, отличающихся прочностью и долговечностью. Технологии устойчивой архитектуры включали интеграцию возобновляемых источников энергии (солнечные панели), систем сбора дождевой воды, а также пассивной вентиляции и естественного освещения, что особенно важно для регионов с ограниченным доступом к централизованной инфраструктуре. Примером инновационного применения этих решений стал Музей памяти в Боготе, где были использованы переработанные материалы и элементы, созданные с помощью 3D-печати, что позволило оптимизировать строительный процесс. Принципы проектирования включали биоклиматический подход, адаптацию к ландшафту и активное участие местных сообществ, что укрепляло чувство принадлежности и ответственности. Архитектура КОЦ также способствовала восстановлению общественной памяти, формированию локальной идентичности и созданию образовательной платформы для молодого поколения. Многофункциональная типология культурных центров охватывала образовательные залы, креативные мастерские и открытые пространства для общественных мероприятий. Однако несмотря на положительные результаты, сохраняются вызовы, связанные с нехваткой профессиональной подготовки и технических знаний. Устойчивое

развитие таких инициатив требует системной образовательной поддержки, трансфера знаний и институционального содействия на всех уровнях.

Заключение

Архитектура культурных центров в этнических территориях Колумбии демонстрирует потенциал синтеза традиционных строительных практик и устойчивых инноваций, способствуя социальной реабилитации, культурной интеграции и территориальной устойчивости. Постконфликтный контекст предоставляет уникальную возможность переосмыслить роль архитектуры в процессах восстановления и консолидации, где культурные центры, основанные на местных материалах и современных технологиях, становятся не только функциональными пространствами, но и эффективными инструментами социальной трансформации.

Эти объекты способствуют формированию устойчивых сообществ, снижению экологической нагрузки и сохранению культурного наследия. Их реализация подтверждает, что подход, ориентированный на участие сообщества и использование доступных природных ресурсов, может быть успешным даже в условиях ограниченных возможностей и сложной социокультурной среды. Дальнейшее развитие этих практик требует комплексного подхода, включающего образовательные программы, техническую подготовку местных специалистов и институциональное содействие на национальном и международном уровнях.

***Благодарности.** Автор выражает благодарность архитектурным коллективам, местным общинам Амазонии, Кауки и Кордовы, а также специалистам Центра памяти в Боготе за предоставленные материалы и экспертные мнения. Особая признательность — научным консультантам кафедры архитектуры Университета Националь-де-Колумбия и партнерам по проектам, предоставившим доступ к полевой информации.*

Список литературы

1. Хьюйссен А. Части настоящего, городские палимпсеты и политика памяти. Стэнфорд-Калифорния : Изд-во Стэнфордского университета, 2003. 165 с.
2. Аристотель А. О разумном и чувственном — о памяти и запоминании. Греция : Агилар, 2016. 52 с.
3. Аристотель и его трактат «О памяти и припоминании» (Вступительная статья к переводу) // Космос и душа. М. : Прогресс-Традиция, 2005. С. 391—406.
4. Асенцио А. А. Где обитает мысль // Фонд Archia. 2017. № 1. С. 5—8. URL: <https://blogfundacion.arquia.es/2017/05/arquitectura-popular-y-memoria/> (дата обращения: 22.02.2023).
5. Бартош А. А. «Серые зоны» как ключевой элемент современного операционного пространства гибридной войны // Военная мысль. 2021. № 2. С. 25—37.
6. Веселова И. Ю. Музей ESMA как место «горячей» памяти // Исторический журнал: научные исследования. 2022. Т. 5, № 1. С. 2—11.
7. Вуйисиле М. Освободительная функция музея: на примере музея «Красная локация» в Нью-Брайтоне // Антрополог. 2013. Т. 15, № 2. С. 209—218.
8. *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age* / ed. by M. Gausa, V. Guallart, W. Muller [et al.]. Barcelona : Actar, 2003. 799 p.
9. Гэддис Дж. Л. О большой стратегии / пер. с англ. О. Филиппова, А. Шало-мицкой. М. : Изд-во Института экономической политики им. Е. Т. Гайдара, 2021. 424 с.
10. Бондер Дж. Работает память: размышления и практики // Память. 2009. Т. 5, № 1. С. 9—25.
11. Кременюк В. А. Международные конфликты: проблемы управления и контроля. М. : ИСКРАН, 2006. 222 с.
12. Максименко И. А., Богданов А. С. Современные подходы к информационно-аналитической деятельности по выявлению гибридных угроз // Военная мысль. 2021. № 5. С. 42—49.
13. Моисеева В. И., Пирогова Я. В., Тюменцев М. Е. и др. Техноэкономические обособования применения глины в энергоэффективном строительстве // Инновации и Инвестиции. 2019. № 10. С. 272—274.

14. *Мухаметов Р. С.* Место и роль неправительственных организаций в урегулировании международных конфликтов // Дискурс-Пи. 2018. № 1 (30). С. 65—72.

15. *Наварро О. Н.* История и память в современном музее: несколько замечаний с точки зрения критической музеологии // Вопросы музеологии. 2010. Т. 2, № 1. С. 3—11.

16. *Колакрати П. К.* Обзор концепции коллективной памяти // Коммуникативный сюжет. 2010. Т. 14, № 1. С. 63—73.

17. *Айяла П. А.* Коренные народы и их права в условиях вооруженного конфликта: риторика или скрытая и явная реальность? // Журнал кафедры социальной работы факультета гуманитарных наук Национального университета Колумбии. 2005. Т. 7, № 1. С. 125—139.

Я. В. Балтрушайтис, В. И. Пустовгаров

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им И. Канта»
(Калининград, Россия)

**ФАХВЕРК: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ПРОЯВЛЕНИЕ
НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**HALF-TIMBERED BUILDING: THE HISTORY OF DEVELOPMENT
AND MANIFESTATION ON THE TERRITORY
OF THE KALININGRAD REGION**

***Аннотация.** В работе приводится краткая история развития фахверка на территории стран Европы и рассматриваются примеры применения стиля до Второй Мировой войны в разных прочтениях на территории Калининградской области как составляющей бывшей Восточной Пруссии. В работе также рассматривается использование технологии и архитектурного стиля в современном строительстве и приводятся аргументы актуальности дальнейшего применения.*

***Abstract.** The paper provides a brief history of the development of the half-timbered building in Europe and examines examples of the use of the style before the Second World War in various interpretations in the Kaliningrad region as a component of the former East Prussia. The paper also examines the use of technology and architectural style in modern construction and provides arguments for the relevance of further application.*

***Ключевые слова:** фахверк, хайматкунст, архитектура Восточной Пруссии, архитектура Калининградской области*

***Keywords:** half-timbered, heimatkunst, architecture of East Prussia, architecture of the Kaliningrad region*

© Балтрушайтис Я. В., Пустовгаров В. И., 2025

Введение

У каждой страны есть своя традиционная архитектура. Россия устойчиво ассоциируется с деревянными теремами, Китай — с пагодами, Европа — с готическими сооружениями, США — с небоскребами. При упоминании Германии в целом или ее бывших земель, в частности Восточной Пруссии (ныне — территории России (Калининградская область), Польши и Литвы), тем, кто увлекается архитектурой или просто следит за современными тенденциями загородного строительства, на ум придет термин «фахверк».

Фахверк — это разновидность каркасного домостроения, стиль и технология одновременно. В переводе с немецкого само слово означает «каркасная или решетчатая конструкция» [1]. В ряде случаев технология рассматривается в качестве разновидности флехтверка («плетеной работы») [2].

Основой фахверкового здания является прочный деревянный каркас, который состоит из соединенных между собой вертикальных, горизонтальных и диагональных элементов — стоек, балок и раскосов соответственно. «Ячейки», образованные конструкцией, заполняются саманом, кирпичом, камнем, газобетоном или плитами (OSB, гипсокартоном) [3]. Такая технология позволяет быстро возводить дома в местах, где нет недостатка в дереве, но есть дефицит камня. Многие немецкие дома данного течения простояли более 500 лет и до сих пор радуют глаз.

С внешней стороны каркасные элементы оставляют открытыми. Балки, выходящие на уличные стены, были ярко декорированы: их красили в контраст основному цвету стены. Так получался так называемый «пряничный» вид домов [4]. Такая манера является отличительной особенностью фахверковых зданий, которая делает их узнаваемыми во всем мире. Завершением конструкции является двускатная (реже — полувальмовая) крыша.

История развития фахверка

Конструкции в виде каркасов принято считать одними из самых древних. Предполагается, что они были известны строителям Древней Греции, Римской империи и Китая. Однако «родиной» фахверка в общем понятии стала Германия, где он зародился в X—XII вв. в том виде, в котором дошел до наших дней [5].

Наибольшее распространение он получил в местах, где протекали мощные реки и развивалось корабельное дело. В XIV—XV вв. в таких городах (Кведлинбург, Айнбекк, Эсс-линген-на-Неккаре, Лимбург-ан-дер-Лан, Кенигсберг (ныне — Калининград), Страсбург, Люцерн, Оксфорд) и прилегающих к ним землях технология встречалась фактически повсеместно. Расцвет направления пришелся на XV—XVI вв.

Со времен Средневековья в Германии остались фахверковые дома в несколько (в основном — 5—7) этажей, ратуши, усадьбы и дворцовые комплексы, культовые и хозяйственные постройки. Затем течение стало популярно по всей Европе. Такие здания строили в Британии, Франции, Польше, Голландии и Швейцарии. В каждой стране технология видоизменялась, приспособляясь к местным условиям. Например, в Британии стены фахверковых зданий утепляли овечьей шерстью [6].

К приемам строительства, характерным для фахверка, привело переосмысление техники возведения укреплений древними римлянами на землях покоренных ими франков и галлов. Строители возводили деревянный каркас, затем заполняли его камнем или кирпичом, заполняя цементным раствором. Вертикальные стойки, подкосы и горизонтальные брусья не маскировали, выводили на поверхность стены. Кладку скрывали известковым раствором, каркас оставляли естественного цвета. Таким образом несущая конструкция преобразовывалась в декоративный мотив [7].

Каркасный фундамент и несущие межэтажные перекрытия из перекрещивающихся под прямым углом балок называют ростверком или герсой [7].

Нередко фасады здания могли украшать декоративная резьба, фигуры людей или животных, росписи и надписи. Подобные изречения назывались *Haussprüche* и могли содержать пожелание крепкого здоровья, достатка, информацию о жильцах, их ремеслах [8].

Накопление опыта в строительстве подобных зданий, развитие кораблестроение, и, в свою очередь, повышение мастерства плотников, стремление к экономии древесины привели к широкому распространению в странах Европы фахверкового метода строительства. Наиболее зажиточные горожане не оставляли межкаркасное пространство оштукатуренным или естественным, в виде кирпичной или каменной кладки, а декорировали его деревянными резными панелями. Наибольшее применение подобных украшений относится к концу XVI — началу XVII в. [9].

С течением эпох менялись запросы населения. Фахверковое строительство не могло отвечать всем требованиям: подвести коммуникации было нелегко, старые здания требовали существенного ремонта. Иногда прибегали к более простому способу — разбор старого и строительство на том же месте нового, к примеру, дома, только теперь в камне или кирпиче. Период с XVIII по начало XIX в. можно назвать «фахверковым затишьем». Примерным его окончанием стоит считать 1830-е гг., когда появляются средне немецкие (расположенные, преимущественно, на территории Центральной Германии) дома с фахверковой конструкцией (рис. 1) [10; 11].

Технология развивалась и существовала попутно с другими стилями архитектуры, что не могло не наложить свой отпечаток. В ряде зданий фахверк проявляется не как самостоятельное «основание» (конструкция, технология), а как дополнение или сопровождение. Особо отчетливо это видно в одном из течений вильгельмизма — хайматкунсте (или хайматштиле). Верхние этажи, галереи, эркеры, а иногда и целые ризалиты или крылья вилл, резиденций, ратуш, доходных домов возводились с применением классической фахверковой технологии.



Рис. 1. Дом средненемецкого типа из бывшего хутора Шульц из Пюнгена, 1832 г. постройки в музее в Дисдорфе [12]

Стоит отметить, что к данному течению неоднократно обращались и на территории Великобритании. Наибольшую популярность фахверк получил в тюдоровскую эпоху (ранний тюдор, английское возрождение, тюдoro-якобинский период), затем — в период историзма (неотюдор) и эпоху правления королевы Виктории (викторианство) [2; 7].

Фахверк на территории Калининградской области (бывшей Восточной Пруссии)

Примерно в IX—XI вв. на территории, расположенной между реками Неман и Висла, в качестве основных сооружений преобладали каркасные постройки. На каменное основание устанавливался деревянный каркас, стены обивались очищенными от коры и веток тонкими стволами, которые впоследствии обмазывались глиной или саманной смесью [13]. Данная технология послужила основой для последующего развития фахверка на территории региона.

Как уже было отмечено выше, основное развитие стиля и его расцвет пришлись на XIV—XVI вв. Основным вариантом использования течения стали постройки хозяйственного назначения: амбары, сараи, склады. Характерным в исполнении являлось заполнение «полей» красным кирпичом, производившимся, преимущественно, на этих землях. Данная манера имевалась «прусской».

В качестве материала чаще всего применяли дубовую древесину, верхние этажи возводились из сосны или ели. Каменным заполнением пренебрегали по нескольким причинам:

1. В целях экономии материала, которого на самом деле было не так много, как может показаться.

2. В целях уменьшения веса вышележащих конструкций и, в свою очередь, снижения давления от них на фундамент и основание.

Отказу от фахверка, как от основной конструкции здания, способствовало понимание не столько недолговечности, сколько низкой устойчивости к пожарам. Предпосылками к градостроительному предписанию от 2 декабря 1782 г. [14] стали пожары 1764 и 1769 гг., уничтожившие старые здания Альтштадта, Лёбенихта, Кнайпхофа, включая дом, в котором родился Иммануил Кант. Однако это не уберегло город от возгораний на складах в 1839 и 1845 гг., часть из которых были фахверковыми.

Одними из самых известных были склады Ластади, ставшие «визитной карточкой» (в том числе в прямом смысле — в виде продаваемых фотокарточек и открыток) Кёнигсберга. Хотя особенными их на самом деле назвать нельзя, поскольку их «собратья» располагались и располагаются в Любеке, Ростоке, Штральзунде и Штеттине.

Первое здание Ластади датировалось 1286 г., когда ландмейстер Тевтонского ордена Конрад фон Тирберг даровал Альтштадту не только городские права, но и земли вдоль восточной части пролива Хундегат, соединявшего оба рукава Прегеля. Сами здания именовались «шпайхер» (нем. склад, хранилище). Высота достигала 5—7 этажей. Выступающий элемент под крышей принято называть «клювом» [15]. Основные шпайхеры

были отстроены в XVI—XVIII вв., притом фактически каждый по началу имел собственное «имя» [16]: Солнце, Орел, Вера, Лев, Медведь, Голубь, Меркурий, Пеликан, Жеребец, Бык [17].

На территории современного Калининграда фахверк проявляется в декоративном прочтении, без привязки к конструктиву зданий («декоративный фахверк»): комплекс «Рыбная деревня» (I очередь), жилой комплекс на проспекте Мира 89—91а (яркий пример хайматкунста в прочтении неохайматизма — «неохайматкунст»).

Течение проявилось на территории всей Пруссии. Так, в Зеленоградске, бывшем Кранце, стиль уже использовался не как чистый фахверк, а как его декоративно-конструктивная часть в ключе, опять же, течения хайматкунст. К примеру, здания курхауса (нем. курортный дом), отеля «Восточная Пруссия», виллы Вальдфриден — яркие представители эпохи вильгельмизма в искусстве. В пос. Пионерском (Нойкурен) стиль нашел отражение в домах местных жителей. В современной архитектуре декоративное прочтение фахверка характерно для здания вокзала. В пос. Рыбачий на Куршской косе примером оригинального стиля может служить здание отеля «Росситтен».

На территории Советска сохранился портовый склад, в котором, по приданиям, бывали Александр I и, возможно, Наполеон Бонапарт в дни подписания Тильзитского мирного договора. Свою функцию он выполняет и сегодня, однако уже не имеет прямого отношения к порту за его отсутствием с 1990—2000-х гг. На нынешнее время данное здание остается самым старым фахверковым складом в России.

Поселок Железнодорожный сохранил здания складов у центральной площади, а также элементы фахверка в зданиях жилых домов. В настоящее время один из центральных складов разобран для возможного дальнейшего воссоздания, второй остается в плачевном состоянии среди отремонтированных фасадов. Ряд зданий получил декоративные элементы, распространив на территорию данного населенного пункта «неохайматкунст» (рис. 2).



Рис. 2. Отреставрированные дома в пос. Железнодорожный с применением декоративных элементов (фото автора, 2024 г.)

Особенное внимание стоит уделить современному гостевому комплексу «Хутор старого пасечника», расположенному в пос. Большое Село Неманского муниципального округа. Предприниматель И. Артюх, занявшийся развитием туристического кластера «Тильзит-Рагнит», смог воссоздать немецкую архитектуру. Причем при возведении зданий сохранялась старая технология: деревянный каркас заполнялся немецким кирпичом, собранным на территории региона. Это позволило не только показать красоту стиля, но и дать вторую жизнь старым материалам (рис. 3).

В настоящее время рассматриваемая технология активно используется в индивидуальном жилом строительстве. Чаще всего это двухэтажные особняки, в которых акцент делается не только на декоративную составляющую, но и на удобство ее использования. Подобные дома можно увидеть на территории микрорайона Прибрежный (г. Калининград), пос. Храброво (Гурьевский МО).



Рис. 3. Один из корпусов «Хутора старого пасечника»,
пос. Большое Село (фото автора, 2025 г.)

Заметно, что на территории Калининградской области в ключе неоиоризма все чаще можно увидеть применение фахверка как декоративного стиля. С точки зрения архитектуры это нельзя считать недочетом, который говорил бы в пользу отказа от данной технологии. Однако здания, возведенные в истинном ее прочтении, и по сей день способны поражать не только туристов, но и жителей региона. Это может также способствовать сохранению «духа истории», который делает область привлекательной.

Заключение

Несмотря на то что фахверк возник более тысячи лет назад, своей актуальности он не потерял вплоть до наших дней. Применение данной технологии может применяться как в своем классическом прочтении (заполнение проемов кирпичом с возможностью побелки), так и с использованием современных технологий и материалов (к примеру — заполнение фигурными сэндвич-панелями с утеплителем). Кроме того, элементы

фахверка возможно применять и при возведении многоэтажных зданий на территории региона в виде эркеров, смотровых башен, целых секций, что придаст зданиям индивидуальность, поддерживающую сложившуюся на территории области историческую застройку.

Список литературы

1. Власов В. Г. Архитектура. Словарь терминов. М. : Дрофа, 2003. 191 с.
2. Pevsner N., Honour H., Fleming J. Lexikon der Weltarchitectur. München : Prestel, 1992. 191 s.
3. Фахверк — история стиля, особенности построек // ЕХРО Сфера. 2023. URL: https://exposfera.spb.ru/vse_novosti/fahverk-istoriya-stilya-osobennosti-postroek (дата обращения: 20.02.2025).
4. Варламова Е. Фахверк: как заработать на домах, построенных по старинной технологии // СберБизнес Live. 2024. URL: <https://sberbusiness.live/publications/fahverk> (дата обращения: 20.02.2025).
5. Густова Н. Фахверк: что нужно знать о загородном доме в немецком стиле // Радио РБК. 2022. URL: <https://realty.rbc.ru/news/630e122f9a7947f0888e54e4> (дата обращения: 20.02.2025).
6. Березин А. Фахверк — технология строительства загородных домов: особенности, плюсы и минусы, способы оформления и цены на строительство // Выставка домов «Малоэтажная Страна». 2021 URL: <https://m-strana.ru/articles/zagorodnye-doma-v-stile-fakhverk> (дата обращения: 21.02.2025).
7. Элементы стиля : энциклопедия архитектурных деталей : новая редакция / гл. ред. Стефан Кэлоуэй ; пер. с англ. И. С. Ивянская-Гессен [и др.]. 2-е изд., доп. и перераб. ; доп. и перераб. А. Пауэрс. М. : Мagma, 2006. 592 с.
8. Christians H., Mein G. (Hg.). In da House. Das Haus und seine Vorstellung in den Künsten und Wissenschaften. Paderborn : Wilhelm fink, 2016. 304 s.
9. Гавриков Д. С. Терминологическое уточнение понятия «фахверк» // В мире научных открытий. Красноярск : Научно-инновационный центр, 2010. № 6.3 (12). С. 115—117.

10. *Листова Н. М.* Крестьянское жилище Германии, Австрии и Швейцарии в XIX в. // Типы сельского жилища в странах зарубежной Европы. М. : Наука, 1968. С. 178—221.

11. *Baumgarten K.* Das deutsche Bauernhaus — Eine Einführung in seine Geschichte vom 9. bis zum 19. Jahrhundert. Berlin : Akademie Verlag, 1980. 200 s.

12. *Mitteldeutscher Vierseithof* // Museen im Altmarkkreis Salzwedel. URL: <https://www.museen-altmarkkreis.de/Mitteldeutscher-Vierseithof.html> (дата обращения: 22.02.2025).

13. *Брюшинкин В. Н., Кретинин Г. В., Гальцов В. И.* Очерки истории Восточной Пруссии. Калининград : Янтарный сказ, 2002. 536 с.

14. *Конен Й.* Большой пожар в Кёнигсберге в зеркале поэзии того времени // Кантовский сборник. 2006. № 1. С. 237—254.

15. *Галлис Д. А.* «Ластади» в Кёнигсберге: фахверковые склады, шпайхерские марки и железнодорожные кольца // Проект «Познавая Пруссию». 2023. URL: <https://dzen.ru/a/ZMjbpzolpF29RB6R?ysclid=majtrbm0dq47896156> (дата обращения: 22.02.2025).

16. *Mühlpfordt H. M.* Königsberg von A bis Z. München : Aufstieg-Verlag, 1972. 168 s.

17. *Эрхардт Т.* История крепости Кёнигсберг в Восточной Пруссии. 1257—1945 гг. / пер. с нем. В. М. Тарабрин, В. А. Зорин. М. : [Б. и.], 1997. 141 с.

Н. О. Калинина

ФАУ «Единый институт пространственного планирования РФ»
(Москва, Россия)

**МИКРОИНТЕРВЕНЦИИ В АРХИТЕКТУРЕ:
КОМПАКТНЫЕ СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**MICRO-INTERVENTIONS IN ARCHITECTURE:
COMPACT STRATEGIES
FOR FORMING A QUALITY URBAN ENVIRONMENT**

***Аннотация.** В статье рассматривается актуальная проблема повышения качества городской среды в условиях высокой плотности застройки и ограниченности ресурсов. Подчеркивается значимость эффективного использования территорий, регламентированного нормативными актами и факторами ограничения. Предлагается подход, основанный на применении компактных, гибких и адаптивных «микроинтервенций» в архитектурное пространство. Целью исследования является определение объективных, рассчитываемых параметров для оценки «качественных характеристик» городской среды, позволяющих уйти от субъективных впечатлений. В работе анализируются существующие методики и предлагается подход к количественной оценке параметров, влияющих на комфорт, устойчивость и функциональность городского пространства.*

***Abstract.** This article raises the topical issue of improving the quality of the urban environment in conditions of high building density and limited resources. Special attention is paid to the rational use of territories, which should be based on the regulatory framework and the factors of regulated restrictions. The authors propose a new approach based on small, flexible and adaptive changes in the architectural space — the so-called “micro-in-*

terventions". The purpose of the study is to find objective and quantifiable parameters for assessing the "qualitative characteristics" of the urban environment, which will avoid subjective judgments. In this paper, existing methodologies are critically examined, and a novel method for quantifying parameters influencing the comfort, resilience, and functionality of urban spaces is developed.

Ключевые слова: архитектура, гибкие пространства, компактная архитектура, проектирование, адаптивная среда

Keywords: Architecture, flexible spaces, compact architecture, design, adaptive environment

Введение

В современном архитектурном проектировании все большее значение приобретает эффективность использования пространства, ресурсов и технологий. Эффективное использование территорий регламентировано нормативными актами, действующими в текущий момент и выдвигающими некоторые требования о проценте озелененности, застроенности в пределах «красных линий» и многих других обязующих параметров наряду с факторами ограничения (памятники архитектуры, природоохранные зоны, санитарно-защитные зоны и иное. В условиях растущей плотности городов и ограниченности ресурсов актуальным становится поиск компактных, гибких и адаптивных инструментов устойчивой и комфортной городской среды. Определить категории «качественных параметров» территории, уходя от личностно-субъективных впечатлений, возможно лишь расчетом в разрезе каждого из показателей, выявление которых и стало целью этой статьи. Результатом исследования в рамках этой статьи становится классификация локальных архитектурных методов в мировой практике на укрупненные категории, оказывающие видимые позитивные экономические и иные эффекты в развитии городов.

Материалы и методы

В процессе исследования был проведен комплексный анализ базы отечественной и зарубежной литературы, а также произведен анализ конкретных примеров архитектурных внедрений, с целью определить какие из изученных проектов использовали наиболее эффективные стратегии, контекстно оценивая их влияние на улучшение городской среды и определения избранных параметров, которые в разрезе данного исследования были определены как ключевые.

Результаты

Для конкретизации изучаемого научного поля в части архитектурного проектирования под предполагаемыми микроинтервенциями все же имеется ввиду такое техническое решение, которое возможно реализовать без существенных бюджетных вложений. Профессиональное сообщество обсуждает экономические и социальные эффекты от масштабных проектов, называя их мегапроектами, которые предполагают значительные финансовые издержки. То есть фактическое строительство больших архитектурных комплексов, несомненно, повлияет на восприятие ранее заброшенного пустыря, например. Общая тенденция к позитивным изменениям ввиду реализации интересной авторской архитектуры получила расхожее название после невероятного успеха одного из таких мегапроектов — музея в г. Бильбао. Так, случай, повернувший судьбу города, дал название такому изменению, известному как «эффект Бильбао». При положительном исходе вложенные инвестиции в проект окупаются многократно, однако важно понимать, что одного «иконического» здания может не хватить для получения желаемого эффекта [1].

Однако часто визуальный поиск качественных изменений среды может проявляться в довольно локальных контекстных преобразованиях, основанных лишь на художественно-ассоциативном восприятии среды. Нередко заброшенные территории или неудобные кварталы становятся местами для

художественного выражения молодежи, которые украшают ранее однообразные и угрюмые заборы красочными граффити, превращая место в новый аттрактор для населения или туристов. При изучении подобного Бильбао-опыта в практике российских городов интересным примером представляются преобразования культурного ландшафта Ижевска, в котором микроинтервенции произошли на уровне развития стрит-арт-культуры, обращая город в более привлекательную среду для молодой целевой аудитории, перекрывая ранее существовавшую репутацию заводского поселка, а затем города-завода. Сейчас в Ижевске так много объектов уличного искусства, что для навигации по ним была создана онлайн-карта стрит-арта [2].

Учитывая локацию этих точек и обратив внимание на агрегаторы по размещению объявлений аренды жилья, можно проследить тенденцию увеличения стоимости в разделе посуточной аренды на 5—6 % от средней стоимости по городу. В соответствии с этим видим реальный положительный экономический эффект от таких локальных и немасштабных преобразований.

Оригинальность объектов уличного искусства в Ижевске может стать привлекательным ресурсом для развития многих видов туризма (культурно-познавательного, образовательного, молодежного и т. д.) и способствовать удовлетворению потребностей туристов, которые вдохновляются творческими пространствами и возможностью получить незабываемые впечатления от погружения в мир художественных образов уличного искусства [3].

Анализируя и собирая по категориям различные практики микроинтервенций, можно классифицировать их по различным категориям:

- смена функции места (практика «Парклет» (англ. Parklet) [4];
- смена визуального контекста (граффити, уличное искусство, игра с окружением и уличные инсталляции, основанные на оптических иллюзиях);

— вариативность выбора для передвижения (формирование системы альтернативных средств индивидуально мобильности — велодорожки, инфраструктура аренды и ремонта велосипедов, точки отдыха, островки безопасности и т. п.);

— трансформация архитектуры и адаптация окружения (преобразование промышленной архитектуры в культурные или коммерческие объекты, а также формирование архитектурных решений, направленных на повторное или временное использование).

Изученные материалы легли в основу для формирования концепции многофункционального автономного архитектурного комплекса в рамках написания диссертации. Рассмотрим вышеперечисленные категории более предметно.

Парклет. Преобразование парковочных мест в небольшие благоустроенные и озелененные общественные зоны для рекреации и утилиты для различного активного отдыха горожан. Такой тип чаще встречается в американской и северноевропейской практике урбанистики. Хорошие примеры парклетов — в Сан-Франциско, Портленде, Орегоне и др. Чаще такие решения внедряются временно как часть проведения сезонных праздников или фестивалей, однако при отслеживании явных позитивных эффектов в плане экономических результатов за анализируемый период принимается решение о функциональном переназначении тестируемой территории.

Уличное искусство. Здесь уместно граффити не в отношении вандализма и несанкционированной порчи городского имущества, а в отношении преобразования неблагоприятных в настоящее время мест в пределах пешеходной активности. Тем самым создается более благоприятная визуальная среда. Пример — забор РЖД на пути к территории ArtPlay, а затем преобразование стен торгового центра «Атриум» на Курском вокзале — мурал (исп. тигро — стена, монументальная живопись на стене здания) [5]. Граффити в архитектуре зачастую применяется как основа орнаментального решения ограждающих плоскостей и поверхностей, в качестве элементов декора;

более редкими до сих пор являются приемы формирования объемных решений на основе трехмерных интерпретаций граффити-изображений [6].

Велодорожки и станции аренды средств индивидуальной мобильности (далее — СИМ). Инфраструктура для велодвижения предполагает безопасно обустроенные и разделенные пути для велосипедистов (а также пользователей самокатов, моноколес и других инструментов для передвижения со скоростью выше, чем скорость пешехода), автомобилистов и пешеходов. Привлекательность недвижимости для покупателя и рентабельность для застройщика тем выше, чем больше элементов комфортной среды проживания были использованы при благоустройстве [7]. Удобство движения к жилым комплексам как на велосипедах, так и на электросамокатах является элементом, участвующим в формировании индекса качества городской среды [8]. Актуальность учета потребностей в выборе СИМ также подтверждается законопроектами. Так, Министерство транспорта РФ рекомендует городам, участвующим в федеральных программах по благоустройству комфортной городской среды, учитывать данные обстоятельства при планировании и ремонте инфраструктуры и закладывать велосипедные дорожки в планы развития городов [9].

Наконец, наиболее вариативные примеры встречаются в категории «Трансформация архитектуры». Формально можно также классифицировать здесь на подвиды, такие как повторное использование архитектуры и ревитализация заброшенных пространств, а также категория мобильных (временных) решений. И если в части переосмысления и ревитализации архитектурных объектов написано немало научных трудов, в категории временных решений появляется спектр потенциальных возможностей для формирования быстрых эффектов от реализации.

Временные павильоны и инсталляции, используемые в качестве основы для проведения массовых показательных мероприятий, не являются объектом интереса данного обзорного исследования. Но особо интересными решениями представля-

ются практики использования мобильных и модульных архитектурных средств. Данный вид набирает обороты в контексте развития экологического туризма, ведь подобные форматы архитектурных интеграций соответствуют задачам сбалансированного развития социальной и экономической сферы без нанесения ущерба для экологии. Задачи равномерного распределения и привлекательности архитектурных объектов наилучшим образом решают модульные рекреационные комплексы малой вместимости [10], устойчивые к экстремальным условиям, обеспечивающие доступ к широкому спектру рекреационных ресурсов и реализуемые в соответствии с принципами устойчивого развития [11].

Заключение

Проведенное исследование подтверждает значительный потенциал микроинтервенций в архитектуре как эффективно-го инструмента формирования качественной городской среды, особенно актуального в условиях экстенсивного развития, характерного для многих регионов Российской Федерации. Несмотря на существующие вызовы, связанные с масштабностью территорий, неравномерностью развития и особенностями климата, применение компактных стратегий позволяет достичь существенных позитивных эффектов. Дальнейшие исследования и практические эксперименты позволят более полно раскрыть потенциал этого подхода и адаптировать его к специфическим условиям различных регионов страны.

Список литературы

1. *Сергеева С. Ю., Ерина А. П.* Эффект Бильбао в архитектуре // Вопросы науки и образования. 2019. № 33 (83). С. 51—53.
2. *Струм-арт* Ижевска на Яндекс-картах. URL: <https://yandex.ru/maps/44/izhevsk> (дата обращения: 10.05.2025).

3. *Оконникова Т. И., Берестова Е. М., Акатьева Л. В.* Стрит-арт в культурном ландшафте Ижевска // Cyberleninka. 2022. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strit-art-v-kulturnom-landshafte-izhevskia> (дата обращения: 12.05.2025).

4. *Robin A. O.* Experimenting with the Margin: Parklets and Plazas as Catalysts in Community and Government // University of Southern California. 2012. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Experimenting-with-the-margin-Parklets-and-plazas-Ocubillo/c7e6384d904736496ce6fb88dbbb0f53732ee608> (дата обращения: 11.05.2025).

5. *Целуйко А.* Уличное искусство в России // Проект «Стена». URL: <http://www.thewallproject.ru/dopstuff/ulichnoe-iskusstvo-v-rossii-ch-1/> (дата обращения: 11.05.2025).

6. *Евдокимова Е. А., Янковская Ю. С.* Феномен граффити: генезис, перспективы, влияние на современное искусство и архитектуру // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-graffiti-genezis-perspektivy-vliyanie-na-sovremennoe-iskusstvo-i-arhitekturu> (дата обращения: 12.05.2025).

7. *Астафьев А. С., Астафьева П. С.* Влияние средств индивидуальной мобильности на повышение комфортности городской среды // Вестник ТГАСУ. 2024. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sredstv-individualnoy-mobilnosti-na-povyshenie-komfortnosti-gorodskoy-sredy> (дата обращения: 12.05.2025).

8. *Национальные проекты России (Жилье и городская среда)* // Индекс качества городской среды. URL: <https://xn----dtbcccddtsyapbxk.xn--p1ai/#/> (дата обращения: 10.05.2025).

9. *Астафьев А. С., Астафьева П. С.* Влияние маркетинга и брендинга территорий на современный облик и содержание жилых комплексов // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее : сб. науч. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института, Красноярск, 19—21 октября 2022 г. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. С. 96—101.

10. *Лошаков П. И.* Модульные структуры как метод организации архитектурной среды // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5, № 1. С. 37—55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48074291&ysclid=I5owtp^д43664941> (дата обращения: 11.05.2025).

11. *Козленкова К. Д., Лошаков П. И.* Модульная архитектура рекреационных комплексов для экологического туризма. Принципиальные требования и практические // Современные общественные пространства как инструмент развития городской среды : сб. ст. Четвертой межрегион. науч.-практ. конф. СПб., 2022. 311 с. URL: https://www.spbgasu.ru/Studentam/Kafedry/Kafedra_dizayna_arhitekturnoy_sredy/Izdatelskaya_deyatelnost/ (дата обращения: 11.05.2025).

**А. А. Александрова, К. А. Расулова
Л. В. Шершова**

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ ИНИЦИАТИВ (НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

DEVELOPMENT OF ENTREPRENEURIAL INITIATIVES (ON THE EXAMPLE OF THE KALININGRAD REGION)

Аннотация. В статье рассматривается вопрос развития субъектов малого и среднего предпринимательства в Калининградской области за период 2020—2024 гг. Проведен анализ изменения численности индивидуальных предпринимателей, юридических лиц и самозанятых, а также их распределения по отраслям и муниципальным образованиям региона. Особое внимание уделено влиянию государственной поддержки на развитие предпринимательства, включая эффект от введения специального налогового режима для самозанятых.

Abstract. The article examines the development of small and medium-sized businesses in the Kaliningrad region for the period 2020—2024. An analysis of changes in the number of individual entrepreneurs, legal entities and self-employed persons, as well as their distribution by industries and municipalities of the region, is conducted. Particular attention is paid to the impact of state support on the development of entrepreneurship, including the effect of the introduction of a special tax regime for the self-employed.

© Александрова А. А., Расулова К. А., Шершова Л. В., 2025

Ключевые слова: *малое и среднее предпринимательство, индивидуальные предприниматели, самозанятые, государственная поддержка, бизнес, строительство, Калининградская область, региональная экономика*

Keywords: *small and medium-sized businesses, individual entrepreneurs, self-employed, government support, business, construction, Kaliningrad region, regional economy*

Введение

В последние годы в Калининградской области наблюдается активное развитие предпринимательских инициатив, особенно в сфере малого и среднего бизнеса. Этому способствовал большой приток населения и логистические сложности из-за внешне политических кампаний, агрессивно настроенных к нашему государству. Анализ динамики предпринимательства в период с 2020 по 2024 г. показывает изменения в структуре бизнес-сектора. Рост индивидуальных предпринимателей и самозанятых, а также снижение численности юридических лиц свидетельствуют о трансформации предпринимательской среды региона. Эти изменения могут быть связаны с внедрением специальных налоговых режимов, банковскими льготами, а также необходимостью адаптации к внешним вызовам. Важной темой исследования является влияние государственной поддержки на развитие предпринимательства, включая льготы и программы, способствующие росту и стабилизации бизнес-сектора.

Сравнительная динамика роста бизнес-секторов

В последнее время в Калининградской области наблюдается заметная динамика в сфере развития малого бизнеса. Все больше людей выбирают как форму ведения бизнеса индивидуальное предпринимательство. В таблице 1 приведена статистика за последние пять лет, характеризующая динамику численности субъектов предпринимательства в Калининградской области.

Таблица 1

**Динамика численности субъектов предпринимательства
в Калининградской области (2020—2024) [1]**

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
Количество индивидуальных предпринимателей, тыс. чел	27,42	29,26	29,85	31,39	34,08
Количество юридических лиц, тыс. чел	26,78	25,99	25,47	24,76	24,54
Количество самозанятых граждан, тыс. чел	8,10	26,37	43,76	64,20	87,95
Темп роста количества индивидуальных предпринимателей, % (к предыдущему)	—	106,71	102,00	105,17	108,57
Темп роста количества юридических лиц, % (к предыдущему)	—	97,05	97,98	97,21	99,13
Темп роста количества самозанятых граждан, % (к предыдущему)	—	325,63	165,91	146,73	136,99

Согласно приведенным данным за период 2020—2024 гг. в Калининградской области наблюдаются значительные изменения в структуре предпринимательской деятельности. Численность индивидуальных предпринимателей без образования юридического лица демонстрирует устойчивый рост с 27,42 тыс. человек в 2020 г. до 34,08 тыс. человек в 2024 г., при этом темпы роста ускорились с 102 % в 2022 г. до 108,57 % в 2024 г. В то же время количество действующих юридических лиц (преимущественно обществ с ограниченной ответственностью и акционерных обществ) сократилось с 26,78 тыс. предприятий до 24,54 тыс. Сокращение составило порядка 8,4 % (рис. 1). Данный показатель отражает снижение деловой активности в регионе за этот период. В то же время заметная трансформация произошла в сфере самозанятости: за пять лет численность самозанятых граждан региона выросла более чем в 10 раз — с 8,10 тыс. человек до 87,95 тыс. человек.

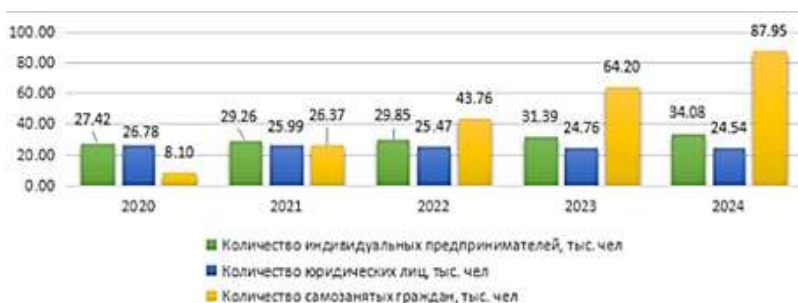


Рис. 1. Количество индивидуальных предпринимателей, юридических лиц и самозанятых граждан

Однако, несмотря на масштабный рост самозанятых в 2021 г. в 325,63 %, темп роста снизился до 136,99 % в 2024 г. (рис. 2).



Рис. 2. Динамика количества индивидуальных предпринимателей, юридических лиц и самозанятых граждан

Представленные данные свидетельствуют о структурном сдвиге в предпринимательском секторе Калининградской области. Рост числа ИПБЮЮЛ и самозанятых при одновременном сокращении юридических лиц может объясняться несколькими факторами, включая переход бизнеса в более гибкие формы, влияние налоговых льгот для самозанятых, экономическая нестабильность, ужесточение налогового законодательства и внешнеэкономическое сдерживание недружественных стран

(санкции). Особенно показателен экспоненциальный рост самозанятости, который, вероятно, связан с введением специального налогового режима и упрощением процедуры регистрации. Однако замедление темпов роста в 2023—2024 гг. указывает на возможное насыщение рынка, снижение экономической привлекательности и необходимость дальнейшего анализа устойчивости этой тенденции.

Наблюдаемые изменения имеют важные последствия для экономической политики региона. Доминирование малых форм бизнеса (ИП и ИПБОЮЛ и самозанятость) подчеркивает необходимость разработки целевых мер поддержки, включая расширение доступа к финансированию и развитие цифровой инфраструктуры. Одновременно сокращение числа ЮЛ требует изучения причин этого явления, таких как санкционная блокада или экономическая нецелесообразность данной формы организации бизнеса в текущих условиях. Наблюдаемые структурные изменения в предпринимательском секторе Калининградской области требуют детального изучения их динамики в долгосрочной перспективе. Особый интерес представляют темпы роста различных форм бизнеса, которые наглядно отражены в следующих графиках.

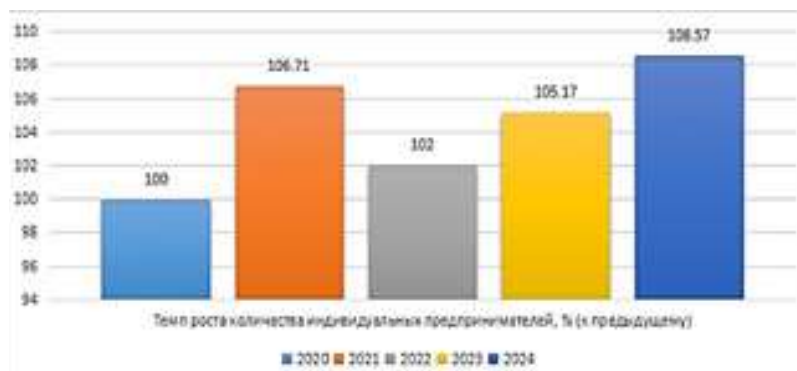


Рис. 3. Темпы роста количества индивидуальных предпринимателей, %

Для индивидуальных предпринимателей характерна устойчивая положительная динамика с постепенным ускорением роста от 106,7 % в 2021 г. до 108,6 % в 2024 г.

Совершенно иную картину демонстрируют юридические лица (рис. 4), где на протяжении всего периода наблюдается устойчивое отрицательное значение темпов роста (97,0—99,1 %). Постоянное нахождение показателя ниже 100 %-ной отметки указывает на системные проблемы в корпоративном секторе, возможно связанные с налоговой нагрузкой или миграцией бизнеса в другие регионы.

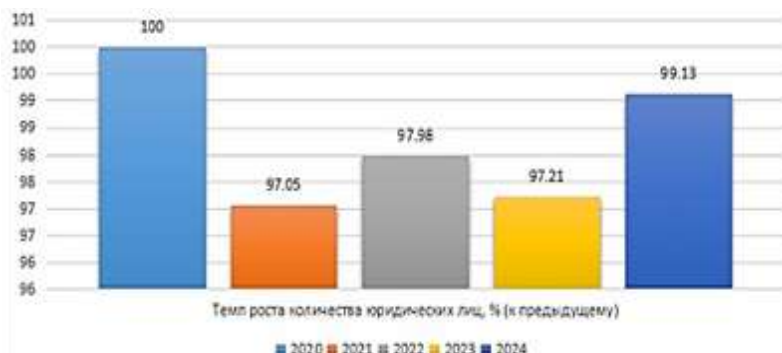


Рис. 4. Темпы роста количества юридических лиц, %

Наиболее драматичная динамика прослеживается у самозанятых граждан (рис. 5). После взрывного роста в 2021 г. (325,6 %) наблюдается последовательное замедление темпов, хотя и сохраняющихся на высоком уровне (136,9 % в 2024 г.). Такая траектория типична для процессов массового перехода из теневого сектора и освоения новой правовой формы. Замедление роста, однако, не следует интерпретировать как кризисное явление — даже в 2024 г. темпы остаются существенно выше, чем у других форм предпринимательства.

Сравнительный анализ всех трех графиков, представленных на рисунках 3—5, позволяет сделать вывод о том, что бизнес-среда Калининградской области постепенно становится

разнообразнее. Наблюдается явный сдвиг от традиционных корпоративных форм в сторону более гибких моделей ведения бизнеса.

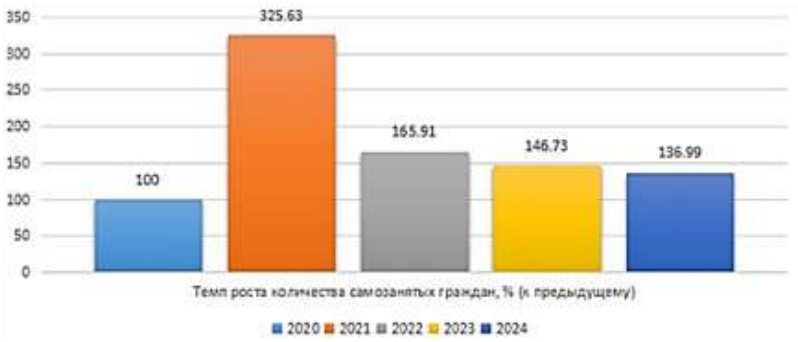


Рис. 5. Темпы роста количества самозанятых граждан, % (к предыдущему)

Отраслевой анализ организационных форм предпринимательства

Юридические лица

В связи с экономическими катаклизмами, работа компаний (юридических лиц) в Калининградской области стремительно менялась, как в количественном виде, так и в отраслевом. В таблице 2 отражаются изменения касающиеся экономического сегмента Калининградской области.

Таблица 2

Количество и доля основных сфер деятельности для юридических лиц с 2021 по 2024 г. [2; 5]

Вид деятельности	2021		2022		2023		2024	
	Количество компаний, %							
Торговля	9660	28,2	9182	27,6	8750	26,8	8593	26,4
Строительство	4324	12,6	4218	12,7	4126	12,6	4148	12,7

Окончание табл. 2

Вид деятельности	2021		2022		2023		2024	
	Количество компаний, %							
Недвижимое имущество	3051	8,9	2968	8,9	2929	9,0	2922	9,0
Обрабатываю- щие производ- ства	3023	8,8	2948	8,9	2886	8,8	2863	8,8
Транспортировка и хранение	2993	8,7	2877	8,6	2843	8,7	2820	8,7
Консалтинг и научно-техни- ческая деятель- ность	2423	7,1	2372	7,1	2344	7,2	2340	7,2
Бытовые услуги	1612	4,7	1550	4,7	1529	4,7	1512	4,6
Аренда и деловые услуги	1323	3,9	1289	3,9	1278	3,9	1282	3,9
Гостиницы и общественное питание	988	2,9	970	2,9	977	3,0	996	3,1
Информация и связь	886	2,6	897	2,7	922	2,8	930	2,9
Здравоохранение	793	2,3	797	2,4	796	2,4	812	2,5
Образование	797	2,3	791	2,4	778	2,4	774	2,4
Прочее	2395	7,0	2433	7,3	2498	7,6	2543	7,8

Наибольшую долю занимает торговля (26,4 % в 2024 г.), за ней следуют строительство (12,7 %) и операции с недвижимым имуществом (9,0 %). Общая тенденция показывает постепенное сокращение числа юридических лиц в большинстве отраслей, за исключением гостиничного бизнеса, информационных технологий и здравоохранения, где наблюдается незначительный рост.

На рисунке 6 показано количественное изменение юридических лиц (преимущественно обществ с ограниченной ответственностью и акционерных обществ) по отраслям в процентном соотношении.

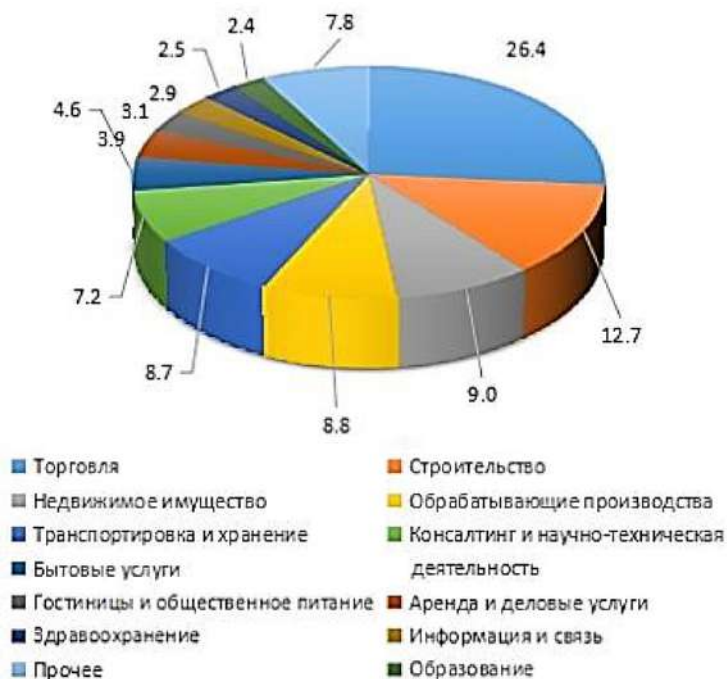


Рис. 6. Количество юридических лиц по отраслям за 2024 г.

Рассмотрим подробнее торговлю и строительство ЮЛ.

1. Торговля.

Выявленные структурные изменения в предпринимательском секторе находят свое отражение и в отраслевой динамике. Особого внимания заслуживает ситуация в торговой сфере, которая традиционно является ключевым сегментом региональной экономики. Как показывает таблица 3, в период с 2021 по 2024 г. отрасль демонстрирует противоречивую динамику: при общем сокращении числа юридических лиц в торговле с 9660 до 8593, темпы снижения постепенно замедляются (с 95,05 до 98,21 %).

Таблица 3

Темп роста компаний юридических лиц в торговой отрасли

Показатель	2021	2022	2023	2024
Торговля	9660	9182	8750	8593
Темп роста торговли, % (к предыдущему)	100	95,05	95,30	98,21

Торговля в Калининградской области занимает ведущую позицию в экономике региона, однако внешнеполитические решения затрудняют данной отрасли показывать пик роста, что прекрасно видно на рисунке 7.

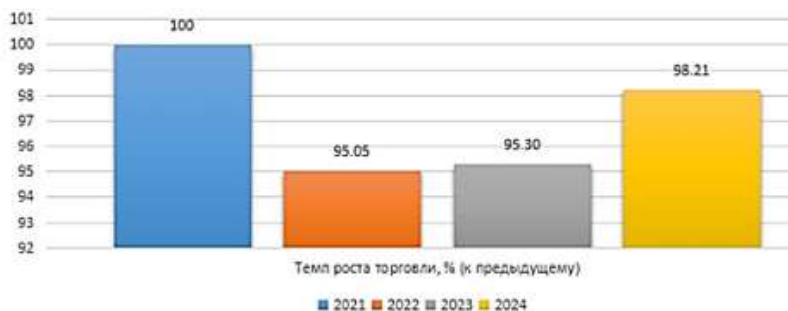


Рис. 7. Темп роста компаний юридических лиц в торговой отрасли

Процентное соотношение также уменьшилось с 28,2 до 26,4 %. Причины снижения обусловлены несколькими факторами. Экономические причины включают влияние пандемии COVID-19, которая привела к ограничениям, закрытию магазинов и снижению покупательской активности, что вызвало банкротство многих компаний. Кроме того, инфляция и рост цен снизили покупательскую способность населения, негативно повлияв на доходы торговых предприятий. Конкуренция усилилась с ростом онлайн-торговли, что сократило количество традиционных торговых точек и привело к закрытию компаний, не успевших адаптироваться. Также измене-

ния в потребительских предпочтениях, где покупатели стали более требовательными к качеству и ассортименту товаров, способствовали закрытию менее конкурентоспособных компаний.

2. Строительство

Рассмотрим теперь динамику развития строительного сектора, представленную в таблице 4 и визуализированную на рисунке 8.

Таблица 4

**Темп роста компаний юридических лиц
в строительной отрасли**

Показатель	2021	2022	2023	2024
Строительство	4324	4218	4126	4148
Темп роста строительства, % (к предыдущему)	100	97,55	97,82	100,53

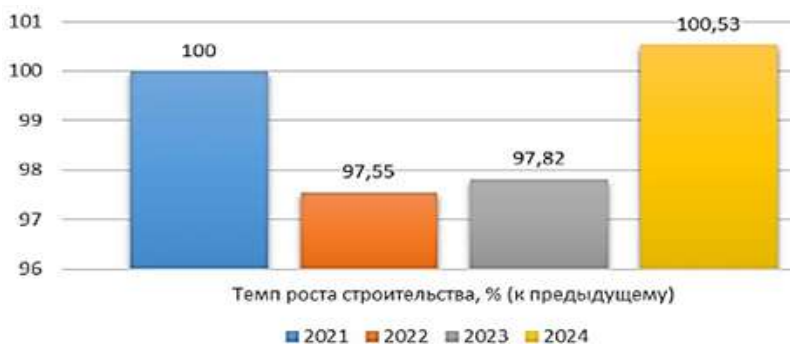


Рис. 8. Темп роста компаний юридических лиц
в строительной отрасли

Строительство в Калининградской области показывает свою стабильность, не смотря на санкционное давления недружественных стран, которое заключается:

1) в ограничении передвижения подвижных составов и грузов через границу со странами Литва, Польша;

2) запрет на поставки специализированного строительного оборудования;

3) блокировка международных расчетов через SWIFT для ряда российских банков, что приводит к задержке поставок и росту цен;

4) прекращение сотрудничества с зарубежными технологическими партнерами.

Количество юридических лиц сократилось с 4324 в 2021 г. до 4148 в 2024 г., однако в последнем отчетном периоде зафиксирован положительный темп роста в 100,53 %. Процентное соотношение остается на уровне около 12,6—12,7 %. Такая устойчивость объясняется спросом на жилье и инфраструктурные проекты, а также государственной поддержкой отрасли.

Таким образом, анализ показывает, что в торговом секторе происходит снижение числа компаний, что связано с экономическими трудностями, изменениями в потребительских предпочтениях и ростом конкуренции со стороны онлайн-торговли. В строительстве наблюдается относительная стабильность, однако факторы, такие как спрос на жилье и регуляторные изменения, могут влиять на динамику. Важно учитывать, что экономическая ситуация и внешние факторы могут продолжать оказывать влияние на все отрасли в будущем.

Индивидуальные предприниматели

Из-за большого притока населения и поддержки государства к индивидуальному предпринимательству, количество населения зарегистрированного как физическое лицо с каждым годом увеличивается.

Наибольшую долю традиционно занимает торговля (37,0 % в 2024 г.), демонстрируя устойчивое лидерство, несмотря на незначительное снижение доли с 38,0 % в 2021 г. (рис. 9). Второе место по численности принадлежит строительному сектору (9,8 % в 2024 г.), который показывает стабильный рост как в абсолютных показателях, так и в процентном соотношении. Особого внимания заслуживает заметное увеличение количе-

ства ИПБОЮЛ в сферах образования (рост на 0,4 п. п.) и гостиничного бизнеса (рост на 0,4 п. п.), что может свидетельствовать о переориентации предпринимательской активности (табл. 5).



Рис. 9. Количества компаний индивидуальных предпринимателей по отраслям за 2024 г.

Таблица 5

Количество и доля основных сфер деятельности для индивидуальных предпринимателей с 2021 по 2024 г. [2; 5]

Вид деятельности	2021		2022		2023		2024	
	Количество компаний, %							
Торговля	11 743	38,0	11 861	37,5	12 479	37,4	12 788	37,0
Строительство	2789	9,0	2937	9,3	3228	9,7	3376	9,8

Окончание табл. 5

Вид деятельности	2021		2022		2023		2024	
	Количество компаний, %							
Транспортировка и хранение	2687	8,7	2649	8,4	2729	8,2	2799	8,1
Консалтинг и на- учно-техническая деятельность	2354	7,6	2397	7,6	2528	7,6	2647	7,7
Недвижимое иму- щество	1840	5,9	1981	6,3	2113	6,3	2261	6,5
Обрабатывающие производства	1702	5,5	1771	5,6	1867	5,6	1946	5,6
Гостиницы и общественное питание	1514	4,9	1647	5,2	1742	5,2	1818	5,3
Бытовые услуги	1629	5,3	1610	5,1	1650	4,9	1713	5,0
Информация и связь	1499	4,8	1514	4,8	1584	4,7	1658	4,8
Аренда и деловые услуги	1024	3,3	1003	3,2	1082	3,2	1144	3,3
Сельское, лесное, рыбное хозяйство	891	2,9	885	2,8	855	2,6	838	2,4
Образование	420	1,4	479	1,5	583	1,7	622	1,8
Прочее	850	2,7	873	2,8	946	2,8	972	2,8

Рассмотрим подробнее торговлю и строительство ИПБОЮЛ.

1. Торговля

Гибкая система ИПБОЮЛ позволяет вести торговлю в различных рыночных сегментах в больших масштабах с хорошей маржинальностью, также физическим лицам удобно вести бизнес с другими странами, что притягивает большое количество людей, к этому типу ведения бизнеса.

Рассмотрим теперь динамику развития торгового сектора, представленную в таблице 6 и визуализированную на рисунке 10.

Таблица 6

**Темп роста компаний индивидуальных предпринимателей
в торговой отрасли**

Показатель	2021	2022	2023	2024
Торговля	11 743	11 861	12 479	12 788
Темп роста торговли, % (к предыдущему)	100	101,00	105,21	102,48

Торговля занимает наибольшую долю компаний: в 2021 г. было 11 743 компании, к 2024 г. их количество увеличивается до 12 788, однако процентное соотношение к общему числу компаний постепенно снижается с 38 до 37 %. Это свидетельствует о росте числа компаний в других секторах, при этом торговля остается ключевым направлением.

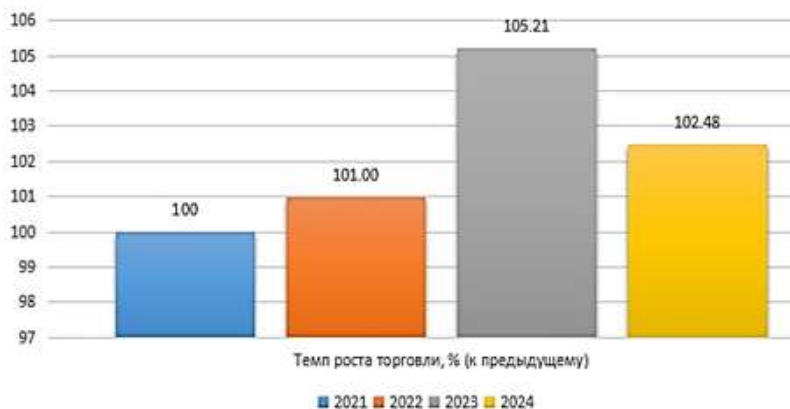


Рис. 10. Темп роста компаний индивидуальных предпринимателей в торговой отрасли

Увеличение числа торговых компаний может быть вызвано действием факторов, таких как восстановление после пандемии COVID-19, рост потребительской активности и формирование новых торговых форматов, включая онлайн-торговлю. Однако

высокий уровень конкуренции и инфляция могут негативно сказываться на менее успешных участниках рынка, что препятствует значительному росту данного сектора.

2. Строительство

Из-за больших объемов работ, юридическим лицам крайне сложно выполнять объекты в срок, именно поэтому много квалифицированных сотрудников регистрируются как индивидуальные предприниматели, чтобы работать по своей специальности и узаконить свои доходы (см. табл. 7).

Рассмотрим теперь динамику развития строительного сектора, представленную в таблице 7.

Таблица 7

Темп роста компаний индивидуальных предпринимателей в торговой отрасли

Показатель	2021	2022	2023	2024
Строительство	2789	2937	3228	3376
Темп роста строительства, % (к предыдущему)	100	105,31	109,91	104,58

Строительство демонстрирует более устойчивый рост: количество компаний увеличилось с 2789 в 2021 г. до 3376 в 2024 г., что составляет рост с 9 до 9,8 % (рис. 11). Увеличение числа строительных компаний может быть связано с регионом, который продолжает развивать свою инфраструктуру, в том е благодаря инвестициям в проекты, такие как дороги и жилые комплексы. Однако среди структурных изменений следует отметить, что консолидация рынка также играет роль, так как крупные компании поглощают или вытесняют мелкие. Это может привести к тому, что увеличение общего числа компаний не всегда означает стабильность всех участников.

Сравнительный анализ данных по ИПБОЮЛ выявляет несколько важных тенденций. Во-первых, сохраняется традиционная специализация индивидуального предпринимательства на торговле и строительстве. Во-вторых, наблюдается посте-

пенная диверсификация деятельности с ростом доли услуг (образование, гостиничный бизнес). В-третьих, в отличие от юридических лиц, ИПБОЮЛ демонстрируют рост практически во всех основных секторах, что подтверждает гибкость и адаптивность этой формы бизнеса.

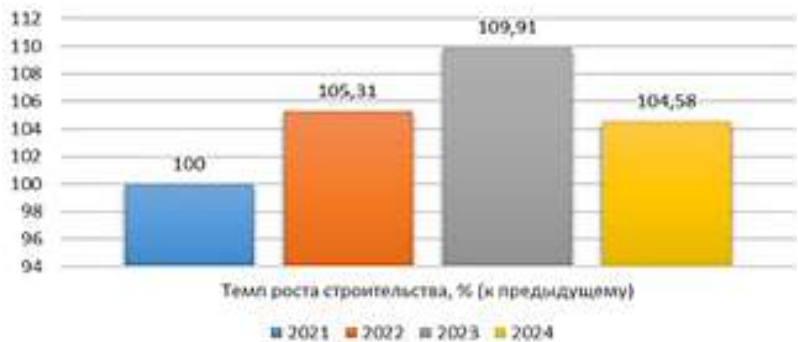


Рис. 11. Темп роста компаний индивидуальных предпринимателей в строительной отрасли

Статистика оказания поддержки

В последние пять лет государственная поддержка малого и среднего бизнеса в России демонстрирует не только количественный рост, но и серьезные изменения в структуре получателей. Анализ данных в таблице 8 позволяет выделить ключевые тренды за период с 2020 по 2024 г.

Таблица 8

Основные тренды (2020—2024) [3]

Категория	2020	2024	Рост (абс.)	Рост (%)
Юридические лица	5884	8483	+ 2599	+44 %
ИПБОЮЛ	9352	14 068	+4716	+50 %
Самозанятые	13	2310	+2297	+17 669 %
В том числе главы крестьянского (фермерского) хозяйства	—	297	+297	—

На представленных ниже диаграммах наглядно отражена динамика количественных изменений среди получателей государственной поддержки, выраженная в процентном соотношении по различным категориям предпринимателей.

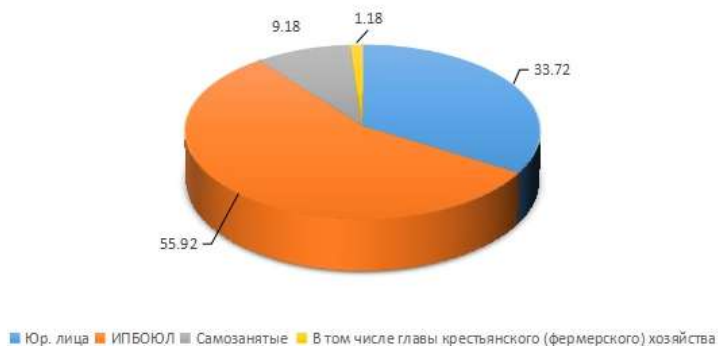


Рис. 12. Основные тренды оказания поддержки за 2020 г.

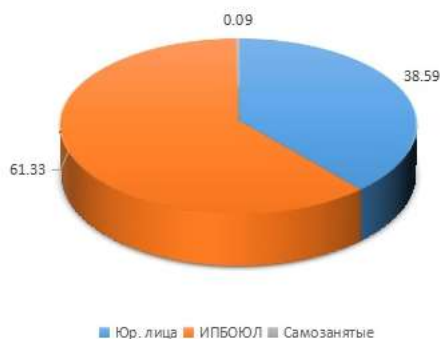


Рис. 13. Основные тренды оказания поддержки за 2024 г.

За период с 2020 по 2024 г. самозанятые стали самой быстрорастущей категорией (+17 669 %) благодаря введению НПД с льготными ставками (4—6 %), программам микрозаймов и упрощенной регистрации через приложение «Мой налог». Однако индивидуальные предприниматели остаются крупнейшей

группой (+50 %) за счет возможности нанимать сотрудников, доступа к кредитам и патентной системе налогообложения. Юридические лица и фермеры также демонстрируют стабильный рост (+44 % и с нуля до 2971 соответственно), что отражает расширение государственной поддержки для всех форм бизнеса. Эти тенденции показывают, что, несмотря на активное развитие гибких форм занятости и цифровизацию экономики, традиционные виды предпринимательства сохраняют свою значимость благодаря системным мерам поддержки.

Динамика регистрации и прекращения деятельности субъектов предпринимательства в Калининградской области

Юридические лица

Из-за сложившийся внешней экономической ситуации несмотря на поддержку государства, смогли устоять на плаву компании называемыми «китами», более мелкие компании, не смогли справиться с изменениями в экономике (табл. 9).

Таблица 9

Регистрация и прекращение деятельности юридических лиц в Калининградской области [4]

Показатели	2020	2021	2022	2023	2024
Зарегистрировавшихся	1495	1459	1273	1340	1452
Прекративших деятельность	6503	2668	2094	1898	1550

Как следует из данных таблицы 9, за период 2020—2024 гг. в Калининградской области сформировалась устойчивая положительная динамика в сфере юридических лиц. Согласно статистике, количество новых регистраций, достигнув минимума в 2022 г. (1273), к 2024 г. выросло до 1452. Параллельно, как видно из тех же данных, число компаний, прекративших деятельность, сократилось в 4,2 раза — с 6503 в 2020 г. до 1550

в 2024 г. Эти тенденции наглядно иллюстрирует график, представленный на рисунке 14, демонстрирующий выраженный перелом негативной динамики после 2020 г.

Анализ представленных позволяют сделать несколько важных выводов. Во-первых, статистика свидетельствует о значительном улучшении деловой среды региона, что особенно заметно при сравнении кризисного 2020 г. и стабильного 2024 г. Во-вторых, стабилизация показателей новых регистраций на фоне резкого сокращения числа закрывающихся компаний (что особенно четко прослеживается на рис. 14) указывает на повышение устойчивости бизнеса и эффективность мер государственной поддержки. В-третьих, сохраняющийся рост регистраций в 2023—2024 гг. позволяет прогнозировать дальнейшее укрепление предпринимательского сектора региона.

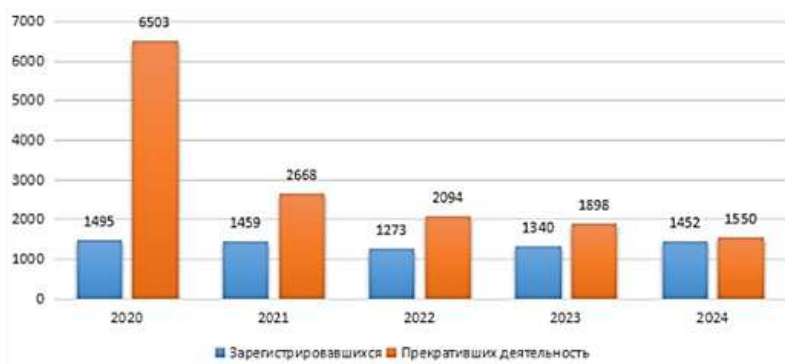


Рис. 14. Динамика регистрации и прекращения деятельности юридических лиц в Калининградской области

Индивидуальные предприниматели

Благодаря упрощенному и гибкому введению бизнеса ИП получило спрос, возможность работать как в малом, так и в крупном бизнес-сегменте, кроме этого, определенный процент сотрудников компаний начали использовать ИПБОЮЛ при заключении договора о найме, увидев в этом более выгодные условия.

Переходя к рассмотрению данных по индивидуальным предпринимателям, представленных в таблице 10, можно отметить устойчивую положительную динамику развития этого сектора.

Таблица 10

Регистрация и прекращение деятельности индивидуальных предпринимателей в Калининградской области [5]

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
Зарегистрировавшихся	4514	5863	5251	6105	6803
Прекративших деятельность	6056	6032	4319	4278	4396

Как следует из статистики, количество зарегистрированных индивидуальных предпринимателей увеличилось с 4514 в 2020 г. до 6803 в 2024 г., демонстрируя стабильный рост, особенно заметный в 2021 и 2023 г.

График, представленный на рисунке 15 наглядно иллюстрирует поступательный рост числа новых регистраций. Однако число индивидуальных предпринимателей, прекративших свою деятельность, оставалось высоким: от 6056 в 2020 г. до 4396 в 2024 г., что свидетельствует о значительных вызовах, с которыми сталкиваются ИПБЮЛ в регионе.



Рис. 15. Динамика регистрации и прекращения деятельности индивидуальных предпринимателей в Калининградской области

Эти данные свидетельствуют о улучшении условий ведения бизнеса для индивидуальных предпринимателей, а также о сохраняющихся трудностях, с которыми сталкиваются ИПБОЮЛ в первые годы деятельности. Особенно показательно сравнение динамики ИПБОЮЛ с ранее рассмотренными данными по юридическим лицам, демонстрирующее более высокую адаптивность индивидуального предпринимательства к изменяющимся экономическим условиям.

Таким образом, обе таблицы демонстрируют позитивные тенденции в увеличении регистрации как юридических лиц, так и индивидуальных предпринимателей в Калининградской области. Однако высокий уровень прекращения деятельности указывает на необходимость более глубокого анализа факторов, влияющих на устойчивость бизнеса в регионе, а также на необходимость разработки мер поддержки для предпринимателей.

Заключение

Анализ развития предпринимательства в Калининградской области за 2020—2024 гг. выявил существенные структурные изменения. Количество индивидуальных предпринимателей увеличилось на 24 %, а численность самозанятых граждан выросла в десять раз. При этом отмечается сокращение юридических лиц на 8,4 %, что отражает изменение предпочтений бизнес-сообщества.

Основными факторами этих изменений стали массовый переход предпринимателей в статус самозанятых благодаря льготному налоговому режиму, а также санкционное давление, значительно осложнившее деятельность юридических лиц, особенно в экспортно-ориентированных секторах. При этом совершенствование регуляторной среды способствовало упрощению процедур для индивидуальных предпринимателей, а эволюция потребительских предпочтений в сторону персонализированных услуг дополнительно стимулировала рост самозанятости.

Анализ предпринимательства выявил ключевые структурные изменения: торговый сектор сохранил лидирующие пози-

ции, занимая 37 % среди индивидуальных предпринимателей. Строительная отрасль продемонстрировала устойчивость, составляя 12,7 % среди юридических лиц. Особенно динамично развивались сферы образования, IT-технологий и гостиничного бизнеса.

Перспективы развития регионального предпринимательства связаны с цифровой трансформацией, кооперационными моделями взаимодействия и совершенствованием инфраструктуры поддержки. Полученные результаты важны для формирования эффективной политики поддержки бизнеса. Дальнейшие исследования помогут оценить устойчивость выявленных тенденций и разработать адресные меры стимулирования предпринимательской активности.

Список литературы

1. *Федеральная* налоговая служба РФ: единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства: количество юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, сведения о которых содержатся в Едином реестре субъектов малого и среднего предпринимательства Калининградской области. URL: <https://rmsp.nalog.ru/statistics.html?statDate=10.03.2020&level=0&fo=2&ssrf=39&t=1744228380732&t=1744228380732> (дата обращения: 03.05.2025).

2. *Компании* Калининградской области : стат. данные по предприятиям Калининградской области // SPARK-Interfax URL: <https://spark-interfax.ru/statistics/region/27000000000> (дата обращения: 03.05.2025).

3. *Реестр* субъектов малого и среднего предпринимательства — получателей поддержки: актуальная статистика оказаний поддержки по Калининградской области // Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства — получателей поддержки. URL: <https://rmsp-pp.nalog.ru/statistics.html#statdate=15.04.2025> (дата обращения: 03.05.2025).

4. *Региональная* статистика : стат. по государственной регистрации ЮЛ и ИП в целом по Российской Федерации // ФНС России. URL: https://www.nalog.gov.ru/rn77/related_activities/statistics_and_analytics/regstats/ (дата обращения: 03.05.2025).

5. *Предприятия и организация* // Территориальный орган федеральной службы государственной статистике по Калининградской области. URL: https://39.rosstat.gov.ru/Enterprises_and_organizations (дата обращения: 03.05.2025).

Н. И. Григоренко¹, В. А. Гутников²

¹ ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» НИЦ «Курчатовский институт» (Москва Россия)

² ФГБУ Центральный научно-исследовательский и проектный институт ЦНИИП Минстроя России (Москва, Россия)

МЕТОДОЛОГИЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ВОСПРИЯТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДАХ

METHODOLOGY OF COMBINING SENSORS FOR VEHICLE PERCEPTION IN CITIES

Аннотация. Рассмотрены процессы объединения датчиков в систему для реализации транспортной мобильности в городах и безопасности при автоматизированном вождении транспортных средств. Оцениваются возможности датчиков, которые используются в автономных транспортных средствах, видеокамер, датчиков LiDAR и радиолокационных датчиков. Совмещены три основных подхода к объединению датчиков и рассмотрены современные методы и алгоритмы объединения датчиков для обнаружения объектов в приложениях автономного вождения.

Abstract. The article considers the processes of combining sensors into a system for the implementation of transport mobility in cities and safety in automated driving of vehicles. The capabilities of sensors used in autonomous vehicles, video cameras, LiDAR sensors and radar sensors are assessed. Three main approaches to sensor fusion are combined and modern methods and algorithms for sensor fusion for detecting objects in autonomous driving applications are considered.

Ключевые слова: автономные транспортные средства; камера; лидар; радар; слияние данных; восприятие

Keywords: autonomous vehicles; camera; lidar; radar; data fusion; perception

© Григоренко Н. И., Гутников В. А., 2025

Введение

Рост различных видов городского транспорта усложняет дорожное движение, возрастает интенсивность транспортных потоков, растет трафик движения, скорость движения транспорта влияет на расход топлива и окружающую среду. Сбор и анализ трафика дорожного движения имеет решающее значение для оптимизации управления дорожным движением и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Для выбора планировочных решений требуется оптимизация система управления дорожным движением, основанная на реальной информации о транспортном движении, локации транспортных средств и потоков в режиме реального времени.

Восприятие транспортным средством дорожной ситуации, может способствовать прогнозированию трафика в городах. Датчики, установленные на транспорте, предоставляют полезную информацию в режиме реального времени и собирать данные о дорожном движении. Кроме того, различные датчики могут предоставлять взаимодополняющие данные, которые можно комбинировать для преодоления ограничений отдельных датчиков и получения более точной информации за счет объединения датчиков. В связи с этим исследования в области алгоритмов объединения датчиков приобрели научную значимость, так как они повышают точность оценки состояния трафика за счет интеграции данных с нескольких датчиков.

Методы исследования

Рассмотрены три основных аспекта объединения датчиков для автономного вождения:

1. Принципы работы и характеристики модальностей датчиков.
2. Три аспекта калибровки датчиков, основные системы калибровки с открытым исходным кодом и их совместимость с другими датчиками.
3. Методы объединения датчиков и алгоритмы обнаружения препятствий в АТС-средах.

Датчики имеют решающее значение для восприятия окружающей среды и локации транспортных средств, для планирова-

ния пути и принятия решений [1—3]. АТС в основном использует несколько видеокамер, радарные датчики, датчики лидар и ультразвуковые датчики для восприятия окружающей среды. В таблице 1 представлена классификация технологий, лежащих в основе функционирования обеспечения восприятия транспортным средством окружающей среды.

Таблица 1

Классификация технологий, лежащих в основе функционирования обеспечения восприятия транспортным средством окружающей среды

Функционал	Аппаратные технологий	Технологические решения
Сбор и обработка данных	Датчики (сенсоры)	Камеры, Лидары, Радары, ультразвуковые датчики. Телематические терминалы, V2V-, V2I-, V2X-модули, сим-карты и др.
Анализ данных и принятие решений	Алгоритмы программного обеспечения	Алгоритмы технического зрения, операционные системы транспортных средств и др.
Исполнение и контроль	Исполнительные блоки (приводы)	Системы приводов, алгоритмы исполнения и др.

Для определения относительного и абсолютного положения транспортного средства используются датчики, в том числе глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), IMU и датчики одометрии транспортного средства [4]. На рисунке 1, показаны какие «органы зрения» нужны беспилотному автомобилю, чтобы уверенно ориентироваться на местности. Расположение нескольких датчиков имеет решающее значение для точного и корректного обнаружения объектов, надежного и безопасного выполнения следующих действий.



Рис. 1. Расположения датчиков в АТС [5]

Одна из наиболее распространенных технологий восприятия окружающей среды — это камера. Эти возможности позволяют системе восприятия транспортного средства распознавать дорожные знаки, светофоры, разметку полос движения и барьеры в случае дорожных транспортных средств и множество других предметов в случае внедорожников. Для восприятия окружающей среды обычно используются три типа камер: монокулярные или бинокулярные; стереокамеры; инфракрасные камеры.

Практикуется использование комбинации из монокулярных или бинокулярных камер. Система монокулярных камер использует одну камеру для создания серии изображений. Обычные монокулярные камеры RGB принципиально более ограничены, чем стереокамеры, поскольку им не хватает собственной информации о глубине, хотя в некоторых приложениях или в более продвинутых монокулярных камерах, использующих аппаратное обеспечение с двухпиксельной автофокусировкой, информация о глубине может рассчитываться с использованием сложных алгоритмов [6]. В результате две камеры часто устанавливаются рядом, образуя бинокулярную систему камер в автономных транспортных средствах.

Стереокамеры содержат два датчика изображения, разделенных базовой линией. Термин «базовая линия» относится к расстоянию между двумя датчиками изображения и различается в зависимости от модели камеры.

Оптические датчики (бортовые камеры), являются относительно дешевой технологией, которая позволяет собирать обширную информацию об окружающей транспортное средство обстановке. Во многих серийных автомобилях в стандартную комплектацию входят системы камер. Но существует ограничение использования бортовых камер: процесс обработки изображений может быть достаточно дорогостоящим и требовать значительных вычислительных мощностей.

Поскольку производительность камеры и создание изображений высокой точности сильно зависят от условий окружающей среды и освещенности, данные изображения часто объединяются с данными других датчиков, такими как данные радара и лидар, для создания надежного и точного восприятия окружающей среды в АТС.

Развитие технологий лидар постоянно развивается, в течение последних десятилетий является одной из основных технологий восприятия для усовершенствованной системы помощи водителю (ADAS) и транспортных средств АВ. Три основных варианта датчиков-лидар, которые можно применять в широком спектре приложений, включают 1D, 2D и 3D LiDAR. В приложениях АВ обычно используются датчики лидар с 64 или 128 каналами для создания лазерных изображений (или данных облака точек) в высоком разрешении. 1D или одномерные датчики измеряют только информацию о расстоянии (координаты X) до объектов в окружающей среде. 2D или двумерные датчики предоставляют дополнительную информацию об угле (координатах Y) целевых объектов. Трехмерные или трехмерные датчики излучают лазерные лучи по вертикальным осям для измерения высоты (координаты Z) объектов вокруг.

Радиообнаружение и определение дальности, или радар, были созданы по принципу излучения электромагнитных волн в интересующей зоне и приема рассеянных волн (или отражений) целей для дальнейшей обработки сигналов и определения дальности информация о целях. Радар непрерывного действия

позволяет оценивать только скорость объекта и не может определять расстояние (нет импульсов, по которым можно измерить время прохождения сигнала до объекта и обратно). Указанное противоречие решено в радаре с частотно-модулированным непрерывным излучением (FMCW-радар). В современных системах активной безопасности предпочтение отдается FMCW-радарам, как более простым и соответственно менее дорогим устройствам. Применяемые радары можно разделить на три основные категории по дальности обнаружения объектов: ближнего радиуса действия (SRR); среднего радиуса действия (MMR); радары дальнего радиуса действия (LRR).

Категория SRR (диапазон 24—29 ГГц) пригодными для обнаружения объектов в слепых зонах, помощи при смене полосы движения, помощи при парковке, контроле бокового движения и других системах ADAS. Радары типов MRR и LRR (диапазон 76—77 ГГц) обеспечивает более «высокое разрешение» (условно говоря) и более высокую точность измерений скорости и расстояния. MRR работает на расстоянии от 30 до 80 м, а тип LRR имеет дальность действия до 200 м, что делает их пригодными для таких систем, как адаптивный круиз-контроль. Одним из существенных недостатков LRR-радаров является то, что их угол обзора уменьшается с увеличением дальности, поэтому некоторые функции, такие как адаптивный круиз-контроль, объединяют входные сигналы от датчиков SRR и LRR.

Функционал радара не зависит от условий освещенности окружающей среды, следовательно может работать днем и ночью, а также в туманную, снежную или облачную погоду. Среди недостатков радарных датчиков — ложное обнаружение металлических объектов вокруг воспринимаемого окружения, таких как дорожные знаки или ограждения, а также проблемы с распознаванием статических, стационарных объектов. На рисунке 2 показан пример ложно-положительного обнаружения объектов на расстоянии около 5—7 м от установленных датчиков. Цветные точки в визуализации облаков точек представляют данные облака точек лидара, а белые точки — данные облака точек радара. Несколько ложноположительных радиолокационных обнаружений выделены серым прямоугольником, расположенным в 5—7 м от радиолокационного датчика. Радио-

локационный датчик в данной установке находился в режиме ближнего действия (макс. дальность обнаружения 19 м). Дорожный конус, расположенный на расстоянии 20 м, не обнаруживается.

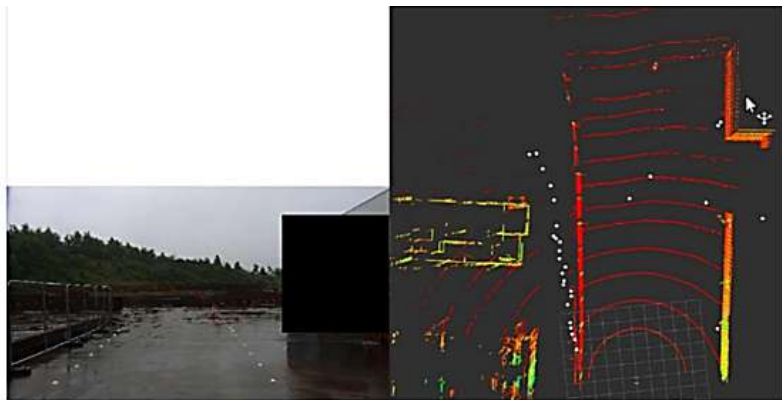


Рис. 2. Пример ложно срабатывания объектов [7]

Однако радарный датчик, как правило, не подходит для распознавания объектов из-за их более низкого разрешения по сравнению с камерами. Поэтому АТС часто объединяют радиолокационную информацию с другими сенсорными данными, такими как камера и лидар, чтобы компенсировать ограничения радарных датчиков. Для восприятия окружения транспортного средства в автоматизированной системе вождения объединяют три основные технологии: радары, лидары и камеры. Это гарантирует предоставление этим системам данных в требуемом диапазоне, с надлежащим разрешением и достоверностью.

Объединение датчиков является важным аспектом большинства автономных систем, например, дорожных беспилотных автомобилей и автономных беспилотных наземных транспортных средств. Интегрируются данные, полученные от нескольких модальностей датчиков, чтобы уменьшить количество неопределенностей обнаружения и преодолеть недостатки отдельных датчиков, работающих независимо друг от друга. Слияние сен-

соров помогает разработать непротиворечивую модель, способную точно воспринимать окружающую среду в различных условиях окружающей среды [8]. Слияние камер и радаров может обеспечить получение изображений с высоким разрешением и относительных скоростей обнаруженных препятствий в воспринимаемой среде.

Результаты

В настоящее время преобладают три основные комбинации датчиков для обнаружения: *камера-лидар* (CL); *камера-радар* (KP); а также комбинации *датчиков камера-лидар-радар* (CLR). Исследование, проведенное в работе [9], показало, что комбинация датчиков CR наиболее часто используется в мультисенсорных системах для восприятия окружающей среды, за ней следуют CLR и CL. Комбинация датчиков CR позволяет получать изображения с высоким разрешением, получая дополнительную информацию о расстоянии и скорости окружающих препятствий. Например, Tesla использовала комбинацию датчиков CR и других датчиков, таких как ультразвуковые датчики, для восприятия окружения автомобиля [10]. Это повышает безопасность резервирования всей автономной системы.

Существует три основных подхода к объединению сенсорных данных из различных сенсорных модальностей в рамках объединения данных с несколькими датчиками (MSDF) слияние: высокого уровня (HLF); низкого уровня (LLF); среднего уровня (MLF).

В подходе HLF каждый датчик независимо выполняет обнаружение объекта или алгоритм отслеживания, а затем выполняет объединение. Подходы HLF часто применяются из-за меньшей относительной сложности, чем подходы LLF и MLF. Однако HLF предоставляет некорректную информацию, так как классификация с более низким значением достоверности отбрасываются, если имеется на пути следования несколько перекрывающихся препятствий.

При подходе LLF данные от каждого датчика интегрируются (или объединяются) на самом низком уровне абстракции (необработанные данные). Вся информация сохраняется и потен-

циально может повысить точность обнаружения препятствий. На практике подход LLF сопряжен с множеством проблем, из-за процесса его реализации. Требуется точная внешняя калибровка датчиков, чтобы точно объединить их восприятие окружающей среды.

MLF известный как слияние на уровне функций, представляет собой уровень абстракции между LLF и HLF. Он объединяет многоцелевые функции, извлеченные из соответствующих данных датчиков (необработанные измерения), такие как информация, о цвете из изображений или характеристики местоположения радара и лидара, а затем выполняет распознавание и классификацию объединенных многосенсорных функций. Однако MLF оказывается недостаточным для достижения системы АВ уровня 4 или 5 по SAE из-за ограниченного восприятия окружающей среды и потери контекстной информации [11].

Методы и алгоритмы объединения датчиков широко изучены в течение последних нескольких лет и в настоящее время хорошо себя зарекомендовали. Применение современных методов и алгоритмов по слиянию является трудной и сложной задачей из-за междисциплинарности и вариантов алгоритмов слияния. Классические алгоритмы объединения датчиков, такие как методы, основанные на знаниях, статистические методы, вероятностные методы и т. д., используют теории неопределенности из-за несовершенства данных, включая неточность и неопределенность для объединения данных датчиков. В работе [12] предлагается система обнаружения круговых перекрестков, и навигации в реальном времени в дорожной среде, использующая комбинацию предложенного алгоритма «Лазерный симулятор» для обнаружения объектов и алгоритма нечеткой логики (FL) на основе знаний для принятия решений.

Алгоритмы слияния датчиков включают в себя создание многоуровневых сетей, которые позволяют им обрабатывать необработанные данные и извлекать признаки для выполнения интеллектуальных задач, например, обнаружения объектов в городской среде для АТС. В контексте АТС алгоритмы, свер-

точная нейронная сеть (CNN) и рекуррентная нейронная сеть (RNN), являются одними из наиболее часто используемых алгоритмов в системах восприятия.

С появлением 3D-сенсоров и разнообразных приложений для понимания 3D-среды окружающего АТС-объекта повышенное внимание уделяется исследованиям по обнаружению 3D-объектов. В работе [13] представлена инфраструктура PointFusion, которая использует данные изображений и необработанные данные облака точек для обнаружения 3D-объектов. Архитектура PointNet представляет собой новую нейронную сеть, которая обеспечивает унифицированную архитектуру для приложений, начиная от 3D-классификации и заканчивая семантическим анализом сцен для обработки необработанных данных облака точек. Существуют алгоритмы слияния датчиков на основе глубокого обучения, в том числе:

- **ResNet**, представляет собой инфраструктуру остаточного обучения, которая облегчает обучение глубоким сетям.

- **SSD**, метод, который дискретизирует ограничивающие рамки в набор прямоугольников с различными размерами и соотношениями сторон для каждого местоположения карты признаков для обнаружения объектов с различными размерами.

- **CenterNet**, современный алгоритм обнаружения 3D-объектов монокулярной камеры, который использует оценку ключевых точек для нахождения центральных точек ограничивающих прямоугольников и регрессирует центральные точки ко всем другим свойствам объекта.

Технологии мультисенсорного синтеза, основанные на обширных исследованиях, достигли значительных преимуществ в автономных системах, начиная от роботов-гуманоидов и заканчивая АТС. Эти системы часто оснащены набором датчиков, которые могут генерировать большой объем данных в час. АТС может генерировать от 383 ГБ до 5,17 ТБ (терабайт) данных в час [14]. Аннотировать данные из всех возможных сценариев, с которыми АТС может столкнуться в реальном мире, включая местоположение, рельеф, погоду и пр., является сложной задачей. На производительность ML/DL для обнаружения, локализации и картографирования объектов влияет качество использо-

емого набора данных; следовательно, низкое качество данных может привести к пресловутому «мусору (данным) на входе и мусору (данных) на выходе».

Выводы

Разработан надежный и эффективный механизм восприятия в беспилотных транспортных средствах, имеющий решающее значение для достижения автономного вождения транспортных средств в городах. Обеспечение безопасности достигается в результате получения точных и надежных результатов восприятия, вследствие объединения информации от мультимодальных датчиков, на основе параметров о расстоянии, скорости, распределении цвета и пр. Предложены методы и алгоритмы мультисенсорного слияния для восприятия, основанных на трех подходах к слиянию датчиков: высокоуровневое, среднеуровневое и низкоуровневое слияние. Следует отметить ряд проблем, связанных с объединением нескольких датчиков для надежного и безопасного восприятия окружающей среды. Основными проблемами являются условия окружающей среды, неуязвимость к вредоносным атакам в моделях с использованием обучающих выборок и нейронных сетей глубокого обучения, низкое качество наборов данных или наборы данных, не охватывающие все возможные среды для антивируса, а также вычислительные затраты на обработку больших объемов наборов данных в режиме реального времени.

Дальнейшая работа направлена на улучшение характеристик обнаружения объектов во всех возможных сценариях и метеорологических условиях, необходимые для обеспечения безопасного и надежного восприятия дорожной ситуации. Одним из подходов к обеспечению более надежного и точного восприятия является улучшение существующих алгоритмов объединения датчиков с помощью совокупности методов машинного обучения сверточных нейронных сетей. Другой подход, уделить больше внимание к разработкам и инвестициям в аппаратную технологию датчиков, чтобы обеспечить более высокое разрешение окружающей среды в городах.

Список литературы

1. Григоренко Н. И., Гутников В. А. Высокоавтоматизированные транспортные средства (ВАТС) // Градостроительство. 2024. № 5—6 (93—94). С. 65—71.
2. Григоренко Н. И., Гутников В. А. Система распознавания объектов беспилотных автомобилей в условиях бездорожья // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2023. № 3-4 (106—107). С. 20—27.
3. Григоренко Д. И., Григоренко Н. И., Гутников В. А. и др. Интеллектуальная мобильность в умных городах посредством онтологии // Академик Владимир Николаевич Образцов — основоположник транспортной науки : тр. Междунар. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 461—465.
4. Андреев Н. А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10, № 1. doi: 10.15862/42ECOR123.
5. Автомобили-беспилотники. Когда можно будет выкинуть права? // МИРТЕСЕН. 2015. URL: <https://4kolesa.mirtesen.ru/blog/43145428156/Avtomobili-bespilotniki.-Kogda-mozhno-budet-vyikinit-prava?nr=1> (дата обращения: 03.03.2025).
6. Рычкова С. И., Лихванцева В. Г. Монокулярная оценка глубины (обзор литературы) // The EYE ГИАЭ. 2022. Т. 24, № 1. С. 43—54. doi: 10.33791/2222-4408-2022-1-43-54.
7. Багутдинов Р. А. Подход комплексирования обработки сенсорной информации в многосенсорных системах при проектировании робототехнических комплексов // Научно-технологические и интеллектуальные системы : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Омск, 12 сентября 2017 г. Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 4—6.
8. Постолит А. В. Перспективы применения искусственного интеллекта и компьютерного зрения в транспортных системах и подключенных автомобилях // Мир транспорта. 2021. Т. 19, № 1. С. 74—90. doi: 10.30932/1992-3252-2021-19-1-74-90.
9. Wang Z., Wu Y., Niu Q. Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey // IEEE Access 2019. Vol. 8. P. 2847—2868. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962554.
10. Деменков Н. П., Цзоу К. Метод обхода препятствий беспилотным автомобилем в динамической среде на основе управления с про-

гнозируемой моделью // Инженерный журнал: наука и инновации. 2021. Вып. 5. URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-5-2082> (дата обращения: 03.03.2025)..

11. *Visteon* | Current Sensor Data Fusion Architectures // Visteon's Approach. URL: <https://www.visteon.com/currentsensor-data-fusion-architectures-visteons-approach/> (дата обращения: 03.03.2025).

12. *Чабан Л. Н.* Методы и алгоритмы распознавания образов в автоматизированном дешифрировании данных дистанционного зондирования : учеб. пособие. М. : МИИГАиК, 2016. 94 с.

13. *Куликин А. Б., Смирнов Е. А.* Нейросетевое детектирование объектов в условиях ограниченного времени // Процессы управления и устойчивость. 2016. Т. 3, № 1. С. 419—424.

14. *Верева Т. В.* Трансформация рынка автомобилестроения на основе цифровых инноваций // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10, № 1. С. 173—188. doi: 10.18334/vinec.10.1.100478.

Т. В. Бочкарева

ФГБУ Центральный научно-исследовательский
и проектный институт ЦНИИП Минстроя России
(Москва, Россия)

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ:
ФИЛОСОФСКО-ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

**THE SYMBIOSIS OF TECHNOLOGY AND THE URBAN MILIEU:
A PHILOSOPHICAL-HISTORICAL EXPLORATION**

***Аннотация.** На протяжении веков города претерпевали значительные изменения, обусловленные множеством факторов. Одной из самых влиятельных сил, повлиявших на облик городов, стали технологии, которые оставили свой след на городской среде. В настоящее время технологии играют все более значимую и интегрирующую роль в процессе изменения городов. Недавнее изобилие разработок и достижений в различных областях техники, как никогда ранее, подчеркивает необходимость изучения взаимосвязи между технологиями и городской средой. Однако для того, чтобы изучить эти взаимосвязи, необходимо понять философские и исторические предпосылки, которые их формируют. На протяжении всей истории человечества существовала тесная связь между философским взглядом на мир, восприятием технологий и их применением, а также технологическими достижениями и их влиянием на города. Первым шагом к осознанию этой связи является понимание природы и философии технологии как таковой. В настоящем исследовании мы стремимся облегчить и представить такое понимание, чтобы расширить горизонты, открывающие нам глаза на взаимодействие между технологией и формой города.*

***Abstract.** Over the centuries, cities have undergone significant changes due to many factors. One of the most influential forces that have influ-*

enced the appearance of cities has been technology, which has left its mark on the urban environment. Nowadays, technology is playing an increasingly important and integrating role in the process of urban change. The recent abundance of developments and advances in various fields of technology highlights the need to explore the relationship between technology and the urban environment more than ever before. However, in order to study these relationships, it is necessary to understand the philosophical and historical background that form them. Throughout the history of mankind, there has been a close connection between the philosophical view of the world, the perception of technology and its application, as well as technological advances and their impact on cities. The first step to understanding this connection is to understand the nature and philosophy of technology as such. In this study, we aim to facilitate and present such an understanding in order to broaden our horizons, opening our eyes to the interaction between technology and the shape of the city.

Ключевые слова: облик города, философский взгляд, городская среда, литературный обзор, философия, феноменология, история

Keywords: *the appearance of the city, philosophical view, urban environment, literary review, phenomenology, philosophy, history*

Введение

На протяжении веков внешний вид городов претерпевал значительные изменения, вызванные множеством факторов. Одним из наиболее значимых изменений стали технологии, которые оставили свой отпечаток на городской среде.

Сегодня технологии играют все более значимую и интегрирующую роль в формировании облика городов. Кроме того, в последнее время было разработано и достигнуто множество новых технологий, что делает актуальным изучение взаимосвязи между технологиями и городской средой как никогда ранее.

Однако для того, чтобы изучить эту взаимосвязь, необходимо понять философские и исторические предпосылки, которые лежат в ее основе. На протяжении всей истории человечества мы можем наблюдать прямую связь между философским взглядом на мир, восприятием технологий и их применения, а также технологическими достижениями и их влиянием на города.

Первым шагом к пониманию этой взаимосвязи является осознание природы и философии технологии как таковой. Это поможет нам лучше понять, как технологические достижения меняли облик городов и какие философские принципы лежали в основе этих изменений.

Цель данного исследования — облегчить и представить такое понимание, а также расширить горизонты, на которые можно взглянуть, изучая взаимосвязь между технологией и формой города.

Важно отметить, что наше исследование охватывает период до начала нового века информации и коммуникаций. Его результаты помогут нам лучше понять эволюцию городской формы в информационную эпоху.

Материалы и методы

Технологические достижения, социальная эволюция и урбанизация имеют давние корни, которые уходят в прошлое и предшествуют возникновению городов, восходя к кочевой стадии развития общества [7].

В рамках данного исследования мы стремимся проанализировать взаимосвязь между технологией и городской формой и жизнью, опираясь на различные классификации, в том числе на парадигматическую классификацию Кларка, Тоффлера и Кевина Линча [6]. С точки зрения промышленности мы можем разделить историю влияния технологий на городской облик и повседневную жизнь на три этапа: доиндустриальный, индустриальный и постиндустриальный (табл. 1).

Таблица 1

Исторические вехи и городской облик

Историческая эпоха		Теория
Доиндустриальный период	Сельскохозяйственный век	Универсальная городская форма
Промышленный	Индустриальный век	Механическая модель городской формы
Постиндустриальный	Новый век (информационный)	Органическая модель городской формы

Теоретики, о которых шла речь выше, предложили различные объяснения технологическим достижениям, характерным для каждой эпохи. Тоффлер, например, считает, что сельскохозяйственная экономика является ключевым фактором в формировании городских сообществ. Однако Линч полагает, что духовные и метафизические тенденции играют основополагающую роль в развитии городов.

Важно отметить, что невозможно точно определить, когда начались и закончились предыдущие эпохи. Человеческая среда обитания в целом и города в частности всегда находились под влиянием этих трех периодов. Иными словами, эти эпохи все еще существуют. Как уже упоминалось ранее, промышленная революция XVIII в. стала поворотным моментом в этом эволюционном процессе.

Технологии играли разную роль в городской среде на различных этапах истории урбанизации, включая доиндустриальную эпоху. Это связано с тем, что в разные времена технология рассматривалась как концепция с различной функциональной целостностью и ее влиянием на облик города.

К числу исследователей, которые изучали этот вопрос, относятся:

- Мамфорд (1968);
- Линч (1981);
- Хайдеггер и другие (1998);
- Руссо (1960);
- Островский (1970);
- Вебер (1966);
- Пейси (1990);
- Беневоло (1980).

Эти и другие авторы (всего около 20) представили свои взгляды на роль технологий в развитии городов, эти взгляды и были мной проанализированы и систематизированы.

Можно провести параллель между тем, как развивались и расширялись города, и прогрессом транспортных технологий. Если бы не было скоростных автомобилей и метро, города не стали бы такими большими, а расстояние между жилыми рай-

онами и внешними пространствами, включая рабочие места, зоны отдыха и учебные заведения, было бы значительно меньше с точки зрения времени в пути.

Современные городские здания и сооружения зависят от надежной работы инженерных сетей, таких как водоснабжение, электричество и телефонная связь. Если бы эти системы не могли обеспечить подачу воды на верхние этажи зданий или если бы линии электропередач не могли обеспечить достаточное количество электроэнергии для лифтов, города не смогли бы значительно изменить свою высоту и форму. Здания, как и другие объекты, не остались в стороне от влияния технологий. Прогресс в области строительства, безусловно, отразился на форме, высоте, объеме, площади и других характеристиках зданий.

Модели землепользования в городах и такие факторы, как плотность застройки, демографические показатели, а также распределение земель и их стоимость, стали следствием достижений строительной техники, которые выступают в роли движущей силы. Эти факторы, в свою очередь, оказывают влияние на экономическую эффективность, энергопотребление, интенсивность дорожного движения, социальные отношения, загрязнение окружающей среды и даже на образ жизни в городе [4].

Форма маршрутов и расположение зданий вдоль них, а также красота и дизайн городских пейзажей — все это требования, на которые оказывают влияние современные технологии. Что касается коммуникации, то развитие современных систем связи, особенно в индустриальном мире, способствовало тесному взаимодействию между городами и горожанами, несмотря на большие расстояния, разделяющие их. Традиционные системы связи, такие как телеграф и телефон, а также более современные — мобильные телефоны, телевидение и радио — сыграли ключевую роль в этом процессе. Эти достижения также значительно изменили транспортные системы, включая автомобили и поезда.

Таким образом, их влияние на облик и форму городов, а также на использование маршрутов, зданий и городских ландшафтов было разнообразным. Эти технологии оказали воздействие на процессы, происходящие в различных областях, таких как

финансы, администрация, торговля и образование, а также на связующие сети, такие как автомагистрали. Все это отражено мной в таблице 2.

Таблица 2

**Технологический прогресс и изменение формы городов
в индустриальную эпоху.
Влияние исторических событий
на форму города [4; 6]**

Область	Историческое событие	Влияние на облик города
Транспорт	• Прокладка железных дорог к центру городов. • Развитие систем городского железнодорожного транспорта. • Конки в 1830-х гг., канатные дороги в 1870-х гг. и электрические троллейбусы в 1880-х гг. • Использование энергии воды для питания заводов. • Паровая энергия в 1830-х гг. • Железнодорожный транспорт в начале 1830-х гг. • Линии конного транспорта в 1830—1880-х гг. • В середине 1890-х гг. электрические тележки и вагонетки-экспрессы, а также железнодорожные системы экспресс-поездов. • Развитие автомобилестроения в 1920-х гг.	• Значительное расширение городской среды обитания. • Создание первых фабрик за пределами крупных городов, вдоль рек, для обеспечения доступа к гидроэнергетике. • Создание фабрик в городах по соседству с портовыми сооружениями, железными дорогами и городской рабочей силой. • Удобное транспортное сообщение между пригородами и центром города и увеличение численности населения в пригородах. • Развитие улиц, автомагистралей и скоростных магистралей для размещения автомобилей. • Развитие пригородных служб и видов деятельности. • Перенос производственных мощностей в места, доступные по железной дороге и шоссе

Продолжение табл. 2

Область	Историческое событие	Влияние на облик города
Коммунальные услуги	• В середине XIX в. промышленное развитие, расширение городов и увеличение плотности населения привели к увеличению потребности в энергии и медицинских услугах. • С конца XIX в. — изобретение электрической лампочки и потребность в большем количестве бытовой техники. • Концентрация электрического оборудования и сооружений в городах. • Непрерывный рост городского населения	• Создание инженерных сетей (водоснабжение, канализация, электричество, трубопроводный газ): города опутаны проводами и трубами. • Развитие пригородов. • Создание заводов внутри городов. • Внедрение в городах новых услуг и электронных технологий. • Постоянное развитие и совершенствование коммунальных услуг с повышением качества
Строительство	• Изобретение / использование электроэнергии. • Изобретение лифта. • Разработка методов изготовления металлических корпусов. • Прогресс в технологии и материалах. • Использование механистического подхода в качестве идеала в дизайне как механической системы и архитектурной машины	• Открытие новых форм застройки в виде малоэтажных сооружений в пригородах и высотных зданий в центре города. • Коммерческие и деловые районы претерпели радикальные изменения в результате строительства высотных зданий и небоскребов в период с 1870 по 1900 г. • Развитие пригородных высотных зданий в последующие годы. • Появление разнообразных промышленных зданий различных форм, от крупных заводских комплексов в промышленных зонах до небольших мастерских

Окончание табл. 2

Область	Историческое событие	Влияние на облик города
Взаимодействие	• Развитие сети физической инфраструктуры, такой как городские магистрали, в середине 1950-х — 1960-х гг. • Изобретение традиционных средств связи, таких как телеграф, телефон, радио и телевидение	• Упрощение поездок «белых воротничков» из пригорода в центр города и стабилизация жизни в центре города. • Повышение скорости работы между бизнес-центрами, зависящими от персонала «белых воротничков». • Относительная децентрализация некоторых крупных предприятий в центре города

Результаты

На протяжении истории, особенно после промышленной революции, технология способствовала значительным экономическим преобразованиям.

Работники, которые раньше трудились на фермах, были перемещены на фабрики.

На фабриках получили распространение традиционные методы производства, а рабочие и их семьи стали мигрировать в крупные города.

Стандартизация, специализация и синхронизация претерпели изменения в связи с распространением методов фабричного производства, как это описал Элвин Тоффлер в своей книге «Шок будущего» (1980). Эти технологические нововведения привели к значительным экономическим преобразованиям.

В свою очередь, экономические изменения вызвали социальные и демографические трансформации. Это, в свою очередь, повлияло на восприятие городов и их облика, а также на стремление людей к путешествиям в отдаленные места, ближе к природе [7].

Городские формы и урбанизация изменились в ответ на формирование новых социальных и экономических институтов. Кульминацией этих изменений стала модернизация. Как только

она стала реальностью, дух современности проник в городские пространства, оказывая влияние на человеческое сознание и формируя новые требования.

Развитие промышленности привело к значительным изменениям в демографическом распределении. В городских окраинах и центрах были созданы промышленные зоны, и появились новые городские социальные классы, включая рабочий класс, как описано в книге Джабери Могаддама «Создание современного города» [2]. Кроме того, разнообразие торговых путей сформировало новые границы, как пространственные, так и территориальные.

Традиционные города с их упорядоченными и запутанными структурами были заменены на сетевые, которые обеспечивали движение автомобилей и канатных дорог. Это привело к изменениям в условиях жизни и моделях социального поведения.

Главными целями этих нововведений были быстрое функциональное реагирование и экономичное соотношение затрат и выгод. По мере того, как технологии стали широко применяться после промышленной революции, появились новые города, основанные на современных моделях потребления.

Такой подход включал в себя принципы, такие как:

- совместное использование помещений;
- общественное благо;
- владение акциями;
- беспристрастность;
- справедливость;
- отзыв;
- небрежность.

Эта перспектива открывает множество возможностей для преобразования городов, хотя и имеет прямые экономические и социальные последствия [2].

Характер технологий, возникших после промышленной революции, претерпел значительные изменения. Под влиянием модели массового производства, основанной на фабричном подходе к производственным процессам, а не на традиционных кустарных и цеховых мастерских, они приобрели отличительную черту экстенсивного распространения.

Эта тенденция достигла своего пика в экономических школах фордизма и постфордизма, которые сформировались в XX в. Обе эти модели были основаны на рациональной и эффективной организации, направленной на достижение высокой производительности при производстве максимально возможного количества продукции с минимальными затратами.

Наиболее значительным влиянием технологий на урбанизацию стало их конкурентное преимущество перед сельскими районами. Города смогли сконцентрировать больше рабочей силы и предложить необходимые площади для размещения заводов и компаний. В эпоху фордизма сырье и рабочая сила стали ключевыми факторами для размещения предприятий и фирм. Однако в эпоху постфордизма эти факторы были вытеснены более значимым аспектом — доступностью, что стало причиной переноса заводов за пределы города. Фабрики начали группироваться в кластеры на окраинах, создавая плотные скопления производственных объектов.

Места, освободившиеся после сноса заводов эпохи Фордизма, нашли новое применение. Здесь стали появляться новые компании и офисы.

Важно отметить, что технологии не только оказали влияние на окружающую среду человека, но и изменились сами по себе. Это, в свою очередь, изменило формальную структуру городской среды, особенно в ее центральных районах.

Новые условия и требования привели к развитию таких дисциплин, как исследование операций, кибернетика и теория информации, теория игр и автоматическое управление.

Заключение

В наше время технология стала рассматриваться как средство, способствующее гармонизации отношений с природой, и, как следствие, неотделимое от человека. Однако ей не хватало самостоятельности и способности к интеграции, поэтому она находилась в зависимости от множества факторов, определяющих дух времени.

Таким образом, в наше время технологии не обладали достаточной динамикой, чтобы изменить облик города, и использова-

лись лишь как инструмент для проявления различных тенденций и склонностей, характерных для того периода в отношении городской среды.

Тем не менее история доиндустриальных городов, таких как архаичные, античные, средневековые и города эпохи Возрождения и барокко, очевидно, подготовила почву для социально-экономических изменений и трансформации городских форм в последующие столетия.

В индустриальную эпоху технология стала динамичным, одномерным и воспроизводимым элементом процесса, ориентированным на производство. Она служила не только для удовлетворения человеческих потребностей, но и создавала условия для появления новых, которые в свою очередь сформировали новый стиль жизни для людей.

Технология превратилась из средства покорения природы и контроля над ней в независимое от человека явление, способное творить историю. В этот период город обрел автономный динамизм, который был самостоятелен и эндогенен, оторвавшись от механизмов, наблюдаемых в сельском хозяйстве.

Подводя итог, можно сказать, что технический прогресс в индустриальную эпоху, а также политические, социальные и экономические преобразования конца XX в. привели к новой революции в образе жизни человека. Эта революция, основанная на достижениях в области информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), коренным образом изменила среду обитания человека в целом и облик городов в частности.

Список литературы

1. *Хайдеггер М.* Вопрос о технике // Хайдеггер М. Время и бытие: Статьи и выступления / пер. с нем. В. В. Бибихина. М. : Республика, 1993. С. 221—238.
2. *Jaberi Moghaddam M.* Shahr va Moderniteh (City and Modernity). 1st ed. Tehran : Ministry of Culture and Islamic Guidance, Printing & Publishing Organization, 2005. 248 p.
3. *Щедровицкий П.* Философия развития и проблема города // Гуманитарный портал. 2021. URL: <https://gtmarket.ru/library/articles/2516> (дата обращения: 03.03.2025).

4. *Кроес П.* Философия технологии // Краткая энциклопедия философии Рутледжа = Routledge Encyclopedia of Philosophy / под ред. Э. Крейга. Милтон-Парк, Оксон ; Нью-Йорк : Routledge, 1998.

5. *The City Reader* / ed. by R. T. LeGates, F. Stout. 2nd ed. L. ; N.Y. : Routledge, 2000. 574 p.

6. *Линч К.* Теория хорошей городской формы / пер. с англ. В. Л. Глазычева. М. : Стройиздат, 1986. 264 с.

7. *Островски В.* Современное градостроительство: от истоков до Афинской хартии = Współczesne urbanistyka: od początków do Karty Ateńskiej / пер. с пол. М. Я. Барабаш. М. : Стройиздат, 1979. 262 с.

8. *Пейси А.* Технология в мировой цивилизации: Тысячелетняя история = Technology in World Civilization: A Thousand-Year History / пер. с англ. В. Л. Глазычева. М. : Мир, 1997. 246 с.

9. *Аммосов Ю.* Возвращение дружелюбного города (новый урбанизм) // Эксперт. 2005. URL: <https://bistrast.ru/articles/stat117.php> (дата обращения: 03.03.2025).

И. В. Новиков, С. А. Сычев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
(Екатеринбург, Россия)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ МОДУЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ

ECONOMIC EFFICIENCY OF CONSTRUCTION FROM PREFABRICATED MODULES OF INCREASED FACTORY READINESS

***Аннотация.** Строительство является одной из крупнейших отраслей в мире, занимающее ключевую роль в устойчивом развитии городов и общества. Однако сейчас оно столкнулось с рядом проблем, связанных с преобладающей долей использования традиционных технологий. Проблемы связаны с низкой эффективностью технических и технологических решений, а также с высокими трудозатратами при строительстве. Следовательно, необходимо выполнить комплексный переход от традиционных методов домостроения к индустриальным. Поэтому быстровозводимые технологии строительства являются наиболее интенсивно развивающимися в текущий момент. Целью данного исследования является анализ экономической эффективности строительства с применением быстровозводимых модульных систем повышенной заводской готовности по сравнению с традиционными методами возведения объектов капитального строительства.*

***Abstract.** Construction is one of the largest industries in the world, playing a key role in sustainable urban and societal development. However, it currently faces several challenges related to the predominant use of traditional construction technologies. These issues are associated with low efficiency of technical and technological solutions as well as high labor costs during construction processes. Therefore, there is an urgent need*

for a comprehensive transition from conventional building methods to industrialized ones. Consequently, rapid assembly construction technologies have become the most intensively developing at present. The aim of this study is to assess the economic efficiency of using fast-assembly modular systems with increased factory readiness compared to traditional methods of capital construction object erection.

Ключевые слова: *строительные технологии, быстровозводимые модульные системы, индустриальное домостроение, сметная стоимость*

Keywords: *construction technology, prefabricated modular systems, industrial housing construction, estimated cost*

Введение

В настоящее время классические технологии домостроения с преобладающим количеством ручного труда широко применяются на строительных площадках. Самой популярной из них является монолитное домостроение. Однако оно обладает рядом существенных недостатков, обусловленных недостаточной технологичностью и низкой эффективностью использования имеющихся ресурсов: низкая скорость строительства, значительные трудозатраты, высокий уровень отходов и затрат на эксплуатацию готовых объектов [1; 5; 6; 10; 18].

В условиях глобального экономического кризиса, а также условиях, требующих освоения отдаленных регионов нашей страны и необходимостью реконструкции городов, важно сосредоточиться на оптимизации проектирования и строительства зданий и сооружений. Работа над повышением эффективности и технологичности строительной отрасли позволит снизить отрицательное воздействие на общество и окружающую среду. Подобный эффект может быть достигнут за счет увеличения доли индустриальных высокотехнологичных методов массовой жилой застройки. К данным методам относятся здания, возводимые с использованием быстровозводимых модульных систем повышенной заводской готовности, в которых значительная доля трудовых операций перенесена в производственные цеха.

Данный подход позволяет существенно сократить сроки строительства, уменьшить количество трудовых ресурсов и улучшить качество конечного продукта [3; 8].

Для определения эффективности использования заводских строительных элементов для массового домостроения было проведено сравнение экономической эффективности строительства с использованием промышленных технологий по отношению к традиционным методам домостроения, без учета стоимости земельного участка.

Основная часть

Традиционный подход к строительству многоэтажных зданий характеризуется рядом существенных ограничений и сложностей, которые оказывают значительное влияние на весь процесс строительства [1; 3—6; 20]. В свою очередь, промышленное домостроение представляет собой комплексный подход к строительству, основанный на принципах массового производства и стандартизации благодаря предварительному производству основных строительных элементов в заводских условиях, что обеспечивает высокую точность и качество продукции. Такой подход позволяет не только снизить высокую трудоемкость, но и уменьшить зависимость от человеческого фактора и климатических условий [7; 9; 11; 13].

Наибольшей технологичностью обладают заводские строительные системы повышенной заводской готовности. Во времена Советского Союза учеными-инженерами было создано множество объемно-блочных быстровозводимых строительных систем, наиболее популярными из которых являются: БКР-2, ЗА-ОПБ, ЭЖ ИП, Э-124(125) и Э-179 [11; 21].

К сожалению, производство крупноблочных комплексов сохранилось только на территории города Минск. В настоящие дни, ориентируясь на научно-технические достижения прошлого, создаются новые и актуальные серии быстровозводимых объемно-блочных модулей. Однако новые системы еще не получили большой огласки. Поэтому оценочно-сравнительный расчет возможно выполнить только на основании данных о советских системах. Для этого необходимо выполнить перерасчет

сметной стоимости строительства одного квадратного метра к текущим ценовым значениям. К сожалению, определить сегодняшнюю стоимость возможно только у тех систем, которые были расположены на территории нынешней Российской Федерации.

Для перевода сметной стоимости строительства из цен 1980 г. необходимо выполнить несколько ступеней индексации. Перевод стоимости строительства из цен 1980 г. в цены 1991 г. не составляет большой сложности, поскольку было выпущено только два нормативных документа об индексах изменения стоимости строительства [23; 24]. Однако дальнейший расчет индексов для перевода из цен 1991 г. в цены 2001 г. вызывает определенные трудности, поскольку на тот момент не выпускались сборники об индексации. Следовательно, расчет нужно производить по ежемесячным и ежеквартальным данным изменения сметной стоимости, предоставляемым Минстроем Российской Федерации [15]. В данном письме указаны значения индексов сметной стоимости строительства на 1991 г. и индексы к ТЕР-2001 для каждого региона страны. Таким образом выполнив обратное деление значения индекса 1991 и 2001 г., можно получить значение коэффициента перевода цен СМР из 1991 г. в цены СМР 2001.

Затем на основе сборников можно получить стоимость на 4-й квартал 2020 г. Однако дальнейший расчет стоимости по сборникам не возможен, поскольку после была введена новая методика расчета сметной стоимости строительства. Поэтому автором предложено два варианта расчета, поскольку точного результата представляет некоторую сложность из-за того, что построенные советские здания разбросаны по регионам страны. Поэтому расчет обладает некоторой условностью.

— *I вариант*: расчет произведен для одного региона — Свердловская область, поскольку индексы по всем регионам колеблются в ближайшем диапазоне. УрЦЭЦС предоставляет ежемесячно данные расчета индексов изменения стоимости строительства по статьям затрат и единые индексы по видам строительства. В связи с тем, что единый индекс на СМР для

объемно-блочного строительства еще не разрабатывался в 2025 г., то для расчета принимаем индекс на ремонтно-строительные работы — 13,42 [12].

— *II вариант*: переход от цен 2020 г. в цены первого квартала 2025 г. произведен на основании данных Росстата об инфляции по годам [16; 17].

На основании вышеизложенного описания составлена таблица перехода сметной стоимости строительства объемно-блочных зданий (табл. 1).

Таблица 1

Сводный расчет сметной стоимости индустриального домостроения

Экономические показатели сметной стоимости строительства	Индустриальные модульные системы				
	БКР-2		ИЖ ИП	Э-124 (125)	Э-179
	Краснодар	В. Салда	Волжск	Вологда	Хабаровск
Стоимость 1980 г., руб/м ²	109	133	180	127	145
<i>Индексы перевода сметной стоимости из 1980 в 1984 г.</i>					
Индекс изменения сметной стоимости СМР	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
Территориальный индекс	1,04	1,01	1,07	1,01	1,01
Итоговый индекс	1,26	1,22	1,29	1,22	1,22
<i>Индексы перевода сметной стоимости из 1984 в 1991 г.</i>					
Индекс изменения сметной стоимости СМР	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59

Продолжение табл. 1

Экономические показатели сметной стоимости строительства	Индустриальные модульные системы				
	БКР-2		ИЖ ИП	Э-124 (125)	Э-179
	Краснодар	В. Салда	Волжск	Вологда	Хабаровск
Территориальный индекс	1,01	1,02	0,94	1,04	1,05
Итоговый индекс	1,61	1,62	1,49	1,65	1,67
<i>Индексы перевода сметной стоимости из 1991 в 2001 г.</i>					
Индекс сметной стоимости на СМР к 2001 г.	57,13	46,32	58,72	57,57	63,11
Индекс изм. сметной стоимости СМР к ТЕР-2001	6,01	5,63	5,71	6,25	5,26
Итоговый индекс	9,51	8,23	10,28	9,21	12,00
Итог 01.01.2001 г., руб/м ²	2102,83	2163,35	3556,65	2354,55	3545,08
<i>I вариант расчета сметной стоимости строительства</i>					
Индекс изм. сметной стоимости СМР I кв. 2025 г.	—	13,42	—	—	—
Итог на I кв. 2025 г. без НДС, руб/м ²	—	29 032,16	—	—	—

Окончание табл. 1

Экономические показатели сметной стоимости строительства	Индустриальные модульные системы				
	БКР-2		ИЖ ИП	Э-124 (125)	Э-179
	Краснодар	В. Салда	Волжск	Вологда	Хабаровск
<i>II вариант расчета сметной стоимости строительства</i>					
Индекс изм. сметной стоимости СМР из 2001 г. в ТЕР IV кв. 2020 г.	8,57	7,78	7,96	9,33	8,36
Индекс изм. сметной стоимости СМР из 2001 г. в ФЕР IV кв. 2020 г.	—	8,96	—	—	—
Индекс инфляции из IV кв. 2020 г. в I кв. 2025 г.	1,457				
Стоимость в ТЕР I кв. 2025 г. без НДС, руб/м ²	26 256,97	24 522,57	41 249,03	32 007,31	43 180,92
Стоимость в ФЕР I кв. 2025 г. без НДС, руб/м ²	—	28 241,90	—	—	—

Для сравнения экономической эффективности также выполнен расчет сметной стоимости строительства по монолитной технологии тем же способом, что и расчет для крупноблочного строительства (табл. 2) [14; 17; 22].

Таблица 2

**Расчет сметной стоимости традиционного (монолитного)
домостроения**

Экономические показатели сметной стоимости монолитного строительства в Московской области						
Сметно-нормативная база	Стоимость СМР 1991 г., руб/м ²	Индекс изм. сметной стоимости на СМР из 1991 г. в 2001 г.	Итого на 2001 г., руб/м ²	Индекс изм. сметной стоимости на СМР из 2001 г. в IV кв. 2020 г.	Индекс инфляции с IV кв. 2020 г. на I кв. 2025 г.	Итого на I кв. 2025 г. без НДС, руб/м ²
ФЕР	523,50	11,54	60 42,51	8,82	1,427	76 051,88
ТЕР				8,68		74 844,70

На основании обновленной сметной стоимости строительства проведен сравнительный анализ сметной стоимости для определения экономической эффективности строительства с применением индустриальных крупноблочных модульных систем. При сравнении результатов расчетов экономической эффективности по приведенным к ФЕР значениям получаем следующий результат:

$$100 \% - \frac{28\,241,90}{76\,051,88} 100 \% - 37,14 \% = 62,86 \%$$

Данный показатель ориентировочный, так как выбраны конкретные регионы и объекты строительства. Но полученный результат дает представление о порядке эффективности индустриального строительства по сравнению с монолитным строительством (табл. 3). В целом можно говорить об эффективности 40—50 %.

Также эффективность индустриального домостроения отмечают и за рубежом. Так, например, отличным примером внедрения индустриального домостроения является два жилых здания, построенных одним застройщиком China Vanke. Согласно литературному источнику [2], в котором описано сравнение строительства зданий-близнецов с практически идентичным конструктивными и архитектурными решениями, расположенных в одном квартале Пекина.

Таблица 3

Результаты сравнительного анализа [2]

Тип ресурсов или выбросов	Количество использованных ресурсов / созданных отходов	А	Б	А—Б	В
Строительные материалы	Сталь, кг/м ²	52,46	51,98	0,48	0,91 %
	Тяжелый бетон, м ³ /м ²	0,37	0,41	–0,04	–10,81 %
	Древесина, кг/м ²	13,76	4,00	9,76	70,93 %
	Вода, м ³ /м ²	0,74	0,55	0,19	25,68 %
	Бетонный раствор, кг/м ²	16,20	2,68	13,52	83,46 %
	Теплоизоляция, кг/м ²	11,6	2,89	8,27	74,10 %
Энергетические ресурсы	Электроэнергия, кВт/м ²	7,29	4,30	2,99	41,02 %
	Дизель, МДж/м ²	15,78	7,60	8,18	51,84 %
	Уголь, кг/м ²	0,00	1,19	–1,19	–100,0 %
Отходы	Бетонный раствор, кг/м ²	0,16	0,03	0,13	81,25 %
	Теплоизоляция, кг/м ²	0,31	0,14	0,17	54,84 %
	Сталь, кг/м ²	1,04	0,66	0,38	36,54 %
	Тяжелый бетон, кг/м ²	13,69	10,28	3,41	24,91 %

Используя метод индустриального домостроения, компания смогла существенно сократить количество используемых материалов, а также количество отходов и расходов на их утилизацию. Данное сравнение наглядно демонстрирует, что индустриальных

подход может является энерго- и ресурсно-эффективным методом строительства, тем самым являться преимущественным направлением в строительной отрасли.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает значимость перехода строительной отрасли от традиционных методов домостроения к индустриальным технологиям, включая использование быстровозводимых модульных систем. Данные методы позволяют существенно снизить экономические, экологические и социальные издержки. Сравнительный анализ сметной стоимости показал, что применение быстровозводимых технологий значительно снижает затраты на строительство, тем самым сэкономленные ресурсы могут быть направлены на развитие индустрии строительства, а также иные необходимые затраты, способные обеспечить устойчивое развитие городской инфраструктуры. Подобные выводы подтверждают и зарубежные исследователи. Таким образом, внедрение быстровозводимых модульных систем представляет собой перспективное направление модернизации строительной отрасли, способствующее повышению эффективности использования ресурсов и достижению высоких стандартов качества строительства.

Список литературы

1. *Chen X., Su S., Yuan J. et al.* Analyzing the environmental, economic, and social sustainability of prefabricated components: Modeling and case study // *Sustainability*. 2024. Vol. 16. Art. 342.
2. *Cao X., Li X., Zhu Y. et al.* A Comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China // *Journal of cleaner production*. 2015. Vol. 109. P. 131—143.
3. *Fathin H. I., Shahrestani M., Vahdati M. et al.* Climate change and the energy performance of buildings in the future — A case study for prefabricated buildings in the UK // *Building Engineering*. 2021. Vol. 39. Art. 102285.

4. *Xiang Y., Ma K., Mahamadu A. et al.* Embodied carbon determination in the transportation stage of prefabricated constructions: A micro-level model using the bin-packing algorithm and modal analysis model // *Energy and Buildings*. 2023. Vol. 279. Art. 112640.

5. *Ferdous W., Bai Y., Ngo T. et al.* New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings — A state-of-the-art review // *Engineering structures*. 2029. Vol. 183. P 883—893.

6. *Setaki F., Timmeren A.* Disruptive technologies for a circular building industry // *Building and Environment*. 2022. Art. 109394.

7. *Lacey A. W., Chen W., Hao H. et al.* Structural response of modular buildings — an overview // *Journal of building engineering*. 2018. № 16. P. 45—56.

8. *Tavares V., Gregory J., Kirchain R. et al.* What is the potential for prefabricated buildings to decrease costs and contribute to meeting EU environmental targets? // *Building and Environment*. 2021. Vol. 206. Art. 108382.

9. *Wuni I. Y., Shen G. Q., Hwang B.* Risks of modular integrated construction: A review and future research directions // *Frontiers of Engineering Management*. 2020. Vol. 7. P. 63—80.

10. *Zhou J., Li Y., Ren D.* Quantitative study on external benefits of prefabricated buildings: From perspectives of economy, environment, and society // *Cities and Society*. 2022. Vol. 86. Art. 104132.

11. *Киреенкова Е. А., Благодер Т. П., Кузовлева И. А. и др.* Анализ экономических аспектов объемно-блочного скоростного строительства: российский и зарубежный опыт // *Экономическая политика и ресурсный потенциал региона : сб. матер. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Брянск, 2020. С. 70—76.

12. *Ильиных Л. С., Богоманова И. Р., Казаченко Е. В.* Информационный вестник строителя / под ред. М. Л. Капустин. Верхняя Пышма : XXI ВЕК, 2025. 52 с.

13. *Дементьев Н. М., Волкодав В. А., Волкодав И. А. и др.* Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта // *Инженерный вестник Дона*. 2023. № 4 (100). С. 402—434.

14. *Об индексах изменения стоимости строительно-монтажных работ и прочих работ и затрат в строительстве : письмо ГК СССР по делам строительства от 06.09.1990 г. № 14-Д.* Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

15. *Индексы* изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, в том числе стоимости материалов, оплаты труда и эксплуатации машин и механизмов на I квартал 2009 года : письмо Минрегиона РФ от 12.02.2009 г. № 3652-СК/08. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

16. *О рекомендуемой* величине индексов изменения сметной стоимости строительства в IV квартале 2020 года, в том числе величине индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, индексов изменения сметной стоимости пусконаладочных работ, индексов изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ : письмо Минстроя России от 02.11.2020 г. № 44016-ИФ/09. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

17. *О рекомендуемой* величине индексов изменения сметной стоимости строительства в IV квартале 2020 года, в том числе величине индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, индексов изменения сметной стоимости пусконаладочных работ, индексов изменения сметной стоимости прочих работ и затрат, индексов изменения сметной стоимости оборудования : письмо Минстроя России от 12.11.2020 г. № 45484-ИФ/09. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

18. Пономаренко А. М. Современное сборно-монолитное каркасное домостроение. Перспективы // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : сб. матер. 80-й юбилейной Всерос. науч.-техн. конф. ; под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, Е. А. Ахмедовой. Самара, 2023. С. 643—654.

19. *Об утверждении* индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ и территориальных коэффициентов к ним для перерасчета сводных сметных расчетов (сводных смет) строек : постановление ГК СССР по делам строительства от 11.05.1983 г. № 94. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

20. Абрамян С. Г., Оганесян О. В., Галда З. Ю. и др. Преимущества, недостатки и перспективы применения объемных блок-модулей в строительстве: обзор зарубежной научной литературы // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. матер. Междунар. науч.-практической конф. : в 2 ч. Волгоград : ВГТУ, 2020. Ч. 1. С. 138—142.

21. *Рекомендации по проектированию, производству и возведению зданий из железобетонных объемных блоков (городское строительство)*. М. : ЦНИИЭП жилища, 1985.

22. *Жилые дома. Укрупненные показатели стоимости строительства : в уровне цен на ... для условий строительства в Московской области* / С. А. Табакова, А. В. Дидковская. 3-е изд., перераб. и доп. М. : КО-ИНВЕСТ, 2009. 591 с.

23. *Галимович А. Б., Демьянович Н. С., Залеская Г. Л. и др. Многоэтажное здание : учеб.-метод. пособие для студ.* Минск : Изд-во БНТУ, 2019. 100 с.

24. *Широков В. С. Конструктивные особенности модульных зданий* // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 3.

С. В. Беляева, И. В. Воротынцев, Л. С. Галиев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
(Воронеж, Россия)

**ОЦЕНКА И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF INNOVATIVE POTENTIAL
OF THE ENTERPRISE OF THE CONSTRUCTION MATERIALS INDUSTRY
OF THE VORONEZH REGION**

***Аннотация.** Определение страновых и региональных приоритетов научно-технологического, в том числе инновационного развития, и мероприятий по их реализации оказывают прямое влияние на формирующуюся в регионе инновационную среду. На сегодняшний день не имеет однозначного решения вопрос о взаимосвязи целевых стратегических ориентиров научно-технологического развития, мер инновационной политики, уровня развития инновационной среды региона и инновационного потенциала предприятий промышленности строительных материалов региона. В статье проведен анализ проводимой политики научно-технологического и инновационного развития на примере отрасли промышленности строительных материалов Воронежской области, предложена методика оценки соответствия проводимой инновационной политики поставленным целям и ожидаемым результатам, проведена оценка для региона.*

***Abstract.** Determination of country and regional priorities of scientific and technological development, including innovative development, and measures for their implementation have a direct impact on the innovation environment being formed in the region. To date, there is no clear solu-*

© Беляева С. В., Воротынцев И. В., Галиев Л. С., 2025

tion to the issue of the relationship between target strategic guidelines for scientific and technological development, innovation policy measures, the level of development of the regional innovation environment and the innovative potential of enterprises in the building materials industry of the region. The article analyzes the current policy of scientific, technological and innovative development using the example of the building materials industry of the Voronezh Region, proposes a methodology for assessing the compliance of the current innovation policy with the goals and expected results, and conducts an assessment for the region.

Ключевые слова: *промышленность строительных материалов, инновационный потенциал, методика, инновационная политика региона, цели*

Keywords: *building materials industry, innovation potential, methodology, regional innovation policy, goals*

Введение

Формирование и развитие инновационной среды региона оказывает положительное влияние на рост инновационного потенциала и повышение инновационной активности предприятий региона, что влияет на достижение поставленных на мезо- и макроуровне целевых ориентиров научно-технологического развития.

Следовательно, разработка схемы взаимосвязи стратегических целей (на макро-и мезоуровне), мероприятий государственной политики и уровня развития инновационной среды и инновационного потенциала предприятий, а также методики оценки их соответствия друг другу является актуальной научно-практической задачей [1—5].

Материалы и методы

С учетом проведенной оценки состояния предприятий промышленности строительных материалов Воронежской области нами предложен методический подход к оценке инновационного потенциала предприятий промышленности строительных материалов (рис.).

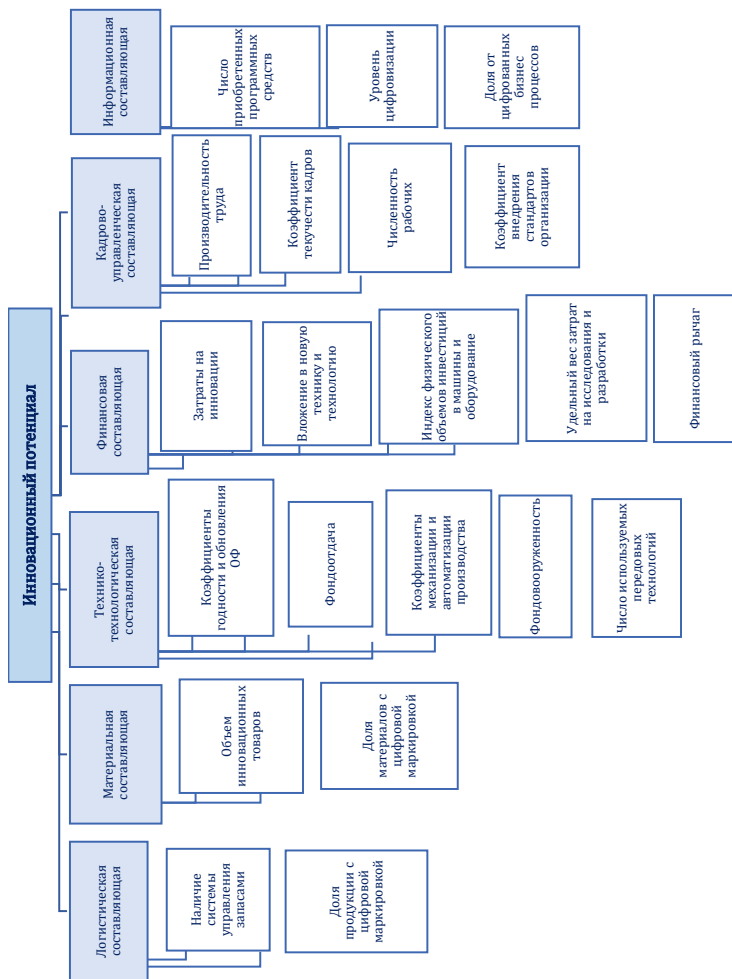


Рис. Определение и группировка показателей для оценки инновационного потенциала

Оценив уровень развития инновационного потенциала предприятий, необходимо разработать мероприятия по его развитию и росту, что невозможно сделать без построения взаимовлияния и гармонизации со стратегическими приоритетами страны и региона, мероприятиями государственной научно-технической и инновационной политики, развитием инновационной региональной среды. Промышленность строительных материалов является одной из важнейших отраслей промышленности Российской Федерации. В связи с чем ее развитие является приоритетной целью, отмеченной на самом высоком уровне, а также внесенной в стратегии развития, как на федеральном, так и на региональном уровнях [6—10].

Результаты

Предложен алгоритм решения задачи, состоящий из трех этапов.

Первый этап исследования: определение целевых стратегических фокусов развития отрасли в конкретном анализируемом регионе (Воронежской области) на основе априорно-логического анализа целей и стратегических ориентиров научно-технологического развития страны, развития отрасли промышленности строительных материалов, изделий и конструкций, развития Воронежской области. В результате данного этапа исследования формируются основные целевые фокусы инновационного развития.

При формировании стратегии развития отрасли промышленности строительных материалов, изделий и конструкций учитываются цели, генеральные задачи и приоритеты научно-технологического развития, направления госполитики в этой области и меры по их реализации, которые нашёл свое отражение в стратегиях общегосударственного и регионального уровня.

Второй этап исследования: разработка методики оценки соответствия реализуемой инновационной политики на региональном уровне поставленным целям и цели улучшения инновационной среды региона.

Так как данные показатели являются слабоформализуемыми, предлагаем для оценки по чек-листу соответствие стратегическим целям использовать булевы переменные (1 — «соответствует», 0 — «не соответствует»). Итоговое значение индекса соответствия инновационной политики стратегическим целям научно-технологического развития промышленности строительных материалов Воронежской области определяется по формуле

$$ASO = \frac{\sum p}{k},$$

где k — количество оцениваемых пунктов по чек-листу, p — оценки.

Тенденция индикатора оценки соответствия реализуемых мер государственной инновационной политики $ASO^{\text{®}}$ max.

Третий этап: проведение оценки соответствия реализуемой инновационной политики на уровне Воронежской области поставленным целям и цели улучшения инновационной среды (чек-лист и результаты оценки приведены в таблице).

**Чек-лист для оценки соответствия инновационной политики
стратегическим целям научно-технологического развития
промышленности строительных материалов
Воронежской области**

Критерии оценки	Оценка по критерию (1/0)
Наличие и реализация областных стратегических проектов и программ в сфере инновационного развития промышленности	1
Наличие на инвестиционных площадках региона предприятий по производству строительных материалов	1
Наличие региональных институтов развития	1
Наличие развитой инфраструктуры ВУЗов региона	1
Бренд региона-лидера развития высокотехнологичных отраслей промышленности	0

Окончание табл. 1

Критерии оценки	Оценка по критерию (1/0)
Поддержка внутренней технологической активности субъектов промышленной деятельности, научно-технической деятельности в сфере промышленности, содействие применению наилучших доступных технологий	0
Организация и проведение инновационных конкурсов	1
Организация и проведение консультационной поддержки инноваторов	1
Реализация мер финансовой поддержки инновационных проектов (субсидирование, заемное финансирование, налоговые льготы)	1
Создание государственной инновационной инфраструктуры (лабораторий и т. п.)	1
Оценка достаточности нормативной базы для эффективной организации достижения целей развития подотрасли	1
Осуществление грантовой поддержки инноваций	0
Предоставление государственной поддержки (гарантий, залога) ВО по инвестиционным проектам за счет средств областного бюджета	0
Реализация инвестиционных проектов модернизации	0
Продвижение продукции (услуг) местных компаний для увеличения занимаемой доли рынка	0
Реализация совместных производственных проектов предприятий подотрасли с вузовской и академической наукой	0
информационно-консультационная поддержка путем проведения форумов, выставок	1
<i>Итого оценка</i>	10

Как видно из результатов оценки, проводимая органами власти Воронежской области политика соответствует целям научно-технологического и инновационного развития отрасли в регионе, а также на макроуровне.

Заключение

Воронежская область, обладая большим потенциалом, за счет обширной производственной базы, а также за счет тенденций, сложившихся в регионе в последние годы, готова следовать заданному вектору развития страны, стимулировать и способствовать развитию промышленности строительных материалов в области и во всем Центральном Федеральном округе.

Дальнейшим направлением исследования является интеграция предложенного индикатора оценки соответствия стратегическим целям в процесс и методический инструментарий оценивания инновационной среды региона и инновационного потенциала предприятий отрасли промышленности строительных материалов.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-18-20051, <https://rscf.ru/project/24-18-20051/>.

Список литературы

1. *Стратегический проект в Воронежской области «Новая индустриализация региона» 2021—2024 гг.*
2. *Об инновационной политике Воронежской области* : закон Воронежской области от 6 октября 2011 г. № 133-ОЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. *Об утверждении государственной программы Воронежской области «Экономическое развитие и инновационная экономика* : постановление Правительства Воронежской области от 31 декабря 2013 г. № 1190. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
4. *Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года* : закон Воронежской области от 20 декабря 2018 г. № 168-ОЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
5. *О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации* : указ Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.2024 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
6. Huang Z. Research on Innovation Capability of Regional Innovation System Based on Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis: Evidence from China // Systems. 2022. № 10. doi: 10.3390/systems10060220.

7. *Janošec A., Chmelíková G., Blažková I. et al.* Regional Innovation Systems as a Remedy for Structurally Affected Regions — Empirical Evidence from the Czech Republic // *Urban Sci.* 2024. № 8. doi: 10.3390/urbansci8030088.

8. *Yang Y., Wang Y., Zhang Y. et al.* Data-Driven coupling coordination development of regional innovation EROB composite system: an integrated model perspective // *Mathematics.* 2022. № 10. doi: 10.3390/math10132246.

9. *Li N., Liu Z., Zhang X.* A Study on the Impact of Dynamic Visitor Demand on the Digital Transformation of Enterprises—Considerations Based on the Regional Innovation Environment and the Level of Big Data // *Sustainability.* 2023. № 15. doi: 10.3390/su15010261.

10. *Akulova I. I., Slavcheva G. S.* A new approach to identifying top priority step for increasing the building materials competitiveness // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th—9th October 2020, Russky Island, Russia.* 2021. P. 032030.

**С. С. Уварова, И. И. Акулова
Г. С. Славчева**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
(Воронеж, Россия)

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ СРЕДЫ
(на примере Воронежской области)**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING
THE POTENTIAL OF THE CONSTRUCTION MATERIALS INDUSTRY
IN THE CONDITIONS
OF THE REGIONAL INNOVATION ENVIRONMENT
(on the example of the Voronezh region)**

***Аннотация.** В условиях обеспечения технологического суверенитета и реализации мер по импортозамещению возрастает необходимость ускоренного опережающего развития производственной базы строительной отрасли на инновационной основе. Определение ключевых направлений инновационного развития отрасли промышленности строительных материалов должно производиться в соответствии с принципом иерархии стратегий научно-технологического и социально-экономического развития страны и региона. Актуальной научно-практической задачей при этом является не только анализ характеристик промышленности строительных материалов, но и оценка состояния инновационной среды региона для результативной реализации инновационного и научно-технического потенциала промышленных предприятий. Авторами разработана логическая схема*

© Уварова С. С., Акулова И. И., Славчева Г. С., 2025

исследования, произведена оценка промышленности строительных материалов Воронежской области, предложена и апробирована методика оценки соответствия состояния региональной инновационной среды имеющемуся уровню инновационного потенциала предприятий.

Abstract. *In the context of ensuring technological sovereignty and implementing import substitution measures, the need for accelerated, advanced development of the production base of the construction industry on an innovative basis is increasing. The definition of key areas of innovative development of the building materials industry should be carried out in accordance with the principle of hierarchy of strategies for scientific, technological and socio-economic development of the country and the region. An urgent scientific and practical task is not only the analysis of the characteristics of the building materials industry, but also the assessment of the state of the region's innovative environment for the effective implementation of the innovative and scientific and technical potential of industrial enterprises. The authors have developed a logical scheme for the study, assessed the building materials industry of the Voronezh Region, proposed and tested a methodology for assessing the compliance of the state of the regional innovative environment with the existing level of innovative potential of enterprises.*

Ключевые слова: *промышленность строительных материалов, инновационный потенциал, инновационная среда, методический подход, регион*

Keywords: *building materials industry, innovation potential, innovation environment, methodological approach, region*

Введение

Промышленность строительных материалов является одной из важнейших отраслей промышленности Российской Федерации и создает основу производственной базы строительства.

В связи с этим ее развитие является приоритетной целью, отмеченной на самом высоком уровне, а также внесенной в стратегии развития, как на федеральном, так и на региональном уровнях [1; 2].

Материалы и методы

Проведенное исследование состояния промышленности строительных материалов Воронежской области выявило, во-первых, наличие большой продуктовой дифференциации (присутствуют производственные предприятия по производству цемента, извести, мела, песка, щебня, сухих смесей, сборных железобетонных конструкций и деталей, кирпича керамического и силикатного, тротуарной и керамической плитки, изделий теплоизоляционных, полиэтиленовых труб и др.), во-вторых, территориальную дифференциацию (большинство производственных предприятий сконцентрировано в северо-западной части области, что приводит к возникновению различной величины логистических затрат), в-третьих, плохое финансовое состояние предприятий (около трети промышленных предприятий находятся в стадии ликвидации, почти 40 % предприятий не являются производственными и занимаются только посреднической деятельностью, около 15 % являются микропредприятиями), в-четвертых, слабость производственной базы (большинство предприятий области имеют устаревшее оборудование и производственные технологии, низкий уровень инновационной активности и отсутствие перспективного стратегического планирования).

Основные проблемы развития предприятий промышленности строительных материалов Воронежской области приведены на рисунке 1.

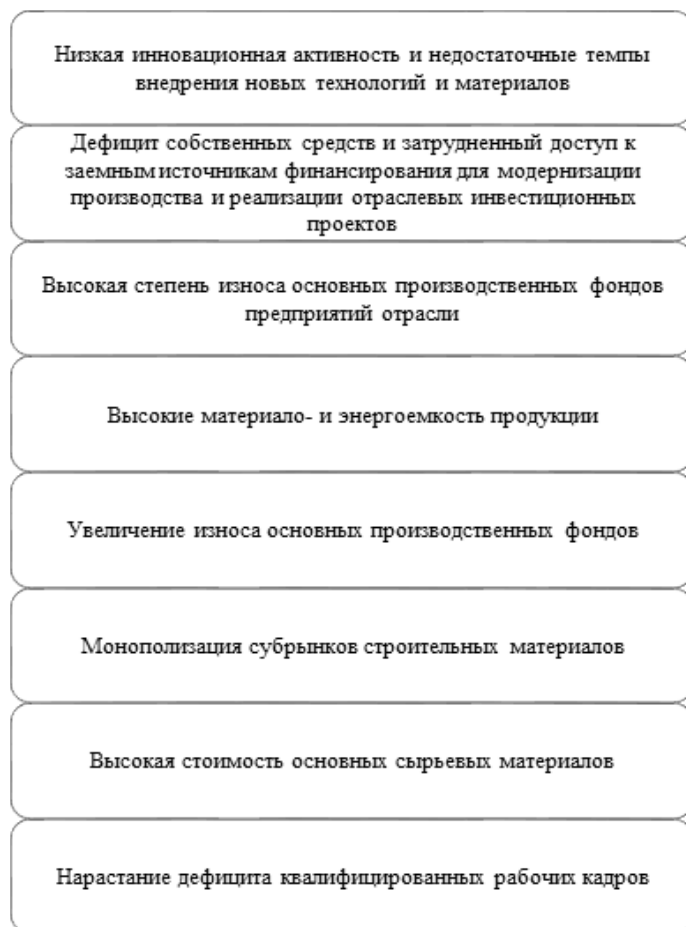


Рис. 1. Основные проблемы развития предприятий промышленности строительных материалов Воронежской области

Результаты

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о необходимости разработки научно обоснованных рекомендаций по активизации инновационной деятельности предприятий про-

мышленности строительных материалов Воронежской области. Для этого авторами предложена логическая схема исследования, представленная на рисунке 2.

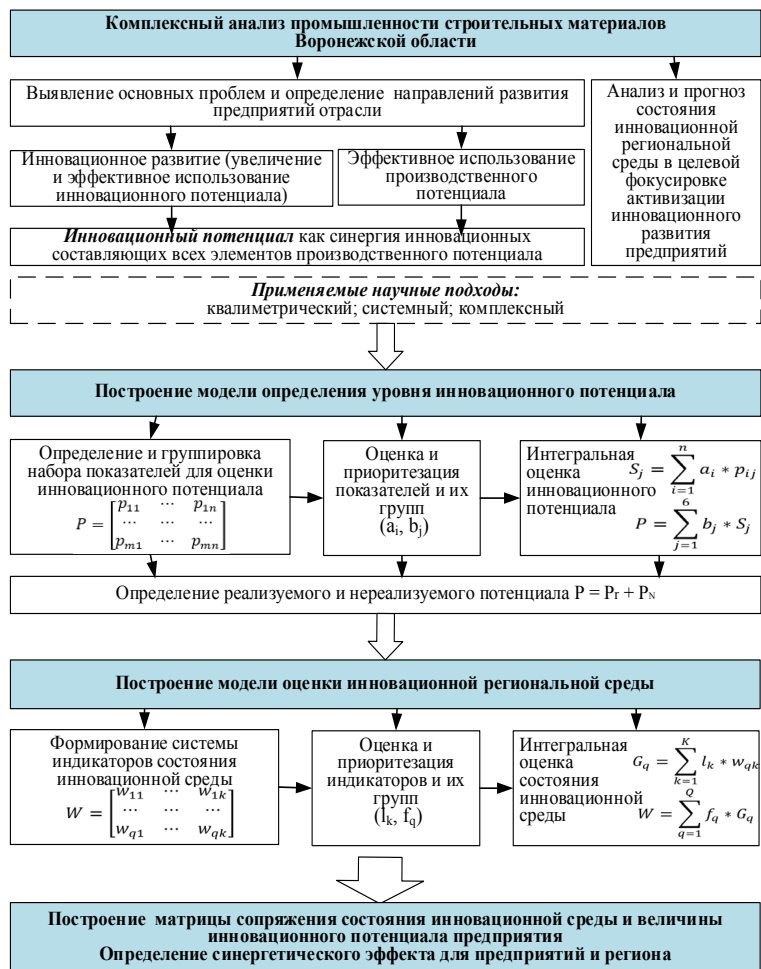


Рис. 2. Логическая схема исследования проблемы повышения инновационной активности предприятий промышленности строительных материалов региона

В соответствии с логической схемой, после исследования состояния промышленности строительных материалов региона, необходимо определить методические основы оценки инновационного потенциала. По поводу оценки уровня инновационного потенциала имеется целый ряд воззрений [3—5], однако отсутствует не только общепринятая методика, но и перечень показателей. Соответственно, авторами составлен перечень показателей для оценки инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов и предложен методический подход к его оценке, основанный на применении стохастического моделирования с использованием меры Лебега:

$$P = M \left[\sum_{i=1}^n p_i a_i \right] \rightarrow \max. \quad (1)$$

где P — интегральная оценка инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов, p_i — частные показатели оценки инновационного потенциала, a_i — доли влияния (веса) частных показателей.

Повышение и эффективное использование инновационного потенциала предприятий с точки зрения среды разработки и распространения инноваций в научных исследованиях имеет два основных аспекта: разработку систем оценки состояния инновационной среды и выбора методов оценки [6—10]. Поэтому на следующем этапе логической схемы авторами разработана методика оценки инновационной среды региона, учитывающая количественные (статистические) и качественные (рейтинговые) показатели со сведением их к интегральному уровню развития инновационной среды региона с учетом стратегических ориентиров конкретного региона оценки (рис. 3).

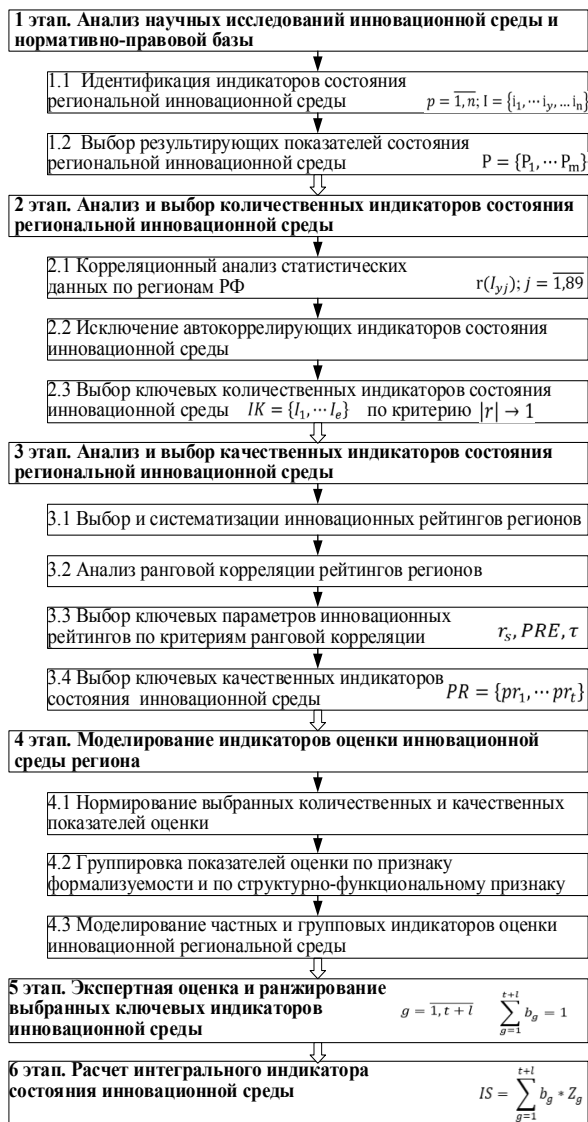


Рис. 3. Расчетно-экспертная методика комплексной оценки состояния инновационной среды региона

Заключение

Дальнейший шаг исследования заключается в разработке матрицы сопряжения уровня инновационного потенциала предприятия и состояния инновационной среды, что позволит выбрать оптимальные шаги по повышению уровня инновационного развития каждого предприятия с синергетическим эффектом роста инновационности отрасли в целом.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-18-20051, https://rscf.ru/pro_ject/24-18-20051/).

Список литературы

1. *Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года* : закон Воронежской области от 20 декабря 2018 г. № 168-ОЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
2. *О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации* : указ Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.2024 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
3. Юлчиев, Э. Ю., Анафиев А. М. Пути повышения экономического потенциала промышленных предприятий // Экономика и социум. 2020. № 7 (74). С. 653—657.
4. Камынин Д. А. Методические подходы анализа экономического потенциала промышленных предприятий // Экономика и предпринимательство. 2021. № 10 (135). С. 1004—1006.
5. Фомин Н. Ю., Захарова Л. В. Теоретическая сущность и методика оценки экономического потенциала промышленного предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 6-2 (100). С. 169—172.
6. Huang Z. Research on Innovation Capability of Regional Innovation System Based on Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis: Evidence from China // Systems. 2022. № 10. doi: 10.3390/systems10060220.
7. Janošec A., Chmelíková G., Blažková I. et al. Regional Innovation Systems as a Remedy for Structurally Affected Regions — Empirical Evidence from the Czech Republic // Urban Sci. 2024. № 8. doi: 10.3390/urbansci8030088.

8. *Yang Y., Wang Y., Zhang Y. et al.* Data-Driven coupling coordination development of regional innovation EROB composite system: an integrated model perspective // *Mathematics*. 2022. № 10. doi: 10.3390/math10132246.

9. *Li N., Liu Z., Zhang X.* A Study on the Impact of Dynamic Visitor Demand on the Digital Transformation of Enterprises—Considerations Based on the Regional Innovation Environment and the Level of Big Data // *Sustainability*. 2023. № 15. doi: 10.3390/su15010261.

10. *Akulova I. I., Slavcheva G. S.* A new approach to identifying top priority step for increasing the building materials competitiveness // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th—9th October 2020, Russky Island, Russia. 2021. P. 032030.

М. С. Гришаев, Л. В. Шершова

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
(Калининград, Россия)

**ТРУДОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**LABOR POTENTIAL
OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY
ON THE EXAMPLE OF THE KALININGRAD REGION**

***Аннотация.** В статье проведен анализ численности работников за период с 2022 по 2024 г., анализ заработной платы и анализ спроса специалистов в строительной отрасли за период с 2024 по 2025 г., а также проведен анализ профессионального уровня образования за период с 2022 по 2023 г. Особое внимание уделено основным вызовам и проблемам в строительной отрасли и перспективным направлениям развития трудового потенциала в Калининградской области.*

***Abstract.** The article analyzes the number of employees for the period from two thousand twenty-two to two thousand twenty-four, analyzes wages and analyzes the demand of specialists in the construction industry for the period from two thousand twenty-four to two thousand twenty-five, as well as analyzes the professional level of education for the period from two thousand twenty-two two thousand and twenty-three years ago. Special attention is paid to the main challenges and problems in the construction industry and promising areas for the development of labor potential in the Kaliningrad region.*

Ключевые слова: трудовой потенциал, строительная отрасль, численность работников, заработная плата, специалисты в строительной отрасли, профессиональный уровень образования, вызовы и проблемы строительной отрасли, Калининградская область

Keywords: labor potential, construction industry, number of employees, wages, specialists in the construction industry, professional level of education, challenges and problems of the construction industry, Kaliningrad region

Введение

Трудовой потенциал является одним из основных компонентов социально-экономического развития и определяется как имеющиеся и предвидимые в будущем возможные количество и качество труда, которыми располагает общество при данном уровне развития науки и техники, и который определяется численностью трудоспособного населения и его профессионально-образовательным уровнем.

Калининградская область, благодаря своему уникальному географическому положению и статусу особой экономической зоны, демонстрирует динамичное развитие, в котором строительная отрасль играет одну из ключевых ролей.

Анализ численности работников в строительной отрасли

Анализ численности работников строительной отрасли в Калининградской области требует рассмотрения нескольких ключевых аспектов.

Общие тенденции рынка труда в строительстве:

1. Строительная отрасль характеризуется цикличностью. Подъемы и спады зависят от экономической ситуации в стране и регионе, доступности финансирования, государственной поддержки и других факторов.
2. В большинстве регионов, включая Калининградскую область, строительство подвержено сезонности. Зимние месяцы обычно характеризуются снижением активности и, как следствие, сокращением числа занятых.

3. Строительная отрасль часто привлекает трудовых мигрантов, особенно на неквалифицированные и малоквалифицированные работы.

4. Внедрение новых технологий и автоматизация строительных процессов могут привести к сокращению потребности в рабочей силе.

5. Растет спрос на квалифицированных рабочих и инженеров, владеющих современными технологиями и обладающих соответствующими навыками.

Чтобы проанализировать численность работников в строительной отрасли Калининградской области, нужно учесть несколько важных факторов. Точных данных на начало 2025 г. пока нет, поэтому можно опираться на тенденции последних лет, экономическую ситуацию и прогнозы. По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области в строительной отрасли среднесписочная численность работников без учета внешних совместителей составила 16 700 человек, в 2023 г. составила 16 800 человек, а в 2024 г. в строительстве трудилось 17 473 человека (рис. 1).

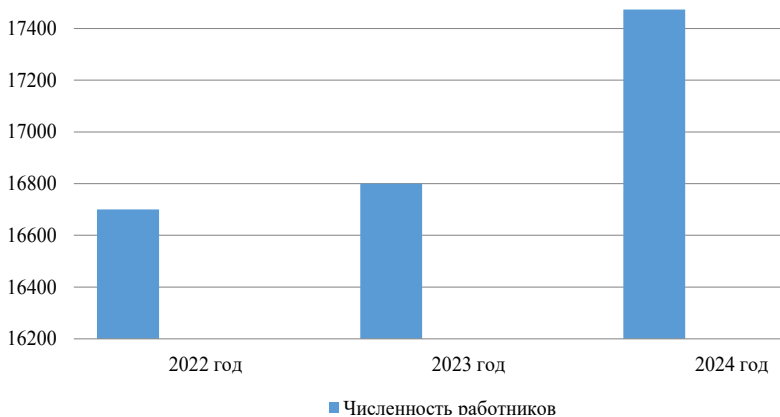


Рис. 1. Среднесписочная численность работников строительной отрасли за период 2022—2024 гг.

На основе предоставленных данных можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдается устойчивый рост численности работников. С 2022 по 2024 г. численность работников в сфере строительства стабильно растет с 16 700 человек в 2022 г. до 17 473 человек в 2024 г. Это говорит о положительной динамике развития строительной отрасли в регионе.

2. Ускорение темпов роста в 2024 г. Рост числа сотрудников в период с 2022 по 2023 г. составил всего 100 человек (16 800 — 16 700). Однако в период с 2023 по 2024 г. рост значительно ускорился, составив 673 человека (17 473 — 16 800). Это может свидетельствовать о значительном увеличении объемов строительства и активизации строительной деятельности в регионе в 2024 г.

Анализ заработной платы в строительной отрасли

По данным сайта ГородРабот.ру, средняя зарплата в сфере «Строительство, недвижимость» в Калининграде за 2024 г. составила 98 068 руб. За месяц заработная плата изменилась на 10,2 % — с 89 016 до 98 068 руб. А чаще всего в вакансиях встречается модальная зарплата — 100 000 руб.

Сравнительный анализ графиков, представленных на рисунках 2 и 3 позволяет сделать вывод о том, что наблюдается устойчивый рост средней заработной платы в отрасли. Это свидетельствует о продолжающемся повышении спроса на рабочую силу в отрасли. Темп роста заработной платы несколько замедлился. В 2024 г. зарплата выросла на 10,2 % за месяц, а в 2025 г. — на 2,1 %. Это может быть связано с насыщением рынка труда, стабилизацией экономической ситуации или другими факторами.

Так же на сайте ГородРабот.ру представлены данные заработной платы за период январь — апрель 2025 г. Так, средняя зарплата в сфере «Строительство, недвижимость» в Калининграде составила 99 097 руб. За месяц заработная плата изменилась на 2,1 % — с 97 101 до 99 097 руб. Чаще всего в вакансиях встречается модальная зарплата — 100 000 руб.

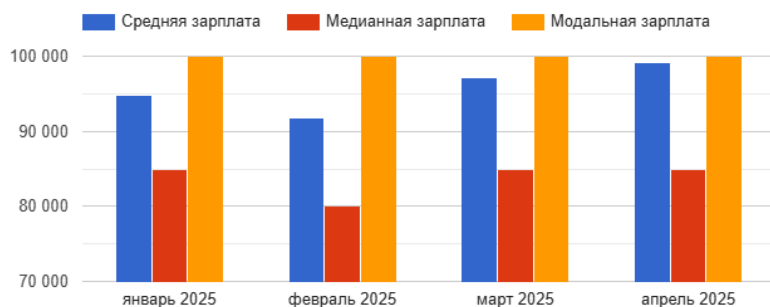


Рис. 2. Зарботная плата в индустрии «Строительство, недвижимость» в Калининграде за период январь — декабрь 2024 г. [4]

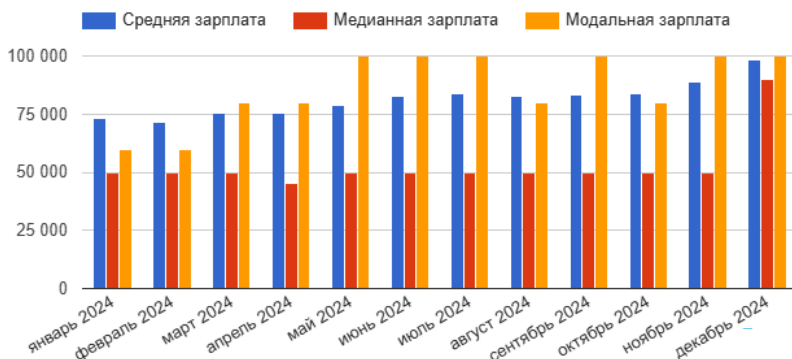


Рис. 3. Зарботная плата в индустрии «Строительство, недвижимость» в Калининграде за период январь — апрель 2025 г. [4]

Анализ спроса специалистов в строительной отрасли

В 2024 г. число вакансий в Калининграде выросло на 110 % по сравнению с прошлым годом.

В Калининградской области чаще всего в строительной сфере компании ищут штукатуров (рис. 4). Число предложений о ра-

боте для этих специалистов выросло за год в 4,1 раза (+313 %). Второй по приросту числа предложений для соискателей стала профессия монолитчика. Спрос на них в Калининграде вырос в три раза (+208 %) за год. В тройку лидеров по приросту новых вакансий в строительстве вошли кровельщики. Число новых предложений с прошлого года увеличилось в 2,9 раза (+190 %).

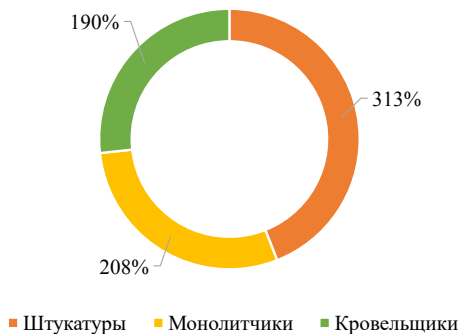


Рис. 4. Спрос специалистов в строительной отрасли в 2024 г.

Калининградская область заняла третье место в рейтинге субъектов РФ по росту вакансий в строительной сфере. Лидером списка стал Приморский край — +58 %. Серебро отошло Республике Крым — в этом регионе вакансий в строительной сфере стало больше на 41 %.

В 2025 г. количество вакансий для представителей рабочих специальностей увеличилось более чем на 25 % по сравнению с предыдущим. Потребности работодателей связаны с тем, что объемы строительства постоянно наращиваются. Активно строят не только жилые дома, но и инфраструктурные сооружения: дороги, мосты, общественные пространства, деловые комплексы.

К началу февраля 2025 г. бетонщик назван самой востребованной профессией в Калининградской области. Работодатели разместили на 175 % вакансий бетонщика больше, чем год назад. Среди востребованных профессий в строительстве также выделяют стропальщиков, арматурщиков, каменщиков, плотников, электромонтажников, кровельщиков, монтажников.

Анализ профессионального уровня образования в строительной отрасли

Сегодня качественное кадровое обеспечение строительной отрасли — одно из важнейших условий ее развития для достижения высоких показателей, установленных Президентом России.

В Калининградской области готовят выпускников высшего образования и среднего звена в сфере строительства:

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» в Калининграде.
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет» в Калининграде.
- Государственное бюджетное учреждение Калининградской области профессиональная образовательная организация «Колледж агротехнологий и природообустройства» в Гусеве.
- Государственное бюджетное учреждение Калининградской области профессиональная образовательная организация «Колледж информационных технологий и строительства» в Калининграде.
- Государственное бюджетное учреждение Калининградской области профессиональная образовательная организация «Технологический колледж», в Советске.

По данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Калининградской области, в 2022 г. образовательные организации региона выпустили 534 выпускника в сфере строительства: 156 — по программам высшего образования, 378 — по программам среднего профессионального образования. В 2023 г. образовательные организации выпустили по программам высшего образования — 111 выпускников, по программам среднего профессионального образования — 403.

В 2023 г. за 30 лет в КГТУ получили высшее образование в строительной отрасли более тысячи человек. Список бакалавров «Промышленного и гражданского строительства» и «Теплогазоснабжения и вентиляции» стало на 39 больше. В июле

2023 г. в БФУ им. И. Канта дипломы получили 23 бакалавра и 17 магистров по профилю «Промышленное и гражданское строительство» и направлению «Строительство».

Уровень образования занятых в отрасли варьируется в зависимости от занимаемой должности и выполняемых функций. Высшее образование преимущественно имеют руководители, инженеры и проектировщики, в то время как среди рабочих преобладает среднее профессиональное образование (рис. 4).

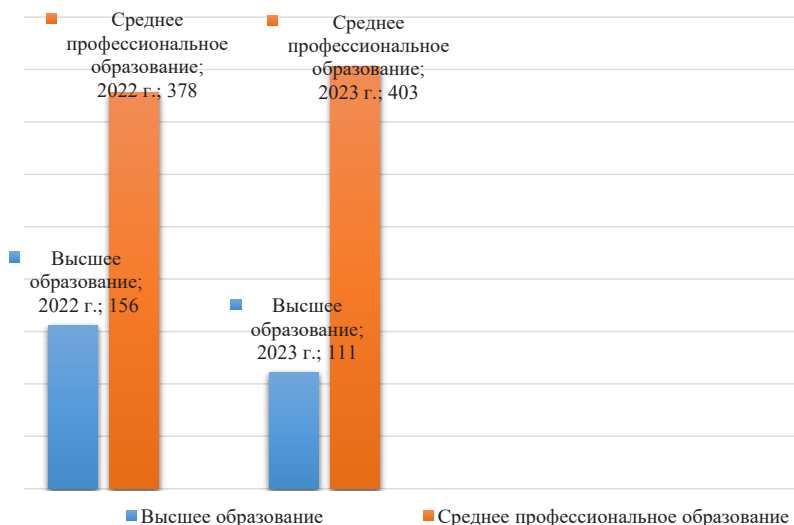


Рис. 4. Количество выпускников с высшим образованием и со средним профессиональным образованием

Таким образом, количество выпускников со средним профессиональным образованием в сфере строительства стабильно превышает количество выпускников с высшим образованием. Это отражает структуру занятости в отрасли, где рабочие строительных специальностей составляют значительную долю. В 2023 г. наблюдается увеличение количества выпускников СПО по сравнению с 2022 г. (с 378 до 403), что может свидетельствовать о попытках удовлетворить растущий спрос на ра-

бочие кадры. В 2023 г. наблюдается значительное сокращение выпуска специалистов с высшим образованием по сравнению с 2022 г. (с 156 до 111).

КГТУ и БФУ им. И. Канта являются ключевыми образовательными центрами, готовящими кадры для строительной отрасли Калининградской области.

Основные вызовы и проблемы в строительной отрасли

Несмотря на активное развитие, строительная отрасль Калининградской области сталкивается с рядом серьезных вызовов, связанных с трудовым потенциалом:

1. Дефицит квалифицированных кадров. Остро ощущается нехватка квалифицированных специалистов рабочих профессий: каменщиков, бетонщиков, арматурщиков, сварщиков, отделочников. Это связано с недостаточной популярностью рабочих профессий среди молодежи, низким уровнем заработной платы, а также оттоком кадров в другие регионы.

2. Несоответствие уровня квалификации требованиям рынка. Уровень подготовки выпускников профессиональных учебных заведений не всегда соответствует требованиям работодателей. Это обусловлено недостаточным уровнем практической подготовки.

3. Старение кадров и недостаток молодежи. Средний возраст работников строительной отрасли постепенно увеличивается, что создает риск потери квалифицированных кадров и снижения производительности труда. Молодые специалисты неохотно идут работать в строительную отрасль из-за тяжелых условий труда, низкой заработной платы и отсутствия перспектив карьерного роста.

4. Нехватка специалистов с опытом работы с современными технологиями. Многие специалисты не обладают достаточным опытом работы с современными технологиями, что замедляет их внедрение и снижает эффективность строительства.

5. Низкий уровень производительности труда. Производительность труда в строительной отрасли Калининградской области остается на невысоком уровне по сравнению с другими

регионами России и европейскими странами. Это обусловлено устаревшими технологиями, неэффективной организацией труда, а также недостаточной квалификацией работников.

Перспективные направления развития трудового потенциала

Для решения проблем, связанных с трудовым потенциалом строительной отрасли Калининградской области, необходимо реализовать комплекс мер, направленных на:

1. Повышение престижа строительных профессий:

- проведение профориентационных мероприятий для школьников и студентов, направленных на популяризацию строительных профессий;
- создание положительного имиджа строительной отрасли в СМИ.

2. Совершенствование системы профессионального образования:

- разработка современных учебных программ, соответствующих требованиям рынка труда;
- укрепление материально-технической базы профессиональных учебных заведений и привлечение к преподаванию практиков с опытом работы на современных строительных объектах.

3. Повышение квалификации и переподготовка кадров:

- организация курсов повышения квалификации и переподготовки для специалистов с высшим и средним профессиональным образованием;
- разработка программ обучения работе с современными технологиями и материалами.

4. Создание благоприятных условий труда и достойной оплаты:

- повышение заработной платы работников строительной отрасли и улучшение условий труда на строительных площадках;
- обеспечение социальной защиты работников, включая медицинское страхование, пенсионное обеспечение и охрану труда;

- создание возможностей для карьерного роста и профессионального развития.

5. Внедрение новых технологий и инноваций:

- стимулирование внедрения современных технологий и материалов в строительной отрасли и организация обучения специалистов;

- поддержка инновационных проектов, направленных на повышение производительности труда и снижение себестоимости строительства.

Заключение

Строительная отрасль Калининградской области демонстрирует устойчивый рост, обусловленный реализацией масштабных проектов в жилищном и инфраструктурном строительстве.

Анализ рынка труда свидетельствует о значительном росте численности работников и числа вакансий в строительстве, особенно на рабочие специальности (штукатуры, монолитчики, кровельщики, каменщики и др.). При этом, темпы роста заработной платы замедляются, что может свидетельствовать о стабилизации рынка, но конкуренция за квалифицированных специалистов остается высокой.

Система образования Калининградской области вносит свой вклад в кадровое обеспечение отрасли, выпуская специалистов как среднего, так и высшего звена. Однако, сокращение выпуска специалистов с высшим образованием вызывает опасения и требует анализа соответствия структуры выпуска потребностям рынка труда.

Трудовой потенциал является одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность строительной отрасли Калининградской области. Решение проблем, связанных с дефицитом квалифицированных кадров, старением кадров, несоответствием уровня квалификации требованиям рынка, а также низким уровнем производительности труда, требует комплексного подхода и совместных усилий государства, бизнеса и образовательных учреждений. Реализация мер, направленных на повышение престижа строительных профессий, совершенствование системы профессионального образования,

повышение квалификации и переподготовку кадров, создание благоприятных условий труда и внедрение новых технологий, позволит обеспечить строительную отрасль Калининградской области квалифицированными кадрами и создать условия для ее дальнейшего устойчивого развития. Только в этом случае строительная отрасль региона сможет успешно реализовывать масштабные проекты, направленные на улучшение инфраструктуры и повышение.

Список литературы

1. *Нехороших И. Н., Михайлов О. В.* Роль кадрового потенциала в строительной отрасли // РСЭУ. 2022. № 3 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-kadrovogo-potentsiala-v-stroitelnoy-otrasli> (дата обращения: 11.05.2025).

2. *Яшкина К. Ю.* Трудовой потенциал: теоретические аспекты понятия, характеристика его основных компонентов // Молодой ученый. 2020. № 48 (338). С. 577—580. URL: <https://moluch.ru/archive/338/75637/> (дата обращения: 11.05.2025).

3. *Статистика* // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области. URL: <https://39.rosstat.gov.ru/statistic> (дата обращения: 11.05.2025).

4. *В Калининградской области в 2022 году 534 человека получили образование в строительной сфере* // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Калининградской области. 2022. URL: <https://minstroy.gov39.ru/news/news/118120/> (дата обращения: 11.05.2025).

5. *Статистика рынка труда в Калининграде* // Строительство, недвижимость.— URL: <https://kaliningrad.gorodrabot.ru/salaries?i=строительство%2С+недвижимость&y=2024> (дата обращения: 11.05.2025).

6. *Статистические данные трудовых ресурсов в Калининградской области* // SPARK-Interfax. URL: <https://spark-interfax.ru/statistics/region/27000000000> (дата обращения: 11.05.2025).

7. *В Калининграде вырос спрос на строителей* // Радио РБК. URL: <https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/20/06/2024/6673f81a9a7947a3f5a701ac> (дата обращения: 11.05.2025).

8. *В Калининградской области дефицит строительных кадров вырос на 36 %* // Радио РБК. 2024. URL: <https://kaliningrad.rbc.ru/kaliningrad/28/12/2024/676fb1459a794783d18a7051> (дата обращения: 11.05.2025).

9. *Самые востребованные профессии в строительстве* // VC.RU. 2024. URL: <https://vc.ru/hr/1240845-samye-vostrebovannye-professii-v-stroitelstve-ryad-professii-est-li-deficit-kadrov-v-2025-gde-poluchit-rabochuyu-stroitelnuyu-specialnost> (дата обращения: 11.05.2025).

10. *Самая востребованная профессия в Калининградской области в 2025 году* // Baltic News. 2025. URL: <https://balticnews.ru/?news=96344> (дата обращения: 11.05.2025).

Формирование комфортной городской среды

И. В. Кукина^{1, 2}, И. Г. Федченко^{1, 2}

¹ Филиал ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (Москва, Россия)

² ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
(Красноярск, Россия)

ЛОГИКА ПРЕОДОЛЕНИЯ СТИХИЙНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА И КОМФОРТ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

THE LOGIC OF OVERCOMING SPONTANEOUS FORMATIONS IN THE STRUCTURE OF A MODERN CITY AND THE COMFORT OF THE URBAN ENVIRONMENT

***Аннотация.** В современных условиях градостроительства невозможно в полной мере добиваться целостной структуры города, комфортной в полной мере для жизнедеятельности горожан. Этому препятствуют, исследованные в ряде научных трудов территории неопределенного землепользования, сложной морфологии, спонтанного характера формирования. В рамках данного исследования определены как стихийные планировочные единицы. На примере исследований Красноярска и пилотных проектов выпускных квалификационных работ рассматривается методика их исследования и предложения по интеграции в структуру современного города. Выявлены основные морфотипы стихийных планировочных единиц. Исследование опирается на традиционные и инновационные методы урбоморфологии, дополненные уникальными, для каждого из типов исследуемых объ-*

© Кукина И. В., Федченко И. Г., 2025

ектов. Предложены проектные решения, ориентированные на оптимизацию структуры города с целью повышения комфорта жизнедеятельности человека.

Abstract. *In modern conditions of urban development it is impossible to achieve a complete city structure, comfortable for citizens' life in full. This is hindered by territories of uncertain land use, complex morphology, spontaneous formation studied in a number of scientific works. In the framework of this study, they are defined as spontaneous planning units. In the case of the city of Krasnoyarsk studies and pilot projects of final qualification works, the methodology of their study and proposals for integration into the structure of a modern city are considered. The main morphotypes of spontaneous planning units are identified. The study is based on traditional and innovative methods of urban morphology, supplemented by unique ones for each type of objects under study. Design solutions are proposed aimed at optimizing the city structure in order to improve the comfort of human life.*

Ключевые слова: *Морфология, градостроительство, городская среда, стихийные планировочные единицы*

Keywords: *Morphology, urban development, urban environment, spontaneous planning units*

Введение

Практика отечественного градостроительства исторически последовательно сопряжена с государственными программами развития страны и нормативно-регламентной деятельностью начиная с конца XVI в. и по настоящее время вне зависимости от смены политико-экономических формаций. Упорядочение структуры городов всегда было направлено на обеспечение безопасности и комфорта жизнедеятельности горожан, избежание стихийности развития, рациональности землепользования. В настоящее время города и населенные пункты не только массово подвергаются реконструкции и реновации в связи с введением новых производственных

технологий, либерализации экономики и норм и правил застройки, ветшанием жилищного фонда, но и с устареванием их строгой функционалистской структуры. В среде городов стихийно формируются многофункциональные планировочные единицы, сложной морфологии. Впервые о «неопознанных» территориях (*terrain vague*, *territories-in-between*, др.) было завлено на Конгрессе Архитектуры в Барселоне в 1996 г., как о территориальных единицах крайне разнородных по масштабу, функциям, архитектурно-пространственным параметрам, объединенных единственным качеством — непредвиденностью образования. Со временем проявления «ломки» границ функциональных зон, внедрения разнородных и чуждых планам развития и замещения видов землепользования, «прорастания» и уплотнения многофункциональных ядер, привели к ряду исследований того или иного вида спонтанно складывающихся территорий города. Особый интерес для исследования представляют крупные города России на предмет образования стихийных планировочных единиц, учитывая глубокую традицию планового развития. На кафедре градостроительства СФУ состоялся анализ современных практик развития спонтанно развивающихся территорий в серии дипломных, исследовательских работ. Разработаны пилотные проекты преодоления стихийности развития и интеграции проблемных территорий в логику реконструкции структуры города и обеспечения комфорта среды жизнедеятельности горожан.

Материалы и методы

К настоящему времени складывается некая типология стихийных планировочных единиц в структуре современного города, определяемая устойчивыми выражениями, вошедшими в терминологию градостроительства и архитектурно-градостроительной науки преимущественно из опыта стратегического планирования: «ядра урбо-роста», естественные (жилые) ареалы, транспортно-ориентированное развитие, окраинные пояса, линии связывания, др. Отдельной темой исследований

как в области архитектурно-градостроительной деятельности, так и в смежных науках следует выделить пригородную зону, которую ни в зарубежной, ни в отечественной практике не удалось поставить под плановое развитие в полной мере. В рамках урбоморфологии введено определение «окраинный пояс», выделяемый последовательно на разных исторических этапах развития города. Учитывая несопоставимость стихийных планировочных единиц, каждый из типов, очевидно, требует как характерной методики исследования, так и уникальные стратегии развития. На этапе выделения их в структуре города следует опираться на морфологические исследования, опирающиеся на фундаментальные выводы историко-архивных, географических, культурологических и других трудов, обосновывают динамику плотностных характеристик среды города во времени [4]. В совокупности с традиционными современные высокотехнологичные исследования структуры города позволяют получить исчерпывающую информацию об объемных и глубинных пространственных качествах таких территорий (QGIS, Big Data, другие). Они позволяют усовершенствовать методики анализа города и градостроительного проектирования.

Окраинный пояс — кольцеобразная территория, возникающая спонтанно и внепланово на периферии городской застройки. Характеризуется смешанными видами землепользования (коммунально-складского, производственного, рекреационного назначения, включением фрагментов низкоплотной малоэтажной застройки), запутанным рисунком улично-дорожной сети, межевания и имущественно-правовым статусом участков), что делает невозможным единовременное преобразование территории. Он сохраняется в структуре города в результате «перешагивая» в активные фазы застройки города новым крупномасштабным строительством. (рис. 1). В границах окраинных поясов в Красноярске сосредоточены бывшие внешние системы транспортных связей (средний окраинный пояс), множество СНТ (внешний окраинный пояс).

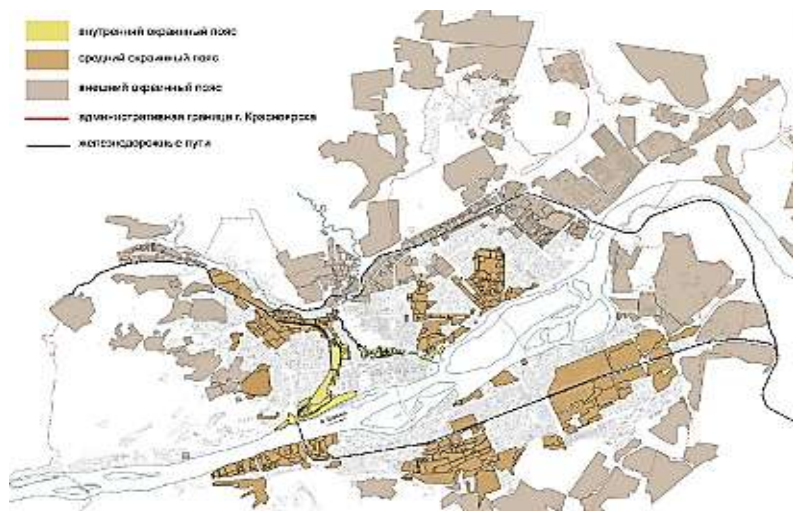


Рис. 1. Схема окраинных поясов Красноярска
(автор Е. Н. Логунова, рук. И. В. Кукина, фрагмент НИР, 2021 г.)

Сложившиеся картина кольца садоводческих некоммерческих товариществ Красноярска, нарастающая тенденция их уплотнения и преобразования в постоянные места жительства способствует формированию новых жилых стихийных образований (рис. 2). Проблему обостряет Федеральный закон от 30.12.2021 г. № 478-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (дачная амнистия) позволяющий считать домо- и земельные участки СНТ для постоянного проживания и юридической регистрации граждан, но не предусматривающий обязательной разработки генерального плана поселения с требованиями к безопасности проживания, например, отвода и обустройства внутренних дорог, сетей, др., ограничиваясь только требованиями к установлению внешних границ СНТ. Так отечественные города получают новые анклавы малоэтажного, низкоплотного индивидуального домостроения при игнорировании качественных общественных пространств, инженерных сетей и коммуникаций.

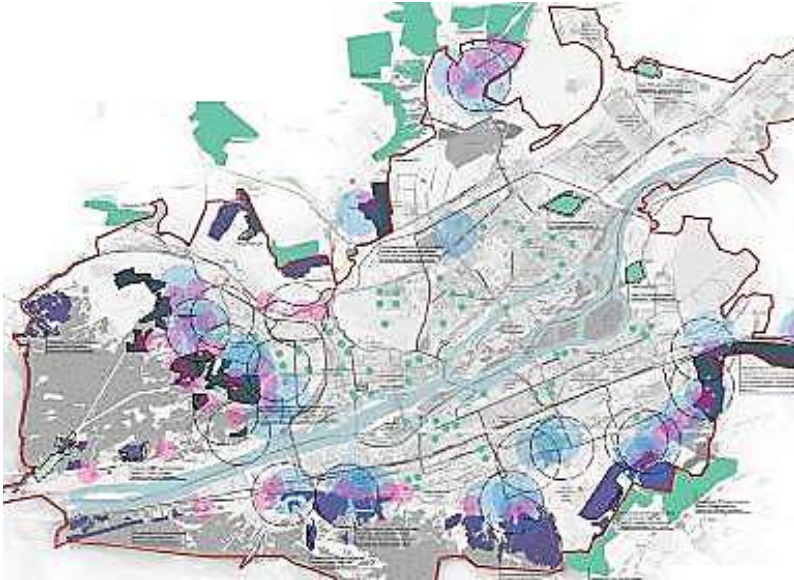


Рис. 2. Схема кольца садоводческих некоммерческих товариществ Красноярска (автор К. Фатеева, рук. С. М. Герашенко, И. Г. Федченко, выпускная квалификационная работа магистра градостроительства, 2016 г.)

В дипломном проекте реконструкции фрагмента среднего окраинного пояса принято решение об интеграции разделенных железной дорогой частей коммунально-складской зоны, включающей памятник культуры — библиотеку Юдина, за счет многоуровневых пешеходных и автомобильных коммуникаций, реконструкцию складских помещений в деловой и культурный центр, оптимизацию существующей жилой застройки и формирования архитектурной доминанты левобережья у подножия Афонтовой горы. Решается проблема доступности, современного жилища, обеспечения технологичными местами приложения труда с предоставлением выбора рекреационных возможностей, которых на данной территории не существовало (рис. 3).



Рис. 3. Проект регенерации окраинного пояса в структуре Красноярска. Фрагмент (автор К. Ивлев, рук. И. В. Кукина, Е. Н. Логунова, выпускная квалификационная работа, 2020 г.) (справа)

Алгоритм работы с потенциальными территориями транспортно-ориентированного развития предполагается следующим: проведение геоаналитических исследований; параметров застройки и функционального зонирования, инвентаризация застройки на предмет этажности, плотности, изучение коэффициентов застройки, построение изохрон пешеходной доступности от очага общественного транспорта, анализ радиусов доступности и плотности насыщения объектами социального, культурного, бытового обслуживания территории, построение экспозиций рельефа, расчет уклонов; изучение действующих регламентов; определение границ влияния транспортно-ориентированного района; определение пешеходной доступности до объектов притяжения, выявление резервов территории; определение стратегии развития территории с применением сценарного моделирования развития пространства (рис. 4).

В Красноярске можно выделить несколько территорий, представляющих собой характеристики транспортно-ориентированного развития. Так, например, формирование тесных связей разных видов общественного транспорта в районе станции «Путепровод» формирует градостроительный потенциал воплощения концепции транспортно-ориентированного развития (рис. 5).

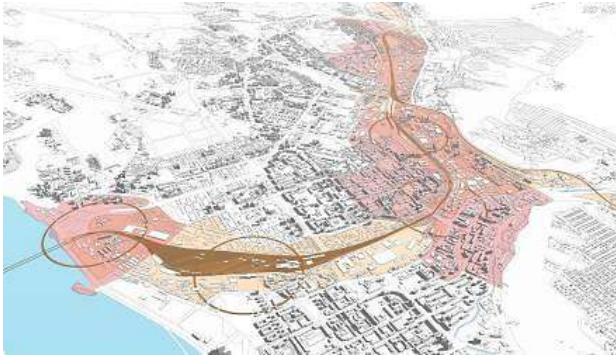


Рис. 4. Фрагмент концепции транспортно-ориентированного развития прижелезнодорожной территории Красноярска (коллектив авторов-студентов АФ22-51, рук. И. В. Кушнир, И. Г. Федченко, конс. Б. Б. Шаталов, исследовательская работа, 2025 г.) (справа)



Рис. 5. Территория спонтанного формирования транспортно-ориентированного развития (слева); Проект реновации прижелезнодорожной территории в городе Красноярске (автор Е. Килина, Е. Петросян, рук. И. В. Кукина, выпускная квалификационная работа, 2017 г.) (справа)

Территория станции «Первомайская» отличается характерной плотностью объектов торгово-развлекательной и культурной функции — сегодня является городским магнитом притяжения (Театра юного зрителя, крупные торговые центры,

предприятий малого и среднего сервисного бизнеса). В проекте предложена планировочная концепция развития жилого района с интермодальным транспортно-пересадочным узлом, с центростремительной концентрацией деловых функций и их разуплотнением по мере удаления от станции. Решение способствует созданию условий мобильности и связности территорий, комфортности передвижения (рис. 6).



Рис. 6. Территория смешанной застройки, прилегающей к ж/д путям (слева).

Проект транзитно-ориентированного развития территории, прилегающей к ТПУ «Первомайский» в Красноярске (автор И. Кушнир, рук. Федченко И. Г., конс. Б. Б. Шаталов, выпускная квалификационная работа, 2019 г.) (справа)

Территория Южного и Енисейского рынка на сегодняшний день является одной из крупных оптовых продовольственных в Красноярске. Происходит трансформация среды, за счет уплотнения и «подхода» массовой жилой застройки, но при этом характер «рыночной территории» сохраняется. В дипломном проекте предложено преобразование территорий рынков под многофункциональные, продовольственно-торговые, в том числе гастрономические пространства, с частичным сохранением основных, якорных, функциональных объектов. Предложено включить новые архетипы жилища с частными палисадами, огородами, тепличными хозяйствами; торгово-логистические объекты (крытый рынок, гастрономический хаб, торговые ярмарки, гастро-кварталы); институт гастрономии СФУ); особые ландшафтно-аграрные общественно-производственные сады;

торговые площади, способствующие сохранению прежней функции на территории. Идея сохранения фундаментальной функции рынка как основы формирования нового района раскрывает замысел выявления и сохранения сложившихся характеристик Места (рис. 7).

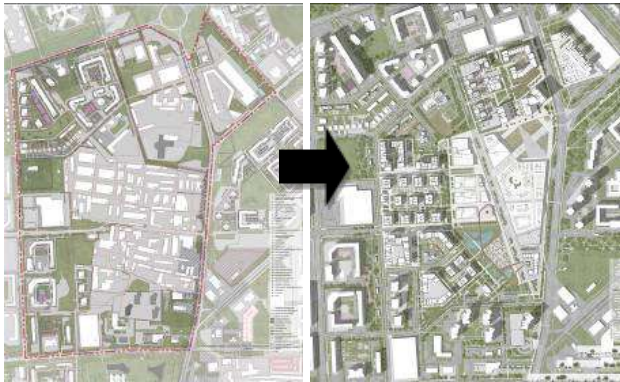


Рис. 7. Территория смешанного функционализма
Южного рынка Красноярска (слева).

Проект комплексного развития территории Южного
и Енисейского рынков (автор А. Голубь, рук. И. Г. Федченко,
выпускная квалификационная работа, 2023 г.) (справа)

В структуре Красноярска можно четко выделить планировочные образования временного характера, на которых складываются коммерческие структуры. Как правило, подобные планировочные единицы образуются на землях выраженных фрагментов коммунально-складской территории среднего окраинного пояса. Так, например, территория рынка и торгово-складской зоны Спандаряна по ул. Шахтеров в Красноярске является резервом для градостроительного развития и представляет собой территорию, с дисперсным рассредоточением функций. Имеет четко выраженные границы по магистралям городского значения (рис. 8). Исходя из оценки потенциала территории, может рассматриваться развитие коммерчески-активного ареала с предприятиями легкой промышленности и жилой

застройкой. Проектное решение опирается на идею совмещения различных архетипов жилища (гибрид жилье-офис, нижний коммерческий ярус жилого дома, дома-мастерские) и обеспечения разнообразия рабочих мест многоотраслевой деятельности в единых планировочных границах. Пешеходная доступность до рабочего пространства, «стирание границ» между жильем и работой, связанных системой общественных пространств, с целью рационализации временных затрат и рекреационных потребностей создают комфортные условия жизнедеятельности человека.



Рис. 8. Территория смешанной стихийной планировочной единицы временного характера по ул. Шахтеров и Спандаряна (слева). Проект комплексного развития территории смешанной стихийной планировочной единицы временного характера по ул. Шахтеров и Спандаряна (автор А. Телегина, рук. И. Г. Федченко, Я. В. Чуй выпускная квалификационная работа, 2019 г.) (справа)

Результаты

Анализ стихийно сложившихся планировочных единиц в структуре Красноярска позволяет установить факторы их формирования: развитость инфраструктуры, наличие социально-этнических и историко-культурных локусов, соседство радикально-контрастных архитектурно-планировочных сред. Изучение методов их исследования дает основание полагать, что ввиду уникальности для каждого из типов должна формироваться своя методика исследования, дефиниции, критерии пространственного определения и качества их архитектурной среды, а также применимость в современных стратегиях и проектах совершенствования среды жизнедеятельности человека.

В результате исследования современных процессов трансформации Красноярска выявлены морфотипы стихийных планировочных единиц современного крупного города: окраинные пояса, транспортно-ориентированный район, функционально смешанный район, ядра экономического роста.

В поисковых проектах выпускных квалификационных проектах кафедры градостроительства предложены некоторые варианты интеграции стихийных планировочных единиц в логику структуры современного города с целью повышение комфорта среды жизнедеятельности граждан.

Заключение

В продолжение развития темы исследования лежит в плоскости изучения структуры городов с глубокой историей, формировавшихся слиянием в единый организм разных локусов и поселений, включенных в единый город. Такие образования имеют особенный архитектурный характер и традиционную планировку. В каждую из исторических эпох складываются: характерный опознаваемый образ, строение фрагмента города и системы неких эмпирических ментальных правил устройства образа жизни, что в целом и составляет тот неповторимый образ, который ассоциируется с «местом».

***Благодарности.** Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2025 г. в рамках научного проекта № 1.1.6.2 «Принципы формирования стихийных планировочных единиц в структуре современного крупного города».*

Список литературы

1. Владыкина М. В. Принципы транзитно-ориентированного развития территорий при проектировании транспортно-пересадочных узлов Новосибирской агломерации // НОЭМА. Транспорт. 2020. № 2 (5). С. 182—194.

2. Кукина И., Федченко И., Липовка А. и др. Развитие планировочной структуры Красноярска // Проект Байкал. 2022. № 1 (71). С. 79—91.

3. Кукина И. В., Унагаева Н. А., Федченко И. Г. Идефикс — комфортная среда: формат общественных пространств в регионе // Современная архитектура мира. 2020. № 2 (15). С. 159—185.

4. Кукина И. В. Малоэтажное пригородное поселение — реинкарнация концепции «города-сада»? // Архитектура и строительство России. 2022. № 3 (243). С. 34—39.

5. Птичникова Г. А. Трансформация пространственной структуры крупнейших городов России в постсоветский период // Биосферная совместимость: человек, регион. Технологии. 2020. № 1 (29) С. 42—56.

6. Conzen M. R. G. Morphogenesis, morphological regions and secular human agency in the historic townscape, as exemplified by Ludlow // The Urban Landscape: Historical Development and Management / ed. by J. W. R. Whitehand. L. : Academic Press, 1981. P. 253—272.

С. В. Головин

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
и проектный институт ЦНИИП Минстроя России»
(Москва, Россия)

**ПРИНЦИПЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
В КОНТЕКСТЕ РЕВИТАЛИЗАЦИИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ**

**THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
IN THE CONTEXT OF THE RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL HERITAGE**

***Аннотация.** К концу XX в. переход к постиндустриальному обществу привел к упадку множества производств. Оставленные обширные неиспользуемые промышленные земли не только препятствуют развитию городов, но и наносят ущерб экологии. На основе теории устойчивого развития проанализированы проблемы повторного использования промышленных территорий, рассмотрены аспекты экологического восстановления водных ресурсов, растительности, почвы, а также интеграция охраны окружающей среды, повышения эффективности использования земель и сохранения культурного наследия. Предлагается подход к реконструкции промышленных зон, сочетающий урбоэкологию и сохранение культурного наследия.*

***Abstract.** By the end of the 20th century, the transition to a postindustrial society led to a decline in many industries. The vast unused industrial lands left by the cities not only prevented the development of cities, but also caused damage to the environment. Based on the theory of sustainable development, the problems of reuse of industrial territories are analyzed, aspects of environmental restoration of water resources, vegetation, soil, as well as the integration of environmental protection, in-*

crease the efficiency of land use and preservation of cultural heritage are considered. An approach to the reconstruction of industrial zones, combining urban ecology and cultural heritage preservation, is proposed.

Ключевые слова: экология, устойчивое развитие, промышленное наследие, ревитализация, джентрификация, реконструкция

Keywords: ecology, sustainable development, industrial heritage, revitalization, gentrification, reconstruction

Введение

В условиях стремительной урбанизации, расширения городов и изменения промышленной структуры все больше промышленных предприятий выходят из эксплуатации. Реконструкция таких территорий становится актуальным мировым трендом. Концепция устойчивого развития направлена на экологическое восстановление, повышение эффективности использования ресурсов и сохранение культурной памяти. Это позволяет вернуть ценность неиспользуемым территориям, дать им новую жизнь и решить проблемы городского развития.

Концепция устойчивого развития стала широко известной благодаря докладу Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию (Брундтланд), опубликованному в 1987 г. Согласно докладу устойчивое развитие — развитие, которое удовлетворяет текущие потребности людей, не создавая угроз будущим поколениям [1]. Индустриальное наследие — это неиспользуемые объекты, оставшиеся после прекращения промышленной деятельности, включая здания, сооружения и оборудование. Они обладают исторической, культурной ценностью, но становятся причиной неэффективного использования территорий и ухудшения городской среды [2]. Ревитализация неиспользуемых промышленных зон — не просто реконструкция, а комплексный подход, сочетающий сохранение исторического наследия с экологическим восстановлением. Это способствует повышению эффективному использованию земли, пробуждению культурной памяти и реализации принципов устойчивого развития.

В России изучение индустриального наследия началось позже, чем за рубежом. В 1990-х гг. деиндустриализация в России, в отличие от систематических мер, реализуемых в западных государствах, протекала стихийно. Вместо планомерного перераспределения производственных мощностей происходил их массовый спад. Это стало причиной не только сокращения объемов ВВП, но и потери научно-технологического потенциала, а также разрушения архитектурных объектов промышленного назначения [3].

В западных странах исследования начались в 1950-х гг. Создание ТИССИН (1978) и принятие международных хартий способствовали глобальному признанию ценности промышленного наследия. Примеры успешных проектов: Парк Нордштадт в Дуйсбурге (Германия, 1991), Парк Вестгазфабрик (Нидерланды, 2006), Парк Хай-Лайн (США, 2009). Россия вошла в состав комитета (ТИССИН) в 1994 г. и уже в 1996 г. и в 2003 г. были проведены конгрессы в Москве и Нижнем Тагиле [4].

Стратегии ревитализации включают создание промышленных парков, зон отдыха (водные парки, детские площадки), адаптации объектов промышленного наследия к новой функции [5]. Экономическая ценность проявляется в преобразовании территорий в точки социальной активности, привлечении инвестиций и туризма. Историко-культурная ценность заключается в сохранении памяти о промышленной эпохе. Экологическая ценность связана с восстановлением почвы, водных ресурсов и растительности, созданию безопасной и комфортной среды.

Заброшенные промышленные территории содержат загрязняющие вещества, образовавшиеся в результате производственной деятельности, которые негативно воздействуют на почву, растительность и водные ресурсы. В отличие от обычных городских земель, такие объекты, как неиспользуемые железнодорожные пути, чаще сталкиваются с деградацией экосистем: обеднением водных запасов, гибелью растений и другими нарушениями. В рамках концепции устойчивого развития предлагается восстановление природной среды через

управление экосистемами, возобновление растительных сообществ, рациональное использование водных ресурсов и их интеграцию в ландшафтный дизайн.

Длительная промышленная эксплуатация привела к накоплению в почве токсичных отходов, мусора и трудноразлагаемых загрязнителей. Это изменило структуру и плодородие почвы, сделало ее непригодной для роста растений и ухудшило экологическое состояние окружающих территорий. Современные методы восстановления почвы включают следующие подходы:

— Физические — удаление загрязненного поверхностного слоя с заменой на новый грунт.

— Химические — нейтрализация токсинов кислотными материалами.

— Биологические — посадка устойчивых к загрязнениям растений с подбором видов и их количества для конкретных условий.

Исходя из концепции сохранения существующей экосистемы, при одновременном контроле загрязнения, необходимо максимально использовать богатое разнообразие дикорастущих видов и интегрировать ревитализируемую зону в процесс ландшафтного преобразования для создания и поддержания природных растительных сообществ. Формирование зеленых насаждений должно основываться на следующих аспектах:

— Выбор растений: предпочтение отдается видам с высокой адаптивностью, выживаемостью и скоростью роста, учитывая их морозостойкость, засухоустойчивость, способность защищать от ветра и закреплять песок, а также экологические и экономические преимущества для территории.

— Сохранение и использование исходной растительности: в процессе реконструкции важно акцентировать защиту существующих растений. На этой основе подбираются местные виды для композиции. После успешного укоренения местных саженцев добавляются интродуцированные (неродные) виды.

— Экологическая эстетика: растения оформляются художественно, с учетом эстетических принципов, гармонирующих с природой.

Такие технологии, как: дождевые сады, проницаемые покрытия, накопительные канавы и системы сбора воды, позволяют создать экологичный ландшафт с низкими затратами на обслуживание. Эти меры не только улучшают дренаж и регулируют сток, но и повышают устойчивость городской инфраструктуры к наводнениям, распределяя осадки и увеличивая емкость вододерживающих систем.

Заключение

Индустриальное наследие, утратив производственные функции, сохраняет уникальную историко-культурную ценность, выступая свидетельством эволюции городов и индустриальной цивилизации. Ревитализация таких объектов через требует комплексного подхода: экологического восстановления почв и растительности, рационального использования пространства и интеграции культурного наследия в современную среду. Симбиоз прошлого и настоящего, сочетающий художественную эстетику с новыми технологиями, не только возвращает территории в городскую жизнь, но и создает основу для устойчивого развития, сохраняя память об индустриальной эпохе для будущих поколений

Список литературы

1. *Bruntland H. G.* Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future // UN Documents and policy papers. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (дата обращения: 04.04.2025).
2. *Головин С. В.* Промышленные территории как ресурс для устойчивого развития российских городов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26, № 3. С. 94—103. doi: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-94-103. EDN: RLNPHD
3. *Алексашина В. В.* Деиндустриализация... Что дальше? / В. В. Алексашина // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. № 4. С. 3—19.

4. *Основные положения* (Международный комитет по сохранению промышленного наследия) // TICCIN The International Committee for the conversation of the industrial heritage. URL: <http://ticcih.org> (дата обращения: 04.04.2025).

5. *Чайко Д. С.* Современные тенденции нового использования исторических промышленных объектов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-5 (45). С. 47—52.

А. А. Дронова

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
и проектный институт Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации»
(Москва, Россия)

**ИСТОРИЧЕСКАЯ ПЛАНИРОВКА 1930-Х ГОДОВ
КАК ОБЪЕКТ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
НА ПРИМЕРЕ ВСХВ-ВДНХ В Г. МОСКВЕ.
СОХРАНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ**

**THE HISTORICAL URBAN PLANNING OF THE 1930S AS
AN OBJECT OF CULTURAL HERITAGE
ON THE EXAMPLE OF THE VSHV-VDNH IN MOSCOW.
CONSERVATION AND DEVELOPMENT**

***Аннотация.** Целью данного исследования является анализ сохранившейся исторической планировки ВСХВ-ВДНХ 1930-х гг. как основы для дальнейшего развития и проектирования современного ВДНХ и сохранения историко-культурной ценности территории. На протяжении долгого времени начиная с 1980-х гг. ВДНХ становилось объектом исследований. Превалирующим в проведенных исследованиях является изучение архитектуры павильонов, их стилиевой принадлежности как отражения эпохи. В настоящее время ансамбль включен в перечень объектов культурного наследия Российской Федерации в виде достопримечательного места, однако планировочная структура, являясь одним из немногих сохранившихся подлинных элементов, имеет отдельный статус объекта культурного наследия федерального значения. С учетом современной активной градостроительной политики необходимо определение основного вектора пространственного и стилиевого развития территории Выставки, включая сохранение и современное проектирование, музеефицирование и*

© Дронова А. А., 2025

переосмысление пространства ВСХВ-ВДНХ как уникального междугородного наследия советской эпохи 1930-х—1950-х гг. На повестке дня находится включение ВСХВ-ВДНХ в перечень объектов всемирного наследия ЮНЕСКО. Подлинность экспозиционного ансамбля Выставки состоит не только в сохраненных архитектурных элементах, но и в градостроительных, планировочных решениях, заложенных в 1930-е гг. и связанных с общей трансформацией Москвы середины 1930-х гг. и репрезентации города как столицы нового социалистического государства.

Abstract. *The purpose of this study is to analyze the preserved historical layout of the VSHV-VDNH in the 1930s as a basis for the further development and design of the modern VDNH and the preservation of the historical and cultural value of the territory. For a long time, since the 1980s, VDNH has been the object of research. The prevailing research is the study of the architecture of pavilions, their stylistic affiliation as a reflection of the era. Currently, the ensemble is included in the list of cultural heritage sites of the Russian Federation as a place of interest, however, the planning structure, being one of the few preserved authentic elements, has a separate status of an object of cultural heritage of federal significance. Given the current active urban planning policy, it is necessary to determine the main vector of spatial and stylistic development of the Exhibition area, including conservation and modern design, museification and rethinking of the Exhibition area.*

Ключевые слова: историческая планировка, наследие, урбанистика, ансамбль

Keywords: *historical urban planning, heritage, urbanism, ensemble*

Введение

В настоящее время научные исследования и современное архитектурное проектирование ВДНХ (включая современные архитектурные конкурсы) сосредоточены в большей степени на наследии послевоенной реконструкции ВСХВ 1950-х гг. Современная узнаваемость, знаковость и архитектурный облик Выставки сегодня в большей степени относятся к архитектуре

павильонов послевоенного сталинского ампира. Историческая планировка включает в себя различные временные слои начиная с 1930-х гг. до начала XXI в. Однако восприятие исторического ансамбля невозможно без одного из основополагающих периодов проектирования ВСХВ — 1930-х гг. Именно в этот период в архитектурной практике проводилось большое количество конкурсов, целью которых являлся поиск решения градостроительных проблем сформировавшихся к 1920-м гг. [1]. Во многом можно предположить, что первоначальная планировка ВСХВ претерпела значительные изменения, и на первый взгляд сложно интерпретировать ее как истинно подлинный объект. Однако идеи и базовые принципы, заложенные архитекторами в проект 1939 г., до сих пор формируют пространство современной Выставки и играют ключевую роль в ее понимании. Первый главный архитектор ВСХВ В. К. Олтаржевский стремился создать организованное пространство с четкой композицией, учитывая опыт проведения предыдущих промышленных выставок [2, с. 29]. Планировочная структура ВДНХ является объектом культурного наследия федерального значения с 2015 г., деятельность на территории регулируется режимами и регламентами [3].

Современное функциональное развитие ВДНХ включает в себя новое проектирование, сохранение и реставрацию культурного наследия, развитие Выставки как развлекательного центра (парк аттракционов «Орион»), парка и музейно-образовательного кластера. Территория условно разделена на тематические зоны, в которых реализуются те или иные аспекты. Исторически ВСХВ соединяло в себе несколько функций. Это была рабочая площадка для работников колхозов, территория отдыха и развлечений, экспериментальная площадка, но преобладающей функцией, конечно, оставалась демонстрация достижений сельского хозяйства.

Целью данного исследования является переосмысление историко-культурного наследия 1930-х гг. на примере сохранения и интеграции исторической планировки ВСХВ в современный контекст развития ВДНХ. Данное исследование особенно

актуально в преддверии включения ВСХВ-ВДНХ в предварительный список объектов культурного наследия международного значения ЮНЕСКО.

Для анализа существующего положения используется методика визуально-ландшафтного анализа исследуемой территории, графическая реконструкция и сопоставление существующей планировки, анализ архивных материалов, карт, схем, эскизов-макетов ВСХВ 1930-х гг. В результате анализа исторических данных выявлены территории наибольшей сохранности планировочной структуры, а также участки наибольшего изменения и перепланировки.

Одним из факторов негативного влияния на сохранение исторической среды современного ВДНХ является интеграция дополнительных новых функций, таких как современный парк развлечений, строительство аттракционов, теннисных кортов, детских площадок, размещение которых изначально не предполагалось на ВСХВ 1930-х гг. Таким образом, выбор вектора развития ВДНХ как современного парка ошибочен. Упоминая период создания Выставки, невозможно не упомянуть глобальный проект генерального плана реконструкции Москвы, который был утвержден в июле 1935 г. [4]. Целью перепланировки было создание более упорядоченной городской среды и внедрение новых архитектурных проектов, таких как Дворец съездов, расширение центральных улиц, переустройство Бульварного кольца, перепланировка красных линий, строительство метро и многого другого, что осуществилось или могло бы осуществиться [5].

В 1935 г. вышло Постановление СНК СССР и ЦК ВКП(б) об организации Всесоюзной сельскохозяйственной выставки в Москве в районе Останкинского парка Москвы. Первый проект разрабатывал В. К. Олтаржевский и основной планировочной идеей было размещение двух композиционных центров: площади народов СССР (площадь колхозов) и площади социалистической реконструкции сельского хозяйства (площадь механизации).

Процесс проектирования проходил в контексте жестких идеологических требований, где каждая деталь здания должна

была соответствовать концепции величия советской индустриализации и коллективизации [7]. После ареста Олтаржевского главным архитектором ВСХВ стал С. Е. Чернышев, который, взяв за основу существующий проект, несколько его переделал и дополнил, изменив Площадь механизации, поручив проектирование павильона «Механизация» молодым архитекторам И. Таранову и В. Андрееву [6], которые не просто изменили вид и местоположение павильона, но и разработали уникальную композицию площади, связав ее с зоной Каменских прудов. Такая планировка сохранилась до наших дней, несмотря на реконструкцию павильона в 1950-е гг. В конечном итоге павильон «Механизация» стал не только архитектурным объектом, но и мощным символом эпохи, в котором технологические и художественные решения служили выражением господствующих идеалов и ценностей. Его архитектурный облик, сочетающий функциональность и идеологический символизм, является ярким примером того, как советская архитектура в 1930-е гг. использовалась для создания и усиления государственной пропаганды [8]. Яркий образ высокотехнологичного эллинга, у основания которого располагался подвижной конвейер, где стояла новейшая по тем временам техника, был негласным повествованием развития индустриализации в СССР [9].

Заключение

Открытие выставки достижений сельского хозяйства в 1939 г. было, безусловно, очень важным значимым социальным и политическим событием в Москве, символом новой эпохи, новой архитектуры и новой Москвы [10]. Архивные письма, дневники жителей города и посетителей ВСХВ свидетельствуют о том, что посещение Выставки входило в жизнь людей как значимое событие. Благодаря большому количеству семейных архивных фотографий возможно реконструировать детали утраченных планировочных решений и определить местоположение утраченных исторических объектов.

Историческое функциональное зонирование и основная планировочная структура сохранились от первоначального

проекта 1939 г. Местоположение Выставки неизменно на протяжении всего ее существования, окружающая территория застраивается уже около 80 лет и в настоящий момент представляет собой разнотипную застройку от кварталов в духе 1950-х гг. до типовых микрорайонов 1980-х гг. Историческая планировочная структура интегрируется в окружающие территории различным образом. В большей степени выходы с территории Выставки регламентированы историческими объектами, такими как Южный вход, Северный вход и т. д., но есть территории, не осмысленные до настоящего времени и являющиеся проектной площадкой для нового современного проектирования.

***Благодарности.** Исследование выполнено при участии архива и электронного архива «Выставка достижений народного хозяйства» в Москве.*

Список литературы

1. *Ткаченко С. Б.* Градостроительные эффекты проведения и реализации конкурсов на создание ВСХВ // АМИТ. 2015. № 2 (31). С. 1—12.
2. *Олтаржевский В. К.* Практика. Всесоюзная сельскохозяйственная выставка // Архитектура СССР. 1939. № 1. С. 22—29.
3. *Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации* : федер. закон от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ. Доступ из справ-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. *Нарумова Е. Д.* Формирование общественных пространств Москвы в 1930-е гг. На примере ЦПКиО им. Горького и ВСХВ // Вестник Московского университета. Сер. 21: Управление (государство и общество). 2015. № 2. С. 115—134.
5. *Лежава И. Г.* Преобразование города // Градостроительство 2016. № 4. С. 96—102.
6. *Таранов И., Андреев В.* Павильон и площадь Механизации // Архитектура СССР. 1939. № 5. С. 33—37.
7. «Букет идей» для второй ВСХВ // Архитектура СССР. 1986. № 5. С. 108.
8. *Аранович Д.* Новая планировка выставки // Архитектура СССР. 1939. № 2. С. 20—25.

9. *Зиновьева О. А.* Символы сталинской Москвы. М. : Изд-во Елены Тончу, 2009. 264 с.

10. *Горлов В. Н.* Главная выставка страны — символ советской эпохи // Вестник Московского государственного областного университета. Сер.: История и политические науки. 2020. № 3 С. 161—170.

А. В. Кулагин, Д. В. Калмыков

ФГБУ Центральный научно-исследовательский
и проектный институт ЦНИИП Минстроя России (Москва, Россия)

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
В СОЗДАНИИ И СОХРАНЕНИИ МОНУМЕНТОВ
ВОИНСКОЙ СЛАВЫ ПРИМЕНительно К ВОССТАНАВЛИВАЕМЫМ
ГОРОДСКИМ АГЛОМЕРАЦИОННЫМ ТЕРРИТОРИЯМ**

**KALININGRAD REGION URBAN DEVELOPMENT EXPERIENCE
IN THE FIELD OF CREATION AND PRESERVATION
OF MILITARY GLORY MONUMENTS FOR PROPUSES
OF URBAN AGGLOMERATION TERRITORIES RESTORFTION**

***Аннотация.** В данной статье рассматривается опыт Калининградской области по сохранению мемориалов и памятных мест воинской славы и градостроительные аспекты развития туристического потенциала в целях использования на восстанавливаемых городских агломерационных территориях.*

***Abstract.** This article examines the experience of the Kaliningrad region in preserving memorials and places of military glory and urban development aspects of developing tourism potential for use in the restored urban agglomeration territories.*

***Ключевые слова:** градостроительное планирование, восстановление агломерационных территорий, туристический потенциал, туристский продукт, территориальное региональное развитие, объекты боевой славы и воинской памяти Калининградской области*

***Keywords:** urban planning, restoration of agglomeration territories, tourism potential, tourism product, territorial regional development, objects of military glory and military memory of the Kaliningrad region*

© Кулагин А. В., Калмыков Д. В., 2025

Введение

При реализации комплекса градостроительных задач по восстановлению городских агломерационных территорий после природных катастроф или глобальных причин техногенного характера, включая военные действия, стоит задача по определению ключевых направлений восстановления и дальнейшего развития. Такой поворотный момент может быть также использован для определения новых направлений развития территорий или смены профильных приоритетов местной экономики. В данной статье рассматривается опыт Калининградской области по сохранению мемориалов и памятных мест воинской славы и градостроительные аспекты развития туристического потенциала в целях использования на восстанавливаемых городских агломерационных территориях.

Мемориалы боевой славы и воинской памяти Калининградской области как градостроительные категории

Современное территориальное расселение Калининградской области формируется в пределах трех опорных групп социально-экономических районов: а) западная — калининградская агломерация, включающая в себя Балтийск, Зеленоградск, Калининград, Пионерский, Приморск, Светлогорск, Светлый, Янтарный; б) северная — Краснознаменск, Неман, Советск; в) юго-восточная — Черняховск и Гусев. А. Белова, оценивая потенциал экономического и агломерационного развития области [1], выделяет роль полусредних¹ городов — Балтийска, Гусева, Светлого, Советска и Черняховска, как выполняющих функцию межрайонных (окружных) центров. Балтийск, Пионерский, Приморск, Светлый и Янтарный дополняют транспортно-промышленную функцию Калининграда. Зеленоградск, Пионерский, Светлогорск и Янтарный — являются опорными зонами рекреационно-курортного кластера. Роль сухопутных транспортных коридоров Гусева и Советска — временно нивелирована мировой политической

¹ По классификации в Градостроительном кодексе РФ относятся к малым городам.

турбулентностью¹. Внешнеполитическая нестабильность оказала свое влияние на условия для высоких темпов роста туристических потоков в Калининградскую область², что также способствует развитию рекреационных ресурсов и объектов гостеприимства. Кроме того, поддерживает развитие приморской курортной зоны для строительства объектов сезонного использования (рис. 1).

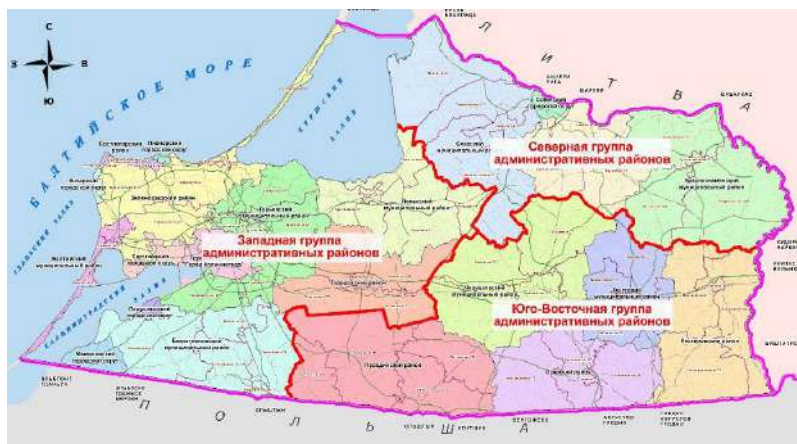


Рис. 1. Опорные социально-экономические районы Калининградской области

Рассматривая территориальные туристические специализации калининградской области, обратимся к наиболее часто используемой в отечественной научной практике классификации по типам целевого [2] туристского продукта: а) рекреацион-

¹ Секционная блокада Калининградской области со стороны европейских стран в связи с проведением СВО.

² По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области, в 2023 г. область посетило более 2 млн туристов, в 2025 г. ожидается 2,4 млн посещений // Росстат. URL: <https://39.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 05.03.2025).

ный; б) культурно-познавательный; в) лечебно-оздоровительный; г) спортивный и экстремальный; д) гастрономический; е) деловой; ж) религиозный и паломнический; з) событийный и фестивальный. Туристский каркас области [3] включает в себя природные и материальные объекты почти всех перечисленных типов кроме, пожалуй, паломнического. Балтийский фронт Калининградской области еще с девятнадцатого века был излюбленным дачным местом прусской аристократии и интеллигенции, а также использовался в качестве морской здравницы в советское время. Куршская коса представляет собой уникальный природно-антропогенный ландшафт с высоким уровнем биологического разнообразия. В городах и поселках сохранились и восстанавливаются объекты довоенной прусской архитектуры, привлекающие туристов своим колоритом.

Отдельной красной строкой для Калининградской области, как и для всей России, стоит развитие направления культурно-познавательного туризма по местам боевой славы и воинской памяти. Охрана мест боевой славы и воинской памяти является одним из важнейших приоритетов [4] сохранения государственности, а изучение исторических событий, сохранение памяти и организация посещений таких мест — способствует воспитанию молодого поколения в духе гражданской ответственности и патриотизма. В 2023 г. в рамках реализации национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства» сформировано 147 новых туристических маршрутов по местам воинской славы в 51 регионе России, в которые включено посещение мемориальных комплексов, памятников и исторических мест решающих битв и сражений, просветительские, познавательные и интерактивные мероприятия. Воинский подвиг советских солдат и моряков на Балтике в ходе Великой Отечественной Войны (ВОВ) бессмертен. Воинские памятники Калининградской области стоят в одном ряду с важнейшими мемориалами Отечественной истории: Куликовым полем — местом битвы 8 сентября 1380 г. между объединенным войском Дмитрия Ивановича (Донского) и ордой Мамаю, окончившейся поражением татаро-монгольского войска и ставшей узловым историческим моментом становления русской государственности; Бородин-

ским полем — местом генерального сражения Отечественной войны 7 сентября 1812 г., приведшее в итоге к поражению Наполеоновской армии; и Мамаевым курганом — мемориалом защитникам Сталинграда и героям Сталинградской битвы (сентябрь 1942 г. — январь 1943 г.), ставшей ключевым поворотным моментом ВОВ (рис. 2). Взятие советскими войсками в апреле 1945 г. Кенигсберга и Пиллау — вырванное «сердце прусского милитаризма» [5] ознаменовало собой близость окончательного падения третьего рейха.



Рис. 2. Воинские мемориалы Калининграда

Калининградская (Кёнигсбергская) область вошла в состав РСФСР в соответствии с условиями Потсдамского соглашения. К моменту окончания войны, более $\frac{9}{10}$ зданий, строений и сооружений на территории будущей Калининградской области находилось в поврежденном или руинированном состоянии [6]. Так из 6 млн м^2 жилой площади Кёнигсберга, сохранилось или подлежало скорому восстановлению не более 1,5 млн м^2 ; 2,5 млн м^2 подлежало восстановлению; около 2 млн м^2 было утрачено [7]. Причинами таких масштабных разрушений были не только боевые действия советской армии. В августе 1944 г. Королевскими военно-воздушными силами Великобритании была организована серия масштабных авианалетов и бомбардировок Кенигсберга зажигательными бомбами и напалмом. Бомбардировке подверглись исключительно жилые кварталы города, оставив нетронутыми порт и военные объекты. По бри-

танским отчетным данным¹ в городе бомбардировками за две ночи было разрушено больше $\frac{2}{5}$ всех жилых строений и $\frac{1}{5}$ промышленных невоенных объектов. От британских бомбежек пострадало в основном гражданское население, а сама акция устрашения была тренировкой перед уничтожением Дрездена², сделав Кёнигсберг мемориалом жертвам войны. Остров Кнайпхоф (остров Канта) был разрушен фактически полностью (рис. 3). Консервирование руин в качестве памятника в назидание потомкам стало одной из первых градостроительных концепций [8] мемориализации наследия страшной войны, были также предложения по перенесению на остров братских захоронений советских солдат и создания некрополя или зеленой зоны. Руины Кафедрального собора удалось сохранить благодаря примыкающей к нему могиле «идеологически близкого» философа И. Канта [9], и восстановленный собор сейчас по прошествии 85 лет по-прежнему выступает безусловной доминантой Кнайпхофа. Итоговым решением советского руководства была окончательная трансформация Кнайпхофа в мемориальный остров-парк и парк скульптур. Открытие в 1972 г. эстакадного проходного моста через остров способствовало выделению острова-мемориала из ткани динамичного областного города в самостоятельный элемент.

¹ *Журнал операций Королевских BBC Великобритании (RAF Bomber Command: Campaign Diary. August 1944)* // Национального электронного архива Великобритании. URL: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20070706054833/http://www.raf.mod.uk/bombercommand/aug44.html> (дата обращения: 05.03.2025).

² Тотальное разрушение гражданской застройки Кенигсберга и Дрездена и жертвы среди мирного населения не несло в себе какой-либо стратегической или военной необходимости и подается англичанами как возмездие за Ковентри, при том, британское командование, обладая разведанными, могло предотвратить бомбежки Ковентри, но допустило разрушение города как «стратегическую необходимость». Историки сходятся во мнении, что разрушение Кёнигсберга и Дрездена явилось демонстрацией «колониального» карательного подхода, которым англичане отличались еще во времена англо-бурской войны и многих других колониальных конфликтов.



Рис. 3. Остров Кнайпхоф после английских бомбежек и в наши дни

Балтийск (бывш. Пиллау) — город воинской славы и самая западная база Балтийского Флота — был взят в ходе ожесточенных боев 25 апреля 1945 г. Балтийская Крепость (Пиллау), входящая в музейный комплекс Музея Балтийского Флота и являющаяся действующим объектом Министерства обороны — представляет собой уникальный памятник фортификационного строительства Нового времени. Основанная в 1626 г. шведами, в течение трех веков служила прусским гарнизонам в ходе Семилетней войны 1756—1763 гг., Франко-Прусской кампании 1806—1807 гг., Первой мировой войны и Великой Отечественной Войны. Является памятником воинской доблести и героизма советских солдат и моряков, наравне с установленным на Площади Балтийской Славы торпедным катером и другими мемориалами Балтийска. Балтийская Крепость входит в число ключевых объектов туристского каркаса Калининградской области (рис. 4).

Мемориалы и монументы воинской славы в Калининградской области не ограничены только периодом ВОВ, патриотические истоки охватывают различные исторические периоды. В Черняховском (бывш. Истербург) помещен барельеф императора Франции Наполеона Бонапарта, останавливавшегося в Восточной Пруссии в июне 1812 г. накануне вторжения в Россию. В Истербурге Наполеон провел смотры частей и войск гвардии. Памятник установлен с нападением потомкам, что из полумиллионной «непобедимой» наполеоновской армии возвра-

тилось по домам меньше 1/10. В том же Черняховском в честь 250-летнего юбилея установлена памятная доска в честь победы русской армии над прусскими войсками 19 (30) августа 1757 г. под селением Грос-Егерсдорф близ Инстербурга. В Правдинске (бывш. Фридланд) установлен памятник генерал-майору Н. Н. Мазовскому, героически погибшему в ходе Фридландского сражения 2 (14) июня 1807 г.



Рис. 4. Мемориалы Балтийска: план крепости Пиллау, гравюра XVII в.; Крепость Пиллау вид сверху; Мемориал Торпедный катер на Площади Балтийской Славы

Городской парк Мамоново (бывш. Хайлигенбайль) выстроен вокруг мемориала воинам Красной Армии, павшим при взятии города. В этом месте захоронены 1420 воинов 3-й, 28-й, 48-й и 5-й армий, включая Героя Советского Союза подполковника Н. В. Мамонова, в чью честь переименован сам город. В парке установлены скульптурные композиции, отражающие ключевые вехи ВОВ и памятник Воинам-интернационалистам (рис. 5).



Рис. 5. Воинский мемориал в Мамоново

Памятники и мемориальные комплексы воинской доблести занимают центральное ключевое место на пространстве городов и поселков Калининградской области и формируют основу для создания особой «калининградской» градостроительной среды, являющей собой слияние старого прусского «бюргерского» колорита, объектов массового индустриального строительства советского периода и современных зданий в неонемецкой стилистике. Именно объекты и мемориалы воинской памяти скрепляют три градостроительные эпохи. Для сохранения такого градостроительного сплава Калининграда, А. Некрасов предлагает использовать «метод архитектурного воссоздания» для возрождения духовных идеалов, культурного смысла и сохранение историко-культурного наследия [10]. Им предложено воссоздать часть утраченных довоенных кварталов по красным линиям в прежних границах и с новым функциональным наполнением, а также воссоздать Королевский замок в светопрозрачных конструкциях. Под термином «воссоздание» рассматривается воспроизведение частично или полностью уничтоженных исторических объектов, при сохранении атмосферы архитектурной целостности исторического периода и допустимых (в отличие от реставрации) отклонениях форм и назначения¹.

Заключение

Изучение опыта Калининградской области по формированию городской среды на основе объектов воинской памяти применительно к восстановлению городских агломерационных территорий после СВО, представляется своевременным и актуальным с учетом уникального опыта «нового заселения» освоенной территории — депортации немецкого населения и заселения выходцами из центральных районов СССР. Такая смена парадигм, в том числе, потребовала адаптацию истори-

¹ Именно в такой парадигме воссоздается застройка Рыбной деревни (бывш. Линденмаркт).

чески сформированной восточно-прусской системы расселения под новые цели и функции при образовании Калининградской области [11].

При разработке схем территориального планирования и градостроительной документации для восстанавливаемых агломерационных районов представляется целесообразным учесть все локальные факторы размещения и развития туристской составляющей, включая выявление и отображение туристских ресурсов территории, планирования туристских объектов и туристических маршрутов в целях создания единого туристского каркаса, встроенного в существующую или воссоздаваемую систем расселения [12]. В настоящее время ряд территорий страны испытывает на себе последствия разрушений в ходе боевых действий Специальной военной операции (СВО). Такая ситуация остро ставит перед градостроителями вопросы комплексного восстановления и развития территорий после окончания СВО, учитывая не только значительные разрушения агломерационных территорий, но возможное качественное и количественное изменение численного состава населения. Разрушение производственной базы промышленных предприятий и изменение структуры межрегиональных балансов в ряде случаев ставит под вопрос целесообразность их восстановления. В такой парадигме развитие новых секторов и направлений экономической специализации, как например туризм, может выступить в качестве основы формирования нового экономического профиля территорий. Тогда задачей градостроителей станет создание максимально комфортной среды для организации туристических потоков в рамках городских агломераций с учетом наличия и профиля туристических объектов и условий [13]. Изучение опыта Калининградской области по охране памятников воинской славы и формированию патриотического туризма создает опорный базис формирования потенциальных туристских маршрутов на восстанавливаемых территориях и может быть использовано в градостроительном проектировании при подготовке новых схем территориального планирования и генеральных планов развития таких территорий.

Источники изображений

1. Рисунок 1. *Пустовгаров В. И.* Градостроительное развитие территории Калининградской области в проектах советского периода // Национальная Ассоциация Ученых. 2020. № 56-1 (56). С. 5— 11. doi: 10.31618/nas.2413-5291.2020.1.56.234. EDN: FCSTND.
2. Рисунок 2. *Яндекс* карты. URL: <https://yandex.ru/maps>.
3. Рисунок 3. Блог «Гид 39». URL: <https://gid39.su/> Блог А. Красникова, <https://a-krasnikov.livejournal.com/84154.html>.
4. Рисунок 4. *АНО НИЦ Современной истории.* URL: <https://балтийская-крепость.рф> ; портал priroda.club ; <https://priroda.club> ; Яндекс карты ; <https://yandex.ru/maps>.
5. Рисунок 5. *Яндекс* карты. URL: <https://yandex.ru/maps>.

Список литературы

1. *Белова А. В.* Роль малых и полусредних городов в решении проблем регионального развития / А. В. Белова // Балтийский регион. 2011. № 1 (7). С. 126—133. EDN: NDNFEL.
2. *Преображенский А. Б., Гаркушина Н. А.* Новые виды туризма как резерв для увеличения внутреннего и въездного туристического потока в Российской Федерации // Сервис plus. 2021. Т. 15, № 3. С. 29—42. doi: 10.24412/2413-693X-2021-3-29-42. EDN: SIOGDQ.
3. *Федорова Т. А.* Туристский каркас территории СЗФО // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 305. EDN: TXUZMF.
4. *Алисов Д. А.* Особенности формирования и трансляции исторической памяти о Великой Отечественной войне (1941—1945 гг.) в структуре культурного ландшафта сибирского города // Национальный проект «Культура» и региональные культурные стратегии : матер. Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Пермь, 13—14 мая 2021 г. Пермь : Пермский государственный институт культуры, 2021. С. 293—300. EDN: CMYDQY.
5. *Петунин К. Б.* Битва за Кенигсберг. Восточно-Прусская кампания 1944—1945 гг. // Калининградские архивы. 2023. № 20. С. 240—245. EDN: ЕОЕМHV.

6. *Митина Е. С.* Восстановительный период в истории градостроительства в Калининградской области (1945 — середина 1950-х годов) // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. № 12. С. 71—77. EDN: NBVTOB.

7. *Макарьева Н. Г.* Кенигсберг — Калининград. Из фондов ЦХИД-НИКО // Калининградские архивы : матер. и исслед. Калининград, 2001. Вып. 3.

8. *Фостова С. А.* Трансформация исторического центра Кенигсберга в послевоенные годы // Национальное культурное наследие России: региональный аспект : матер. V Всерос. науч.-практ. конф., Самара, 29 марта 2017 года / под ред. С. В. Соловьевой. Самара : Самарский государственный институт культуры, 2017. С. 256—261. EDN: ZUIAQF.

9. *Белинцева И. В.* Охрана памятников архитектуры в Калининградской области в послевоенные десятилетия XX века (1945—1967 гг.) // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году : сб. науч. тр. РААСН. М. : АСВ, 2019. Т. 1. С. 7—17. doi: 10.22337/9785432303080-7-17. EDN: DEUGH1.

10. *Некрасов А. Б.* Воссоздание утраченной исторической застройки (на примере города Калининграда) // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 2. С. 38—50. doi: 10.22337/2077-9038-2019-2-38-50. EDN: LJFOTD.

11. *Манюк Е. С.* Отношение переселенцев к городской среде в бывшей Восточной Пруссии (Калининград и Клайпеда): социально-политический аспект // Время Музея : сб. ст. Калининград : Страж Балтики, 2019. Т. 2. С. 376—388. EDN: QWMPUP.

12. *Федорова Т. А.* Методика разработки схемы организации туризма как части схемы территориального планирования // Фундаментальные исследования. 2015. № 6-3. С. 523—532. EDN: UDVHZN.

13. *Токарева О. Б., Пашаева С. П.* Роль внутреннего туризма в социально-экономическом развитии региона // Журнал прикладных исследований. 2024. № S2. С. 10—15. doi: 10.47576/2949-1878.2024.19.57.001. EDN: URZREZ.

К. В. Шишов, Е. В. Климова

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
и проектный институт ЦНИИП Минстроя России» (Москва, Россия)

**ВОПРОСЫ ОБУСТРОЙСТВА ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ
ПРИМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ
ДЛЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ОСВОЕНИЯ**

**ISSUES OF DEVELOPING ENGINEERING INFRASTRUCTURE IN COASTAL
TERRITORIES INTENDED FOR RECREATIONAL DEVELOPMENT**

***Аннотация.** Целью исследования являются научные предложения по выполнению проектной градостроительной документации в части инженерного обустройства территории для проведения инновационных мероприятий, направленных на реализацию тезисов Послания Президента РФ Владимира Путина к Федеральному Собранию 21 февраля 2023 г. в области оздоровления водных объектов и модернизации систем ЖКХ.*

Инженерные показатели входят в перечень приоритетных критериев при выборе территорий для обеспечения сбалансированного учета градостроительных, инженерных, экологических и иных аспектов для минимизации негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Методология исследований

Для сравнительного анализа выбраны концепции и мастер-планы (презентационные материалы) всесезонных курортов с современной туристической инфраструктурой, расположенные на приморских территориях в Калининградской области, Краснодарском крае и Санкт-Петербурге, для которых разработаны государственные программы инвестиционной политики.

© Шишов К. В., Климова Е. В., 2025

Актуальность темы исследования — внедрение комплексного подхода к освоению туристско-рекреационных зон и выбор приоритетных направлений их развития, что заложено в Стратегии развития туризма — новые проекты стали для регионов одним из инновационных направлений, которое способствует ускорению социально-экономического роста, расширяет область перспективного строительства, создает новые рабочие места.

Для выбранных примеров рассмотрены возможные мероприятия строительства / модернизации систем инженерного обустройства объектов электро-, газо-, тепло-, водоснабжения и водоотведения, ливневой канализации.

Abstract. *The purpose of the study is scientific proposals for the implementation of urban planning documentation regarding the engineering development of the territory in order to carry out innovative measures aimed at implementing the theses of the Address of the President of the Russian Federation Vladimir Putin to the Federal Assembly on February 21, 2023 in the field of improving water bodies and modernizing housing and communal services systems. Engineering indicators are included in the list of priority criteria when choosing territories to ensure balanced consideration of urban planning, engineering, environmental and other aspects in order to minimize the negative impact of economic and other activities, protection and rational use of natural resources.*

Research methodology

For comparative analysis, concepts and master plans (presentation materials) of all-season resorts with modern tourist infrastructure located in the coastal territories of the Kaliningrad Region, Krasnodar Territory and St. Petersburg have been selected, for which state investment policy programs have been developed.

The relevance of the research topic is the introduction of an integrated approach to the development of tourist and recreational areas and the choice of priority areas for their development, which is laid down in the Tourism Development Strategy. New projects have become one of the innovative areas for the regions, which contributes to accelerating socio-economic growth, expands the field of promising construction, and creates new jobs.

For the selected examples, possible measures for the construction / modernization of engineering systems for electric, gas, heat, water supply and sanitation, and storm sewers are considered.

Ключевые слова: градостроительная деятельность, приморские территории, инженерное обеспечение, энергоэффективность, ресурсосбережение, охрана окружающей среды

Keywords: urban planning, coastal territories, engineering, energy efficiency, resource conservation, environmental protection

Введение

С принятием положений *Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 г.*¹ государство направляет усилия, ресурсы и меры поддержки на развитие приоритетных туристских территорий, повышая их инвестиционную привлекательность и улучшая условия для вложения в туристский бизнес. Задача проектировщиков — внедрять комплексный подход в проектирование через формирование планов развития (концепция, мастер-план, генеральный план, проекты планировки территории), скоординированных с соответствующими документами стратегического планирования, отраслевыми и территориальными программами социально-экономического развития.

На развитие в регионах территорий и зон рекреационной направленности указывает одна из основных целей Стратегии: «Усиление социальной роли туризма, увеличение доступности услуг туризма, отдыха и оздоровления для всех жителей Российской Федерации».

Необходимо отметить основные законодательные документы, отражающие приоритетность вопросов развития туристской отрасли:

¹ О Стратегии развития туризма в РФ на период до 2035 г. : распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2019 г. № 2129-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

— Федеральный закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации»¹;

— Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года (Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 г. № 4146-р)²;

— Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» от 07.05.2024 г.³;

— Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145)⁴;

— Совещание по вопросу создания федеральных круглогодичных курортов 28 марта 2024 года (Владимир Путин в режиме видеоконференции провел совещание по вопросам развития проекта федеральных круглогодичных курортов «Пять морей и озеро Байкал»)⁵.

¹ *Об основах туристской деятельности в Российской Федерации* : федер. закон от 24 ноября 1996 г. № 132-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

² *Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года* : распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 г. № 4146-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

³ *О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года* : указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

⁴ *Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации* : указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

⁵ Совещание по вопросу создания федеральных круглогодичных курортов 28 марта 2024 года (Владимир Путин в режиме видеоконференции провел совещание по вопросам развития проекта федеральных круглогодичных курортов «Пять морей и озеро Байкал» // Президент России : [офиц. сайт]. 2008. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73754> (дата обращения: 03.03.2025).

К основным направлениям и задачам пространственного развития РФ относится обеспечение опережающего развития инженерной инфраструктуры в населенных пунктах, в которых реализуются новые инвестиционные проекты, существенно влияющие на экономику региона.

Материалы и методы

Сейчас основные подходы к развитию туристских территорий при подготовке и реализации концепций, мастер-планов, финансовых моделей развития заключаются в синхронизации планов по созданию объектов туристской и обеспечивающей инфраструктуры (комплексное развитие территорий), а также опираются на рост инвестиционной привлекательности туризма и тенденций повышения интереса к здоровому образу жизни [1].

Еще один важный фактор развития отрасли — меры государственной поддержки, направленные на создание новых программ, основными из которых является создание транспортной и инженерной инфраструктуры.

Инженерное обеспечение курортных территорий должно решать много вопросов, в том числе:

- подводящие инженерные сети и объекты должны обеспечивать нагрузки исходя из заявленной численности населения и номерного фонда, состава объектов различного функционального назначения;

- инвестор порой недооценивает важность и количество инженерных объектов, необходимых для той или иной застройки. Кроме того, эти объекты сами создают охранные или санитарно-защитные зоны, что тоже увеличивает запрашиваемую инженерами площадь для их размещения. Зачастую инженерные объекты (электро-, газо-, тепло-, водоснабжение и водоотведение) занимают до 10 % территории;

- еще одним сложным моментом для выбранных нами проектов, является их приморское расположение с ограниченными возможностями организации инженерной инфраструктуры.

Основные технико-экономические показатели выбранных проектов приводятся по материалам госкорпорации Туризм.

РФ [2]. При разработке градостроительной, а впоследствии и рабочей документации, на основании показателей данных ТЭП (туристический поток, количество обслуживающего персонала, номерной фонд, общая площадь зданий и сооружений) будут рассчитываться необходимые инженерные нагрузки в части электро-, тепло-, газоснабжения, водоснабжения и водоотведения. В зависимости от величины инженерных нагрузок станет возможным определить наиболее целесообразные источники их покрытия и точки подключения — может быть предложено использование мощностей существующей коммунальной инфраструктуры близлежащих населенных пунктов, а также строительство новых, непосредственно на территории рассматриваемых площадок.

Туристская территория «Белая Дюна» расположена на берегу Балтийского моря в Калининградской области на участке площадью 479 га (рис. 1).



Рис. 1. Курорт «Белая Дюна»

(<https://volnanews.ru/authority/opredelena-kompaniya-kotoraya-razrabotaet-proekt-beregoukrepleniya-dlya-beloj-dyuny>)

Проектирование, строительство гостиничных и санаторно-курортных комплексов рассчитано на 10 500 ед. номерного фонда. Территория получит хорошую транспортную доступность с учетом строительства нового этапа Приморского кольца

от Светлогорска до Янтарного. Расстояние до Калининграда — 65 км, до аэропорта Храброво — 50 км. Туристический поток прогнозируется 1100 тыс. человек ежегодно.

Расходы на обеспечивающую инфраструктуру — 37,3 млрд руб. с учетом 19,6 млрд руб. на строительство железнодорожной ветки к курорту и строительство электростанции на 3,7 млрд руб.

Всероссийский пляжный семейный курорт «Новая Анапа» располагается на берегу Черного моря возле станции Благовещенская города-курорта Анапа, по границам ООПТ «Анапская пересыпь» (рис. 2).



Рис. 2. Курорт «Новая Анапа»
(<https://туризм.пф/territories/novaya-anapa/>)

Площадь туристического кластера — 1806 га; проект предлагает строительство гостиниц и санаториев на 15 300 ед. номерного фонда, а также объекты социальной, транспортной, инженерной и туристической инфраструктуры.

Территория располагается в 36 км от города-курорта Анапа и в 24 км от международного аэропорта Анапа. Подъезд на территорию по трассе М-25 Новороссийск — Керченский пролив, от которой требуется строительство новой подъездной дороги — 19 км. Расходы на обеспечивающую инфраструктуру — 152 млрд руб.

При реализации проекта курорта «Новая Анапа» необходимо строительство объектов электро-, газо-, тепло-, водоснабжения и водоотведения, которые будут подключаться к коммуникациям и сооружениям города с увеличением их мощности и пропускной способности.

Туристический кластер «Санкт-Петербург Марина» проектируется на территории промзоны «Горская» в Приморском районе Санкт-Петербурга на берегу Финского залива (рис. 3).



Рис. 3. Санкт-Петербург Марина
(<https://www.dp.ru/a/2025/07/23/stojanka-jaht-i-kinostudija>)

Площадь территории — 161 га, номерной фонд составит 6700 ед. Планируемый турпоток — 1 330 000 человек в год. Приморское шоссе и КАД связывают ее с Петербургом и Кронштадтом; рядом железнодорожная станция «Горская»; до исторического центра города — 20 км; до аэропорта Пулково — 55 км.

Власти уже сейчас решают вопросы инженерного обеспечения площадки, в том числе канализационные стоки объектов будут направлены по проектируемому тоннельному канализационному коллектору «Лакhta — Горская» на очистные сооружения Санкт-Петербурга, о чем заявил губернатор Александр Беглов [3].

Средства инвесторов на создание объектов туристской инфраструктуры — 165 млрд руб., 45 млрд руб. — стоимость объектов обеспечивающей инфраструктуры.

Результаты

Результаты анализа инновационных проектов туристических кластеров, находящихся на приморских территориях, показывают, что при выборе решений по инженерному обеспечению в концепциях и мастер-планах не учитываются в полной мере природоохранные требования к водоохранным, рыбоохранным и прибрежным зонам, установленные действующим законодательством РФ, режимы зон горно-санитарной охраны и особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Нельзя забывать, что в пиковый курортный сезон временное население, находящееся на отдыхе, может быть увеличено в разы по отношению к постоянному населению, что потребует увеличения мощности инженерных сооружений и пропускной способности сетей. Эти аспекты для городов-курортов не закладываются в нормы градостроительного проектирования (РНГП, МНГП) [4].

Инженерные проблемы приморских территорий напрямую связаны с недостатком водоснабжения, отсутствием во многих населенных пунктах централизованных систем водоотведения и ливневой канализации, что негативно сказывается на экологическом состоянии морской акватории, сдерживает развитие санаторно-курортной базы и освоение новых территорий.

На основе анализа выбранных проектов с минимальной информацией об инженерном обеспечении можно предположить необходимость реализации следующих мероприятий:

- обеспечение участков курортного строительства инженерной инфраструктурой должно соответствовать современному уровню развития строительного комплекса и производства строительных материалов, изделий и конструкций с применением инновационных, в том числе, энергосберегающих, технологий;

- при размещении курорта в сложившейся планировочной структуре (Курорт Новая Анапа — Анапа, Туристический кластер «Санкт-Петербург марина» — Санкт-Петербург) необходи-

ма реконструкция и модернизация инженерных сетей и сооружений, выполненных по самым высоким и передовым стандартам и технологиям;

— должно соблюдаться экологически безопасное функционирование систем водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения, что должно привести к сокращению аварийности на распределительных сетях, это важно для приморских территорий;

— необходимы мероприятия по техническому перевооружению инженерных систем:

— необходима реконструкция подводящих сетей водоснабжения к площадкам, примыкающим к населенным пунктам, так как износ водоводов и водопроводных сетей может составлять до 90 %, а доля потерь и утечек — 50—60 % по отношению к подаче воды;

— проблемы организации водозабора могут быть актуальны для площадки Белая Дюна и решение вопроса имеет различные направления в зависимости от инженерно-геологической изученности территории, геологоразведочных работ по определению запасов пресной воды;

— канализационные стоки объектов туристического кластера «Санкт-Петербург марина» будут направлены на очистные сооружения Санкт-Петербурга; новые / реконструируемые очистные сооружения канализации проектируемых площадок должны отвечать российскому законодательству в части нормативов по степени очистки сточных вод;

— при реновации территории в Санкт-Петербурге объекты и сети теплоснабжения предполагается модернизация / реконструкция с увеличением мощности и пропускной способности, поскольку планируется освоение территории бывшего промобъекта. Курорты на Балтийском и Черном морях потребуют строительства новых сетей и источников теплоснабжения;

— для электроснабжения туристской территории «Белая Дюна» и курорта «Новая Анапа» необходимо размещение новых питающих центров со строительством ЛЭП. При реновации промышленной территории в Санкт-Петербурге объекты и сети электроснабжения нуждаются в модернизации с увеличением мощности и пропускной способности;

— для прибрежных территорий необходимо проведение мероприятий по инженерной защите и подготовке территории: отсыпка пляжа, строительство набережных с берегоукрепительными и противооползневыми сооружениями; использование защитного озеленения;

— для соблюдения экологических требований на приморских территориях, новые курорты должны быть обеспечены системами отвода и очистки поверхностного стока закрытого типа для исключения сброса неочищенных вод в морскую акваторию. На рисунке 4 приведен пример очистных сооружений.

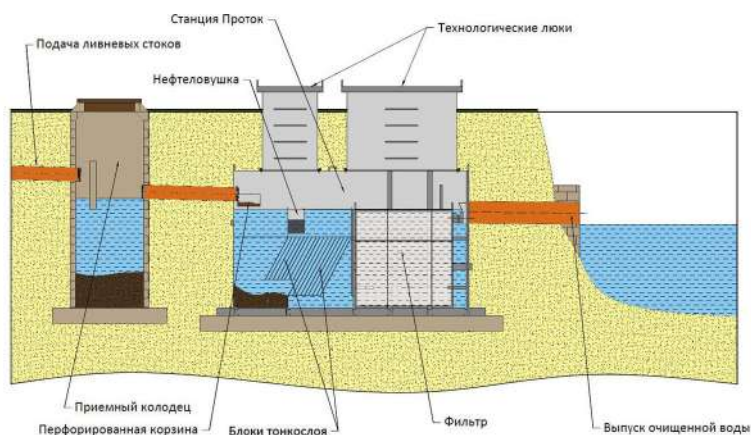


Рис. 4. Очистные сооружения поверхностного стока
(<https://eurobion.info/pravila-montaza-lokalnyh-ocistnyh-sooruzenij>)

Заключение

Освоение приморских территорий, наиболее уязвимых при современном градостроительном освоении, должно отвечать одному из основных направлений пространственного развития РФ — «формирование территорий экологического благополучия посредством реализации мероприятий по сохранению и восстановлению природной среды, обеспечению качества окружающей среды, необходимых для комфортной и безопасной жизни человека, а также устойчивого развития экономики».

Помимо инженерных аспектов, для освоения туристских территорий необходимо совершенствование транспортной логистики. В статье освещались автомобильные связи новых рекреационных площадок с городами, но особенно важно наличие аэропортов при условии значительных расстояний в нашей стране. Для развития экономики авиахабов и опорных регионов развития приморских, курортных и туристических целей используется два пути: 1) государственные субсидии и государственно-частное партнерство, при котором эффективность и значимость аэропорта повышается за счет расширения авиационного сектора и государственной «ставки» на тот или иной аэропорт; 2) увеличение доли неавиационных доходов аэропортов, находящихся в частных руках, что является ключевым источником обеспечения прибыльности региональных аэропортов [5].

Развитие информационных технологий и, в первую очередь, геоинформационных технологий, позволяет получить альтернативный канал контроля управления проектом курортных зон, обустройства инженерной инфраструктурой приморских территорий, предназначенных для рекреационного освоения. В основу предлагаемого подхода входит встраивание модельных реализаций в подготовку управляющих решений, а также выдачу корректирующих воздействий, обеспечивающих оптимизацию его контролируемых параметров.

Геоинформационная среда территории представляет собой совокупность государственных, региональных, ведомственных фондов, включая фонд обороны, пространственных данных, а также совокупность технических телекоммуникационных интернет-порталов, обеспечивающих их получение пользователями [6].

С 2023 г. в рамках поручения президента РФ реализуется программа модернизации коммунальной инфраструктуры до 2027 г. (с возможностью продления до 2030 г.), согласно которой будут обновлены сети и объекты инженерной инфраструктуры, проведена модернизация линейных объектов: сетей тепло-, водоснабжения и водоотведения [7]. При этом крайне

важно, что мероприятия по модернизации будут выполняться в комплексе с другими федеральными и региональными программами жилищно-коммунальной и строительной отраслей.

Для решения задач размещения инженерных сетей и объектов в проектах развития рекреационных зон на приморских территориях должны быть разработаны мероприятия по техническому перевооружению всех систем, что будет способствовать реализации государственной политики по рациональному природопользованию, энергоэффективности и ресурсосбережению, внедрению инновационных технологий и материалов.

На это должны быть направлены нормативно-правовые градостроительные документы: Своды правил, нормативы градостроительного проектирования, разрабатываемые на основе учета стратегий и программ социально-экономического развития субъектов РФ и муниципальных образований.

Выполнение нормативов по защите природной среды, эколого-ориентированной организации территории, использованию энергосберегающих технологий, высокотехнологичного и экологически безопасного инженерного оборудования обеспечит стабильность и устойчивое экономическое развитие приморских территорий, закрепит право граждан на отдых, обеспечит качество окружающей природной среды и сохранение природного потенциала [8].

Список литературы

1. *Аковецкий В. Г., Гутников В. А.* Технологические аспекты цифровой экономики: от геоинформационной среды проекта через управляющее решение к управляющему воздействию // Градостроительство. 2016. № 5 (45). С. 7—18.
2. *Беглов:* город готовится к реализации проекта «Санкт-Петербург Марина» // 78.ru : [офиц. сайт]. URL: <https://78.ru/news/2025-01-31/beglov-gorod-gotovitsya-k-realizacii-proekta-sanktpeterburg-marina> (дата обращения: 03.03.2025).
3. *Гутников В. А., Мельникова М. В.* Социально-экономические факторы и градостроительные условия развития региональных аэропортов России // Градостроительство. 2020. № 3 (67). С. 67—77.

4. *О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года* : указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. *О Стратегии развития туризма в РФ на период до 2035 г.* : распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2019 г. № 2129-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

6. *Об основах туристской деятельности в Российской Федерации* : федер. закон от 24 ноября 1996 г. № 132-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

7. *Перечень поручений по итогам заседания Президиума Госсовета* // Президент России [офиц. сайт]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/69206> (дата обращения: 03.03.2025).

8. *Совещание* по вопросу создания федеральных круглогодичных курортов 28 марта 2024 года (Владимир Путин в режиме видеоконференции провел совещание по вопросам развития проекта федеральных круглогодичных курортов «Пять морей и озеро Байкал» // Президент России : [офиц. сайт]. 2008. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73754> (дата обращения: 03.03.2025).

9. *Ассоциация курортных и туристических городов* : [офиц. сайт]. URL: <https://askugor.ru/publications/1614/> (дата обращения: 03.03.2025).

10. *Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации* : указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. *Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года* : распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 г. № 4146-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

12. *Территории* // Туризм.РФ [офиц. сайт]. URL: <https://xn--glabnnjg.xn--plai/territories> (дата обращения: 03.03.2025).

13. *Шишов К. В., Климова Е. В. Водоснабжение — пути решения одной из острых инженерных проблем Крымского полуострова* // Градостроительство. 2021. № 3-4 (73—74). С. 23—27.

14. *Шишов К. В., Климова Е. В. Систематизация значимых категорий оценки территории по принципу «зеленых» стандартов* // Город и люди: пространство и время : сб. ст. Междунар. конф. (Смоленск, Смоленский государственный университет, 28—30 апреля 2023 г.) / сост. А. Г. Махрова. М. : Геогр. ф-т МГУ, 2023. С. 404—414.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абд Алвахед Фирас, асп., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

E-mail: firmas.abd.alwahed@yandex.ru

Авилов Дмитрий Александрович, асп., ст. преп., Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского, Норильск, Россия.

E-mail: Avilov.DA@norvuz.ru

Акулова Инна Ивановна, д-р экон. наук, проф., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

E-mail: akulovaii@yandex.ru

Александрова Анастасия Александровна, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: a.nastena2002@mail.ru

Артюхова Людмила Сергеевна, асп., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия.

E-mail: neponyatnaya93@mail.ru

Атак Мурат, магистрант, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

E-mail: atak8@gmail.com

Балтрушайтис Ярослав Викторович, студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: JVBaltrushajtis@stud.kantiana.ru

Барекат Махназ, асп., Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия.

E-mail: 1042225015@pfur.ru

Барсуков Владимир Георгиевич, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

E-mail: v.g.barsukov@grsu.by

Бельмега Максим Сергеевич, студент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

Беляева Светлана Викторона, канд. экон. наук, доц., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

E-mail: belyaeva-sv@mail.ru

Борисов Никита Олегович, асп., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: borisov.n@edu.spbstu.ru

Бочкарева Татьяна Владимировна, асп., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: tbochkareva4612@gmail.com

Бурминский Александр Валерьевич, магистрант, Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета, Пятигорск, Россия.

E-mail: sasha_burmins@mail.ru

Воропай Андрей Максимович, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: a.voropay-vk@yandex.ru

Воротынцев Иван Вячеславович, мл. науч. сотр., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

E-mail: mr.lapotb@mail.ru

Галиев Леонид Сергеевич, асп., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

Гальцев Алексей Андреевич, ст. преп., Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия.

E-mail: galts.alexey@gmail.com

Головин Сергей Валерьевич, асп., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: svgolovin@inbox.ru

Гомес Лопес Анжи Ванеса, асп., Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия.

E-mail: gomes_lopes_a@pfur.ru

Григоренко Николай Иванович, канд. техн. наук, зам. руководителя «Центр трансфера технологий», НИЦ «Курчатовский институт» — ВИАМ, Москва Россия.

E-mail: gri-nik@mail.ru

Гришаев Максим Сергеевич, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: maksimgri39@mail.ru

Гутников Владимир Анатольевич, канд. техн. наук, член-корр. РААСН, зам. генерального директора ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: lomonosov25@rambler.ru

Джунаидов Хакимжон Хамрокулович, учитель-стажер, Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан.

Диваков Евгений Владимирович, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: d_d_divakov@mail.ru

Димитриева София Олеговна, асп., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: ps.dimitrieva@gmail.com

Дмитриева Мария Александровна, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: ADmitrieva@kantiana.ru

Долгов Александр Сергеевич, асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: mr.alexofficial@gmail.com

Дронова Александра Александровна, асп., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: alexandra-dronova@yandex.ru

Елесин Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительства и теплогазоснабжения, Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского, Норильск, Россия.

E-mail: ema0674@mail.ru

Журов Иван Николаевич, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: wanjaga@yandex.ru

Заслуженная Нина Вячеславовна, ст. преп., Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

E-mail: nina.zasluzhennaya@klgtu.ru

Зубакова Анна Игоревна, студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: anytka_zu@mail.ru

Илхомов Жавхир Иномжонович, студент, Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан.

Иноземцев Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доц., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

E-mail: inozemcevas@mgsu.ru

Калинина Наталия Олеговна, асп., Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы; науч. сотр., Единый научно-исследовательский и проектный институт пространственного планирования Российской Федерации, Москва, Россия.

E-mail: ms.nklina@yandex.ru

Калмыков Дмитрий Витальевич, асп., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: ved.niitnn@gmail.com

Карпенко Алексей Владимирович, асп., Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

E-mail: rauseralex@gmail.com

Кизилова Светлана Анатольевна, канд. архитектуры, ст. науч. сотр., филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства, Москва, Россия.

E-mail: s.kizilova@markhi.ru

Климова Елена Владимировна, ст. науч. сотр., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

E-mail: e.klimova@cniipminstroy.ru

Ковшов Артем Олегович, асп., Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия.

E-mail: a-kovshov@list.ru

Коновалова Виктория Сергеевна, д-р техн. наук, доц., Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия.

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Копаница Наталья Олеговна, д-р техн. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия.

E-mail: kopanitsa@mail.ru

Костандова Анна Эдуардовна, студент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

Кочуров Игорь Федорович, канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.

E-mail: kochurov.i.2011@mail.ru

Кривобородов Юрий Романович, д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

E-mail: krivoborodov.i.r@muctr.ru

Кукина Ирина Валериевна, канд. архитектуры, доц., проф., Филиал ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства, Москва; Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

E-mail: ikukina@inbox.ru

Кулагин Артем Владиславович, асп., ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Москва, Россия.

Курочкин Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: ekurochkin@kantiana.ru

Лаврова Анна Сергеевна, канд. техн. наук, доц., Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

E-mail: lavrova.kgtu@yandex.ru

Мамедова Раиме Мамедовна, студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: raime.m@mail.ru

Марутян Александр Суренович, канд. техн. наук, доц., Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета, Пятигорск, Россия.

E-mail: al_marut@mail.ru

Мельникова Арина Сергеевна, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: arinet-2001@mail.ru

Мечетин Денис Максимович, магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: mmdenis@stud.kantiana.ru

Мясников Даниил Олегович, асп., Владимирский государственный университет, Владимир, Россия.

E-mail: daniil.miasnikov.96@mail.ru

Никитин Максим Олегович, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

E-mail: 38600@bk.ru

Новиков Денис Геннадьевич, канд. техн. наук, доц., и. о. зав. кафедры, Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия.

E-mail: kaf_pgs@sakhgu.ru

Новиков Игорь Владимирович, асп., Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: i. v.novikov@urfu.ru

Носочевская Александра Алексеевна, ассистент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

E-mail: aleksandra.nosochevskaya@klgtu.ru

Овчинников Евгений Витальевич, д-р техн. наук, зав. кафедрой архитектуры и строительства, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

E-mail: ovchin@grsu.by

Омельченко Антон Кириллович, асп., зав. лаб., Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия.

E-mail: antonmlchnk@gmail.com

Палкин Вячеслав Геннадьевич, асп., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.

E-mail: palkin.vyacheslav.78@mail.ru

Парфенов Валерий Константинович, студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: gextor.vp@gmail.com

Пичкурова Наталья Сергеевна, зав. лаб., Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия.

E-mail: nataliapich@mail.ru

Провоторов Алексей Александрович, асп., Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

E-mail: prov40@mail.ru

Пустовгаров Виктор Иванович, канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, почетный архитектор РФ, Калининград, Россия.

E-mail: viktorpustovgarov@mail.ru

Рамазанов Голибжон Фатилло угли, студент, Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан.

Расулова Камила Алишеровна, студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: krasulova@stud.kantiana.ru

Ржаников Илья Денисович, студент, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: ilyarzhan@gmail.com

Сагателян Нарине Хореновна, рук. образовательных программ Высшей школы киберфизических систем, ст. преп. ОНК «Институт высоких технологий», Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: NaSagatelyan@kantiana.ru

Славчева Галина Станиславовна, д-р техн. наук, доц., проф., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

E-mail: gslavcheva@yandex.ru

Смирнов Данила Олегович, студент, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия.

E-mail: komplex77777@yandex.ru

Смирнов Евгений Александрович, магистрант, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия.

E-mail: sea2001_18@mail.ru

Сокольников Софья Руслановна, асп., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия.

E-mail: srsokolnikova@mail.ru

Столяров Олег Николаевич, д-р техн. наук, доц. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: stolyarov_on@spbstu.ru

Строкин Константин Борисович, д-р экон. наук, проф. кафедры строительства, директор Технического нефтегазового института, Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия.

E-mail: tni@sakhgu.ru

Сухопарова Виктория Юрьевна, асп., Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия.

E-mail: vika.sukhoparova.99@mail.ru

Сычев Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: sasychev@yandex.ru

Таран Наталья Евгеньевна, студент, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: general@tyuiu.ru

Тарарушкин Евгений Викторович, канд. физ.-мат. наук, доц., Российский университет транспорта (МИИТ)), Москва, Россия.

E-mail: evgeny.tararushkin@yandex.ru

Тожиев Иномжон Илхомович, PhD, доц., зав. кафедрой «Строительство зданий и сооружений», Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан.

E-mail: arminom@mail.ru

Тужилова Мария Валерьевна, магистрант, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия.

E-mail: maryvesninaboris@gmail.com

Тхет Наинг Мьинт, асп., Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия.

E-mail: phaymyint.mgwe@gmail.com

Уварова Светлана Сергеевна, д-р экон. наук, проф., Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

E-mail: uvarova_s.s@mail.ru

Файзуллаев Акрам Артур угли, студент, Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан.

Федченко Ирина Геннадьевна, канд. архитектуры, доц., Филиал ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства, Москва; Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

E-mail: ifedchenko@sfu-kras.ru

Хомякова Ирина Васильевна, канд. техн. наук, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

E-mail: irina.khomyakova@klgtu.ru

Христофорова Ирина Александровна, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАЕН, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия.

E-mail: khristoforova-i@mail.ru

Хтет Паинг Аунг, асп., Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия.

E-mail: ninjalay30179@gmail.com

Чернышкова Ирина Анатольевна, доц., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия.

E-mail: chernyshkova.irina@mail.ru

Чурилов Егор Иванович, студент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия.

Шаманов Виталий Альбертович, канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.

E-mail: vashamanov@pstu.ru

Шаманова Ксения Андреевна, ст. преп., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.

E-mail: kavolosatova@pstu.ru

Шершова Лидия Владимировна, канд. экон. наук, доц., директор ЦВСО, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: shershova@mail.ru

Шишов Константин Владимирович, ст. науч. сотр., Центральный научно-исследовательский и проектный институт ЦНИИП Минстроя России, Москва, Россия.

E-mail: terinform@list.ru

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИИ

Выпуск 7

Сборник научных статей

Под редакцией М. А. Дмитриевой

Научное электронное издание

Редактор *Е. Т. Иванова*
Компьютерная верстка *Е. В. Денисенко*

Дата выхода в свет 12.03.2026 г.
Формат 60 × 90^{1/16}. Усл. печ. л. 34,9

