

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

CONSTRUCTION ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

№ 1 (94) – 2025

Основан в 1999 году.
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Крымский федеральный университет
имени В.И. Вернадского»
(КФУ им. В.И. Вернадского), 295007, Республика Крым,
г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовым коммуникациям (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63936 от 09 декабря 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Министерства науки и высшего образования Российской
Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть
опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и
доктора наук

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

Главный редактор

Ветрова Н.М., д.т.н., к.э.н. проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

Редакционная коллегия:

Бойченко О.В., (ответственный секретарь) д.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь).

Бакаева Н.В., д.т.н., проф. советник РААСН, (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва);

Кирильчук С.П., д.э.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Любомирский Н.В., советник РААСН, д.т.н. проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

Николенко И.В., д.т.н., проф., (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Овсянникова Т.Ю., д.э.н., проф. (ТГАСУ, Томск)

Пашенцев А.И., д.э.н., к.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Сиразетдинов Р.М., д.э.н., проф. (Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Швец И.Ю., д.э.н., проф. (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва);

Щербаков В.И., д.т.н., проф., (Воронежский государственный технический университет, Воронеж);

Ярош О.Б., д.э.н., доц., (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Голышев А.А., (технический секретарь) к.т.н., старший преподаватель (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

№ 1 (94) – 2025

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 6 от 27.06.2025)

Корректор А.А. Голышев
Верстка А.А. Голышев

Издатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Редакция Института "Академия строительства и архитектуры"
ФГАОУ ВО "КФУ им. В.И. Вернадского"

Адрес издателя, редакции: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 4.

Подписан в печать 02.07.2025.

Формат 70 x 100 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 7,56

Тираж 100 экз.

Распространяется бесплатно

Дата выхода в свет:

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
Адрес типографии: 295051, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар Ленина, 5/7

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или частично допускается с письменного разрешения Издателя.

© ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2025

СОДЕРЖАНИЕ	
Раздел 1. Региональные проблемы природопользования	
Сигора Г.А., Ничкова Л.А., Смоленская Т.Ю. ПРОБЛЕМА ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ	5
Фанг Л., Москалькова Ю.Г. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН ПРОЕКТА ЧАНЧУНЬ ВАНКЕ БЛЮ МАУНТИН	14
Раздел 2. Проблемы организации строительства	
Шаленный В.Т., Власенко Т.Г. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ 20-ТИ ЭТАЖНОГО ДОМА НА ЖИЛМАССИВЕ «ЖИГУЛИНА РОЦА» В СИМФЕРОПОЛЕ	22
Шунько Н.В., Шунько А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА ГРУНТА ДНА У ОПОР СКВОЗНОГО СВАЙНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИЧАЛА	32
Захаров А.С., Крымков Р.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНОЧНОГО ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ	42
Баденко В.Л., Шкильнюк М.А. ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	50
Раздел 3. Экологическая безопасность	
Матвеев В.А., Ничкова Л.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ С ЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПЛАНИРОВКОЙ	58
Нгуен З.К., Май С.З., Нгуен Д.А., Шайхиев И.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ТЕСТ-НАБОРА ДЛЯ БЫСТРОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ	65
Боровков Д.П., Николенко М.А., Полицимако К.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ	72
Матвеев В.А., Ничкова Л.А., Рыкунов С.М. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ДЫХАНИЯ ГИПОКСИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЫ В ЗДАНИЯХ С ЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПЛАНИРОВКОЙ	77
Раздел 4. Экономика строительства	
Бойченко О.В., Факина Ю.Ю. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОНОМИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА: РОЛЬ ИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКОВ И РЕСУРСОВ	84
Наши авторы	92

CONTENT	
Section 1. Regional problems of environmental management	
Sigora G.A., Nichkova L.A., Smolenskaya T.Y. THE PROBLEM OF THE IMPACT OF URBANIZATION ON THE QUALITY OF LIFE OF THE POPULATION CITIES OF SEVASTOPOL	5
Liu Fang, Yu.G. Maskalkova LANDSCAPE DESIGN CONCEPT OF CHANGCHUN VANKE BLUE MOUNTAIN PROJECT	14
Section 2. Problems of construction organization	
Shalenny V.T., Vlasenko T.G. FEASIBILITY STUDY AND IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR THE FOUNDATIONS OF A 20-STOREY BUILDING ON THE RESIDENTIAL ESTATE "ZHIGULINA GROVE" IN SIMFEROPOL	22
Shunko N.V., Shunko A.A. STUDY OF THE LOCAL EROSION OF THE BOTTOM SOIL AT THE SUPPORTS OF THE THROUGH-PILING STRUCTURE OF THE BERTH	32
Zakharov A.S., Krymov R.S. INVESTIGATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM USING A FILM INFRARED HEATER	42
Badenko, V.L., Shkilniuk. M.A. ASSESSMENT OF THERMAL ENGINEERING CHARACTERISTICS OF ENCLOSING STRUCTURES BASED ON THEIR TECHNICAL CONDITION	50
Section 3. Environmental safety	
Matveev V.A., Nichkova L.A. PROVIDING EVACUATION FROM HISTORICAL BUILDINGS WITH CENTRIC PLANNING	58
Nguyen Z.K., Mai S.Z., Nguyen D.A., Shaikhiev I.G. STUDY OF FLUORESCENT TEST KIT FOR RAPID DETECTION OF HEAVY METAL IONS IN WATER	65
Borovkov D.P., Nikolenko M.A., Politsimako K.A. APPLICATION OF VORTEX DUST COLLECTORS FOR CLEANING DUST EMISSIONS FROM ASPHALT CONCRETE PLANTS	72
Matveev V.A., Nichkova L.A., Rykunov S.M. APPLICATION OF SYSTEMS USING A BREATHABLE HYPOXIC ATMOSPHERE IN BUILDINGS WITH A CENTRIC LAYOUT	77
Section 4. Building economics	
Boychenko O.V., Fadina Yu.Yu. DIGITAL TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION ECONOMY: THE ROLE OF AI IN RISK FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION	84
Our authors	92

Раздел 1. Региональные проблемы природопользования

УДК 364.122.5

ПРОБЛЕМА ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

Сигора Г.А.¹, Ничкова Л.А.², Смоленская Т.Ю.³

^{1,2,3} Политехнический институт (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33,
e-mail: ¹gasigora@mail.sevsu.ru; ²nichkova@sevsu.ru; ³TYKhomenko@sevsu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа влияния урбанизации на качество жизни населения с помощью одного из методов системного анализа – социального опроса. Выявлено, что в первую очередь люди обеспокоены проблемой возможной нехватки пресной воды, большим количеством несанкционированных свалок, загрязнением окружающей среды.

Цель: разработка рекомендаций по совершенствованию процесса уменьшения воздействия проблем урбанизации Севастопольского региона на население.

Методы: для исследования вышеупомянутой проблемы был использован системный анализ и один из методов системного анализа - социальный опрос, что позволило понять отношение населения к каждой из крупнейших проблем урбанизации. **Результаты:** Большой процент населения (83,3%) считает проблемы урбанизации весьма актуальными, при этом эффективность борьбы с проблемами урбанизации города Севастополя ниже среднего. Были разработаны рекомендации по совершенствованию процесса уменьшения воздействия проблем урбанизации Севастопольского региона на население и представлены в виде модели проблем урбанизации и возможности их решения.

Ключевые слова: урбанизация, Севастопольский регион, системный анализ, социальный опрос, качество жизни.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация представляет собой сложное комплексное явление, измерить которое с помощью одного показателя практически невозможно. Урбанизация рассматривается учеными и общественным мнением как позитивная тенденция развития мира и как некий объективный процесс, связанный с обеспечением для всё большего числа жителей планеты условий для более удобной и комфортабельной жизни, более полного развития способностей, более защищенной и здоровой жизни.

Процесс урбанизации тесно связан с развитием промышленности, и как следствие, с улучшением качества жизни. Помимо положительных последствий урбанизации (возможность получить более интересную и высокооплачиваемую работу, развитие транспорта и связи, качественное образование и медицинские услуги, развитие инфраструктуры и технологий, лучшее качество жизни) возникает ряд проблем, связанных с этим процессом. По мнению экспертов в этой области, урбанизация имеет довольно много причин, а последствия еще не осознаются в полной мере. Необходимо провести тщательное расследование этого вопроса, чтобы в полной мере осознать последствия, а также найти долгосрочное решение.

Города из-за огромной концентрации в них людей, промышленных предприятий и транспорта являются крупнейшими потребителями всех видов природных ресурсов (территориальных, энергетических, продовольственных) и важнейшими источниками загрязнения окружающей среды. Нагрузка на природную среду резко возрастает не только в самих городах, но и за городской чертой.

Разрастание городской территории ведет к сокращению ценных сельскохозяйственных угодий, что в условиях развивающихся стран еще более обостряет продовольственную ситуацию.

К числу важнейших проблем современности относится обеспечение водой горожан и промышленных предприятий и удаление сточных вод.

Серьезными проблемами считаются вывоз мусора и утилизация отходов человеческой деятельности.

Однако, воздействие крупных городов на окружающую среду не ограничивается локальным уровнем, они не только нарушают гидрологический режим огромных территорий, климат и циркуляцию атмосферы, но и влияют на литосферу, вызывая тяжестью зданий и сооружений прогибы земной коры.

В самих городах формируется особый микроклимат. Жилая застройка снижает скорость ветра, а застой воздуха способствует концентрации высокотоксичных промышленных загрязнителей. Смоги - смесь дыма, пыли и тумана, сокращая количество солнечного света,

вызывают серьезные заболевания людей. Температура воздуха в городах всегда несколько превышает среднюю температуру данного района. «Нагревание» городской атмосферы происходит из-за сгорания автомобильного топлива, отопления зданий и их последующего охлаждения, от отдачи радиационного тепла всеми городскими объектами. В городах умеренных широт раньше тает снег, зеленеют растения. Часто зимой из городов не улетают птицы, обычно зимующие в других краях; в городах формируются упрощенные сообщества фауны и флоры.

Урбанизация, с одной стороны, улучшает условия жизни населения, с другой приводит к вытеснению природных систем искусственным, загрязнению окружающей среды, повышению химической, физической и психологической нагрузки на организм человека.

В современных реалиях проблема воздействия аспектов урбанизации на окружающую среду и население стоит весьма остро. Данная проблема не является статичной и с каждым годом всё усиливается. Это связано с интенсивным развитием промышленности и накопительным эффектом техногенного загрязнения. Если её не начать решать уже сегодня, последствия будут необратимы.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью данного исследования является разработка рекомендаций по совершенствованию процесса уменьшения воздействия проблем урбанизации Севастопольского региона на население, используя системный анализ, как метод исследования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Темпы урбанизации зависят от уровня экономического развития страны. В большинстве экономически развитых стран, достигших высокого уровня урбанизации, доля городского населения в последнее время растет сравнительно медленно, а число жителей в столицах и других самых крупных городах, как правило, даже уменьшается. Многие горожане предпочитают жить не в центрах крупных городов, а в пригородах и сельской местности. Это объясняется удорожанием инженерного оборудования, обветшанием инфраструктуры, крайним усложнением транспортных проблем, загрязнением окружающей среды [1].

В развивающихся странах урбанизация продолжает расти вширь, а городское население быстро увеличивается [2].

Самый распространённый метод оценки уровня урбанизации – выражение в процентном отношении городского населения к общему числу населения. Однако, такой расчёт не показывает полноту всех аспектов, связанных с процессом урбанизации.

Трудности в измерении уровня урбанизации обусловлены не только тем, что в понятие урбанизации вкладывается весьма различное содержание, но и сложностью выражения в статистических показателях таких существенных ее особенностей, как, например, повышение роли городов жизни общества, распространение городского образа жизни и т.д. Вероятно, поэтому в литературе почти не встречались иные показатели, характеризующие уровень урбанизации, кроме доли городского населения [3].

Для исследования проблемы влияния урбанизации на качество жизни населения города Севастополя был использован системный анализ и один из его методов – социальный опрос, что позволило понять отношение населения к каждой из крупнейших проблем урбанизации [4].

В процессе системного анализа были выявлены основные проблемы урбанизации в городе Севастополе.

Был составлен опросный лист со сформулированными проблемами, чтобы выяснить влияние проблем урбанизации на население в городе Севастополе. В опросном листе были следующие вопросы.

1. Какое значение имеет проблема химического, физического, биологического, эстетического, механического загрязнения почвы, воды, воздуха и городского ландшафта Севастополя в целом?
2. Какое значение имеет проблема перенаселения города Севастополя?
3. Какое значение имеет проблема расширения границ города Севастополя?
4. Какое значение имеет проблема недостаточного количества пресной воды в городе Севастополе?
5. Какое значение имеет проблема недостаточного количества зелёных насаждений в городе Севастополе?
6. Какое значение имеет проблема большого количества баннеров, размещения рекламы на

зданиях в городе Севастополе?

7. Какое значение имеет проблема существования и создания новых несанкционированных свалок в городе Севастополе?

8. Какое значение имеет проблема образования оврагов из-за изъятия грунта в городе Севастополе?

Опросной группе было предложено оценить масштабность (значимость) каждой проблемы по пятибалльной шкале, выбрав один вариант ответа [4].

Для репрезентативности выборки опросные группы были поделены по полу и возрасту в равном количестве. Возрастная категория данного опроса 16+. При обработке опросных листов была составлена таблица, где сопоставлены проблемы урбанизации города Севастополя и количество человек, проголосовавших за каждый вариант ответа. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Количество человек, проголосовавших по значимости каждой из проблем [3]

Проблема	Значение (балл)				
	1	2	3	4	5
Загрязнение	-	-	11 человек	21 человек	16 человек
Перенаселение	4 человека	-	12 человек	19 человек	13 человек
Расширение границ	-	12 человек	8 человек	12 человек	16 человек
Пресная вода	-	-	-	4 человека	44 человека
Зеленые насаждения	-	8 человек	12 человек	11 человек	17 человек
Баннеры/реклама	4 человека	4 человека	16 человек	20 человек	4 человека
Свалки	-	4 человека	-	8 человек	36 человек
Овраги	-	5 человека	15 человек	12 человек	16 человек

Далее была посчитана значимость (баллы) каждой проблемы. Например, проблема химического, физического, биологического, эстетического, механического загрязнения почвы, воды, воздуха и городского ландшафта Севастополя в целом: $(11*3)+(21*4)+(16*5)=196$ (баллов).

Для наглядности проблемы урбанизации города Севастополя по значимости (баллам) были ранжированы и представлены в виде гистограммы (см. рисунок 1).

Ранжирование проблем урбанизации по значимости

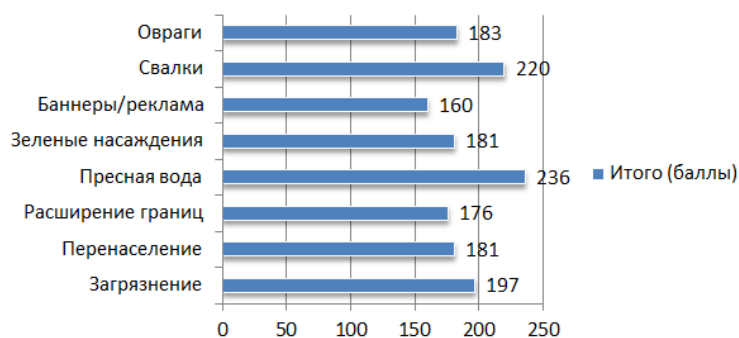


Рис. 1. Ранжирование проблем урбанизации по значимости

В конце опросной группе было предложено оценить эффективность борьбы с проблемами урбанизации, перечисленными выше, что составило 100 баллов из 240 возможных. Следовательно, эффективность составляет 41,7%.

Таким образом, при опросе населения выявлено, что в первую очередь люди обеспокоены проблемой возможной нехватки пресной воды, большим количеством несанкционированных свалок, загрязнением окружающей среды.

Большой процент населения (83,3%) считает проблемы урбанизации весьма актуальными, при этом эффективность борьбы с проблемами урбанизации города Севастополя ниже среднего [4].

Урбанизация и развитие техносферы городов – связанные процессы, ведущие к возникновению ряда проблем, в том числе и относящиеся к экологии. Проблемы урбанизации

Севастопольского региона и возможности их решения можно представить в виде модели (рисунок 2).

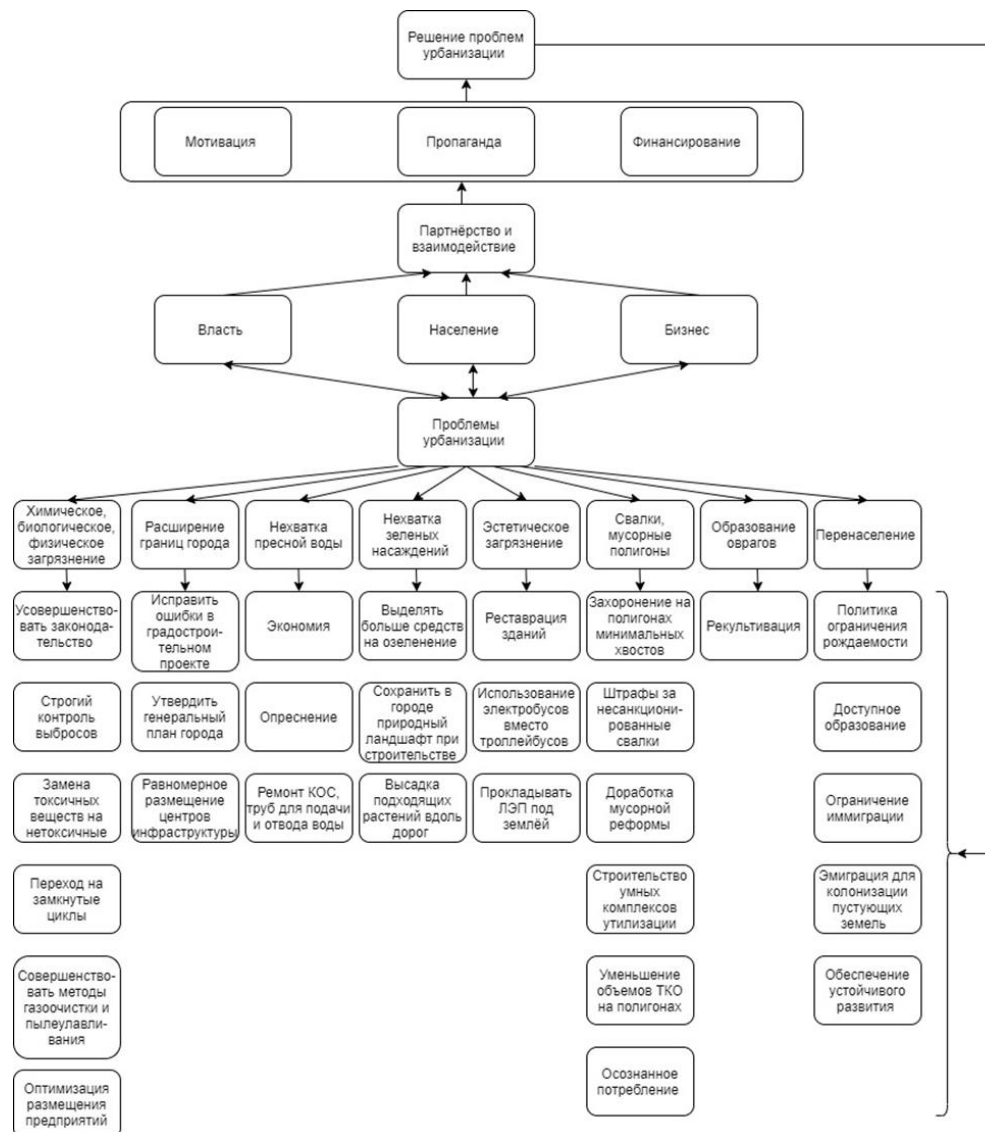


Рис. 2. Моделирование проблем урбанизации и возможности их решения

1. Исходя из результатов социального опроса, население Севастопольского региона выделяет главной проблемой урбанизации нехватку пресной воды.

Жители Севастополя уже имели опыт жизни в режиме чрезвычайного положения в связи с резким обмелением Чернореченского водохранилища – главного источника городских водных ресурсов. Причиной послужило крайне жаркое и засушливое лето 2014 года. Тогда уровень воды в Черноречье максимально приблизился к критической отметке. Для Севастопольского региона 2020 год также является маловодным. Ряд погодных факторов стал причиной обмеления реки Черной, в связи с чем приток воды в Чернореченское водохранилище был фактически остановлен.

Временным решением проблемы с водоснабжением в городе Севастополе стала переброска воды из Кадыковского карьера, проект которого был реализован в декабре 2020 года.

Существуют и другие перспективные варианты решения проблемы дефицита питьевой воды в городе Севастополе:

- 1) создание новых и резервных водохранилищ;
- 2) глобальное обновление сетей «Водоканала»;
- 3) разработка технологий по очистке сточных и бытовых вод;
- 4) выведение специальных сельскохозяйственных культур;

- 5) опреснение морской воды;
- 6) бурение новых и аудит законсервированных скважин;
- 7) использование альтернативных источников водоснабжения [5].

2. Также огромное влияние на качество жизни населения Севастопольского региона имеет проблема существования и создания новых несанкционированных свалок.

Бесконтрольное обращение с отходами приводит к серьезным экологическим последствиям, в связи с чем во всех развитых странах принимаются специальные законодательные акты, регулирующие комплексное управление отходами (сбор, транспортировка, сортировка, обезвреживание, переработка, утилизация, ликвидация, захоронение, требования к местам складирования, правила маркировки и хранения). Одним из таких документов является Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ. Процесс реализации данного ФЗ называют «мусорной реформой» [6].

Обобщенная цель мусорной реформы - упорядочить систему работы с отходами. Для этого были выявлены основные направления (элементы) реформы:

- 1) все полномочия по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО) выведены на уровень региона. Это означает выбор единственного регионального оператора, который обеспечивает сбор, транспортирование, обработку, обезвреживание, размещение ТКО в определенной зоне, захоронение;
- 2) создание государственной информационной системы учета ТКО - информационное обеспечение деятельности по обращению с отходами, а также осуществление планирования и контроля в области обращения с ТКО;
- 3) ликвидация незаконных свалок;
- 4) переход на раздельный сбор отходов, их сортировку и переработку для повторного использования;
- 5) строительство комплексов «умной» сортировки и утилизации отходов;
- 6) закрытие переполненных полигонов, полигонов работающих без лицензии;
- 7) введение расширенной ответственности производителя (РОП) — призыв бизнеса производить и продавать более экологичную продукцию и упаковку — либо оплачивать утилизацию отходов от ее использования.

В городе Севастополе были попытки раздельного сбора и сортировки ТКО, однако площадки для сбора картона и сетки для ПЭТ-бутылок пришлось убрать.

Первая причина - неготовность части горожан сортировать отходы. Вторая причина - экономическая. Бизнес на вторсырье никогда не давал высоких доходов, а сейчас и вовсе стал нерентабельным [7].

Раздельный сбора и сортировка ТКО не сможет приносить максимально положительный результат без создания умных комплексов утилизации отходов, которые будут сами сортировать металлы, пластик, стекло. Проект такого комплекса готовился и для Севастополя, но до сих пор вопрос остаётся не решенным.

Также в Севастополе нет предприятий, которые используют вторсырье, поэтому необходимо отправлять его на дальнейшую продажу. Такой процесс не является стабильным и замедляет процессы борьбы с проблемой системы обращения с твердыми коммунальными отходами.

На территории Севастополя находится единственный полигон, который находится на грани истощения своей мощности. В августе 2021 года сотрудники Росприроднадзора при проверке мусорного полигона «Первомайская балка» выявили 31 нарушение. Об этом сообщается на официальном сайте ведомства. Эксплуатирует свалку региональный оператор по вывозу твёрдых коммунальных отходов в нашем городе – ООО «Благоустройство города «Севастополь».

Многочисленные нарушения природоохранного законодательства обнаружили в результате плановой выездной проверки. Полигон эксплуатируется без лицензии, объект не включён в специальный реестр, захораниваются опасные отходы и полезные компоненты, сортировка не производится, – поясняется в сообщении.

Помимо невыполнения выявленных основных направлений (элементов) реформы, отсутствует партнёрство и взаимодействие власти, населения и бизнеса.

Проанализировав сложившуюся ситуацию, можно предложить несколько мер для решения сложившейся ситуации:

- 1) партнёрство и взаимодействие власти, населения и бизнеса;

- 2) захоронение на полигонах минимальных хвостов;
- 3) штрафы и наказания за несанкционированные свалки;
- 4) пропаганда сортировки мусора;
- 5) делегировать обязанности регионального оператора;
- 6) строительство создания умных комплексов утилизации отходов;
- 7) контроль за соблюдением законодательства и выполнением создания информационной системы учета ТКО и РОП;
- 8) разумное использование мусоросжигательных заводов;
- 9) увеличение бюджета от государство на развитие данной структуры;
- 10) преимущество затрат на строительство умных комплексов утилизации отходов перед строительством и рекультивацией полигонов;
- 11) уменьшение объемов ТКО на функционирующих полигонах;
- 12) уменьшить рост объема отходов путем осознанного потребления [8].

3. Интенсивная и разнообразная деятельность человека в крупных городах и их окрестностях приводит к значительному изменению окружающей среды: изменяется рельеф, гидрографическая сеть, естественная растительность уничтожается или заменяется на урбофитоценозы, сильно трансформируется почвенный покров, изменяются климатические характеристики, т.е. формируется специфический тип городского микроклимата.

Рассматривая проблему техногенного загрязнения, рационально объединить ее проблемой большого количества баннеров и рекламы на зданиях.

Эстетические загрязнения техногенного происхождения практически всегда связаны со строительной (градостроительной и гидротехнической) деятельностью, горнодобывающей промышленностью, сельским хозяйством и т.п. Практически всегда, во всяком случае до последнего времени, эти действия создают сооружения или изменяют городские ландшафты в значительных масштабах и главное «неадекватно» сложившимся визуальным образом. Изменения визуального вида городов негативно влияют на параметры, определяющие качество жизни человека, вызывая иногда даже психофизические расстройства и другие изменения в здоровье людей.

Нередко здания, являющимися памятниками архитектуры, обвешивают рекламными плакатами, центр города превращают в место торговли, линии электропередач тянутся через весь город, мусорные павильоны необорудованные и незамаскированные- всё это является техногенным эстетическим загрязнением.

4. Для Севастопольского региона не менее характерна проблема образования оврагов и карьеров. На некоторые из них разработаны проекты по рекультивации [9].

В рамках проекта Парфеновой И.А. и соавторов разработаны два варианта рекультивации Кадыковского карьера:

- 1) создание природно-ландшафтного парка;
- 2) создание многофункционального парка семейного досуга.

Природно-ландшафтный парк относительно недорогой, однако скорость его окупаемости будет низкой из-за того, что основной его доход основан на малой зоне обслуживания. Многофункциональный парк семейного досуга обладает большим количеством зон для потенциального дохода и окупаемости парка, но он дорогостоящий и непривлекательный для инвесторов [10].

Проект «Балаклава Грин» разработан для создания на базе Балаклавского региона (Кадыковский карьер в том числе) многофункциональной зоны круглогодичного национального отдыха с применением инновационных инженерных решений и методов рекультивации. Это самый амбициозный и востребованный проект по трансформированию всего Балаклавского района, но требует колоссальных капиталовложений и находится в стадии заморозки.

Помимо вышеупомянутых проектов по Кадыковскому карьера, есть необходимость и возможность рекультивировать другие карьеры и овраги Севастопольского региона: Инкерманский, Камышловский, Каменоломный, Доковый, Мартыновский [11].

5. Ещё одной из основных проблем в городе Севастополе является проблема архитектурной и экологической функций зеленых насаждений. Архитектурная заключается в том, чтобы создать архитектурный ансамбль со зданиями и другими различными постройками в городе. А экологическая в обеспечении благоприятного климата, защите от шума, предотвращении эрозий и т.д.

Для того, чтобы создать эффективные экологические зоны с зелеными насаждениями, нужно не только полагаться на природные условия, но и на архитектурно-планировочную структуру города: жилая зона, которая подразделена на 3 подзоны (селитебные «плотные» застройки – исторически сложившаяся центральная часть города; селитебные многоэтажные застройки – «новостройки»; селитебные частные застройки); промышленная зона, которая подразделена на 2 подзоны (активно действующие предприятия (ТЭЦ, автохозяйства и др.); базы и складские помещения); природный комплекс, также подразделяющийся на три подзоны (пахотные и залежные участки (окраина города); парки, скверы; лесополосы и лесопарки).

Также необходимо при планировании высадки зеленых насаждений консультироваться с экологами. Хорошим примером является высадка зеленых насаждений при реконструкции улицы Большая Морская в городе Севастополе.

Правительство Севастополя привлекло к обследованию деревьев на Большой Морской специалистов Никитского ботанического сада и Крымского федерального университета. Ими было оценено состояние деревьев, которые росли на любимой севастопольцами улице. Как выяснили эксперты, из 2300 деревьев вырубить придётся более 200 штук — в том числе весь грецкий орех.

Как выяснили учёные, в таком плачевном состоянии грецкий орех находится из-за того, что при его посадке не соблюдались требования агротехники. Также сносу подлежали пять из 88 каштанов, полностью поражённые щитовкой шаровидные катальпы и часть акаций, которые представляли явную физическую опасность для пешеходов и машин. В дальнейшем было принято решение о подборе растительности, устойчивой к выхлопным газам и распространённым заболеваниями насаждений, характерных для данной местности.

6. Проблема перенаселения для Севастопольской агломерации характерна, как и для многих городов России и мира в целом.

По итогам переписи в 2022 году Росстат представил результаты, согласно которым на данный момент количество проживающих в городе Севастополе составило 519.278 человек. Это цифра официально зарегистрированных в городе людей [12].

При этом ещё год назад глава региона Михаил Развожаев на совещании Президента Владимира Путина с главами субъектов Федерации сообщил, что реальная численность населения Севастополя составляет более 700 тысяч человек, а не 450 тысяч, которые на тот момент отражала статистика. Значительная часть горожан считает заниженной даже цифру в 750 тысяч и предполагает, что в Севастополе уже живёт около миллиона людей. Этим, в частности, объясняется серьёзное проседание региона в рейтингах доступности социальной инфраструктуры и по другим критериям, зависящим от количества населения. В частности, город-герой вошёл в топ регионов с самой высокой плотностью населения на квадратный километр.

7. Расширение границ Севастополя продолжается с колоссальной скоростью. Возникают такие проблемы, как: увеличение расстояния между жильем и центрами инфраструктуры, промышленные предприятия оказываются на территории города из-за застройки вокруг.

Также с каждым годом из-за увеличивающегося числа жителей всё актуальнее становится проблема образования пробок.

Частично избежать проблемы хаотичного расширения границ можно путем утверждения генерального плана города.

Процесс работы над документом, о необходимости которого говорится с 2014 года, затянулся по настоящее время. Ведутся работы по созданию и согласованию проекта генплана города Севастополя, однако документ все еще не утвержден.

Государственный контракт на подготовку документов территориального планирования и градостроительного зонирования города Севастополя был заключен 10 декабря 2015 г. Предпроектные работы и анализ исходных данных сданы заказчику в декабре 2015 г.

В 2019 году сообщалось, что документ практически готов, подчеркивалось намерение запретить строительство многоквартирных домов в Севастополе до того, как генплан будет утвержден. В декабре 2020 года было решено начинать заново. При этом была выражена и надежда, что документ все-таки удастся принять в наступающем 2021 году. Спустя год сообщается, что документ находится в работе.

ВЫВОДЫ

Термин «урбанизация» в современных реалиях уже не обозначает просто процесс повышения роли городов и городского образа жизни. При всестороннем рассмотрении понятно, что природа этого процесса существенно сложнее.

Все процессы урбанизации схожи, но в каждой стране и городе совокупность и взаимосвязь их отлична друг от друга.

Проблема оценки воздействия аспектов урбанизации на окружающую среду и население стоит весьма остро. Многокритериальный расчет показателей развития агломераций указал на отсутствие единого унифицированного метода определения степени ее развития, способного учесть специфические особенности планировочной организации каждой агломерации. Определено, что по совокупности отдельных показателей развития агломераций из шести наикрупнейших по Южному Федеральному округу Севастопольский регион занимает четвертое место.

Также проведен анализ влияния урбанизации на качество жизни населения с помощью одного из методов системного анализа, а именно, социального опроса. Таким образом, при опросе населения выявлено, что в первую очередь люди обеспокоены проблемой возможной нехватки пресной воды, большим количеством несанкционированных свалок, загрязнением окружающей среды.

Большой процент населения (83,3%) считает проблемы урбанизации весьма актуальными, при этом эффективность борьбы с проблемами урбанизации города Севастополя ниже среднего.

Были разработаны рекомендации по совершенствованию процесса уменьшения воздействия проблем урбанизации Севастопольского региона на население и представлены в виде модели проблем урбанизации и возможности их решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаширинова, В.Ю. Урбанизация как сложное комплексное явление / В.Ю. Агаширинова // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. – № 8 (42) – С. 178-191.
2. Сигарева, Е.П. Урбанизация / Е.П. Сигарева // Социологическая энциклопедия: Т. 2 / гл. редактор В.И. Иванов. – М.: Мысль, 2003 – 120 с.
3. Иванова, Т.В. Особенности урбанизации территорий и создание города «с нуля». / Т.В. Иванова, Г.А. Сигора // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных (19 - 22 апреля 2021 г.). – Севастополь: Изд-во «СевГУ», 2021. – С.156-161.
4. Иванова, Т.В. Анализ проблем урбанизации в городе Севастополе: социальный опрос / Т.В. Иванова, Г.А. Сигора // Материалы пула научно-практических конференций / Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского ; Керченский государственный морской технологический университет ; Луганский государственный педагогический университет ; Луганский государственный университет имени Владимира Даля. – Керчь: КГМТУ, 2022. – С. 266 - 269.
5. Хоменко, Т.Ю. Анализ решений проблемы дефицита питьевой воды в городе Севастополе. / Т.Ю. Хоменко, Г.А. Сигора // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных (19 - 22 апреля 2021 г.). – Севастополь: Изд-во «СевГУ», 2021. – С.156-161.
6. Мусорная статистика: в России перерабатываются только 4% отходов // URL: <https://mir24.tv/>.
7. Севастопольский новостной портал "ForPost" // URL: <https://sevastopol.su/news/v-sevastopole-edinyy-operator-po-vyvozu-musora-strizhet-dengi-na-rovnom-meste>.
8. Федеральный портал проектов нормативных правовых актов // URL: <https://regulation.gov.ru>.
9. Обзор методов рекультивации нарушенных земель [Электронный ресурс] // URL:- <https://promdevelop.ru>.
10. Обзор методов рекультивации нарушенных земель [Электронный ресурс] // URL:- <https://promdevelop.ru>.
11. ForPost-sevastopol.SU. Новостной портал [Электронный ресурс] // URL: <https://606.su/e1rB>
12. ForPost-sevastopol.SU. Новостной портал [Электронный ресурс] // URL: <https://sevastopol.su/news/sevastopol-gorod-nedostupnogo-zhilya>

THE PROBLEM OF THE IMPACT OF URBANIZATION ON THE QUALITY OF LIFE OF THE POPULATION CITIES OF SEVASTOPOL

¹Sigora G.A., ²Nichkova L.A., ³Smolenskaya T.Y.

^{1,2,3} Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Annotation. The article presents the results of an analysis of the impact of urbanization on the quality of life of the population using one of the methods of systematic analysis – a social survey. It has been revealed that people are primarily concerned about the problem of a possible shortage of fresh water, a large number of unauthorized landfills, and environmental pollution. Objective: to develop recommendations for improving the process of reducing the impact of the problems of urbanization of the Sevastopol region on the population.

Methods: to study the above-mentioned problem, a system analysis was used and one of the methods of system analysis was a social survey, which made it possible to understand the attitude of the population to each of the major problems of urbanization. Results: A large percentage of the population (83.3%) considers the problems of urbanization to be very relevant, while the effectiveness of combating the problems of urbanization in Sevastopol is below average. Recommendations have been developed to improve the process of reducing the impact of the problems of urbanization of the Sevastopol region

Keywords: urbanization, Sevastopol region, system analysis, social survey, quality of life.

УДК 712-1

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН ПРОЕКТА ЧАНЧУНЬ ВАНКЕ БЛЮ МАУНТИН

Фанг Л.¹, Москалькова Ю.Г.²

¹ Кафедра общественных искусств (структурное подразделение), Чанчуньский архитектурный институт, Китай, Цзилинь, Чанчунь, e-mail: 51822537@qq.com

² Кафедра промышленного и гражданского строительства (структурное подразделение), Белорусско-Российский университет, 212000, Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43, e-mail: julia43@tut.by

Аннотация. Создание генерального плана при разработке проекта Чанчунь Ванке Блю Маунтин (Китай) основывалось на природных особенностях региона, а также на существовавшей сети дорог и инженерных систем для сбора дождевых вод. Комбинация подходов дала возможность создать оригинальный проект с фокусом на оптимизации кадрового планирования, минимизации трудозатрат и внедрении экономически эффективных технологий.

Цель: разработка проекта редевелопмента объекта промышленного наследия при его перепрофилировании в городской парк с учетом сохранения идентичности и исторического облика.

Методы: комплексный подход, включающий анализ исходных данных участка, определение целей и задач, разработку общей концепции генерального плана с учетом эффективности использования существующих транспортной инфраструктуры и озеленения.

Результаты: разработана и реализована концепция генерального плана городского парка Чанчунь Ванке Блю Маунтин, расположенного на территории бывшего завода дизельных двигателей, основанная на интеграции природных водных артерий региона, использовании существующих дорог, сохранении и обновлении зеленых насаждений.

Новизна: в статье рассмотрены оригинальные подходы и методы создания концепции генерального плана при разработке уникального проекта редевелопмента промышленной территории с целью создания городского парка, которые позволили сократить расходы и оптимально распределить ресурсы, что привело к повышению эффективности и прибыльности.

Ключевые слова: реконструкция, реновация, редевелопмент, перепрофилирование, промышленная территория, городской парк

ВВЕДЕНИЕ

Проект Чанчунь Ванке Блю Маунтин (Китай) является оригинальной реализацией концепции перепрофилирования территорий производственных предприятий в городские парки или жилую застройку. Тенденция перепрофилирования неэксплуатируемых промышленных предприятий становится все более популярной в современном мире [1–6]. Такой вид преобразования территорий сегодня все чаще называют термином «редевелопмент» (от англ. redevelopment – перестройка, переустройство, преобразование). Данное понятие в отечественной нормативной базе не закреплено, однако нашло довольно широкое применение в технической литературе и включает в себя наделение объекта недвижимости новыми функциональными характеристиками и назначением [7, 8].

Необходимость перепрофилирования обычно обусловлена особенностями экономического и социального развития городов. Редевелопмент способствует возрождению городских территорий, что улучшает качество жизни местных жителей. Важным аспектом является интеграция современных технологий и устойчивых практик в процесс реконструкции и реновации, что позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Среди ключевых задач редевелопмента можно выделить следующие: оптимизация использования существующих ресурсов (снижение затрат на строительство и сокращение времени реализации проектов); создание инфраструктуры для бизнеса (развитие офисных и коммерческих площадей, что способствует привлечению инвестиций); улучшение транспортной доступности (увеличение мобильности населения путем реконструкции дорожной сети, создания новых транспортных узлов и маршрутов); социальные программы (разработка инициатив, направленных на поддержку уязвимых групп населения); культурные инициативы (создание общественных пространств и культурных центров).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В опубликованных ранее статьях уже рассматривались особенности разработки и реализации проекта Чанчунь Ванке Блю Маунтин: особенности реконструкции старых производственных зданий и их органичного внедрения в архитектурный дизайн парка рассмотрены в [9, 10], примеры использования мелких компонент и создание на их основе ярких акцентов и инсталляций приведены в [11, 12].

В данной статье рассматривается концептуальная основа генерального плана парка с учетом существовавшей к моменту начала реновации инфраструктуры бывшего завода и зеленых насаждений.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью проведенного исследования являлась разработка проекта редевелопмента объекта промышленного наследия при его перепрофилировании в городской парк с учетом сохранения его идентичности и исторического облика.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: разработана концепция генерального плана парка таким образом, чтобы обеспечить максимальное использование существующих дорог и сохранение существующего озеленения.

Решение поставленных задач достигнуто применением комплексного подхода, включающего анализ исходных данных участка, определение целей и задач, разработку концепции генерального плана с учетом эффективности использования существующих транспортной инфраструктуры и озеленения.

Особое внимание в проекте уделялось реорганизации пространства с учетом действительного технического состояния существующих зданий, сооружений и элементов транспортной инфраструктуры. Акцент был сделан на противопоставлении между индустриальностью и природной средой с формированием на этой основе эстетически привлекательных открытых зон.

Разработкой проекта занималась компания «Changchun Vanke Real Estate Development Co., Ltd.» (группа «Rheinland Design Group») [9, 10]. Лю Фанг (автор статьи) являлась участником проекта с начала и до его завершения, осуществляла его сопровождение и авторский надзор.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Чанчунь Ванке расположен по адресу № 666, улица Дуншэн, район Эрдао, город Чанчунь, провинция Цилинь, Китай. Общая площадь объекта составляла около 250 тыс. кв. м, из которых площадь ландшафтного строительства – примерно 180 тыс. кв. м, при этом доля озеленения – 42 %.

Проект включал в себя разнообразные функциональные зоны, такие как жилые комплексы, коммерческие площади и общественные пространства. Основное внимание уделено созданию комфортной и безопасной городской среды.

Территория, подлежащая перепрофилированию, на начальной стадии работы над проектом была разделена на пять областей, основываясь на природных водных ресурсах и существовавшей сети муниципальных дорог. Планирование осуществлялось таким образом, чтобы обеспечить неограниченный открытый доступ в коммерческую зону (commercial core, рис. 1), однако ограничить при этом доступ в жилые кварталы (phase 1...4, рис. 1).



Рис. 1. Разделение территории парка Чанчунь Ванке на зоны: phase 1...4 (схема слева) – частные территории с их персональными названиями (схема справа); commercial core – общедоступный коммерческий центр

Чтобы придать уникальную индивидуальность каждому из четырех частных зон Ванке Чанчунь (phase 1...4, см. рис. 1), дизайнеры вдохновились природными особенностями Чанчуня, для которого характерно наличие равнин, заболоченных территорий и озер. В прошлом этот регион отличался впечатляющей природной красотой, изобиловал птицами и животными, которые процветали благодаря многочисленным природным ресурсам, связанным с обилием водных артерий – четырех рек, протекающих через провинцию Джилин (рис. 2). Каждая из этих рек обладает своей уникальной экосистемой, что стало основой для концепции дизайнеров – интегрировать водные артерии в общий облик проекта.

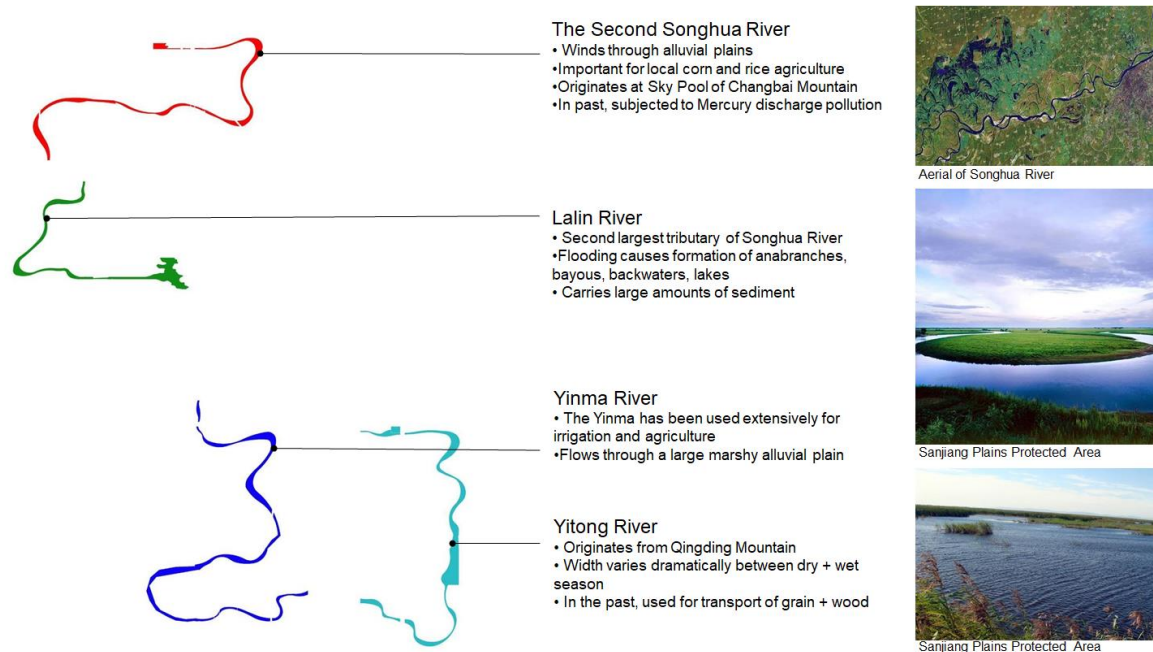


Рис. 2. Главные водные артерии, ставшие основой генерального плана Чанчунь Ванке

Уникальные особенности бассейнов рек вдохновили на создание дизайна четырех кварталов, каждому из которых придавался особый характер. В конечном итоге частным зонам были даны названия, соответствующие названиям основных рек. Поскольку все четыре реки сливаются в одну, впадая в реку Сунгари, дизайнерский замысел объединил четыре зоны Ванке Чанчунь в единую гармоничную композицию, при этом подчеркнув их индивидуальную самобытность.

Городская ось Cross City стала центральной основой проекта, придающей ему прочную структуру и ощущение целостности. Различные участки оси обладают своими уникальными характеристиками, особенно проявляясь в пешеходных зонах. Лишь в зоне L-типа, на коммерческих территориях, предусмотрен доступ автотранспорта ко всем четырём сегментам коммерческой площади.

Ось Cross City также играет ключевую роль в поддержании существующей инфраструктуры, включая дороги и систему дождевого дренажа, оптимизируя использование ресурсов всего участка. Воплощение концепции оси позволило существенно сэкономить трудовые, материальные и финансовые ресурсы при обновлении территории. Несмотря на неоднократное изменение состава дизайнерской команды на протяжении реализации проекта, идея Cross City неизменно воспринималась как удачное решение. Она была успешно сохранена до завершения всех работ и в конечном итоге реализована.

Таким образом, городская ось выступает в качестве основы всего объекта, придавая ему структуру и непрерывность (рис. 3). Виды движения вдоль городской оси варьируются в зависимости от местоположения. По большей части ось представляет собой пешеходный коридор, обеспечивающий беспрепятственное перемещение людей. Только в пределах коммерческого центра (commercial core, см. рис. 1), где необходим доступ автотранспорта к различным объектам, организовано общее пространство, открытое для людей и транспортных средств, причем доступ автотранспорта обеспечивается со всех четырех сторон коммерческой зоны.

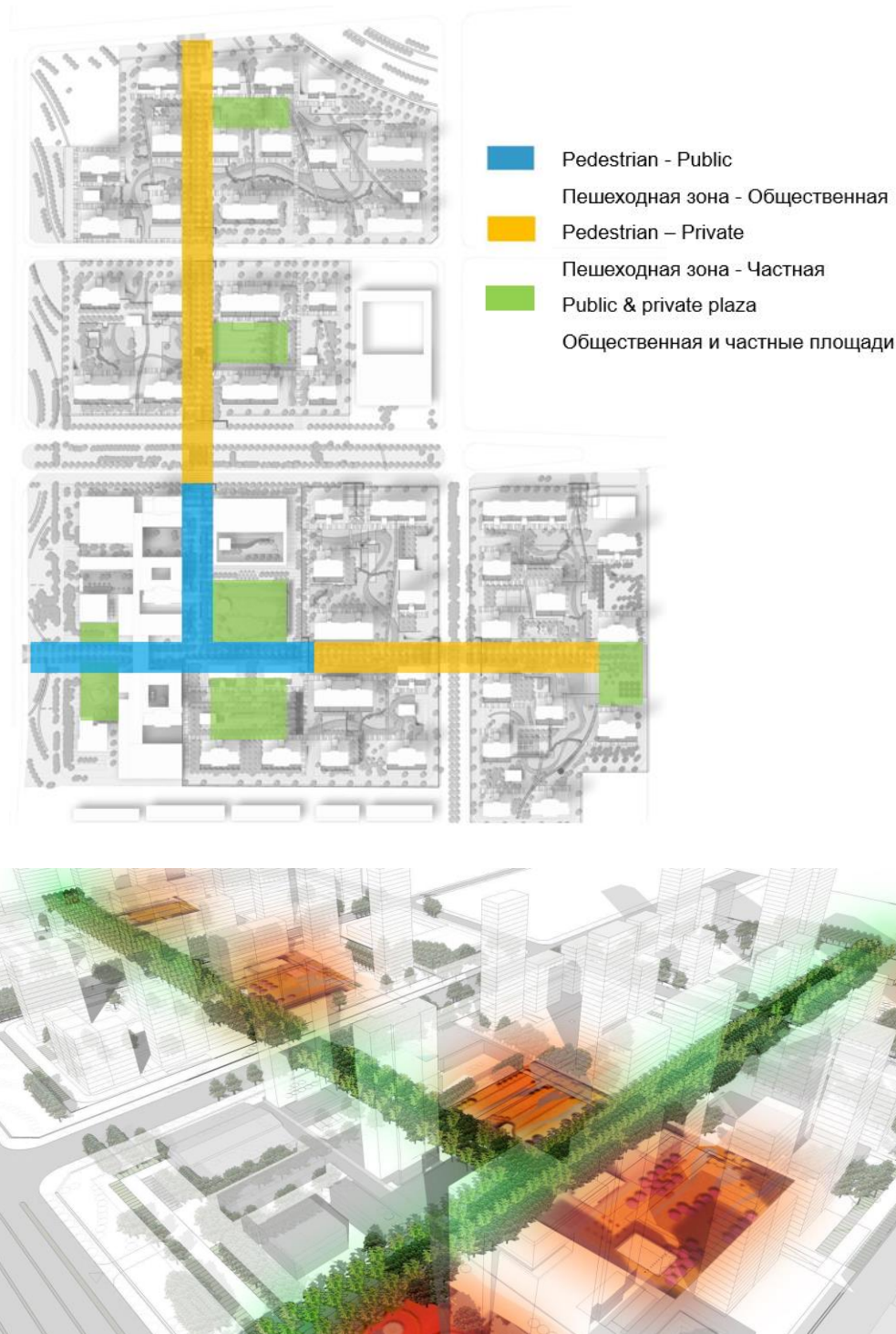


Рис. 3. Главные оси (Cross City) генерального плана Чанчунь Ванке

Общественные и частные площади Pocket Plaza соединены с осью в ключевых местах. На первом плане жилой зоны на юге и севере расположен основной ландшафтный контур всей группы с юга на север, в том числе фасады нескольких сохранившихся старых зданий завода [11, 12]. При этом сохранение исторического наследия проявляется не только в фасадах зданий, но и в элементах благоустройства, которые отсылают к прошлому промышленного района. Использование старых материалов, таких как кирпич и металл, в сочетании с современными решениями, создает уникальный образ объекта, сочетающий в себе историю и современность.

Одновременно с сохранением исторической культуры созданы границы между различными функциональными зонами парка.

Ландшафтное оформление вдоль городской оси играет важную роль в формировании атмосферы и визуального восприятия пространства. Зеленые насаждения, цветочные композиции и элементы благоустройства создают приятную среду для пешеходов и подчеркивают связь объекта с природой. В зонах Rocket Plaza ландшафтный дизайн становится более интенсивным, создавая небольшие оазисы для отдыха и общения. Пути сообщения разделены на пешеходные и автомобильные, но в некоторых районах они совмещаются. Городская ось является основным маршрутом движения через частные и общественные зоны застройки. От этой магистрали отходят второстепенные маршруты, ведущие к различным узлам активности (рис. 4).



Рис. 4. Транспортная инфраструктура парка, разработанная в рамках создания генерального плана

Важной особенностью Cross City является её адаптивность к потребностям жителей и посетителей. Интеграция Cross City с существующей городской средой – еще один ключевой аспект проекта. Ось не только связывает различные районы, но и способствует формированию новых точек притяжения, стимулируя развитие бизнеса и повышая привлекательность территории для инвесторов. Продуманное озеленение и благоустройство создают комфортную и эстетически привлекательную среду для пешеходов, велосипедистов и других участников дорожного движения.

Концепция озеленения соответствует общей философии дизайна парка, заключающейся в трех различных ландшафтных слоях: природном, индустриальном и городском (рис. 5, 6). Основная идея заключается в том, что природа подразумевает разнообразие, филигранность, случайную структуру. В отличие от этого, озеленение индустриального слоя основано на массовости, повторяемости и монокультуре видов растений.

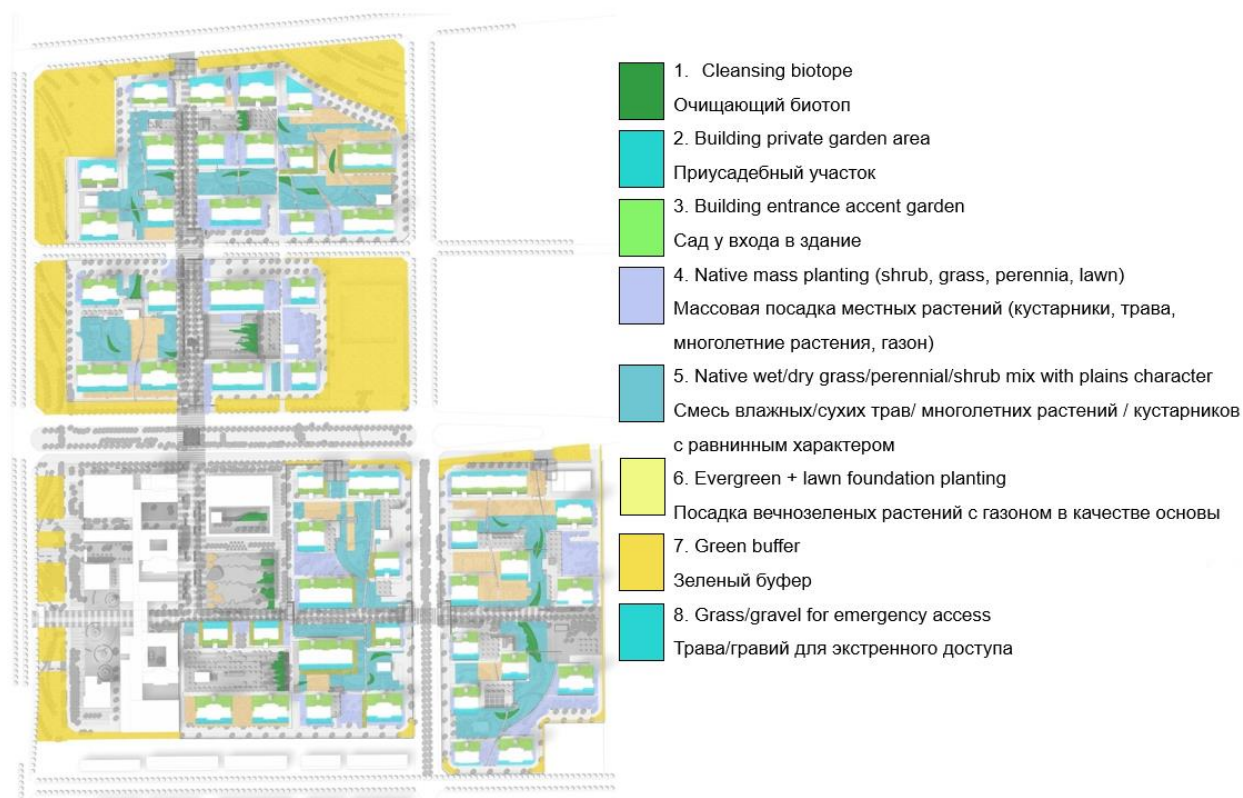


Рис. 5. Проект озеленения Чанчунь Ванке

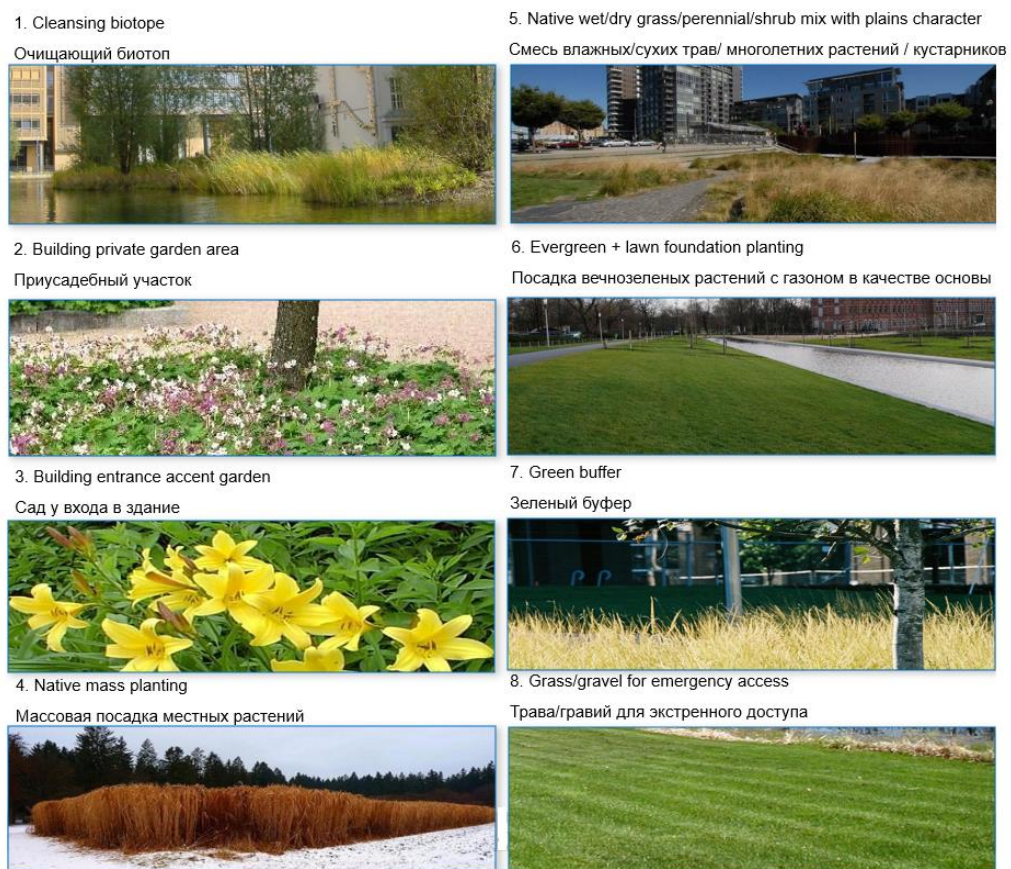


Рис. 6. Реализация проекта озеленения Чанчунь Ванке (названия подписаны согласно рис. 4)

ВЫВОДЫ

При разработке генерального плана городского парка Чанчунь Ванке Блю Маунтин особое внимание уделялось интеграции индустриального наследия в новую парковую среду. Сохраненные элементы заводской инфраструктуры (например, фрагменты старых зданий, отдельно стоящая кирпичная стена, инсталляции из компонент старого оборудования и инженерных систем [9–12]) были органично вписаны в ландшафт, превратившись в арт-объекты и функциональные элементы парка. Это позволило создать уникальную атмосферу, сочетающую в себе историческую идентичность и современные тенденции ландшафтного дизайна.

Пространство парка разделено на несколько тематических зон, каждая из которых предлагает посетителям различные виды активностей и отдыха. Использование местных растений и материалов стало еще одним ключевым аспектом концепции парка. Это не только снизило затраты на строительство и обслуживание, но и способствовало созданию экологически устойчивой среды, гармонично вписанной в окружающий ландшафт.

Концепция создания генерального плана парка Чанчунь Ванке Блю Маунтин, основанного на месте расположения бывшей территории завода дизельных двигателей, основана на учете расположения природных водных артерий региона, а также сохранении существующих дорог и системы сбора дождевых вод. Данный подход позволил значительно сократить ресурсы, затраченные на реновацию территории, а также удачно расставить исторические акценты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железнякова, М. А. Пространственная трансформация промышленных территорий: опыт и перспективы Тюмени / М. А. Железнякова, В. В. Козлов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 398–405. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-398-405>. EDN: KVNRYM.
2. Головин, С. В. Промышленные территории как ресурс для устойчивого развития российских городов / С. В. Головин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 94–103. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-3-94-103>. EDN: RLNPHD
3. Liao, H. Existing Building Renovation: A Review of Barriers to Economic and Environmental Benefits / Haolan Liao, Rong Ren, Lu Li // Int J Environ Res Public Health. – 2023. – Vol. 20 (5): 4058. – <http://doi.org/10.3390/ijerph20054058>. PMID: 36901068; PMCID: PMC10001863.
4. Arandelovic, B. The renovation, rehabilitation and adaptation of Historical Heritage Buildings in Public Ownership. The case of historical buildings of exceptional importance in Vienna / Biljana Arandelovic, Robert Musil // Building and Environment. – 2023. – Vol. 246, 110937. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110937>.
5. Баранова, Н. В. Актуальные проблемы реновации неэксплуатируемых промышленных зданий в современном городе / Н. В. Баранова // Актуальные исследования. – 2024. – № 12 (194), Ч. I. – С. 50–54. URL: <https://apni.ru/article/8827-aktualnie-problemi-renovatsii-neekspluatiruem>.
6. Kristiánová, K. Old Industrial Sites – Conversion to Parks: Potential of Bratislava / K. Kristiánová, K. Gécová, E. Putrová // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 161. – P. 1858–1862. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.709>.
7. Андрианова, Е. И. Анализ опыта реализации проектов городского редевелопмента в России / Е. И. Андрианова, Т. А. Губачева, А. В. Сапроненко, Е. А. Халимон // E-Management. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 20–33. URL: <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2021-4-3-20-33>.
8. Лapidус, А. А. Редевелопмент промышленных территорий / А. А. Лapidус, Д. В. Топчий, В. Е. Ефремова, Е. А. Кузин // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2019. – № 4. – С. 56–61. URL: <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-4-56-61>.
9. Fang, L. Transformation of an Industrial Zone into an Urban Park: Reconstruction of Buildings / Liu Fang, Yu. G. Maskalkova // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – Voronezh: VSTU, 2024. – No 1 (61). – P. 110–119. URL: <https://doi.org/10.36622/VSTU.2024.61.1.010>.
10. Фанг, Л. Трансформация промышленной зоны в городской парк: реконструкция зданий / Л. Фанг, Ю. Г. Москалькова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 2 (70). – С. 135–145. URL: <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.70.2.012>.
11. Фанг, Л. Трансформация промышленной зоны в городской парк: повторное использование компонент / Л. Фанг, Ю. Г. Москалькова // Экономика строительства и

природопользования. – № 2 (91) – 2024. – С. 13–21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79485458>.

12. Фанг, Л. Преобразование промышленного предприятия в городской парк / Л. Фанг, Ю. Г. Москалькова // Методология безопасности среды жизнедеятельности [Электронный ресурс] : сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции / научн. ред. Н. М. Ветрова; редкол.: О. Б. Жиленко, – Электрон. дан. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2024. – С. 44–48. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79024523>.

LANDSCAPE DESIGN CONCEPT OF CHANGCHUN VANKE BLUE MOUNTAIN PROJECT

¹ Liu Fang, ² Yu. G. Maskalkova

¹ Changchun Institute of Architecture, China, Jilin, Changchun

² Belarusian-Russian University, Belarus, Mogilev

Annotation. The urban post-industrial landscape design of the Changchun Vanke Blue Mountain project (China) was based on the natural features of the region, as well as on the existing network of roads and rainwater harvesting systems are discussed. The combination of approaches made it possible to create a unique project with focus on optimizing its workforce planning, minimizing labor costs, and implementing cost-effective technologies.

Object: the conversion of old industrial site to urban park, taking into account the preservation of its identity and historical appearance.

Methods: an integrated approach, including the initial site data analysis, setting goals and objectives of the study, constructing a general concept of landscape design, considering the efficiency of the existing transport infrastructure and greening.

Results: the results of the research show that the developed landscape design concept of Changchun Vanke Blue Mountain Urban Park, located on the territory of a former diesel engine plant, based on the integration of the region's natural waterways, the use of existing road network, the preservation and renovation of green spaces.

Novelty: the article presents the experience of the landscape design of urban park created on an old industrial territory using original approaches and methods, which ultimately allowed for reduced spending and better resource allocation, leading to increased efficiency and improved profitability.

Keywords: redevelopment, reconstruction, renovation, industrial area, urban park

Раздел 2. Проблемы организации строительства

УДК 69.003.12

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ 20-ТИ ЭТАЖНОГО ДОМА НА ЖИЛМАССИВЕ «ЖИГУЛИНА РОЩА» В СИМФЕРОПОЛЕ

Шаленный В.Т.¹, Власенко Т.Г.²

^{1,2}Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, институт «Академия строительства и архитектуры»
295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: ¹v_shalennyj@mail.ru, ²isp-director@moinaco.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы развития теории и практики технико-экономического обоснования, выбора и реализации технологии и организации работ по устройству конструкций нулевого цикла на конкретном строительном объекте г. Симферополя. С учетом инженерно-геологических условий площадки строительства, принятых конструктивно планировочных решений объекта, рассмотрены варианты устройства фундаментов на забивных и буронабивных сваях, а также на сплошной монолитной железобетонной плите. Произведен сравнительный анализ коммерческих предложений трех потенциальных подрядных организаций. В результате выбран компромиссный вариант устройства фундаментов на буронабивных сваях, позволяющий ожидать экономию финансовых ресурсов в 48 млн. руб. только на работах нулевого цикла.

Ключевые слова: фундамент, ресурс, экономия, обоснование, железобетон, эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие большого количества различных видов природных ресурсов, к сожалению, привело к формированию в России экстенсивного их потребления и отсутствия стимулов для повышения эффективности ресурсосбережения. А ведь для любого современного общества и государства, первоначально важными представляются вопросы материалоёмкости, трудоёмкости, тяжести, производительности и безопасности труда рабочих и производства, в том числе, и строительного, как одной из основополагающих отраслей нынешнего состояния и дальнейшего развития мировой цивилизации. Сегодня ресурсосбережение декларируется как одно из ключевых направлений развития как строительной отрасли в целом, так и фундаментостроения в частности.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблемами конструкций, технологии и организации работ по устройству подземной части зданий и сооружений посвящены работы профессоров из Санкт-Петербурга, Москвы, Перми, Волгограда и других городов России. Одной из последних известных фундаментальных работ является книга профессора Шулятьева О.А. из Санкт-Петербурга [1], где рекомендуется проводить сравнительный анализ технологий работ нулевого цикла как при устройстве фундаментов, так и ограждений котлованов. В статье московских профессоров [2] приводятся результаты исследований, которые в рамках научно-технического сопровождения, были выполнены при устройстве монолитных железобетонных плитных фундаментов различной толщины на слабых и сильно сжимаемых водонасыщенных глинистых и песчаных грунтах.

Доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета доцент Гайдо Антон Николаевич проанализировал различные качественные показатели, характерные для современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов [3]. Они в различной степени проявляются в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий. Прогнозировать эффект от их реализации – трудноосуществимая задача. Автором разработана методика оценки их качественных характеристик в единой цифровой шкале.

В статье другого профессора из Санкт-Петербурга [4] рассматриваются специфические инженерно-геологические условия строительства, основные типы и особенности фундаментов зданий этого города, возведенных с XVIII в. до начала XX в. Проведен анализ несущей способности их оснований в сопоставлении с существующими нормами. Отмечается, что большая часть этих

зданий построена на перегруженных, согласно современным нормам, грунтах основания. Рассмотрено устройство фундаментов такого уникального сооружения, как Исаакиевский собор. В качестве примеров рассмотрены методы реконструкции и усиления фундаментов некоторых исторических зданий и сооружений, а также приспособление их к современному использованию с применением новых типов конструкций и технологий подземного строительства.

Перспективным решением проблемы надежности и долговечности фундамента некоторые авторы считают использование спиральных винтовых свай [5]. Они утверждают, что рассматриваемый вариант фундамента обладает рядом преимуществ, таких как устойчивость к выдергиванию, простота устройства свайного поля будущего сооружения и долговечность при использовании антикоррозионного покрытия. Однако существует проблема недостаточной изученности спиральных винтовых свай «Свайбер» и их эффективности в пучинистых грунтах.

Оценке несущей способности свай посвящена и статья [6]. Ресурсосберегающая технология бетонирования массивных фундаментных плит освещена в статье [7], а использование для подобных целей мелкощитовой разборно-переставной опалубки – в [8]. Оценка влияния карстово-суффозионных процессов на здания и сооружения различного назначения произведена в статье московских ученых [9]. Ресурсосберегающему совершенствованию конструкций и технологии производства строительных и реконструкционных работ посвящена монография известных специалистов из Волгограда [10]. Для уменьшения потребления стали в конструкции фундаментов предлагают использовать стеклокомпозитные стержни в качестве основного армирующего материала [11]. В процессе научно-исследовательских работ разработана специальная методика проектирования с учетом уникальных характеристик стеклокомпозитной арматуры, адаптированная для конкретной строительной компании. Перед подачей бетонной смеси размещали специальные тензометрические датчики, которые контролировали деформации как на арматуре, так и на поверхности бетона во время возведения и в процессе эксплуатации плиты.

Большое внимание специалисты обращают и на устройство новых фундаментов вблизи существующих объектов, а особенно, в местах исторически ценной застройки [12 и 13]. Основные способы защиты существующей застройки от влияния нового строительства предусматривают недопущение дополнительных деформаций. В Москве и Санкт-Петербурге несколько объектов построено по методу «сверху - вниз» [14 и 15]. Такую технологию и организацию работ развивалась и с нашим участием - предложены запатентованная конструкция и технология устройства монолитных железобетонных свай-колонн повышенной несущей способности [16 – 18]. В развитие этих предложений, позже выполнена и защищена магистерская выпускная работа, где устройство свай-колонн дополнено технологией и организацией устройства ребристых монолитных железобетонных перекрытий в направлении «сверху - вниз» или декельный метод [19, 20]. Имеются и выполненные с обучающимися разработки по одновременному усилению грунтов основания и ленточных фундаментов в процессе реконструкции гражданских объектов [21 и 22]. Серьезные публикации и реализованные проекты в области ресурсо экономного фундаментостроения имеет и заведующий кафедрой геотехники и конструктивных элементов зданий нашей академии, доцент Дьяков Игорь Михайлович [23 -25].

Таким образом, анализ состояния вопроса по доступным источникам из литературы и практики подтвердил, что ресурсосбережение декларируется как одно из ключевых направлений развития как строительной отрасли в целом, так и фундаментостроения в частности. Существует множество прогрессивных конструктивно-технологических решений и апробированных строительной наукой методов, позволяющих добиться существенной экономии денежных, материальных и трудовых ресурсов при их использовании на конкретном строительном объекте исследования. Научной **гипотезой** послужило предположение о существовании устойчивой взаимосвязи результирующих технико-экономических показателей реализации проекта возведения подземной части гражданского объекта и возможных конструктивно-технологических решений, заложенных в основу проекта. Установление этой предполагаемой взаимосвязи и составляет **научную новизну** нашей работы, а ее **цель** – сокращение затрат ресурсов на осуществление проекта производства работ по устройству подземной части 20-этажного жилого дома по ул. Мраморная, 46а г. Симферополь. Отсюда вытекают и задачи нашей работы:

1. Анализ состояния вопроса ресурсосберегающего совершенствования конструкций, способов и технологий строительства подземной части гражданских объектов, а также методов их оценки и выбора по критериям технико-экономической эффективности и надежности;

2. Моделирование ожидаемых технико-экономических показателей по возможным вариантам технологии и организации возведения фундаментов конкретного строительного объекта гражданского назначения с выбором предпочтительного по указанным критериям;

3. Детальная проработка и осуществление выбранного варианта технологии устройства железобетонных конструкций нулевого цикла многоэтажного жилого дома с оценкой эффективности и безопасности для популяризации результатов в литературе и практике строительства подобных объектов и инженерно-геологических условий площадок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В качестве объекта исследования выбран и представляется многоквартирный жилой дом со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения, расположенный по адресу: Республика Крым, г. Симферополь, ул. Мраморная, 46а. Проектируемое здание состоит из двух рядовых секций, сблокированных между собой. Этажность каждой секции составляет 20 этажей. Для исследуемой территории застройки характерен техногенно-преобразованный рельеф, существенную часть занимали навалы строительного мусора.

Согласно результатам исследований и испытаний (данные из технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 20.2-107-ИГИ, выполненного ООО «НПП «КРЫМСПЕЦГЕОЛОГИЯ» в 2021 году), они состоят в ниже следующем (Рис. 1):

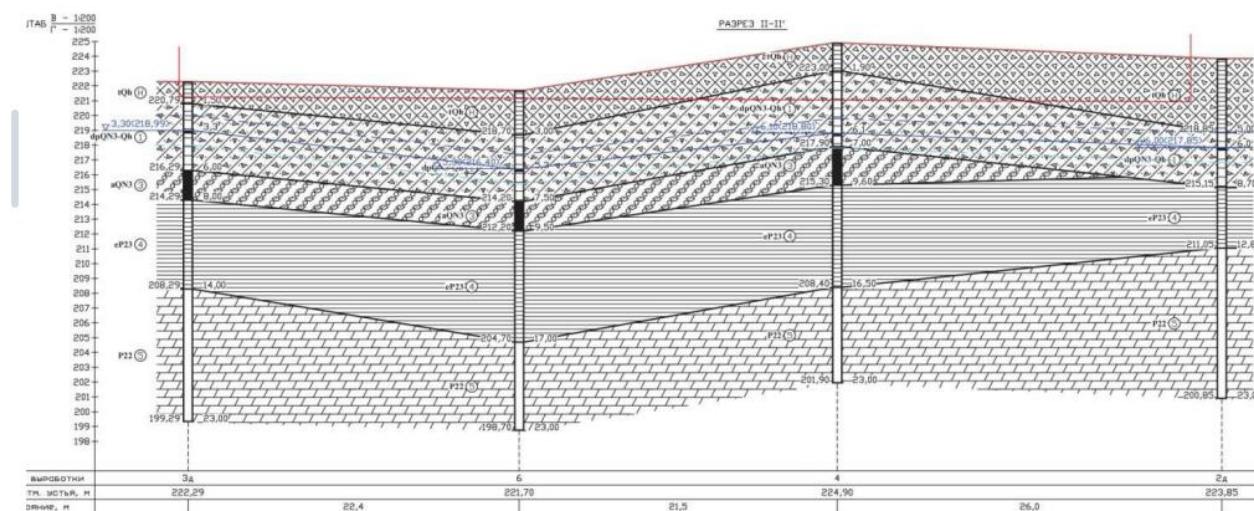


Рис. 1. Геологический разрез по скважинам на площадке производства работ

Слой Н – насыпной слой. Мощность слоя – 0,7-7,0м, абсолютные отметки подошвы – +217,80 - +228,10м.

ИГЭ-1 – суглинок тяжелый, полутвердый, не просадочный, средне деформируемый с линзами набухающей глины и песка, с примесью дресвы и щебня, известняка и гальки, гравия и кварца. Мощность слоя – 1,4-7,2м в интервале глубин от 0,7 до 11,5м, абсолютные отметки подошвы – +213,30 - +225,45м.

ИГЭ-2 – суглинок легкий, мягкопластичный, не просадочный, не набухающий, средне деформируемый с линзами супеси и песка, с примесью дресвы известняка и гравия кварца. Мощность слоя – 0,6-4,6м в интервале глубин от 6,5 до 11,1м, абсолютные отметки подошвы – +212,45 - +215,97м.

ИГЭ-3 – гравийный грунт из гравия и гальки осадочных пород, водонасыщенный, неоднородный с супесчаным пластичным заполнителем до 50%, с прослоями и линзами глины и песка до 10-15см. Мощность слоя – 0,3-6,4м в интервале глубин от 3,9 до 12,8м, абсолютные отметки подошвы – +212,20 - +217,40м.

ИГЭ-4 – глина мергелистая, мелко плитчатой структуры, твердая, легкая, средне деформируемая, средне набухающая с прожилками ожелезнения и вкраплением марганца. Мощность слоя – 0,3-17,7м в интервале глубин от 1,0 до 22,8м, абсолютные отметки подошвы – +202,60 - +216,40м.

ИГЭ-5 – мергель полускальный, очень низкой прочности с прослоями низкой прочности, средней плотности, среднерастворимый, сильнопористый, сильно выветренный, размягчаемый. Мощность слоя – 0,2-17,0м в интервале глубин от 10,0 до 30,0м, абсолютные отметки подошвы – +194,20 - +207,25м.

Грунтовые воды на площадке изысканий были вскрыты большинством скважин на глубине от 2,9 до 8,9 м, что соответствует абсолютным отметкам от +216,4 до +220,7м. Водоносный горизонт имеет площадное распространение и приурочен к грунтам ИГЭ-1, 2. Водупором выступает ИГЭ-4 и имеющиеся прослои глины в ИГЭ-3. Подземные воды безнапорные. Формирование и питание происходит преимущественно за счет тесной гидравлической связи с рекой Салгир, инфильтрации вод атмосферных осадков, а также вследствие утечек из водоносных коммуникаций.

Имея представленную выше информацию, рассмотрены несколько вариантов фундаментов под проектируемое здание: плитный фундамент и свайный фундамент.

Первоначально фундамент здания был эскизно запроектирован в виде *свайного поля*, объединенного плитным ростверком. Сваи сечением 400х400 мм, длиной 14, 17, 18, 19 и 21 м, из бетона В30 F200 W10. Технология погружения свай – забивка в лидерные скважины Ø350 мм, глубина лидерных скважин принята меньше заглубления сваи на 1 м. Расстановка свай выполнена по нерегулярной сетке, шаг свай в плане меняется в интервале от 1,2 м до 2,5 м. Плитный ростверк высотой 1500 мм из бетона В25 F200 W8. Сопряжение свай с ростверком – жесткое, обеспечивается анкерровкой арматуры свай в ростверк на длину анкерровки – 1000 мм. Но первое проектное решение представлялось трудно реализуемым ввиду отсутствия организаций и специалистов в Республике Крым, способных выполнить устройство забивных составных свай длиной до 21 м, состоящих из двух отдельных секций, наращиваемых в процессе погружения.

Альтернативный вариант, предложенный проектной компанией ООО «Гранд Конструктив», состоял в замене типа свай фундамента с забивных на буронабивные (сваи диаметром 820 мм, длиной 16, 18, 20 м, без учета анкерровки в ростверк, из бетона В30 F200 W10). Плитный ростверк высотой 1300 мм, из бетона В25 F200 W8. Рассчитана пространственная модель здания в ПК ЛИРА-САПР 2022. Расчеты в программном комплексе позволили запроектировать свайное поле, сечение, длину и армирование его свай (Рис.2).

Кроме указанного выше варианта свайный фундамент с монолитным железобетонным ростверком толщиной от 1,5 м до 1,3 м, возможным вариантом представлялся и *фундамент мелкого заложения* в виде сплошной железобетонной плиты на замещенном уплотненным щебнем, основании. Такой вариант был рекомендован в рамках договора, заключенного с НИИОСП им. Н.М. Герсеева. По итогам выполнения специалистами указанного авторитетнейшего института анализа ранее представленных проектных решений, получено заключение (технический отчет), содержащее выводы и рекомендации специалистов о возможности применения плитного фундамента на естественном основании, уплотненном щебнем.

Эти рекомендации аргументируются тем, что толщина суглинков в основании здания после разработки котлована остается незначительной – до 2,5 м и, только для участка секции № 2 вдоль оси «Е», достигает 4,0 м. При разработке рекомендаций был выполнен расчет по оценке осадок основания при строительстве секций здания на фундаментной плите. Для оценки необходимости применения только свайных фундаментов авторами этого заключения также выполнен расчет, предусматривающий строительство проектируемого здания на фундаментной плите на естественном основании.

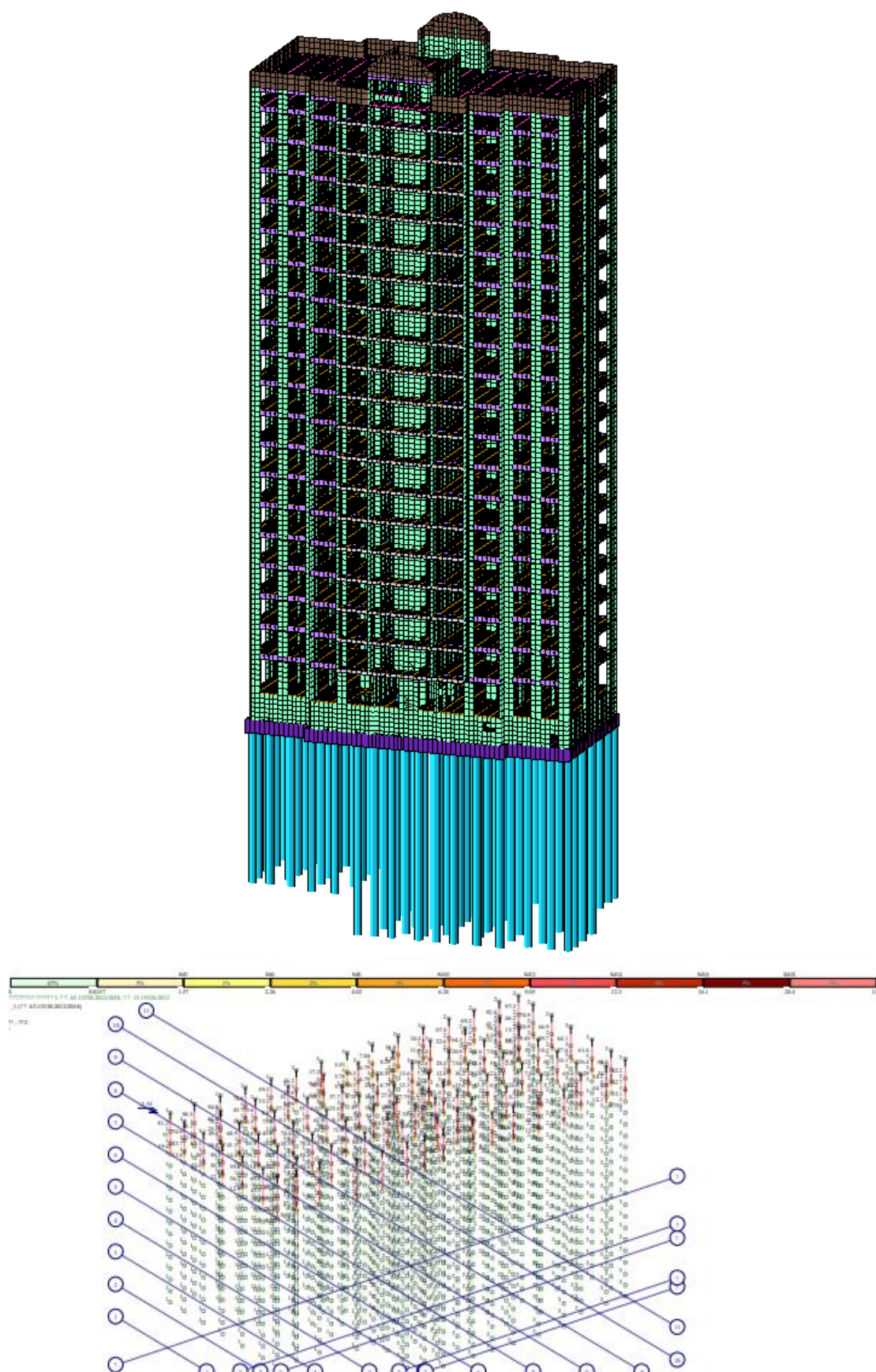


Рис. 2. Пространственная модель здания и результаты расчетов по армированию буронабивных свай в ПК ЛИРА-САПР 2022

Расчет системы «здание-фундамент-основание» НИИОСП им. Н.М. Герсевича выполнен в программе SCAD Office 21.1, расчет выполнялся с учетом взаимного влияния секций № 1 и № 2 друг на друга. Для учета совместности работы здания и грунтов основания использована программа КРОСС, входящая в комплекс SCAD (Рис.3).

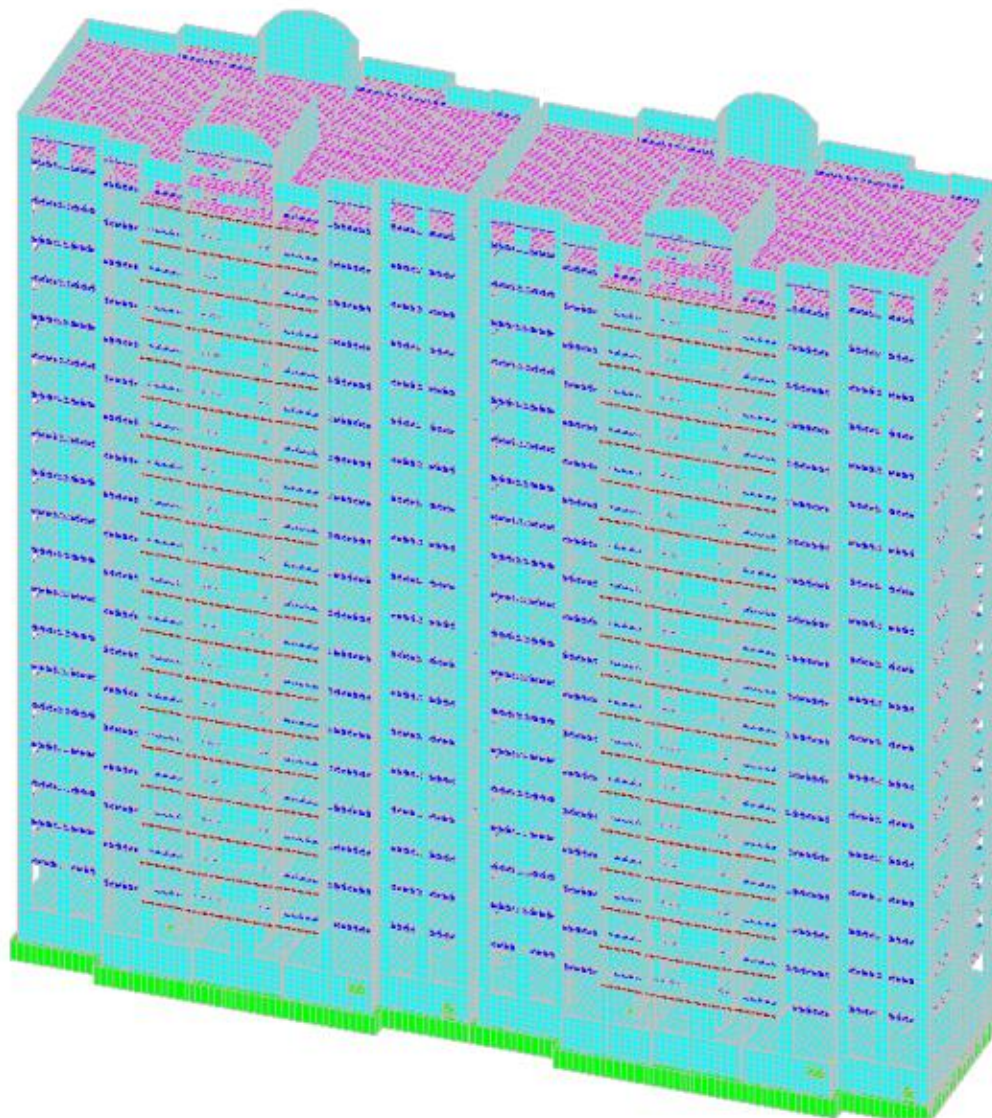


Рис. 3. Расчетная модель здания на фундаментной плите в ПК SCAD

Программа КРОСС определяет осадки (и через них винклеровский коэффициент постели) с учетом распределительной способности основания и неравномерности грунтового напластования. Это позволяет использовать результаты работы программы при определении напряженно-деформированного состояния конструкций с помощью программы SCAD без задания второго (пастернаковского) коэффициента постели. В результате работы программы КРОСС подбираются значения коэффициентов постели C_1 (модель винклеровского основания) в любой точке основания проектируемого сооружения, которые дают такие же осадки, как и при использовании схемы линейно-деформируемого полупространства, т.е. обеспечивается соответствие с моделями, рекомендуемыми СП.

В результате, специалисты НИИОСП им. Н.М. Герсевича рекомендовали вариант фундаментной плиты, но при этом следовало предусмотреть уплотнение грунта щебнем (втрамбовать щебень в суглинок на глубину 30-50 см) кулачковыми катками. Причем,

окончательные параметры уплотнения и механизмы рекомендовалось уточнить опытными работами. А на период строительных работ и в течение года после их завершения требовалось организовать геотехнический мониторинг за проектируемым зданием, инженерными коммуникациями и существующей застройкой в пределах зоны влияния строительства. При проведении мониторинга руководствоваться требованиями СП 22.13330.2016, СП 305.1325800.2017 и специально разработанной программой мониторинга, намекая на их участие в ее будущем осуществлении.

Следовательно, принципиально возможны варианты как свайных фундаментов, так и плитных. А сами свайные фундаменты могут быть выполнены как из забивных железобетонных свай заводского изготовления, так и монолитных, производимых непосредственно в котловане. Поэтому все перечисленные варианты технологии устройства фундаментов принципиально возможны к применению на данном объекте по перечисленным критериям, а выбор более предпочтительного и представляет дальнейшее содержание данной работы. Для чего и предусматривается вычислительный эксперимент путем анализа затрат на устройство фундаментов по отобранным вариантам технологии и организации работ на нашем объекте исследования с учетом возможностей крымских подрядных организаций.

В основу выбора экономически целесообразного варианта производства работ нулевого цикла на исследуемом объекте положены результаты анализа коммерческих предложений по стоимости и срокам выполнения отдельных видов строительных работ этого комплексного процесса. Учитывались наличие техники и рабочих, опыт выполнения работ, обязательства по срокам и стоимости их выполнения. Данные по коммерческим предложениям и предполагаемым вариантам фундаментов данного объекта отображены в виде диаграммы на Рис.4.

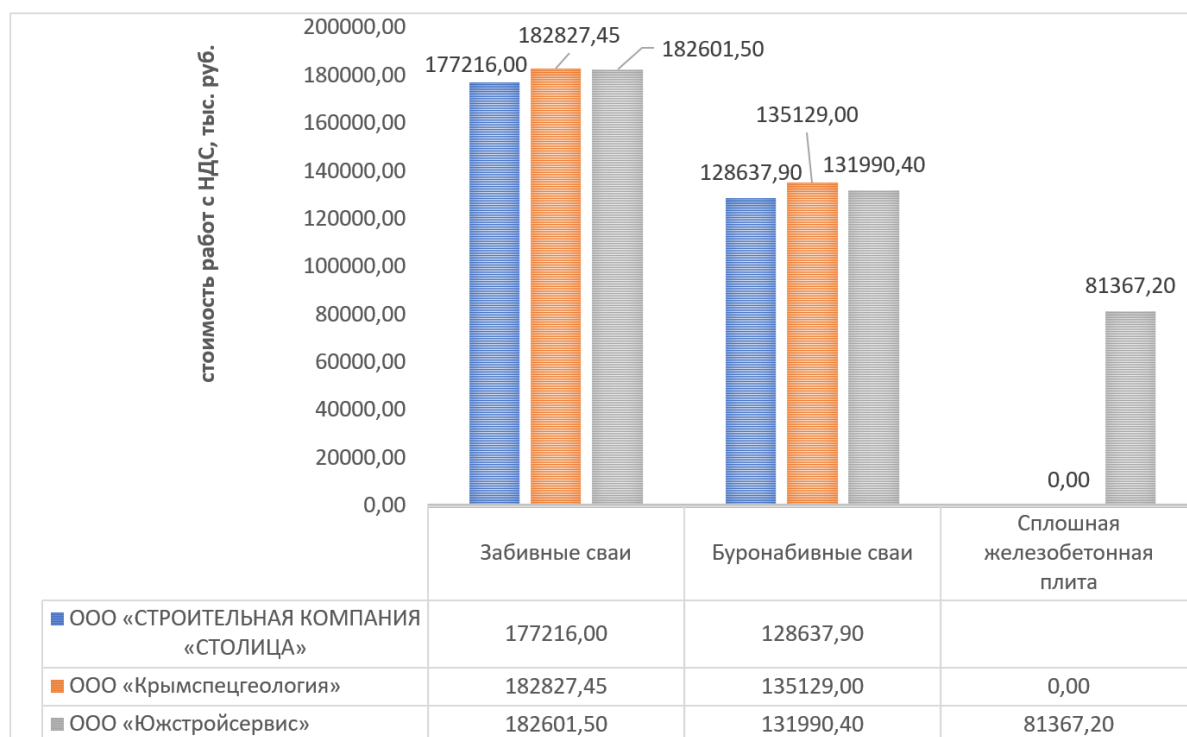


Рис. 4. Диаграмма стоимости работ по вариантам технологии устройства фундаментов по коммерческим предложениям возможных фирм-подрядчиков

Как видно из сводки коммерческих предложений, существенно дешевле подрядчик оценил устройство сплошной фундаментной плиты по сравнению с вариантами фундаментов глубокого заложения на сваях. Но, учитывая обозначенную экспертами вероятность сверхнормативных осадков и крена близко расположенных секций жилого дома, заказчик отказался от варианта устройства фундаментов мелкого заложения на данном объекте. Поэтому далее произведено в основном сравнение только ожидаемых технико-экономических показателей устройства свайных

фундаментов. Существенную экономию следует ожидать при устройстве буронабивных свай по коммерческому предложению ООО «СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ «СТОЛИЦА». Вариант забивных свайных фундаментов по сравнению с вариантом фундаментов в виде сплошной железобетонной плиты, ожидаемая экономия денежных ресурсов

$177216000 - 80397200 = 95849$ тыс. руб., т.е., примерно в 2 раза. А между вариантами фундаментов из забивных и буронабивных свай разница составит

$177216000 - 128\,637\,888 = 48\,578\,112$ тыс. руб. или $48\,578\,112 : 177216000 = 0,2741 \times 100 = 27,4\%$.

Выбор более эффективного подрядчика для производства выбранных буронабивных свай дает экономию финансовых ресурсов $135129 - 128638 = 6491$ тыс. руб. или 4,8%. Проект успешно реализуется на практике со сдачей дома в эксплуатацию в текущем году (Рис.5).

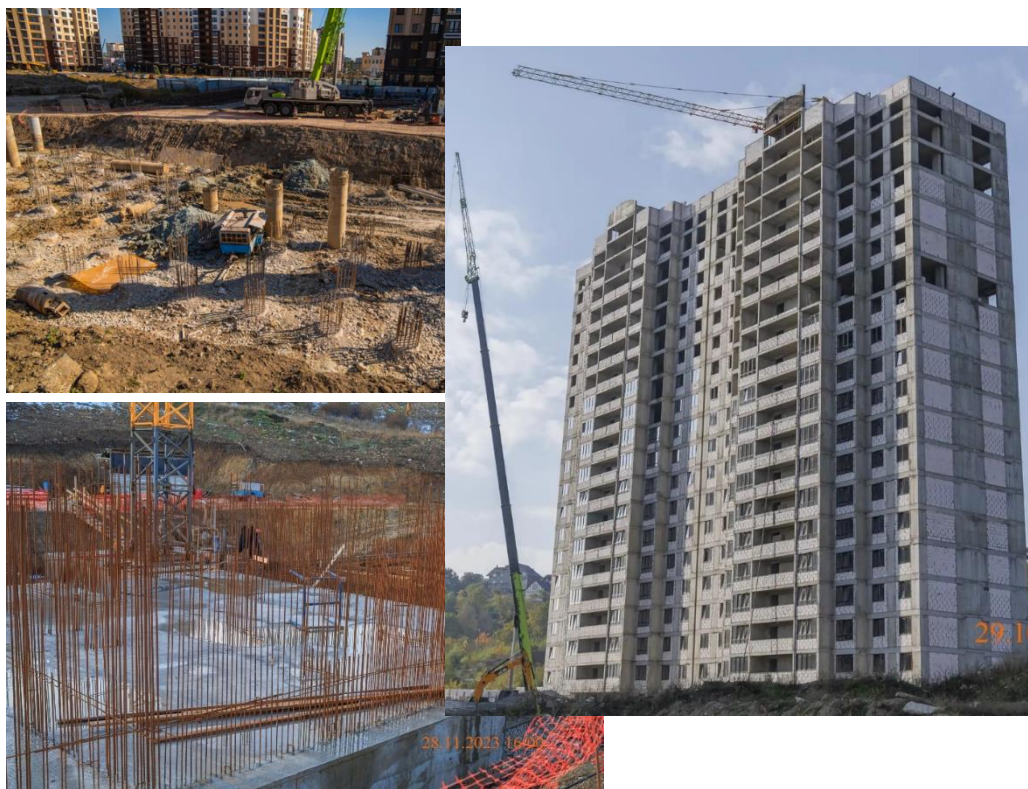


Рис. 5. Этапы устройства железобетонных конструкций нулевого цикла и степень готовности объекта на конец октября 2024 года

ВЫВОДЫ

1. Представлены объемно-планировочные и конструктивные решения объекта исследования во взаимосвязи с инженерно-геологическими условиями строительной площадки. Исходя из этих условий, аргументировано показана возможность устройства железобетонных фундаментов на сваях или в виде сплошной монолитной плиты. При этом сваи могут быть как предварительно изготовленные забивные, так и буронабивные, формуемые непосредственно в проектном положении.

2. В результате анализа смоделированных показателей стоимости производства железобетонных конструкций нулевого цикла выбран экономически обоснованный вариант свайного фундамента на буронабивных сваях, обеспечивающий экономию почти в 48,6 млн. рублей на данном объекте.

3. Сравнение коммерческих предложений возможных подрядчиков на выполнение выбранного варианта работ нулевого цикла позволило определиться с подрядной организацией для этого – ООО «Строительная компания «Столица», обещавшая реализовать проект за 180 календарных дней с экономией 4,8% финансовых затрат по сравнению с самым дорогим вариантом устройства фундаментов. Проект успешно реализуется на практике со сдачей дома в эксплуатацию в текущем году.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шулятьев, О. А. Основания и фундаменты высотных зданий / О.А. Шулятьев. – М.: АСВ, 2018. – 392 с.
2. Абелев, М. Ю. Технологии устройства плитных фундаментов 17-этажных панельных зданий / М.Ю. Абелев, Б.М. Красновский // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – №4. – С.40-46. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.40-46.
3. Гайдо, А.Н. Оценка показателей надежности и качества способов производства работ нулевого цикла / А. Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(78). – С. 116-126. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-116-126. – EDN ESYFSS.
4. Мангушев, Р. А. Усиление фундаментов зданий и сооружений - памятников архитектуры на примере Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев //Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – №8. – С. 77-86 doi: 10.33622/0869-7019.2023.08.77-86.
5. Свицерских, А.В. Эффективность устройства спиральных винтовых свай «Свайбер» в пучинистых грунтах / А.В. Свицерских, А.Г. Алексеев, Д.В. Коровин // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – С. 85-90. doi: 10.33622/0869-7019.2023.07.85-90.
6. Офрихтер, Я.В. Использование волновой теории удара для определения несущей способности свай / Я.В. Офрихтер, А.Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 35–43. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.04.
7. Доладов, Ю.И. Ресурсосберегающая технология бетонирования массивных фундаментных плит / Ю.И. Доладов, И.П. Доладова // Градостроительство и архитектура: Вестник СГАСУ. – Самара, 2011 – № 2 – С. 132–134.
8. Типовая технологическая карта на устройство монолитных железобетонных фундаментов в опалубке импортного производства или типа «Модостр»: Гос. произв. об-ние «Минскстрой». ОАО «ОРГСТРОЙ». – Минск, 2010. – 79 с.
9. Тер-Мартиросян, А.З. Оценка влияния карстово-суффозионных процессов на здания и сооружения различного назначения / А.З. Тер-Мартиросян, Г.О. Анжело, Ю.В. Ванина // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 9. – С. 34-40. doi: 10.33622/0869-7019.2024.09.34-40.
10. Абрамян, С.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в строительстве / С.Г. Абрамян, Р.Х. Ишмаметов. – Волгогр. гос. техн. ун-т, 2018. – 232 с.
11. Застрелов, А. Н. Проектирование и возведение фундаментной плиты с композитной арматурой для многоэтажного дома / А.Н. Застрелов, В.А. Какуша, О.А. Корнев, М.Г. Ковалев, А.Е. Лапшинов, Е.А. Литвинов // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 9. – С. 68-74. doi: 10.33622/0869-7019.2024.09.68-74.
12. Бирюков, А. Н. Выбор свайных технологий для укрепления фундаментов при реконструкции исторических зданий гарнизона Санкт-Петербурга / А. Н. Бирюков, Ю. И. Тилинин // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2024. – № 2(30). – С. 330-336. – EDN DESSCF.
13. Осокин, А. И. Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки / А. И. Осокин, О. О. Денисова, Т. Н. Шахтарина // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 16-24. – EDN RXOKJB.
14. Афанасьев, А. А. Декельный метод возведения зданий и заглубленных сооружений в стесненных условиях городской застройки / А. А. Афанасьев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2010. – № 9(140). – С. 30-33. – EDN BDХННО.
15. Чернышова, А. М. Технология возведения подземной части здания или сооружения "московским методом" /А. М. Чернышова // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации», Москва, 25–27 апреля 2018 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2018. – С. 370-372. – EDN XRJUNF.
16. Шаленный, В. Т. Развитие технологии подземного многоэтажного каркасного строительства по методу "сверху-вниз" со сталебетонными сваями-колоннами усовершенствованной конструкции / В. Т. Шаленный // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 12(64). – С. 57-62. – EDN YQJVFB.

17. Патент на полезную модель № 173169 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/38. Железобетонная свая-колонна: № 2017107649: заявл. 07.03.2017: опубл. 15.08.2017 / В. Т. Шаленный, О. Л. Балакчина, С. Ю. Рамазанов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского". – EDN RVGHVD.
18. Shalenny, V. T. Resource saving pile columns and slabs in top-down technology / V. T. Shalenny // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2020. – No. 6(91). – P. 9105. – DOI 10.18720/CUBS.91.5. – EDN PMOSIL.
19. Шаленный, В. Т. Принципиальная организационно-технологическая схема бетонирования железобетонных перекрытий многоэтажной подземной части зданий методом "сверху-вниз" / В. Т. Шаленный // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 13(65). – С. 99-106. – EDN PNYEZN.
20. Патент на полезную модель № 190322 U1 Российская Федерация, МПК E02D 29/045. Устройство возведения многоэтажного подземного сооружения: № 2019100939: заявл. 10.01.2019: опубл. 26.06.2019 / В. Т. Шаленный, А. И. Ткаченко; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского". – EDN ZZCYML.
21. Шаленный, В. Т. Ресурсоэкономная технология одновременного усиления ленточных фундаментов и оснований с их частичной разгрузкой / В. Т. Шаленный, С. Ф. Акимов, К. Г. Никогосов // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее: сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2022, Симферополь, 17–19 ноября 2022 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. – С. 314-319. – EDN JOZTBW.
22. Шаленный, В. Т. Интенсификация и эргономика строительного производства / В. Т. Шаленный. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2021. – 340 с. – ISBN 978-5-4365-8243-6. – EDN INGYRA.
23. Дьяков, И. М. Силовое взаимодействие отдельно стоящих фундаментов с основанием при быстром догружении / И. М. Дьяков, М. И. Дьяков // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 3(113). – С. 21-30. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-113-3-21-30. – EDN NKDLQE.
24. Колчунов, В. И. Способ усиления каркаса многоэтажного здания при неравномерных осадках фундаментов / В. И. Колчунов, И. М. Дьяков, С. В. Гречишников, М. И. Дьяков // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 5(85). – С. 63-73. – DOI 10.33979/2073-7416-2019-85-5-63-73. – EDN OKFBCZ.
25. Дьяков, И. М. Исследование взаимодействия отдельно стоящих фундаментов с песчаным основанием при быстрых догружениях / И. М. Дьяков, М. И. Дьяков // Транспортные сооружения. – 2024. – Т. 11, № 2. – DOI 10.15862/12SATS224. – EDN TCLPYG.

FEASIBILITY STUDY AND IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR THE FOUNDATIONS OF A 20-STORY BUILDING ON THE RESIDENTIAL ESTATE "ZHIGULINA GROVE" IN SIMFEROPOL

¹Shalenny V.T., ²Vlasenko T.G.

^{1,2} V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The article deals with the development of the theory and practice of feasibility studies, the choice and implementation of technology and the organization of work on the construction of zero-cycle structures at a specific construction site in Simferopol. Taking into account the engineering and geological conditions of the construction site, the design and planning decisions of the facility, the options for installing foundations on driven and bored piles, as well as on a solid monolithic reinforced concrete slab, are considered. A comparative analysis of the commercial offers of three potential contractors has been carried out. As a result, a compromise option was chosen for the installation of foundations on bored piles, which allows us to expect savings of 48,6 million rubles in financial resources only for zero-cycle work.

Keywords: : foundation, resource, economy, justification, reinforced concrete, efficiency.

УДК [627,5+624.157]

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА ГРУНТА ДНА У ОПОР СКВОЗНОГО СВАЙНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИЧАЛА

Шуныко Н.В.¹, Шуныко А.А.²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: 1natshunko@rambler.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования величины местного размыва грунта дна у опор сквозного сооружения причала вертикального профиля в волновом лотке. Рассматриваемое сооружение является причальным и входит в состав гидротехнических сооружений Морского терминала Находкинского Завода минеральных Удобрений. У основания причала проектом предусмотрена каменно-набросная постель. На основании анализа результатов проведенного физического моделирования (лабораторных исследований), была определена величина местного размыва (изменения) составляющих конструкции каменно-набросной постели у опор сквозного свайного сооружения модели грузового причала. Дана оценка влияния экспериментально определенного местного размыва на устойчивость сооружения причала.

Ключевые слова: причал сквозного типа, морской терминал, сваи, параметры волнения, физическое моделирование, обеспеченность шторма, размыв донного грунта.

ВВЕДЕНИЕ

У фундаментов гидротехнических сооружений, проектируемых на относительно небольших глубинах, под воздействием ветровых волн и течений, происходит размыв поверхностных слоев донного грунта. Как правило, это явление наблюдается, в основном, у оснований оградительных и берегозащитных сооружений, а так же у фундаментов морских нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений. Если не предусмотреть защитные мероприятия от придонных размывов, то гидротехническое сооружение может потерять устойчивость. Поэтому, на этапах проектирования самой конструкции сооружения, разрабатывают и его защиту от размывов морского дна у фундамента [1, 2].

Для подбора наиболее эффективного конструктивного варианта защиты, а также разработки процесса производства работ по ее устройству, необходимо определить величину скоростей придонного течения. Величина донных скоростей определяется в зависимости от волновых параметров в системе расчетного шторма, глубины воды у сооружения, а также средней продолжительности и направленности штормов в зоне возведения сооружения.

В зависимости от значений вычисленных скоростей, выбирается размер камня или щебня.

Самые оптимальные и надежные методики расчета донных скоростей основываются на учете размеров и форм фундаментных частей проектируемых сооружений.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследование величины местного размыва грунта дна у опор сооружений с применением физического моделирования впервые в нашей стране проводилось в НИУ МГСУ в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории им. Н.Н. Джунковского, под руководством И.Ш. Халфина [3].

Методика определения величины размыва грунтового основания от совокупного воздействия течений и ветровых волн, основывается на сравнении значений скорости в потоке воды у сооружения, со значениями характерных скоростей, соответствующих основным стадиям движения частиц поверхностных грунтов.

Всего выделяют четыре характерных стадии:

1 стадия – потеря устойчивости небольшого числа частиц на сдвиг и опрокидывание, начало трогания с места;

2 стадия – начало массового движения частиц и образование рифелей;

3 стадия – стирание рифелей и массовое движение по морскому дну;

4 стадия – массовое движение взвешенных частиц.

С первой стадией связано понятие критической скорости. Схема размыва грунтового основания у цилиндрической опоры (свая) под воздействием течений и волнения состоит в следующем: при обтекании опоры установившимся потоком, происходит его торможение у передней грани опоры, с появлением нисходящего течения. У дна, по его периметру, образуется подковообразный вихрь. Подковообразный вихрь и формирует воронку размыва у опоры. Чем интенсивнее действие подковообразного вихря, тем глубже воронка размыва. Образующиеся боковые вихри, выносят грунт из воронки [4, 5].

Исследования по этой теме, были включены в методику предварительной оценки местных размывов дна и назначения параметров защитной отсыпки у фундаментов морских гидротехнических сооружений.

Описанная схема размыва грунтового основания при воздействии волн и течений, намного сложнее и на сегодняшний день все модели данного воздействия, достаточно приближенные. Тем более, отсутствуют и достоверные математические модели для изучения этого явления. Современная наука только подходит к четкому пониманию происходящих процессов. Поэтому, для изучения данного явления, пока остается путь физического моделирования.

Поэтому окончательное решение об устройстве защитного крепления следует принимать, основываясь на анализе результатов специальных модельных исследований, выполненных с учетом топографии дна, глубины воды и расчетных параметров волн и течений в зоне установки конкретного сооружения.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы – изучение размыва грунтового основания при воздействии волн и течений методом физического моделирования.

Основная задача данной работы: исследование величины местного размыва грунта дна у опор сквозного свайного сооружения причала Морского терминала Находкинского Завода минеральных Удобрений (Терминал), с запроектированной каменно-набросной постелью.

Методика проведения исследований – стандартная для подобного вида работ, основополагающаяся на положениях теории подобия натурального и модельного объекта, с применением критерия Фруда [6-8]. В экспериментах было задействовано оборудование фирмы HR Wallingford (Великобритания) с автоматизированной системой сбора и обработки экспериментальной информации в режиме реального времени.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Физическое моделирование проводилось в волновом лотке, в зоне конструктивных сечений 20-20 и 21-21 (рисунки 1 и 2) свайного сооружения причала морского Терминала. Масштаб модели сооружения причала в опытах составил: 1:35.

Данные режимных характеристик расчетных параметров волн (высота волны, средний период) в системе расчетного шторма в районе проектирования объекта, принимались в соответствии с III классом сооружения грузового причала и по рекомендациям СП 38.13330.2018 [1, 4]. Уровень воды 5% обеспеченности, составил значение: $H_{5\%} = -0,290$ м БС (натурные данные). Параметры волн шторма западного направления, 5% обеспеченности, повторяемостью 1 раз в 25 лет, составили значения: $h_{5\%} = 3,3$ м, $T_{cp} = 12,5$ с (натурные данные). Глубина воды у сооружения, по сечению 21-21: 15,065 м (до верхнего каменного слоя каменно-набросной постели), а до морского дна: 16,140 м. Длительность шторма западного направления: 5÷10 часов (натурные данные).

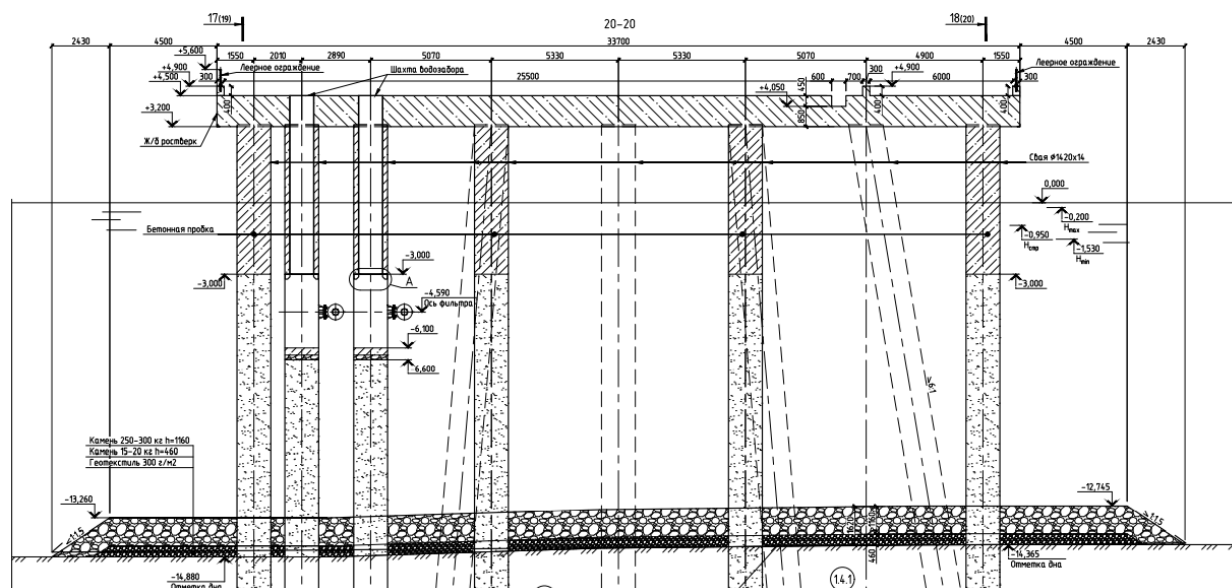


Рис. 1. Сечение 20-20 технологической площадки сооружения причала

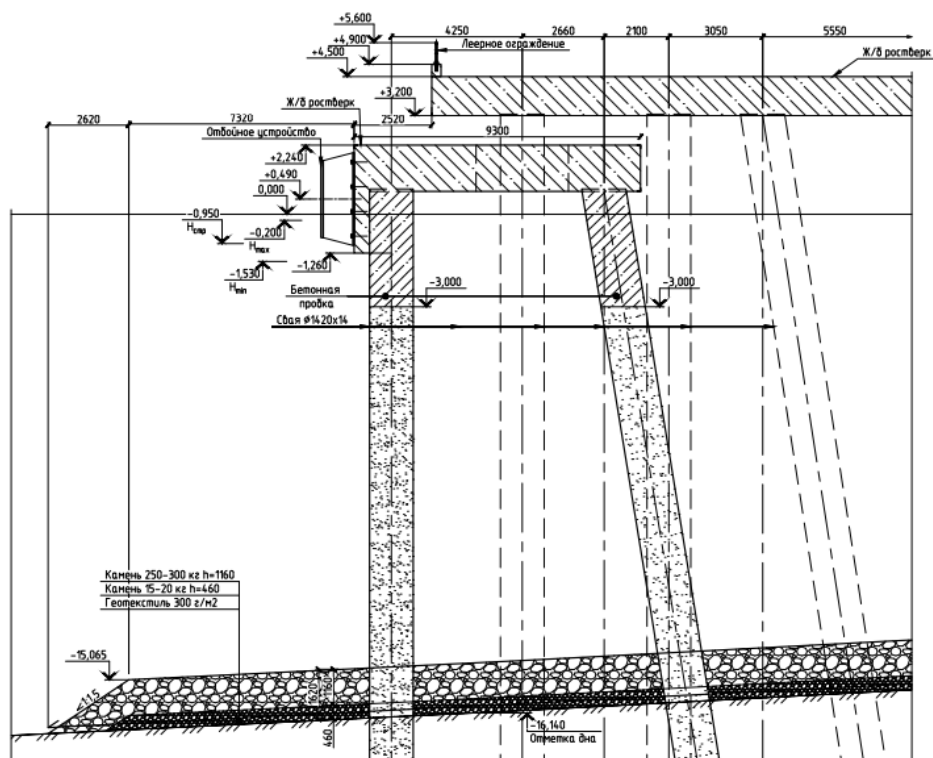


Рис. 2. Сечение 21-21 технологической площадки сооружения причала

Схематическое изображение эксперимента в волновом лотке представлено на рисунке 3.

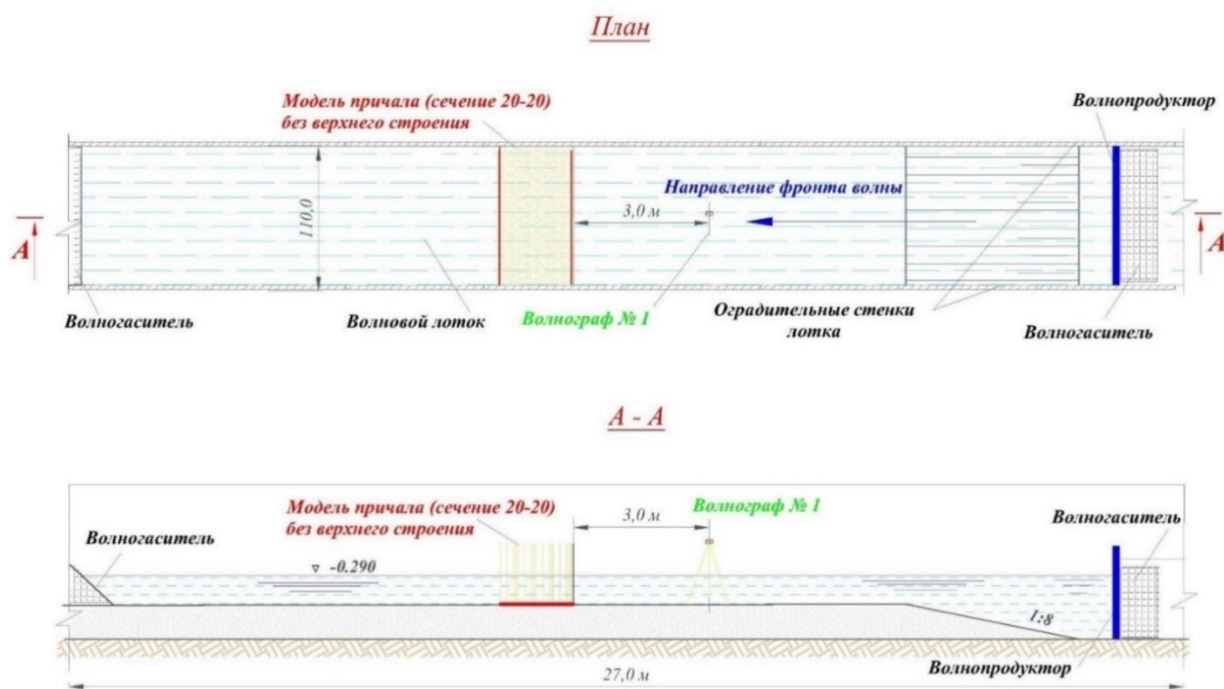


Рис. 3. Схематическое изображение экспериментальных исследований

Пересчет натурной массы камня в составе слоев каменно-набросной постели, применяемой в проекте для крепления дна – в модельную массу камня.

Крепление дна необходимо для защиты естественного дна от размыва при воздействии движителей судов у свай причала. В сторону акватории под сваями причала устраивается каменно-набросная постель, в следующем составе. На естественную поверхность дна укладывается слой геотекстиля 300 г/м². Сверху на него отсыпается слой камня, массой 15÷20 кг, толщиной 0,46 м. Верхний слой крепления дна состоит из камня, массой 250÷300 кг с толщиной слоя 1,16 м.

Для расчета модельной массы камня в конструкции каменно-набросной постели, в зоне сечений 20-20 и 21-21, применялись известные в инженерной практике расчетные зависимости и рекомендации СП 38.13330.2018 [1].

При гидравлическом моделировании, условия динамического подобия, следуют из второго закона Ньютона: $F = ma$.

В случае, когда движение системы происходит под воздействием только сил тяжести, имеем: $F_g = m \cdot g = \rho \cdot L^3 \cdot g$.

Отношение силы тяжести на модели, к силе тяжести в натуре: $F_g^m / F_g^n = F_\lambda = \rho_\lambda \cdot L_\lambda^3 \cdot g_\lambda$. В условиях обычного опыта $g_\lambda = 1,0$. Объемный вес γ равен произведению плотности ρ на ускорение свободного падения g : $\gamma = \rho \cdot g$. Следовательно, если щебень на модели изготовить из той же породы, что и в натуре, то $\rho_\lambda = 1,0$. В этом случае: $F_g^m = F_g^n \cdot L_\lambda^3$. В нашем случае: $L_\lambda = 1/35$.

Масса камня в натуре для первого слоя откоса равна: $m_n = 250 \div 300$ кг (рисунки 1 и 2). Вес камня в натуре: $P_n = (250 \div 300) \cdot 9,81 = 2452 \div 2943$ Н.

Объем шара равен: $V_{ш} = (4/3) \cdot \pi \cdot R^3 = (4/3) \cdot \pi \cdot (D/2)^3 = (4/24) \cdot \pi \cdot D^3 \approx 0,5236 D^3$, где D – диаметр шара.

Объемный вес камня $\gamma = 2600$ кг/м³. Объем одного характерного камня в натуре: $V_k^n = (250 \div 300) / 2600 = 0,096 \div 0,12$ м³.

Диаметр щебня в натуре:

$$D_k^n = \sqrt[3]{\frac{(0,096 \div 0,12)}{0,5236}} = 0,57 \div 0,61 \text{ м.}$$

Диаметр щебня на модели:

$$D_k^m = (0,57 \div 0,61) / 35 = 0,016 \div 0,017 \text{ м} = 16,0 \div 17,0 \text{ мм.}$$

Масса такого размера щебня составила:

$$m_k^m = (250 \div 300) / 35^3 = 0,006 \div 0,007 \text{ кг} = 6,0 \div 7,0 \text{ г.}$$

Масса камня второго слоя каменно-набросной постели составляет 15÷20 кг (рисунки 2 и 3).

Объемный вес камня $\gamma = 2600 \text{ кг/м}^3$. Объем одного характерного камня в натуре: $V_k'' = (15 \div 20) / 2600 = 0,0057 \div 0,0077 \text{ м}^3$.

Диаметр щебня в натуре:

$$D_K^H = \sqrt[3]{\frac{(0,0057-0,077)}{0,5236}} = 0,01 \div 0,011 \text{ м.}$$

Диаметр щебня на модели:

$$D_K^M = (0,01 \div 0,011)/35 = 0,2 \div 0,3 \text{ мм.}$$

$$m_K^M = (15 \div 20) / 35^3 = 0,0003 \div 0,0005 \text{ кг} = 0,3 \div 0,5 \text{ г}.$$

На рисунках 4 и 5 представлено свайное поле грузового причала в зоне сечения 20-20 и 21-21. Камни верхнего слоя в подпричальном откосе покрыты красной краской – для лучшего визуального отслеживания смещения по откосу отдельных камней верхнего защитного слоя. В случае разрушения подпричального откоса и перемешивания слоев камня верхнего и нижележащего слоев, этот результат, так же, будет хорошо визуализирован.



Рис. 4. Вид модели свайного поля грузового причала с подпричальным откосом

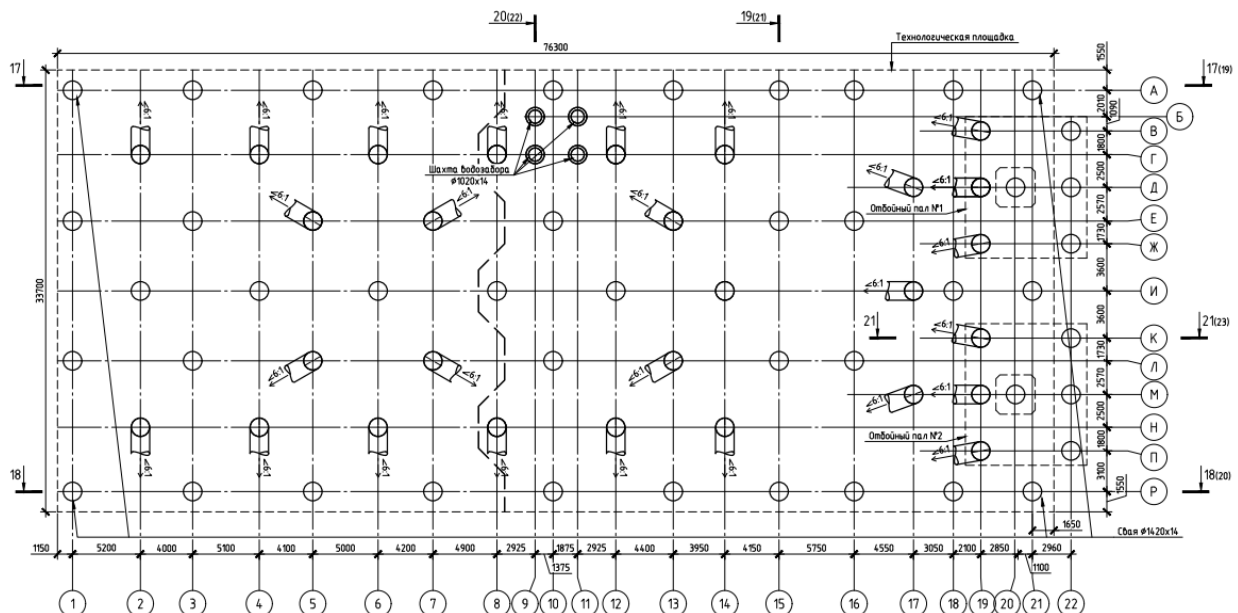


Рис. 5. Свайное поле технологической площадки сооружения причала

В экспериментах применялся один волнограф. Волнограф № 1 (В1) устанавливался на расстоянии 3 м до модели (рисунки 3 и 6), ближе к волнопродуктору, для контроля соответствия генерируемых параметров волнения – заданным. В таблице 1 приведены результаты тарировки

волнового датчика.

Таблица 1. Таблица тарировки волнографа № 1 в экспериментах

№ волнографа п/п	Калибровочный коэффициент K , м/В	R^2 , %
1	0,0121441	0,9932



Рис. 6. Датчик-волнограф В1 в рабочем положении

Перед экспериментами производился замер расстояния от оголовка каждой пронумерованной сваи свайного поля (рисунок 7) до уровня каменной наброски каменно-набросной постели с внесением числовых значений в таблицу 2 экспериментальных данных в графу «до эксперимента». По окончании заданного периода волнового воздействия шторма западного направления на модель причала (6 часов в натурных единицах), осуществлялись аналогичные замеры, с внесением в графу таблицы «после эксперимента».



Рис. 7. Нумерация свай сооружения причала

На основании полученных экспериментальных данных, была составлена таблица 2 изменения расстояния от оголовка каждой пронумерованной сваи свайного поля до уровня каменной наброски каменно-набросной постели.

Таблица 2. Таблица изменения поверхности каменно-набросной постели в экспериментах

№ сваи п/п	Замер до эксперимента, мм	Замер после эксперимента, мм
1	535,0	532,0
2	535,0	532,0
3	560,0	558,0
4	550,0	549,0
5	545,0	543,0
6	540,0	538,0
7	560,0	558,0
8	525,0	523,0
9	540,0	539,0
10	550,0	548,0
11	535,0	534,0
12	520,0	519,0
13	510,0	509,0
14	550,0	548,0
15	490,0	488,0
16	510,0	509,0
17	500,0	497,0
18	500,0	498,0
19	500,0	499,0
20	500,0	498,0
21	510,0	509,0
22	565,0	564,0
23	530,0	530,0
24	515,0	515,0
25	510,0	510,0
26	475,0	475,0
27	525,0	525,0
28	445,0	445,0
29	520,0	520,0
30	525,0	525,0
31	535,0	535,0
32	500,0	500,0
33	505,0	505,0
34	515,0	515,0
35	505,0	505,0
36	515,0	515,0
37	510,0	510,0
38	515,0	515,0
39	475,0	475,0
40	505,0	505,0
41	520,0	520,0

Экспериментальные исследования приведены на рисунке 8.



Рис. 8. Экспериментальные исследования

Волновая реализация с волнографа № 1, полученная в экспериментальных исследованиях, приведена на рисунке 9.

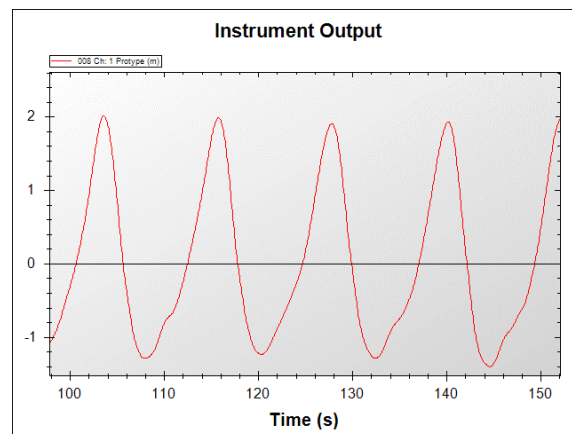


Рис. 9. Волновая реализация с датчика-волнографа В1
 $h_{5\%} = 3,3$ м, $T_{cp} = 12,5$ с (натурные данные)

ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментов по исследованию величины местного размыва грунта дна у опор сквозного свайного сооружения причала в зоне сечений 20-20 и 21-21 морского терминала в волновом лотке, было выявлено:

- сброс элементов каменной защитной наброски каменно-набросной постели в экспериментах отсутствовал (рисунок 10).

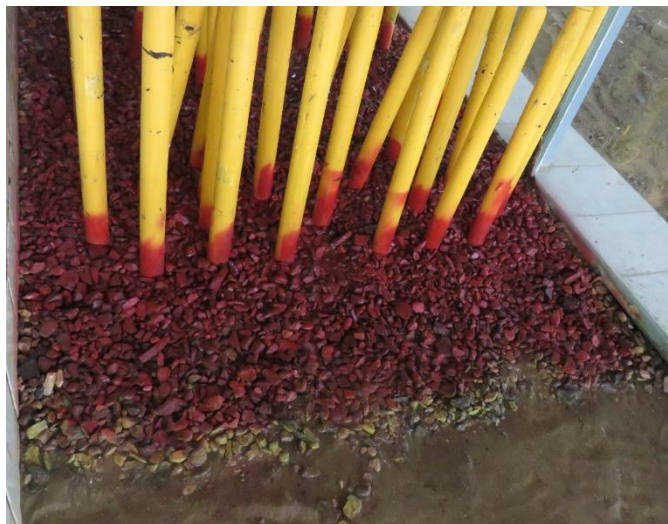


Рис. 10. Вид подпричального откоса после эксперимента

В соответствии с этим, следует вывод, что в процессе экспериментов камень был абсолютно устойчив, его шевеления в защитной наброске нет.

Величина местного размыва (изменения) составляющих конструкции каменно-набросной постели у опор сквозного свайного сооружения модели грузового причала - незначительна (таблица 2) и не окажет существенного влияния на устойчивость сооружения причала. Таким образом, общая устойчивость конструкции каменно-набросной постели обеспечивается и ее дополнительного укрепления не требуется.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыт строительства нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений в суровых условиях арктических регионов, показал, что стоимость защиты от размыва грунта, может составлять более половины стоимости всего строительства морского гидротехнического сооружения. Но, в сопоставлении со стоимостью подводно-технических работ, в случае образования размывов, при недостаточной проработке защиты или ее отсутствии, расходы будут еще более значительней.

Поэтому, представляется необходимым и далее проводить экспериментальные исследования по оценке размыва поверхностных слоев донного грунта под воздействием ветровых волн и течений.

При условии получения большого объема экспериментальных данных по данной теме, возможна разработка дополнений и уточнений в действующие нормативные документы.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 38.13330.2018. Свод правил. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): введен 17.02.2019. – М.: Минрегионразвития РФ, 2018. – 102 с.
2. СП 287.1325800.2016. Свод правил. Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства: введен 17.06.2017. – М.: Минстрой России, 2016. – 204 с.
3. Халфин, И.Ш. Воздействие волн на морские нефтегазопромысловые сооружения / И.Ш. Халфин. – Москва: «Недра», 1990. – 312 с.
4. Моргунов, К.П. Лабораторные исследования процессов размыва и намыва грунта в районе размещения мостовых опор / К.П. Моргунов, Ю.К. Ивановский, В.Г. Богатырёв // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 15(6). – С. 971-986. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-971-986. 2023.
5. Morgunov, K. Experimental studies of the kinematics flow and bottom's reformation in the area of bridge pier during the construction of the bridge crossing / K. Morgunov, G. Gladkov, Y. Ivanovsky //

Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. – 2021. – Vol. 2131, Is. 3. – p. 032064. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032064.

6. ГОСТ Р 70023-2022. Физическое моделирование волновых воздействий на портовые гидротехнические сооружения. Требования к построению модели, проведению экспериментов и обработке результатов. – Введ. 2022–09–01. – М.: Росстандарт, 2022. – 8 с.

7. Rogachko, S.I. Scientific support of projects of Offshore hydraulic structures / S.I. Rogachko, N.V. Shunko // Power Technology and Engineering. –2022. – Vol. 56, No. 1. – pp 1-5. – DOI 10.1007/s10749-023-01461-8.

8. Тлявлиная, Г.В. Портовые гидротехнические сооружения: требования к физическому моделированию волновых воздействий / Г.В. Тлявлиная, Р.М. Тлявлин, Е.А. Вялый // Транспортное строительство. – 2022. – № 3. – С. 24-26.

STUDY OF THE LOCAL EROSION OF THE BOTTOM SOIL AT THE SUPPORTS OF THE THROUGH-PILING STRUCTURE OF THE BERTH

¹Shunko N.V., ²Shunko A.A.

^{1,2}National Research Moscow State University of Civil Engineering

Annotation. The paper presents the results of a study of the magnitude of local erosion of the bottom soil at the supports of a through structure of a vertical profile berth in a wave chute. The structure in question is a berth and is part of the hydraulic structures of the Marine Terminal of the Nakhodka Mineral Fertilizer Plant. The design provides for a rockfill bed at the base of the berth. Based on the analysis of the results of physical modeling (laboratory studies), the magnitude of local erosion (change) of the components of the rockfill bed structure at the supports of the through pile structure of the cargo berth model was determined. An assessment of the effect of experimentally determined local erosion on the stability of the berth structure is given.

Keywords: through-type berth, marine terminal, piles, wave parameters, physical modeling, storm risk, bottom soil erosion.

УДК: 355.673.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНОЧНОГО ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ

Захаров А.С.¹, Крымов Р.С.²

^{1,2}Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181

¹e-mail: kelt_roman@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается применение инфракрасных систем отопления с целью обеспечения оптимальных температурных условий при минимальном энергопотреблении. Разработана физическая модель помещения, оборудованного пленочными инфракрасными обогревателями, для анализа температурных режимов и теплового баланса. Модель учитывает процессы теплопередачи, включая тепловыделение человеческого тела, конвективный теплообмен и инфракрасное излучение. Получены уравнения теплового баланса для воздуха, человеческого тела и внешних поверхностей, позволяющие оценить распределение тепла и энергоэффективность инфракрасной системы отопления, что улучшит тепловой комфорт и снизит энергозатраты в зданиях.

Ключевые слова: минимальное энергопотребление, инфракрасное отопление, тепловой баланс, инновационные технологии отопления, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач энергетической политики Российской Федерации является экономия источников энергии в технологических процессах в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. [1, 2]. Основным требованием к системам отопления производственных помещений является поддержание параметров микроклимата в зонах обслуживания.

Анализируя текущее состояние существующих систем отопления производственных помещений, можно сделать вывод, что должное внимание уделяется высокоэффективным и энергосберегающим системам отопления и вентиляции [3]. К ним относятся инфракрасные отопительные системы, которые становятся все более распространенными в России.

Применение инфракрасных обогревателей даёт возможность создать комфортные условия при более низких температурах в помещении и поддерживать нужный температурный режим в рабочей зоне благодаря радиационному воздействию инфракрасного обогревателя. Уровень тепловой энергии, передаваемой излучением, варьируется в широких пределах и зависит от типа инфракрасного обогревателя (газового или электрического) [3].

Правильный выбор инфракрасного обогревателя играет ключевую роль в достижении желаемого результата. В инфракрасном диапазоне выделяют три основных типа излучения по длине волны: длинноволновое, средневолновое и коротковолновое. Стоит учитывать, что инфракрасное излучение воздействует преимущественно на поверхность объектов. Так, материалы вроде технологической пены характеризуются низкой теплопроводностью и требуют облучения с обеих сторон для эффективного нагрева. Отражающие поверхности, особенно металлические, могут существенно снизить эффективность нагрева, так как инфракрасные лучи отражаются от них. Наилучшего результата удастся достичь при работе с материалами, обладающими хорошими поглощающими свойствами. Важный аспект промышленного нагрева — обрабатываемый материал и его скорость обработки. Каждый продукт имеет уникальный коэффициент поглощения тепла, который определяет его чувствительность к инфракрасному излучению. Длина волны определяет тип вещества. Это можно перевести в градусы температуры, чтобы определить самую быструю реакцию материала на инфракрасное излучение [4].

Инфракрасное излучение является более горячим источником энергии по сравнению с конвекционным нагревом и требует расчёта времени воздействия для предотвращения перегрева и разрушения материала. Инфракрасное излучение — это разновидность электромагнитного излучения, и его лучистый нагрев был известен с древних времён. Солнечное тепло, свет костра и домашние радиаторы используют этот принцип. Инфракрасное тепло излучают все обогреватели, и наше тело не исключение. Тепловизионные камеры фиксируют инфракрасное излучение тёплых предметов домашнего обихода как оранжевое, красное или белое, а предметы с меньшим

излучением выглядят фиолетовыми или синими [5].

Важно понимать, что эффективное отопление возможно только при условии хорошей теплоизоляции дома и минимизации теплопотерь. В таком случае затраты на любой вид отопления, включая электрический обогрев, будут существенно ниже.

Особенность инфракрасного отопления заключается в том, что для комфортного пребывания в помещении достаточно более низкой температуры по сравнению с другими видами обогрева (рисунок 1).

Ключевым преимуществом является наличие термостата, который позволяет обогревателям работать только тогда, когда температура опускается ниже установленного значения. Без термостатического контроля обогреватели работают непрерывно, что приводит к перегреву помещения. В таких случаях приходится искусственно охлаждать помещение, открывая окна, а расходы на электроэнергию значительно возрастают.



Рис. 1. Различия между традиционным и инфракрасным отоплением [2]

Инфракрасное отопление может служить как основным, так и дополнительным источником тепла для создания комфортных условий в определённой зоне, например, возле рабочего стола или в зоне отдыха. Все люди знакомы с инфракрасным излучением, которое составляет значительную часть солнечного спектра. Это излучение невидимо для глаз и находится между красным концом спектра и радиоволнами. Люди ощущают инфракрасные лучи как тепло. Инфракрасные волны испускаются всеми объектами, и чем сильнее они нагреты, тем короче становятся волны. Первые инфракрасные обогреватели появились в Швейцарии в 1960-х годах, поэтому история инфракрасного отопления насчитывает более полувека [6]. Принцип работы системы с инфракрасными радиаторами похож на процесс излучения тепла солнцем. Разница заключается лишь в том, что инфракрасные излучатели работают от источника энергии, а не от термоядерной реакции. Кроме того, в отличие от солнца, инфракрасные обогреватели могут быть без видимого излучения или иметь слабое свечение. Это не влияет на качество обогрева, так как тепло передаётся поверхностям благодаря невидимому излучению [6]. Отзывы пользователей об инфракрасных обогревателях в целом положительные. Единственный недостаток — стоимость электроэнергии. Однако в долгосрочной перспективе это оборудование является хорошей альтернативой традиционному отоплению. За рубежом инфракрасные обогреватели широко используются для обогрева домов, уличных кафе, веранд и открытых площадок. В России это оборудование пока не так популярно, но с развитием технологий становится всё более востребованным. Важным преимуществом инфракрасных обогревателей является их положительное влияние на здоровье человека. Они помогают предотвратить грипп и другие респираторные инфекции, уничтожают вредные микроорганизмы и не наносят вреда мебели и человеку [7].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Изучением вопросов использования пленочного инфракрасного обогревателя для повышения

энергоэффективности занимались Базанова Е.В., Савельев А.А., Барышников А.А., Мустафин Н.Ш., Кузьмишкин А.А., Игнатьева Е.А., Забиров А.И., Наумова О.В., Чесноков Б.П., Кирюшатов А.И., Спиридонова Е.В. и др. Авторами рассмотрены вопросы высокоэффективных и энергосберегающих систем отопления и вентиляции, использование инфракрасных обогревателей для обеспечения комфортных условий в помещении, а также поддержание необходимого температурного режима.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего исследования разработана физическая модель помещения с интегрированной системой инфракрасного обогрева на основе пленочных элементов. Данная система предназначена для обеспечения температурного контроля и оптимизации условий в рабочей зоне.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Инфракрасное отопление представляет собой высокоэффективный и перспективный метод обогрева современных зданий. Его энергоэффективность особенно значима для крупных помещений. В отличие от традиционных систем, которые нагревают воздух, инфракрасное отопление воздействует непосредственно на поверхности и объекты в зоне излучения. Это ускоряет процесс равномерного распределения тепла и снижает общее энергопотребление. Исследования [1-3] подтверждают эффективность этого подхода.

Нагрев поверхностей внешних защитных элементов увеличивает среднюю температуру излучения в помещении, что повышает общий уровень комфорта. После проведения термомодернизации зданий особое значение приобретает внедрение энергоэффективных технологий и инновационных систем отопления. В условиях повышенных требований к термостойкости, предъявляемых энергетическим аудитом, организации и владельцы недвижимости активно ищут более эффективные методы отопления. Инфракрасные системы отопления представляют собой перспективную альтернативу, способную значительно снизить энергопотребление по сравнению с традиционными конвективными системами [4, 5].

Эффективность инфракрасных систем обусловлена их способностью создавать локализованные зоны теплового комфорта при одновременном поддержании необходимых параметров микроклимата. Это достигается за счет возможности интеграции с другими системами отопления и вентиляции [7].

Проектирование и внедрение инженерных решений в сфере отопления предполагают проведение комплексного научного анализа, направленного на оценку их воздействия на тепловой баланс организма человека и создание благоприятных микроклиматических условий для проживания. Для этого используются методы компьютерного моделирования, а также экспериментальные исследования, что подтверждается работами [8, 9].

Значительное количество научных исследований посвящено применению инфракрасного отопления в зданиях различного функционального назначения и архитектурных решений. В жилых зданиях, где отсутствует центральное отопление или его мощность недостаточна, использование локальных источников тепла, таких как инфракрасные обогреватели, является эффективным и практичным решением [9]. Инфракрасные обогреватели могут иметь разнообразные конструкции и конфигурации, включая высокоэффективные полимерные пленки, гибкие углеродные ткани с применением технологий текстильного формования, капиллярные системы, технологии высокоинтенсивного излучения, в частности электронагрев, а также непериодические кремниевые микроструктуры с нанокompозитами платины.

Системы инфракрасного напольного отопления известны своими низкими температурами и использованием нагревательных поверхностей, излучающих длинноволновые электромагнитные волны [8]. Эти системы обеспечивают уникальный уровень теплового комфорта и энергоэффективности для различных типов зданий. Инфракрасные отопительные системы широко используются в современных религиозных зданиях, таких как церкви и храмы. Их применение важно для создания комфортных условий для прихожан и удовлетворения специфических технологических и архитектурных требований. Эти системы разработаны с учётом особенностей религиозных зданий, обеспечивая эффективное решение функциональных и эстетических задач [10].

Инфракрасные отопительные системы также значительно повышают уровень теплового комфорта в сельскохозяйственных зданиях, устраняя проблемы конденсации и избыточной влажности, часто возникающие в помещениях с высокой влажностью при содержании животных или домашней птицы [10].

Технология инфракрасного обогрева строительных конструкций, особенно мостов, заслуживает особого внимания. Обледенение таких объектов представляет собой сложную проблему как с теоретической, так и с практической точек зрения, особенно в регионах с холодным климатом. Оно является основной причиной дорожно-транспортных происшествий [10]. Системы инфракрасного обогрева позволяют поддерживать требуемую температуру в железобетонных конструкциях. Инфракрасный нагрев обладает преимуществом в виде локализованного характера воздействия. Например, конвективный нагрев работает с воздухом, а инфракрасный греет поверхности напрямую. Это повышает эффективность теплообмена, что важно для контроля температуры в технологических процессах. Локальный нагрев позволяет адаптировать систему к разным конфигурациям компонентов без значительных изменений оборудования. Быстрая настройка и возможность быстро вносить изменения улучшают производственные процессы и увеличивают их продуктивность.

Современные технологии инфракрасного отопления включают постоянное обновление и внедрение инновационных обогревателей, работающих на основе инфракрасного излучения [10]. Эти меры направлены на оптимизацию энергопотребления, повышение надежности и удобства эксплуатации. Основные направления модернизации включают использование материалов с высокой теплоизоляционной способностью и рациональным распределением тепловых потоков, а также разработку новых конструктивных решений для снижения затрат на отопление. Анализ актуальных научных исследований подтверждает значимость и в ряде случаев необходимость внедрения инфракрасных систем отопления для поддержания теплового режима, особенно в крупногабаритных помещениях.

Значительная часть человеческой деятельности осуществляется в жилых и производственных помещениях, где формирование благоприятной и эстетически привлекательной среды имеет важное значение. Поддержание оптимального микроклимата является ключевым фактором, влияющим на здоровье и производительность человека. Традиционные системы отопления на многих предприятиях России отличаются высокой энергоемкостью и не всегда обеспечивают требуемые температурные параметры в рабочих зонах [10]. Это вызывает необходимость обеспечения комфортного температурного режима при снижении энергопотребления.

Системы инфракрасного отопления, благодаря разнообразию конструкций и принципов работы, обеспечивают точное регулирование температурного режима в рабочей зоне, что повышает комфорт и энергоэффективность. Однако при проектировании систем теплоснабжения для крупных объектов возникают проблемы, связанные с недостатками существующих методологий, которые не учитывают особенности динамики температуры в условиях инфракрасного обогрева. Для решения этой проблемы предлагается разработать упрощенную физическую модель, описывающую тепловое равновесие в помещении при использовании пленочного инфракрасного обогревателя. Модель предназначена для анализа распределения температуры в помещении, определения траекторий теплопередачи и их взаимодействия с источниками тепла.

Инфракрасные обогреватели, как источники теплового излучения, генерируют электромагнитное излучение в определенном спектральном диапазоне. Это излучение передается в окружающую среду, где его поглощают поверхности ограждающих конструкций помещений и человеческое тело. В результате поглощения происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую посредством теплообмена.

Система уравнений, основанная на физических принципах теплообмена и упрощенной физической модели, позволяет оптимизировать температурный режим для эффективной работы инфракрасного обогревателя в конкретной зоне помещения с людьми. Теория графов используется для анализа тепловых условий в рабочей зоне помещения. Инфракрасные излучатели решают проблемы тепла и сухости, создавая зоны нагрева с высокой удельной мощностью и избирательным использованием энергии с помощью модульных систем. Возможность регулировать тепловую мощность с помощью цифровых регуляторов температуры и переключателей обеспечивает эффективное использование энергии, снижает эксплуатационные расходы и защищает окружающую среду.

Термин «инфракрасное излучение» относится к производству и передаче (воспроизведению) электромагнитного излучения. волны в спектральной области выше видимого света, которая простирается от 0,7 м до примерно 80 м. Генерация и передача электромагнитных волн связана с передачей энергии в определенном, направленном направлении. Передача энергии, по-видимому, возможна в вакууме, поскольку для этого не требуется среда передачи. Инфракрасные излучатели с длинными, средними и короткими волнами были классифицированы в зависимости от максимальной длины волны испускаемого спектрального излучения. Максимальное значение составляет менее 1,5 м для коротковолновых инфракрасных излучателей. Длинноволновые инфракрасные излучатели имеют максимальную длину волны более 3 м. Инфракрасные излучатели средней длины волны расположены между ними. Спектральное распределение энергии различных примеров излучателей в таких категориях показано на рисунке 1. Чем короче длина волны света, тем выше температура излучателей.

В рамках исследования рассматриваются процессы теплообмена в помещении, включающие теплоемкость воздуха, человеческого тела и ограждающих конструкций. Основным источником тепловой энергии для обогрева рабочей зоны является пленочный инфракрасный обогреватель. Дополнительно учитываются два других источника тепла: приточный воздух и наружный воздух с тепловой мощностью.

Механизмы теплопередачи между источниками тепловой энергии и помещением включают конвективный теплообмен, радиационный теплообмен и теплопроводность. Эти процессы могут быть математически описаны и визуализированы с помощью графовых моделей, где они представляются в виде рёбер, соединяющих узлы, соответствующие источникам и помещением.

Тепловой режим помещения регулируется посредством радиационно-конвективного теплообмена. Температурный режим помещения определяется комплексом ключевых параметров, включая выходную тепловую мощность теплогенерирующих источников и площадь их поверхности. При разработке физической модели были учтены определенные упрощения и допущения. В частности:

- теплопередача от инфракрасного обогревателя к поверхностям пола, стен и человеческого тела осуществляется преимущественно за счет лучистого теплообмена;
- нагретые поверхности пола, стен и человеческого тела отдают тепло в окружающую среду посредством конвективного теплопереноса;
- инфракрасное излучение от обогревателя передается на поверхности помещения;
- температура поверхности человеческого тела остается однородной;
- конвективный теплообмен от инфракрасного обогревателя не влияет на тепловой режим помещения из-за использования низкотемпературного пленочного излучателя;
- поверхностные элементы характеризуются равномерным распределением температуры;
- тепловыделение от искусственного освещения минимально благодаря применению энергоэффективных источников света, таких как светодиодные лампы.

На основе принятых допущений и анализа теплового состояния помещения была получена система уравнений теплового баланса. Основное уравнение теплового баланса для теплоемкости воздуха можно записать следующим образом:

Для помещения уравнение теплового баланса в общем виде представляется как:

$$Q_{чел} + Q_{огр} + Q_{возд}^{вх} + Q_{обогр} = Q_{изол} + Q_{возд}^{исх} \quad (1)$$

$Q_{чел}$ — это количество тепла, выделяемого человеческим телом в помещении через конвекцию, выраженное в ваттах (Вт) и определяемое по соответствующей формуле:

$$Q_{чел} = \alpha_k \cdot F_{чел} \cdot (t_{чел} - t_{пом}) \quad (2)$$

где α_k — коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/(м²*°C);

$F_{чел}$ — площадь поверхности человеческого тела, м²;

$t_{\text{чел}}$ — средняя температура поверхности человеческого тела, °C (с учетом теплового сопротивления одежды, $t_{\text{чел}} = 35^{\circ}\text{C}$).

$t_{\text{пом}}$ — расчетная температура воздуха в помещении, °C.

Прямое измерение площади поверхности тела человека представляет собой технически сложную задачу, требующую сложных расчетов на основе антропометрических параметров, таких как рост и масса тела. В связи с этим для оценки площади поверхности тела часто применяют эмпирические формулы. Одной из наиболее широко используемых и валидированных методик является формула Дюбуа, разработанная в начале XX века. Эта формула позволяет определить площадь поверхности тела (ППТ) с учетом антропометрических данных, таких как рост и масса.

$$F_{\text{ППТ}} = 0,007184 \cdot m_{\text{чел}}^{0,5} \cdot h_{\text{чел}}^{0,8} \quad (3)$$

где $m_{\text{чел}}$ - масса человека кг;

$h_{\text{чел}}$ - рост человека см.

При разработке расширенной модели теплового баланса с учетом теплоемкости стен, было получено следующее выражение:

$$\begin{aligned} C_0 \cdot \varepsilon_{\text{от}} \cdot F_{\text{от}} \cdot \varphi_{\text{от}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{от}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{огр}}}{100} \right)^4 \right] = \alpha \cdot F_{\text{огр}} \cdot (T_{\text{огр}} - T_{\text{вн}}) + \\ + C_0 \cdot \varepsilon_{\text{чел}} \cdot F_{\text{огр}} \cdot \varphi_{\text{чел}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{огр}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{от}}}{100} \right)^4 \right] + k_{\text{огр}} \cdot F_{\text{огр}} \cdot (T_{\text{огр}} - T_{\text{нар}}) \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\text{от}}$ - эффективный относительный коэффициент излучения между поверхностью нагревателя и соответствующей поверхностью помещения;

$\varphi_{\text{чел}}$ - коэффициент излучения от поверхности нагревателя к соответствующей поверхности помещения;

$T_{\text{огр}}$ - температура ограждающих поверхностей (стен, потолка, пола) К;

α - коэффициент конвективной теплопередачи ограждающих поверхностей Вт/(м²*К);

$\varepsilon_{\text{чел}}$ - относительный коэффициент излучения между поверхностью человеческого тела и соответствующей поверхностью помещения;

$F_{\text{огр}}$ - расчетная площадь ограждающих поверхностей м;

$k_{\text{огр}}$ - коэффициент теплопередачи соответствующей ограждающей поверхности, Вт/(м²*К);

$T_{\text{нар}}$ — это расчетная температура окружающего воздуха для холодного времени года К.

В исследовании были проанализированы балансовые уравнения для каждой тепловой ёмкости с учётом принятых предпосылок и упрощений. В результате были определены графические зависимости температуры воздуха в рабочей зоне помещения от температуры наружного воздуха и площади обогрева инфракрасного нагревателя (рис. 2). Диапазон изменения температуры поверхности нагревателя составил от 40 °C до 80 °C. Для расчёта тепловой ёмкости воздуха использовались математические модели в программной среде MATLAB.

Полученные графики дают точные данные об оптимальной площади поверхности инфракрасных обогревателей для поддержания нужной температуры. Они учитывают внешние условия, такие как температура и влажность воздуха, теплоизоляция помещения, количество и расположение окон и дверей, а также присутствие людей и других объектов, влияющих на эффективность теплообмена. Графики наглядно показывают, как изменения одного или нескольких факторов влияют на работу обогревателей, упрощая процесс оптимизации системы отопления.

Чтобы инфракрасное отопление было максимально эффективным, рекомендуется установить осевой вентилятор над обогревателем. Вентилятор направит конвекционные тепловые потоки в рабочую зону, что повысит температуру воздуха и уменьшит мощность обогревателя. В результате увеличится энергоэффективность системы инфракрасного отопления.

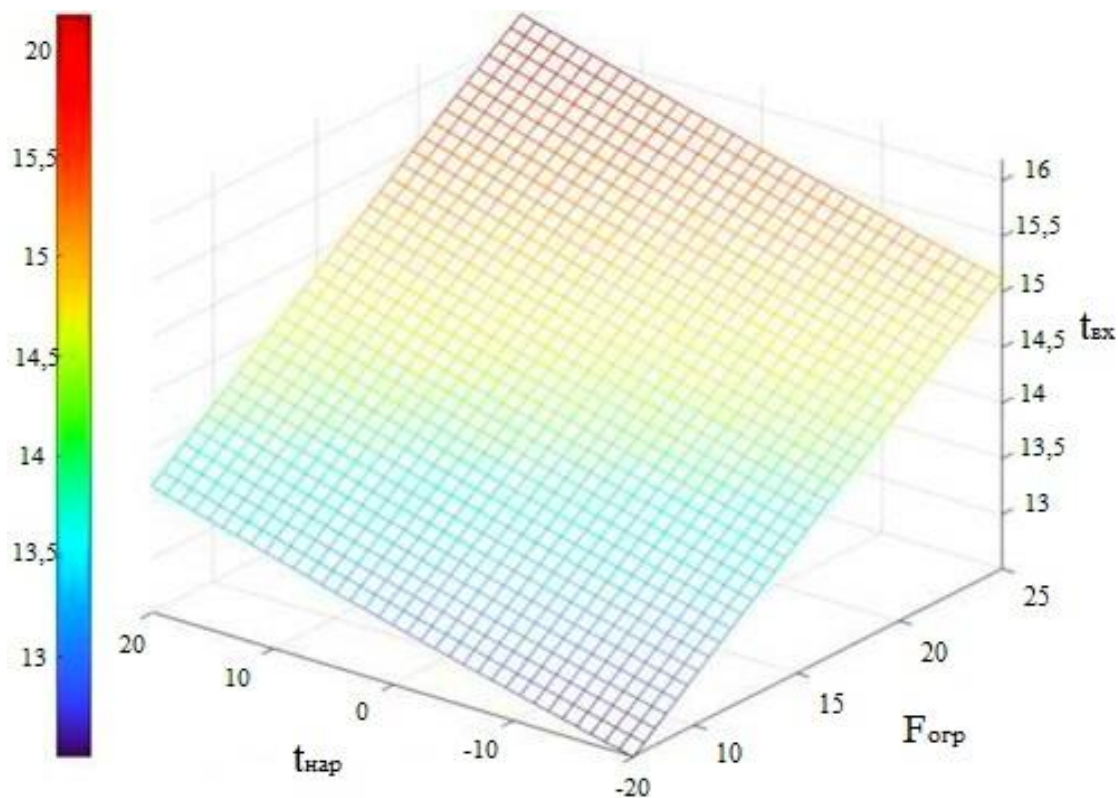


Рис. 2. Влияние температуры наружного воздуха $t_{нар}$, площади излучающей поверхности инфракрасного обогревателя F и его тепловой мощности на температуру воздуха $t_{вх}$ в рабочей зоне помещения при постоянной температуре поверхности обогревателя $t_{об} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ВЫВОДЫ

В рамках данного исследования разработана упрощенная физическая модель рабочей зоны производственного помещения, которая позволяет детально оценить тепловое взаимодействие между ключевыми элементами системы: воздухом, человеческим телом, ограждающими конструкциями и источниками тепла. В качестве источников тепла рассматриваются пленочный инфракрасный обогреватель, приточный воздух и наружный воздух.

На основе разработанной модели построен график, наглядно демонстрирующий процессы теплопередачи и взаимодействия между этими компонентами. График визуализирует инфракрасное излучение от пленочного обогревателя на внешние поверхности помещения (стены, пол, потолок) и на тела людей, а также показывает конвективный теплообмен между воздухом и этими поверхностями. Это позволяет более точно анализировать распределение тепловых потоков и эффективность системы инфракрасного отопления.

Для достижения этой цели сформулированы расширенные уравнения теплового баланса для воздуха, человеческого тела и внешних поверхностей. Эти уравнения являются сложными для аналитического решения, поэтому для расчетов использовались допущения и упрощения, а также программная среда MATLAB.

В стационарных условиях при температурах пленочного инфракрасного обогревателя в диапазоне от $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ были получены графические зависимости температуры воздуха в рабочей зоне от температуры наружного воздуха и площади обогрева. Эти данные позволяют определить оптимальную площадь поверхности нагревателей, необходимую для обеспечения теплового комфорта, в зависимости от климатических условий и параметров помещения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможности существенного повышения эффективности проектирования и эксплуатации систем инфракрасного обогрева в помещениях, обеспечивая комфортные условия и снижая энергозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базанова, Е. В. Повышение эффективности отопления теплиц с помощью пленочного инфракрасного обогревателя / Е. В. Базанова, Н. А. Алексеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы 80-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 18–22 апреля 2022 года. Том 1. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. – С. 480.
2. Савельев, А. А. Возможность применения инфракрасного отопления для помещений различного назначения / А. А. Савельев, О. В. Михеева // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы XIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 20–21 апреля 2023 года / Под редакцией Б.В. Фисенко. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 68-72.
3. Барышников, А.А. Анализ технологии инфракрасного отопления / А.А. Барышников, Н.Ш. Мустафин // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2016. – № 5(17). – URL: <https://regrazvitie.ru/analiz-tehnologiiinfrakrasnogo-otopleniya>.
4. Кузьмишкин, А. А. Энергосбережение в строительстве: инфракрасное отопление / А. А. Кузьмишкин, Е. А. Игнатьева, А. И. Забиров. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 3 (62). – С. 314-315. – URL: <https://moluch.ru/archive/62/9665/> (дата обращения: 28.03.2025).
5. Повышение энергоэффективности инженерных систем отопления, вентиляции и теплоснабжения : Основы проектирования и расчета / О. В. Наумова, Б. П. Чесноков, А. И. Кирюшатов, Е. В. Спиридонова. – Саратов : ООО "Амирит", 2015. – 170 с.
6. Ширинян, А. С. Роль насосов в системах теплоснабжения / А. С. Ширинян, О. В. Михеева // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы X Национальной конференции с международным участием, Саратов, 23-24 апреля 2020 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2020. – С. 244-246.
7. Савельева, Н. С. Альтернативные системы отопления в энергоэффективном строительстве / Н. С. Савельева // Летняя научная конференция студентов и аспирантов ЛГТУ: Сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20–24 августа 2024 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 447-451.
8. Бухмиров, В.В. Экспериментальное исследование системы отопления инфракрасными излучателями / В.В. Бухмиров, Ю.С. Солнышкова, М.А. Савельева // Вестник ивановского государственного энергетического университета, 2011. – №3. – С. 12-16.
9. Сергеева, Д.В. Преимущества использования инфракрасного отопления / Д.В. Сергеева // Научному прогрессу - творчество молодых, 2021. – №2. – С. 152-154.
10. Барышников, А.А. Анализ технологии инфракрасного отопления / А.А. Барышников, Н.Ш. Мустафин // Региональное развитие, 2016. – № 5(17). – С. 251-254

INVESTIGATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM USING A FILM INFRARED HEATER

¹Zakharov A.S., ²Krymov R.S.

^{1, 2}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Annotation. This article discusses the use of infrared heating systems in order to ensure optimal temperature conditions with minimal energy consumption. A physical model of a room equipped with infrared film heaters has been developed to analyze temperature conditions and heat balance. The model takes into account the processes of heat transfer, including heat release of the human body, convective heat transfer and infrared radiation. Heat balance equations for air, the human body and external surfaces have been obtained, which make it possible to estimate the heat distribution and energy efficiency of an infrared heating system, which will improve thermal comfort and reduce energy consumption in buildings.

Keywords: minimum energy consumption, infrared heating, thermal balance, innovative heating technologies, energy efficiency.

УДК 697.112

ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Баденко В.Л.², Шкильнюк М.А.^{1,2}

¹, Белорусско-Российский университет, 212000, Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43, e-mail: eeld9696@gmail.com

²Инженерно-строительный институт (структурное подразделение), Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 195 251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, e-mail: badenko_vl@spbstu.ru

Аннотация. В исследовании представлены результаты натурных измерений термического сопротивления ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий, сгруппированных по категориям технического состояния, а также данные сопоставления фактических теплотехнических характеристик с проектными значениями. Установлено, что снижение фактического термического сопротивления относительно расчетного детерминировано преимущественно конструктивным решением и техническим состоянием ограждений, а не типом применяемых материалов. Монолитные (кирпичная/блочная кладка) и сборные конструкции заводского изготовления демонстрируют соответствие заявленным теплозащитным свойствам при удовлетворительном техническом состоянии.

Цель: установить влияние конструктивного исполнения и технического состояния ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий на отклонение фактического термического сопротивления от проектных значений, а также оценить соответствие теплозащитных свойств монолитных и сборных конструкций заявленным характеристикам при различных категориях технического состояния.

Методы: натурные измерения термического сопротивления ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий. Группировка объектов по категориям технического состояния (от удовлетворительного до неработоспособного). Сравнительный анализ фактических теплотехнических характеристик с проектными значениями.

Результаты: снижение фактического термического сопротивления относительно проектного на 6–41% детерминировано конструктивным решением (слоистость, наличие теплопроводных включений) и техническим состоянием (дефекты, износ), а не типом материалов (доля влияния $\leq 10\%$). Монолитные (кирпич/блоки) и сборные конструкции заводского изготовления сохраняют соответствие заявленным теплозащитным свойствам только при удовлетворительном техническом состоянии. Наибольшие расхождения выявлены в конструкциях 4-й категории состояния.

Новизна: экспериментальное обоснование приоритетности конструктивных и эксплуатационных факторов над выбором материалов в снижении термического сопротивления ограждений. Количественная оценка деградации теплозащитных свойств для разных категорий технического состояния с выделением "критического порога" (категория 3 и выше). Верификация устойчивости свойств монолитных/сборных конструкций при сохранении проектных параметров монтажа и эксплуатации.

Ключевые слова: термическое сопротивление, ограждающие конструкции, утепление, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Строительный сектор входит в число ведущих мировых потребителей энергоресурсов. На отопительные системы зданий приходится значительная доля конечного энергопотребления: порядка 40% в ЕС, 61% в Российской Федерации и 53% в Республике Беларусь [1–4].

В глобальном масштабе жилищный сектор обуславливает 60% энергопотребления строительной отрасли, 36% выбросов CO₂ [5, 6] и 50% спроса на электроэнергию [7]. В связи с этим активизировались исследования, направленные на снижение энергопотребления жилых зданий, включая разработку адекватных энергетических моделей [8].

Поскольку доминирующий путь теплопереноса в зданиях протекает через ограждающие конструкции, детальный анализ их теплофизических характеристик представляет собой критически важный элемент проектирования энергоэффективных объектов [9, 10]. При этом ключевым вызовом остается отсутствие системной идентификации и сквозного мониторинга объектов капитального строительства и их компонентов в течение жизненного цикла [11].

Термическое сопротивление ограждающих конструкций служит ключевым показателем теплозащиты зданий [12–16], его минимально требуемое значение регламентировано строительными нормативами. При проектировании теплозащиты зданий и сооружений применяются расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий [17–20]. Фактические значения теплопроводности материалов в эксплуатируемых зданиях могут существенно отличаться от расчетных вследствие повышенной влажности, деградации конструкций, а также несоответствия качества материалов и работ нормативным требованиям [21–23].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В международной практике осуществляются масштабные исследования влияния типа теплоизоляционных материалов, их конфигурации, толщины и локализации на теплофизические характеристики ограждений [24, 25]. Оптимальному применению указанных материалов непосредственно способствует внедрение цифровых систем, обеспечивающих критический анализ и проектирование строительных объектов [26–31].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью проведенного исследования являлась установление влияния конструктивного решения и технического состояния ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий на отклонение фактического термического сопротивления от проектных значений, а также оценка соответствия теплозащитных свойств монолитных и сборных конструкций заявленным характеристикам при различных категориях технического состояния.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведение натурных измерений термического сопротивления с использованием прибора ИТП-МГ4.03/10 «Поток» в течение отопительного сезона; определение сопротивления теплопередаче (R) согласно действующим нормативным требованиям [32–34] выполнение серии замеров для разнотипных ограждающих конструкций в зданиях различных населенных пунктов.

Решение поставленных задач достигнуто применением следующих методов: инструментальные натурные измерения термического сопротивления, сравнительный анализ фактических и проектных теплотехнических характеристик, группировка данных по категориям технического состояния конструкций. В данном исследовании представлены результаты инструментальных натурных измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий в г. Могилев и г. Бельнич.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В ходе исследования выполнена серия замеров термического сопротивления для разнотипных ограждающих конструкций зданий в различных населенных пунктах. Сводные данные с характеристиками объектов представлены в таблице 1. Анализ выявил соответствие фактических и расчетных значений R для однородных конструкций и заводских панелей при удовлетворительном техническом состоянии.

Таблица 1. Сравнение сопротивления теплопередаче, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$)

Описание здания, год постройки, расположение	Описание и толщина ограждающих конструкций	Термическое сопротивление, ($\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$)			Отношение фактического значения к расчетному, %	Категория технического состояния ограждающей конструкции
		по данным замеров (фактическое)	расчетное (проектное)	нормативное		
1	2	3	4	5	6	7
Трехэтажный жилой дом, (1975 г.), г. Бельнич	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,67	0,85	2,86	78%	3
Одноэтажный жилой дом, (1974 г.), г. Бельнич	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,51	0,85	2,86	60%	4
Двухэтажный жилой дом, (1984 г.), г. Бельнич	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,79	0,85	2,86	92%	2
Двухэтажный жилой дом, (1994 г.), г. Бельнич	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	1,03	0,85	2,86	121%	2

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7
Пятиэтажный жилой дом, (1977 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,71	0,93	2,86	76%	3
Пятиэтажный жилой дом, (1992 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	1,02	0,93	2,86	109%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1986 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	1,05	0,93	2,86	112%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1986 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,85	0,93	2,86	91%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1985 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,9	0,93	2,86	96%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1992 г.), г. Бельнич	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,89	0,93	2,86	95%	2
Двухэтажный жилой дом, (1950 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,49	0,83	2,86	59%	4
Трехэтажный жилой дом, (1958 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,53	0,83	2,86	63%	4
Пятиэтажный жилой дом, (1980 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,88	0,83	2,86	106%	2
Шестиэтажное жилое здание, (1970 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,61	0,83	2,86	73%	3
Двухэтажный жилой дом, (1950 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,52	0,83	2,86	62%	4
Десятиэтажный жилой дом, (1975 г.), г. Могилев	Кладка из силикатного кирпича, 510 мм	0,69	0,83	2,86	83%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1970 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,72	0,93	2,86	77%	3
Пятиэтажный жилой дом, (1973 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,86	0,93	2,86	92%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1971 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,74	0,93	2,86	79%	3

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7
Девятиэтажный жилой дом, (1979 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,83	0,93	2,86	89%	2
Пятиэтажный жилой дом, (1965 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,62	0,93	2,86	66%	4
Пятиэтажный жилой дом, (1969 г.), г. Могилев	Однослойные панельные плиты, 400 мм.	0,56	0,93	2,86	60%	4

Анализ данных выявил ряд зависимостей отклонения расчетного и фактического термического сопротивления от характеристик ограждающих конструкций, сгруппированных по заданным признакам. В таблице 2 представлен коэффициент снижения термического сопротивления (отношение фактического (измеренного) для различных типов ограждений. Как видно из таблицы, монолитные конструкции демонстрируют наименьшее расхождение между фактическим и расчетным сопротивлением.

Таблица 2. Снижение термического сопротивления разных видов ограждающих конструкций

Вид ограждающей конструкции	Отношение фактического значения к расчетному, %
Кирпичная кладка из силикатного кирпича	80%
Однослойные панельные плиты	87%

Также в работе выполнен анализ влияния категории технического состояния ограждающих конструкций на степень снижения их фактического термического сопротивления относительно расчетного. Для этого рассчитаны показатели расхождения для различных категорий технического состояния. Полученные данные классифицированы по категориям технического состояния таблице 3. Как следует из представленных данных, максимальное расхождение между расчетным и фактическим термическим сопротивлением характерно для ограждающих конструкций 4-й категории технического состояния.

Таблица 3. Снижение термического сопротивления по категориям технического состояния

Номер	Вид ограждающей конструкции	Категория технического состояния	Отношение фактического значения к расчетному, %
1	Кирпичная кладка из силикатного кирпича	4 категория	61%
2		3 категория	76%
3		2 категория	101%
4	Однослойные панельные плиты	4 категория	63%
5		3 категория	77%
6		2 категория	98%

На рисунке 1 отображено отношение фактического термического сопротивления к расчетному для ограждающих конструкций, сгруппированных по категории их технического состояния. Наибольшее относительное снижение сопротивления характерно для конструкций 4-й категории. Это обусловлено значительным влиянием конструктивных дефектов и повышенной теплотехнической неоднородностью (кладки, стыков плит теплоизоляции и пр.), а также несоответствием фактических теплотехнических свойств материалов проектным значениям и их значительной деградацией в процессе эксплуатации.

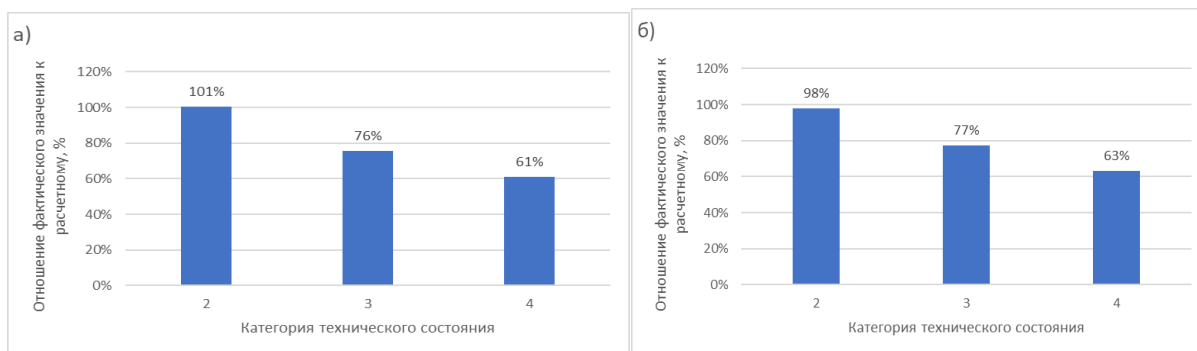


Рис.1. Снижение термического сопротивления в зависимости от категории технического состояния:
а) Кирпичная кладка из силикатного кирпича; б) Однослойные панельные плиты

В работе также проанализировано влияние типа материала на степень снижения фактического термического сопротивления ограждений относительно расчетного. Для этого рассчитаны показатели расхождения для различных материалов, входящих в состав конструкций. Однако, в отличие от ранее представленных результатов, различия между материалами оказались статистически незначимыми. Следовательно, основными факторами, детерминирующими снижение фактического термического сопротивления, являются конструктивное исполнение и техническое состояние ограждающих элементов, а не тип применяемого материала.

Таким образом, оптимизация конструктивного решения ограждающих систем и своевременная эксплуатационная диагностика с выявлением дефектов являются ключевыми для достижения максимальной энергоэффективности зданий. Это особенно актуально для сектора индивидуального жилищного строительства (ИЖС), характеризующегося в настоящее время активным развитием [35-37]. В малоэтажных зданиях, как правило, выше коэффициент компактности по сравнению с многоэтажными, что приводит к повышенному удельному расходу энергии на отопление при идентичных ограждающих конструкциях и существенно увеличивает энергопотери при наличии в них дефектов.

ВЫВОДЫ

Ключевым фактором снижения фактического (экспериментально определенного) термического сопротивления ограждающих конструкций относительно расчетных (проектных) значений является их конструктивное исполнение и техническое состояние, а не тип используемых материалов.

Ограждающие конструкции монолитного типа (кладка из кирпича/блоков) и сборные заводского изготовления демонстрируют соответствие теплотехнических характеристик проектным значениям при работоспособном (удовлетворительном) техническом состоянии, при котором имеющиеся дефекты не нарушают функциональности в текущих условиях эксплуатации, однако потенциально снижают долговечность.

Наибольшее расхождение фактического термического сопротивления с расчетным характерно для стеновых конструкций 4-й категории технического состояния (неработоспособное/неудовлетворительное: высокая степень повреждения, критическая перегрузка, риск обрушения). Данное состояние требует безотлагательных мер: ограничение нагрузок, срочное усиление или замена конструкции (определяется расчетом). Замена конструктивно или экономически нецелесообразных элементов выполняется в приоритетном порядке. В исключительных случаях допускается временная эксплуатация объекта до проведения восстановительных работ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективами дальнейшего исследования являются, разработка корректирующих коэффициентов для проектных расчётов, создание математических моделей, учитывающих деградацию термического сопротивления в зависимости от категории технического состояния (с выделением "критического порога"), типа конструктивного решения (слоистые или монолитные системы), климатических условий эксплуатации.

Оптимизация методов неразрушающего контроля, а именно развитие инструментальных

методик для ранней диагностики скрытых дефектов (расслоение кладки, увлажнение утеплителя) прогнозирования снижения R до перехода конструкций в неработоспособное состояние.

Автоматизации сбора данных с привязкой к BIM-моделям.

ЛИТЕРАТУРА

1. EPBD, On the energy performance of buildings // Official Journal of the European Union., 2010. – P. 1-9.
2. Dixon, W. The impacts of construction and the built environment // Briefing Notes, Willmott-Dixon Group. – 2010 – P. 1-8.
3. Саакян, В. М. Эффективность энергосберегающих технологий утеплений фасадов / В.М. Саакян, И. В. Лагута // International scientific news 2017 : XXVIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 22 декабря 2017 года. – М.: Научный центр "Олимп", 2017. – С. 182-184.
4. Аноп, К. М. Энергоэффективная недвижимость в Беларуси / К. М. Аноп // Культура и экология - основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики, Екатеринбург, 13–16 апреля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Кафедра культурологии и дизайна. Том Часть 1. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. – С. 149-152.
5. Poel, B., Energy performance assessment of existing dwellings / B. Poel, G. van Cruchten, C.A. Balaras //Energy and buildings. – 2007. – Т. 39. – №. 4. – С. 393-403.
6. Hasan, O. A. simplified building thermal model for the optimization of energy consumption: Use of a random number generator / O.A. Hasan, D. Defer, I.A. Shahrour // Energy and Buildings. – 2014. – Т. 82. – С. 322-329.
7. Li, H. X. et al. Energy performance optimisation of building envelope retrofit through integrated orthogonal arrays with data envelopment analysis / H.X. Li et al. // Renewable energy. – 2020. – Т. 149. – С. 1414-1423.
8. Li, X. Review of building energy modeling for control and operation / X. Li, J. Wen // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Т. 37. – С. 517-537.
9. Kesik, T. J. Building enclosure design principles and strategies // Whole Building Design Guide. A Program of the National Institute of. – 2014. – 262 p.
10. Yuan, J. Impact of insulation type and thickness on the dynamic thermal characteristics of an external wall structure // Sustainability. – 2018. – Т. 10. – №. 8. – С. 2835.
11. Adhikari, P. et al. Life-cycle cost and carbon footprint analysis for light-framed residential buildings subjected to tornado hazard / P. Adhikari et al. // Journal of Building Engineering. – 2020. – Т. 32. – С. 101657.
12. Ибрашева, Л. Р. Энергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве России / Л.Р. Ибрашева //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 7. – С. 224-229.
13. Косухин, М. М. Вопросы энергосбережения в условиях устойчивого функционирования, модернизации и развития жилищного фонда / М.М. Косухин //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – №. 10. – С. 51-61.
14. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
15. Малявина, Е. Г. Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта / Е. Г. Малявина, Д. С. Иванов //Вестник МГСУ. – 2011. – №. 7. – С. 209-215.
16. Куцев, Л. А. Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве / Л.А Куцев, Г. Л. Дронова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – №. 2. – С. 24-25.
17. Гушин, С. В. Мировые тенденции развития энергосберегающих технологий / С.В. Гушин, А. С. Семиненко, Шень Ч. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – №. 5. – С. 31-43.

18. Тарасенко, В. Н. Проблема энергосбережения в России / В. Н. Тарасенко, Ю. В. Денисова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – №. 11. – С. 63-68.
19. Шубин, И. Л. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли / И.Л. Шубин, А.В. Спиридонов // Энергосбережение. – 2013. – №. 1. – С. 15-21.
20. Кузнецов, А. В. Оценка теплотехнических качеств зданий монолитной конструкции Санкт-Петербурга / А.В. Кузнецов // Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий. – 2011. – С. 35-43.
21. Гагарин, В. Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий / В.Г. Гагарин // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №. 5. – С. 297-305.
22. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий / Е.Г. Малявина // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2009. – №. 1. – С. 4-7.
23. Гурьянов, Н. С. Оценка и обеспечение тепловой надёжности наружных стен эксплуатируемых зданий: дис.... канд. техн. наук: 05.23. 03 / Гурьянов Николай Сергеевич. – Нижний Новгород, 2003. – 232 с :
24. Ma, Y. et al. Study on power energy consumption model for large-scale public building / Y. Ma et al. // 2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications. – IEEE, 2010. – P. 1-4.
25. Alam, M. J. Energy simulation to estimate building energy consumption using EnergyPlus / M.J. Alam, M.A. Islam, B.K. Biswas // International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering. – 2014. – P. 25-26.
26. Hardin, B., McCool D. BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows. – John Wiley & Sons, 2015. - 363 p.
27. Knowles, T. R. Proportioning composites for efficient thermal storage walls / T.R. Knowles // Solar Energy. – 1983. – Т. 31. – №. 3. – P. 319-326.
28. Asan, H. Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view / H. Asan //energy and buildings. – 2000. – Т. 32. – №. 2. – P. 197-203.
29. Asan, H. Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor / H. Asan //energy and buildings. – 1998. – Т. 28. – №. 3. – P. 299-305.
30. Sultanguzin, I. A. et al. Using of BIM, BEM and CFD technologies for design and construction of energy-efficient houses / I.A. Sultanguzin // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – Т. 124. – P. 03014.
31. Gerrish, T. et al. BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential / T. Gerrish // Energy and buildings. – 2017. – Т. 144. – С. 218-228.
32. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003: введен 01.07.2013. – М., 2012. – 96 с.
33. ГОСТ 26254-84 (1994). Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – Введ. 1985–01–01. –М., 1994. – 34 с.
34. СП 2.04.01-2020. Строительная теплотехника. – Введ. 20.01.2021 (с отменой ТКП 45-2.04-43-2006 (02250)). – Минск Минстройархитектуры РБ, 2020. – 76 с.
35. Комаров, С. И. Развитие рынка земельных участков под индивидуальное жилищное строительство вокруг крупных мегаполисов (на примере Московского региона) / С.И. Комаров, Г.В. Ломакин // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2005. – №. 3. – С. 96-103.
36. Лещенко, П. И. Анализ состояния и развития объектов жилищного строительства в Республике Беларусь / П.И. Лещенко, Т.Р. Кисель // Наука и техника. – 2012. – №. 3. – С. 78-84.
37. Тарасевич М. А., Карпенко Е. М. Оценка роста сегмента «энергоэффективный дом» в индивидуальном жилищном строительстве Республики Беларусь. – Биоэкономика – экономика будущего : материалы I Междунар. науч. студен. конф., Минск, 29 нояб. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. А. Королёва (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2023. – С. 40-44.

ASSESSMENT OF THERMAL ENGINEERING CHARACTERISTICS OF ENCLOSING STRUCTURES BASED ON THEIR TECHNICAL CONDITION

²Badenko, V. L., ^{1,2}Shkilniuk. M. A.

¹Belarusian Russian University, Mogilev, Republic of Belarus;

²Saint Petersburg State Polytechnical University, Saint Petersburg, Russian Federation

Annotation. The study presents the results of full-scale measurements of the thermal resistance of the enclosing structures of operated buildings, grouped by categories of technical condition, as well as data comparing the actual thermal characteristics with design values. It is established that the decrease in the actual thermal resistance relative to the calculated one is determined mainly by the design solution and the technical condition of the fences, rather than by the type of materials used. Monolithic (brick/block masonry) and prefabricated factory-made structures demonstrate compliance with the declared thermal protection properties in satisfactory technical condition.

Keywords: thermal resistance, enclosing structure, insulation, energy efficiency.

Раздел 3. Экологическая безопасность

УДК 614.842

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ С ЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПЛАНИРОВКОЙ

Матвеев В.А.¹, Ничкова Л.А.²

^{1,2} Политехнический институт (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: ¹matveev.vladimir0@mail.ru; ²nichkova@sevsu.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения безопасной эвакуации людей из исторических зданий с центрической планировкой, в частности двухэтажных храмов, являющихся объектами культурного наследия. Предложена система мероприятий для объекта исследования Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря» включающую противопожарную защиту, автоматические системы оповещения, противодымную вентиляцию и огнезащитную обработку материалов, которая позволяет увеличить допустимое количество людей. На основе расчетов индивидуального пожарного риска подтверждается эффективность предложенных мер.

Ключевые слова: безопасная эвакуация, центрическая планировка, объекты культурного наследия, противопожарная защита, пожарный риск.

ВВЕДЕНИЕ

Планировочные решения гражданских зданий очень разнообразны, так как отражают различные функциональные процессы, про-исходящие в определенных условиях. Центрическая планировка зданий характеризуется наличием главного помещения, вокруг которого располагаются вспомогательные комнаты. Эта схема часто используется в архитектуре для создания гармоничного и функционального пространства, исключая коридоры и обеспечивая удобный доступ ко всем частям здания. Примерами этой схемы могут быть следующие здания: театры, кинотеатры, концертные залы, церкви, соборы [11].

Исторические здания с центрической планировкой, такие как храмы, соборы и монастыри, представляют собой уникальные архитектурные объекты, которые сочетают в себе культурную ценность и сложные задачи обеспечения безопасности. Одной из ключевых проблем их эксплуатации является обеспечение пожарной безопасности, в частности, организация безопасной эвакуации людей в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Особую сложность представляют здания, такие как двухэтажные храмы, так как зачастую данные здания являются объектами с массовым пребыванием людей, и во время праздников и богослужений количество людей увеличивается до 200%. Это, в свою очередь, может привести к образованию заторов и давки на путях эвакуации во время пожара, так как в методике по определению расчета пожарного риска не учитывается кратное увеличение количества посетителей. Также, в пособии по проектированию и строительству храмов, при количестве молящихся до 300 человек допускается использовать один эвакуационный выход [1;3-5]. В тоже время в СП 258.1311500.2016, п. 4.2.7 определено, что помещение должно иметь не менее двух эвакуационных выходов, если суммарное количество людей, находящихся в нем и примыкающих помещениях (с эвакуационным выходом только через это помещение), составляет 50 и более человек [10].

Согласно СП 1.13130.2020 и ФЗ-123, для зданий с массовым пребыванием людей обязательны:

- не менее двух эвакуационных выходов;
- ширина путей эвакуации от 1,2 м.;
- огнестойкость конструкций не ниже EI 45.

Для объектов культурного наследия, согласно СП 388.1311500.2018, допускаются отступления при условии: проведения расчета пожарного риска, компенсации дополнительными мерами (например, системами оповещения 3-го типа).

В данной статье рассматриваются основные принципы и методы обеспечения безопасной эвакуации из исторических зданий с центрической планировкой, анализируются особенности проектных решений на примере Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря», а также предлагаются рекомендации по улучшению эвакуационных систем в подобных сооружениях.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И МЕТОДОВ

Вопрос обеспечения безопасной эвакуации в исторических зданиях частично рассматривается в трудах В.И. Присадкова, С.В. Муслаковой, Д.В. Ушакова, А.А. Абашкина. В их работах значительное внимание уделяется разработке предложений в нормативные документы для двухэтажных храмов с одним входом, а также рассматривается соответствие двухэтажного храма требованиям нормативной документации. Авторы выполняли расчет индивидуального пожарного риска для верхнего храма по Методике определения расчетных величин пожарного риска с количеством посетителей 100 человек. В их трудах эвакуация посетителей из нижнего храма не рассматривается, как и не рассматриваются мероприятия по повышению пожарной безопасности в нижнем храме.

Таким образом вопрос обеспечения эвакуации из исторических зданий с центрической планировкой является актуальным, так как требует рассмотрения эвакуации посетителей со всего здания, ведь на пути эвакуации со второго на первый этаж могут находиться предметы охраны (исторические двери, винтовые лестницы, лестницы с шириной и высотой ступени не соответствующие нормативным).

Для определения безопасной эвакуации посетителей, расчеты проводились согласно Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. В соответствии с п. 10 методики [3] при расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В данной работе рассматривались три варианта пожаров. В качестве сценариев рассмотрены сценарии, характеризующиеся наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и наиболее высокой динамикой нарастания опасных факторов пожара: пожар на первом этаже в Христорождественской церкви; пожар на межэтаже; пожар на втором этаже в Успенской церкви. Проведение расчета динамики развития опасных факторов пожара по полевой модели осуществлялось при помощи программного кода FDS-6.9.1 в оболочке PyroSim 2024.1.0702. Для проведения расчета безопасной эвакуации людей из здания использовалось программное обеспечение Pathfinder 2024.1.0813.

ЦЕЛЬ И ПОССТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является изучение вопроса обеспечения безопасной эвакуации людей из исторических зданий с центрической планировкой на примере Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря». По результатам которого необходимо разработать комплекс мероприятий, направленных на повышение пожарной безопасности и соответствие нормативным требованиям.

На основании цели исследования были определены следующие задачи:

- проанализировать нормативные требования и особенности пожарной безопасности для исторических зданий с центрической планировкой;
- изучить планировочные решения и эвакуационные пути Успенского собора, выявить отступления от современных нормативов;
- разработать комплекс методов, направленных на приспособление объекта культурного наследия для современного использования;
- провести расчет индивидуального пожарного риска для подтверждения соответствия объекта требованиям нормативной документации;
- разработать рекомендации для обеспечения безопасной эвакуации людей из исторических зданий с центрической планировкой.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Центрическая планировка исторических зданий, особенно религиозного назначения, характеризуется следующими особенностями:

- композиционная организация пространства вокруг центральной оси или доминанты (алтаря, купола);
- многосветные пространства с высокими сводами и сложной объемно-планировочной структурой;
- ограниченное количество эвакуационных выходов, часто расположенных несимметрично;
- наличие узких лестниц и переходов, не соответствующих современным нормативам;

– использование горючих материалов в конструкциях (деревянные перекрытия, стропильные системы).

Центрическая планировка, характерная для храмов, музеев и других исторических зданий, создает уникальные вызовы для организации эвакуации: ограниченное количество выходов, ведь часто выходы сосредоточены вокруг центрального пространства, что может привести к скоплению людей; наличие куполов, арок и винтовых лестниц усложняет маршруты эвакуации; исторические существующие материалы увеличивают пожарную нагрузку.

Согласно Федеральному закону №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», безопасность людей при пожаре должна обеспечиваться за счет:

- предотвращения воздействия опасных факторов пожара;
- эвакуации людей в безопасную зону до наступления критических значений опасных факторов;
- защиты людей на путях эвакуации [2].

Для исторических зданий применяется особый подход, закрепленный в СП 388.1311500.2018 «Объекты культурного наследия религиозного назначения. Требования пожарной безопасности». Ключевые положения:

- сохранение предмета охраны имеет приоритет над строгим соблюдением современных нормативов;
- допускаются отступления от требований к эвакуационным путям и выходам при условии компенсации дополнительными мерами безопасности;
- обязательное проведение расчета пожарного риска для обоснования принятых решений [8].

Успенский собор «Ансамбль Далматовского монастыря» – одно из самых грандиозных каменных сооружений Урала и Сибири, первый на этих землях 2–этажный храм. Нижний храм Рождества Христова – 4–столпный, 2–светный, с 3–частным алтарем и полуциркульными в плане апсидами. С запада к нему примыкает одностолпная трапезная, расширенная к югу, еще западнее – паперть. С севера к основному объему нижнего храма пристроен придел св. Димитрия Прилуцкого с полуциркульной апсидой и трапезной, узкая зап. паперть придела соединена проходом с северной стеной трапезной храма Рождества Христова на рисунке 1а.

Верхняя Успенская церковь размещена точно над нижней, ее небольшая 5–гранная апсида – над западной частью алтаря нижнего храма, с которым она соединяется внутристенной лестницей на рисунке 1б.

В здании высота эвакуационных выходов в свету составляет не менее 1,9 м. В помещениях без постоянного пребывания людей, а также в помещениях с одиночными рабочими местами, эвакуационные выходы высотой не менее 1,8 м. Ширина эвакуационных выходов не менее 0,8 м. Согласно п.4.2.19 СП 1.13130.2020: «из технических помещений и кладовых площадью не более 20 кв.м. ширина эвакуационных выходов не менее 0,6 м». Двери эвакуационных выходов из помещений и здания, как правило, открываются по ходу эвакуации. Кроме этого, для рассматриваемого здания, являющегося памятником архитектуры согласно СП 1.13130.2020, не изменяется направление открывания дверей, являющихся предметом охраны, часть дверей на путях эвакуации открывается не по ходу движения потока [9].

В случае Успенского собора имеются также следующие отступления от нормативов СП 1.13130.2020:

- ширина эвакуационных выходов менее 1,2 м (вместо требуемых для зальных помещений);
- неравномерное расположение эвакуационных выходов;
- использование винтовых и открытых лестниц для эвакуации;
- отсутствие противодымной защиты в традиционном исполнении.

Эти особенности создают значительные сложности при организации безопасной эвакуации, требуя индивидуальных решений для каждого объекта.

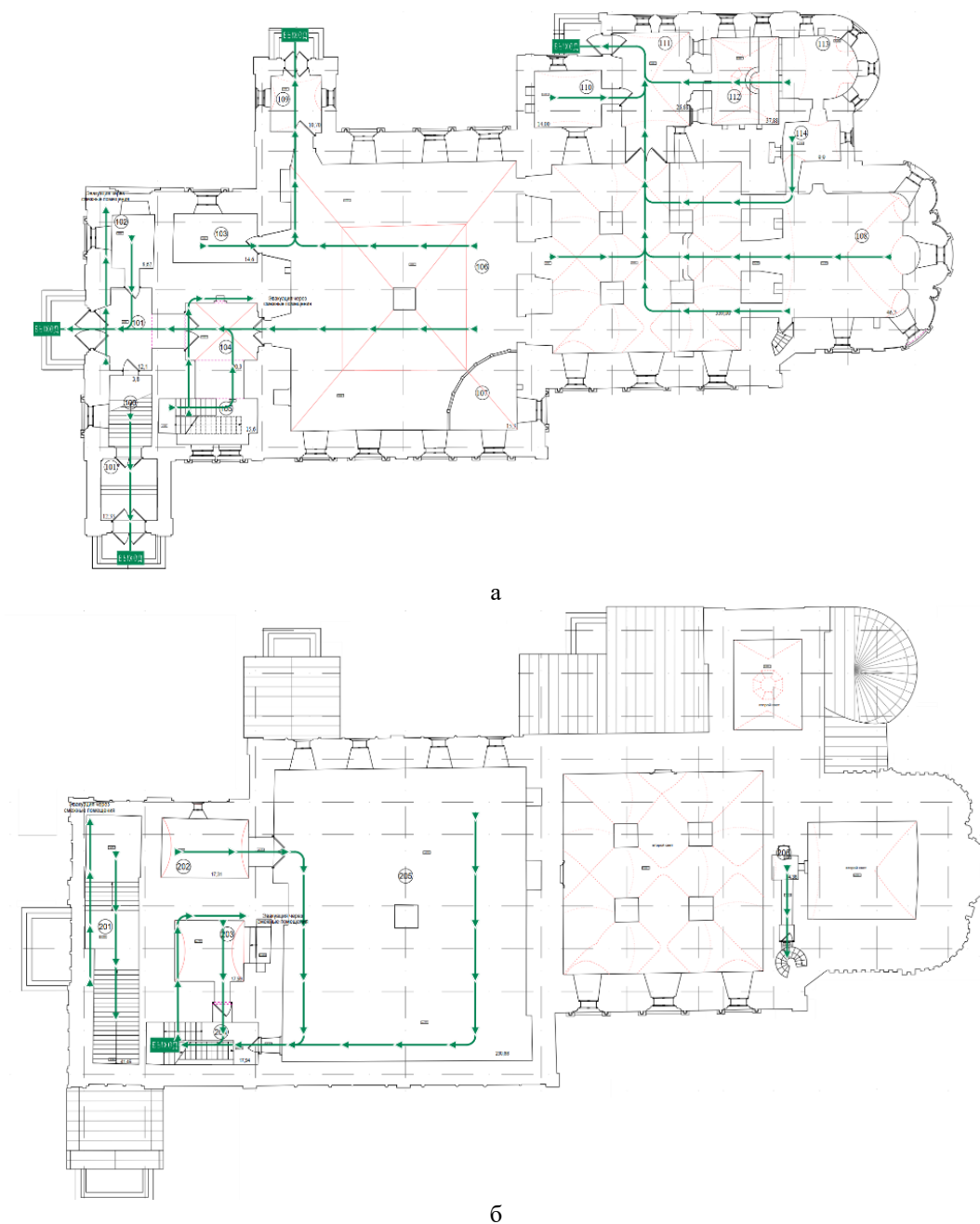


Рис. 1. Схемы эвакуации посетителей из Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря»:
а – схема эвакуации посетителей с 1-го этажа; б – схема эвакуации посетителей со 2-го этажа.

Успенский собор представляет собой сложный комплекс помещений, включающий: Христорождественскую церковь (на 1 этаже); Успенскую церковь (на 2 этаже); приделы и ризницы; колокольню с несколькими ярусами; систему лестниц (большая, малая и винтовая).

Принятые в период строительства здания архитектурные, планировочные и интерьерные решения, которые необходимо сохранить, не в полной мере отвечают современным требованиям пожарной безопасности не только в части исполнения путей эвакуации. Согласно методическим рекомендациям, для музеев и фондохранилищ, при невыполнении отдельных требований нормативных документов в целях подтверждения обеспечения пожарной безопасности, рекомендуется проводить расчет пожарного риска [6]. В данной статье проводился расчет пожарного риска с учетом предложенных мероприятий по приспособлению объектов Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря» к требованиям нормативной документации по пожарной безопасности.

Для расчета пожарного риска рассмотрим организацию эвакуации на объекте по следующим

принципам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Принципы организации эвакуации при пожаре в Успенском соборе «Ансамбль Далматовского монастыря»

Этаж	Основные пути эвакуации
1 этаж	– два основных эвакуационных выхода через тамбуры; – дополнительный выход через объем трапезной; – ширина выходов менее нормативной (0,8-1,0 м вместо 1,2 м)
межэтаж	– эвакуация по открытой малой лестнице; – винтовая лестница
2 этаж	– эвакуация по открытым лестницам – частичное использование винтовой лестницы – системы противопожарной защиты

Анализируя основные пути эвакуации из здания, представленные в таблице 1, было предложено для компенсации отступлений в планировочных решениях предусмотреть: адресно-аналоговую систему пожарной сигнализации с датчиками во всех помещениях (кроме технических); систему оповещения 3-го типа с речевыми и световыми оповещателями; огнезащитную обработку деревянных конструкций (I группа эффективности); ограничить пожарную нагрузку (особый режим использования открытого огня) [6].

Для обоснования принятых решений выполнен расчет пожарного риска, на основании которого можно сделать следующие выводы:

1. Время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара превышает расчетное время эвакуации.

2. Индивидуальный пожарный риск не превышает допустимых значений (10^{-6} в год).

3. Вероятность эвакуации людей соответствует требованиям.

Расчет выполнялся для трех сценариев развития пожара с учетом реальной геометрии помещений и характеристик горючих материалов.

По результатам расчета было определено время эвакуации в основных контрольных точках на путях эвакуации, результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2. Время эвакуации в контрольных точках путей эвакуации

Контрольная точка	Расположение на местности	Время эвакуации $t_{нз}+t_p$, сек	Количество человек	$0.8 \cdot T_{бл}$, сек	Поведение для остальных помещений	Поведение для помещения пожара
1	2	3	4	5	6	7
Точка №1	Дверной проем помещение «Христорождественская церковь» - помещение «Западная паперть»	236,30	267	287,83	200,2 (0,999)	236,4 (0,999)
Точка №2	Дверной проем помещение «Тамбур» боковой выход	272,70	221	282,38	227,4 (0,999)	272,8 (0,999)
Точка №3	Дверной проем помещение «Западная паперть» - Главный вход	399,80	412	>400	399,93 (0,999)	268,5 (0,999)

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7
Точка №4	Дверной проем помещение «Трапезная Дмитровского предела»	139,80	46	>400	139,9 (0,999)	–
Точка №5	Дверной проем выход на лестницу 2-го типа	323,80	399	>400	323,83 (0,999)	–
Вероятность эвакуации, P_e					0,999	0,999

Таким образом, на основании данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод, что время скопления людского потока на путях эвакуации составило 3,64 минуты, а вероятность эвакуации по заданным условиям составляет 0,999. Уровень безопасности эвакуации людей в случае пожара отвечает требуемым нормам.

На основе анализа проекта Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря» можно сформулировать следующие методические подходы к обеспечению безопасной эвакуации из исторических зданий:

- **Комплексная оценка пожарного риска** (анализ всех возможных сценариев развития пожара; моделирование распространения опасных факторов; расчет времени эвакуации с учетом реальной мобильности людей);
- **Компенсационные меры безопасности** при отступлении от требований нормативной документации (применение адресных систем, речевые системы оповещения 3-го типа и выше, ограничение пожарной нагрузки);
- **Адаптация эвакуационных путей** (фотолюминесцентная разметка на путях эвакуации; организация зон безопасности на маршрутах эвакуации);
- **Организационные мероприятия** при эксплуатации объектов (разработка специальных инструкций для персонала; регулярные тренировки по эвакуации; контроль за соблюдением противопожарного режима).

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены существующие нормативные требования к путям эвакуации объектов с массовым пребыванием людей центрικής планировки.
2. На примере Успенского собора «Ансамбль Далматовского монастыря» рассмотрено современное состояние путей эвакуации здания, предложены компенсационные мероприятия организации эвакуации посетителей при пожаре, проведен расчет пожарного риска, подтверждающий соответствие объекта нормативным требованиям.
3. На основании расчета для объектов с центрικής планировкой сформулированы методические подходы к обеспечению безопасной эвакуации

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данное исследование можно расширить и разработать нормативные требования для адаптации исторических зданий к современным нормам пожарной безопасности. Учесть поведение людей во время эвакуации (паника, скорость движения различных групп исходя из особенностей путей эвакуации в исторических зданиях), на основании которого разработать нормативно-методические рекомендации по учету данных показателей при проведении расчета индивидуального пожарного риска. Разработать и усовершенствовать существующие системы мониторинга и оповещения (цветовая и звуковая сигнализация). Дальнейшие исследования позволят создать комплексные, технологичные и экономически обоснованные подходы к пожарной безопасности исторических зданий, сохраняя их культурную ценность и обеспечивая защиту людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73–ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (ред. от 26.12.2024) // КонсультантПлюс: [сайт]. –URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 10.06.2024);
2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // КонсультантПлюс: [сайт]. –URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 10.06.2024);
3. Хасанов, И.Р. Особенности пожарной опасности объектов культурного наследия религиозного назначения / И.Р. Хасанов // Пожарная безопасность/Fire Safety. – 2018. – № 2. – С. 100-108
4. Кеслер, М.Ю. Православные храмы : в 3-х тт. Т. 2. Православные храмы и комплексы // Синопись / Synopsis. – М. : ГУП ЦПП, 2003.
5. Пожарная безопасность двухэтажных храмов / В. И. Присадков, С. В. Муслакова, Д. В. Ушаков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 65-75;
6. Матвеев, В. А. Анализ основных причин возникновения пожаров на объектах культурного наследия с массовым пребыванием людей / В. А. Матвеев, Л. А. Ничкова // Безопасность – 2024 : Материалы XXIX Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 24–26 апреля 2024 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. – С. 156-157. – EDN LJOLTG;
7. Приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной опасности» // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_442656 (дата обращения: 10.06.2024);
8. СП 388.1311500.2018 Свод правил. Объекты культурного наследия религиозного назначения. Требования пожарной безопасности: введен 14.01.2019 / МЧС России. – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/vse-dokumenty/6690> (дата обращения: 10.06.2024);
9. СП 1.13130.2020 Свод правил. Система противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы: введен 19.09.2020 / МЧС России. – URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-mchs-rossii-ot-19032020-n-194/sp-1.13130.2020-svod-pravil/> (дата обращения: 10.06.2024);
10. СП 258.1311500.2016 Свод правил. Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности: введен 01.01.2017 / Минстрой России. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_212120 (дата обращения: 10.06.2024).;
11. Кирик, Е.С. Анализ данных натурных экспериментов пешеходного движения в прямом коридоре и их применение для тестирования программ на примере ПО «Сигма ПБ» / Е.С. Кирик, Т.Б. Витова // Пожарная безопасность. – 2020. – № 1. – С. 51-62;
12. Пожарная безопасность объектов с массовым пребыванием людей / А. А. Карапузиков, В. Ф. Дьяков, А. С. Терехов, С. А. Бикеев // Охрана труда и техносферная безопасность на объектах промышленности, транспорта и социальных инфраструктур : Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 26–27 февраля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 80-84.

PROVIDING EVACUATION FROM HISTORICAL BUILDINGS WITH CENTRIC PLANNING

¹Matveev V.A., ²Nichkova L.A.

^{1,2} Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Annotation. The article is dedicated to the issue of ensuring the safe evacuation of people from historical buildings with a centralised layout, particularly two-storey temples that are cultural heritage sites. A system of measures has been proposed for the research object of the Assumption Cathedral 'Ensemble of the Dalmatov Monastery', including fire protection, automatic warning systems, smoke ventilation, and fire protection treatment of materials, which allows for an increase in the permissible number of people. The effectiveness of the proposed measures is confirmed based on individual fire risk calculations.
Keywords: safe evacuation, central layout, cultural heritage sites, fire protection, fire risk.

УДК 543.545 : 535.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ТЕСТ-НАБОРА ДЛЯ БЫСТРОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ

Нгуен З.К.¹, Май С.З.², Нгуен Д.А.³, Шайхиев И.Г.⁴

¹ Научный университет Тхай Нгуен, 250000, г. Тхай Нгуен, провинция Тхай Нгуен, Вьетнам

² Ханойский педагогический университет, 280000, г. Фук Йен, ул. Нгуен Ван Линь, 32, Вьетнам

³ Индустриальный университет Вьетчи, г. Вьетчи, ул. Тьен Сон, 9, Вьетнам

⁴ Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, Россия, e-mail: ildars@inbox.ru

Аннотация. Актуальность. Загрязнение водоемов ионами тяжелых металлов пагубно действует на гидробионтов и здоровье человека. Необходим постоянный контроль за содержанием соединений тяжелых металлов в водных объектах, используемых в целях водопотребления. Однако действующие методики анализа природных и сточных вод на содержание ионов металлов объемны, занимают много времени и требуют широкой реактивной базы.

Цель. Разработка тест-набора с использованием углеродных квантовых точек (УКТ), позволяющего под действием флуоресценции окрашиваться в различные цветовые оттенки в зависимости от катиона металла и его концентрации в водной среде

Результаты. Разработан универсальный тест-набор для выявления присутствия ионов металлов в питьевой и природной воде малой концентрации.

Новизна. Синтезирован и исследован оригинальный тест-набор на основе углеродных квантовых точек для выявления присутствия ионов металлов в водной среде.

Ключевые слова: УКТ, загрязнение водоемов, ионы металлов, флуоресцентный сигнал, углеродные квантовые точки

ВВЕДЕНИЕ

Все увеличивающееся количество отходов промышленного производства и жизнедеятельности человека, которые не подвергаются переработке перед попаданием в окружающую среду, является основной причиной все более серьезного загрязнения окружающей среды, особенно гидросферы различными поллютантами. Последние, попадая в водную среду, растворяются и попадают в организм человека с питьевой водой. Особенно опасно присутствие в воде ионов тяжелых металлов, которые при попадании в живой организм накапливаются в нем за счет эффекта кумуляции и при достижении определенной концентрации, наносят вред вплоть до летального исхода.

Согласно Национальному техническому регламенту Социалистической Республики Вьетнам о качестве воды, все показатели качества речной и питьевой воды должны определяться в специальных лицензированных лабораториях. Однако одновременное определение всех параметров качества воды занимает много времени, требует широкой реактивной базы, большой подготовительной работы и может быть не совсем доступным для водопользователей. В этой связи, разработка качественного и количественного метода анализа для быстрого обнаружения и идентификации ионов металлов в природной и питьевой воде является актуальной задачей.

В последнее время отечественные и зарубежные научные исследования показали, что углеродные квантовые точки (УКТ) обладают способностью полуколичественно анализировать некоторые ионы тяжелых металлов (ИТМ) в воде на основе изменения сигналов флуоресценции (таблица 1) [1–3].

Обнаружение и анализ ИТМ, приведенных в таблице 1, проводились путем измерения спектров флуоресценции смешанных растворов УКТ и ионов металлов. Для проведения этого измерения требуется использование флуоресцентного спектрометра, что неудобно для быстрого тестирования. В этой связи, в настоящей работе изучалась возможность использования УКТ для изготовления флуоресцентного тест-набора, предназначенного для быстрого обнаружения ИТМ в исследуемой воде.

Таблица 1
Некоторые УНТ, используемые для обнаружения ионов тяжелых металлов [3]

Ионы металлов	Реактивы для синтеза УКТ	Предел обнаружения (нмоль/л)	Диапазон анализа (мкмоль/дм ³)
Hg ²⁺	Раствор аммиака и лимонной кислоты	1,65	1 – 10
Fe ³⁺	Этилендиаминтетрауксусная кислота и мочевины	13,6	0,5– 2.10 ³
Cu ²⁺	Лимонная кислота, мочевины и триэтилентетрамин	3,4	0 – 15
Cr(III)	Лимонная кислота и глутаминовая кислота	5,0	0,01–250

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В настоящей работе применялись следующие реактивы: моногидрат лимонной кислоты (СА), этилендиамин (EDA), Hg(NO₃)₂, CdCl₂, CrCl₃, FeCl₂, MnCl₂, MgCl₂, CuSO₄, Pb(NO₃)₂, CaCl₂. Также использовалась гидрофильная мембрана с размером отделяемых частиц массой до 2000 Да. Система гидротермальной реакции состоит из автоклава с сосудом высокого давления из нержавеющей стали и герметичной реакционной трубки из полифенилена объемом 30 см³ и электрического термостата. В качестве вспомогательных средств использовались фильтровальная бумага, парафиновая свеча. УКТ синтезировали по схеме, представленной на рисунке 1.



Рис. 1. Принципиальная схема синтеза и очистки УКТ

Смешанный раствор, содержащий 2,1 г СА (0,01 моль) и 2,4 мл EDA (0,04 моль) в 15 см³ бидистиллированной воды, гидротермально нагревался в герметичном тefлоновом сосуде при температуре 160 °С в течение 4 часов. Реакционный раствор помещался в диализный мешок с массой отсекаемых веществ мембраны 2000 дальтон, затем промывался водой в течение 24 часов. Оставшийся внутри диализного мешка раствор состоял из раствора УКТ. Фильтровальная бумага использовалась в качестве целлюлозной мембраны для прикрепления частиц УКТ в два этапа, как показано на рисунке 2.

Этап 1: Фильтровальная бумага промывалась дистиллированной водой, затем высушивалась при температуре 80 °С; далее использовались парафиновые свечи для рисования на одной стороне фильтровальной бумаги ячеек размером 1,5 x 1,5 см, далее проводилась сушка бумаги при температуре 80 °С в течение 10 минут, чтобы расплавить парафиновую сетку и сформировать перегородки.

Этап 2: С помощью микропипетки наносилось 30 см³ раствора УКТ (концентрация 100 мг/дм³) в каждую ячейку тестового набора, а затем содержимое ячеек высушивалось при температуре 40 °С.

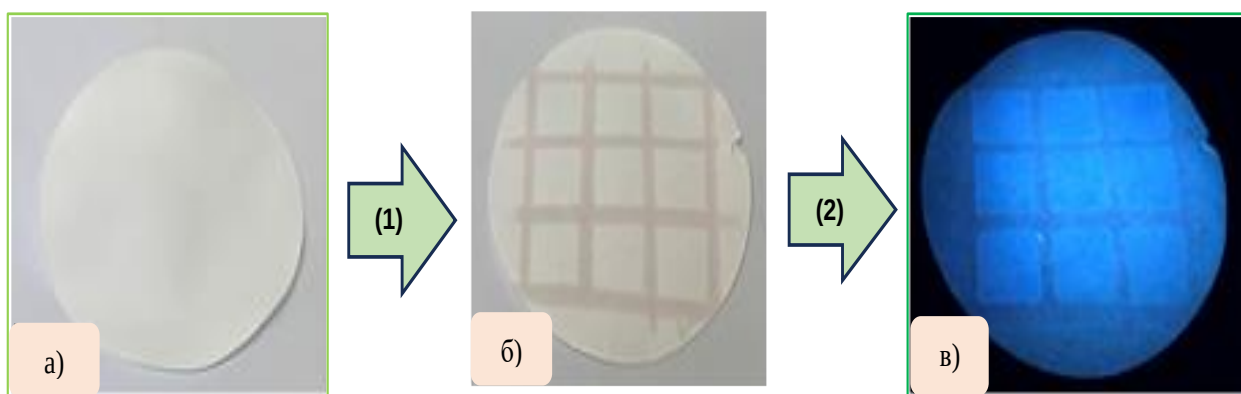


Рис. 2. Процесс производства флуоресцентного тест-набора: а) фильтровальная бумага, б) на фильтровальную бумагу наносится сетка и высушивается, в) тестовый набор под УФ-светом длиной 365 нм

Размеры УКТ определялись с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ); функциональные группы на УКТ анализировались с использованием ИК-спектроскопии. Флуоресцентный сигнал тестового набора проверялся с помощью УФ-лампы с длиной света 365 нм в специальном боксе.

Результаты изображений, полученных с использованием ПЭМ, представлены на рисунке 3. Изображения, полученные с помощью ПЭМ, позволяют получить изображения изучаемого объекта на основе кристаллической структуры объекта или атомной плотности объекта. Если объект имеет кристаллическую структуру, то на изображении, полученном с помощью ПЭМ, будут видны параллельные линии, соответствующие слоям атомов, принадлежащих к одному и тому же семейству плоскостей решетки в кристалле. Если объект не имеет кристаллической структуры, область с высокой атомной плотностью будет сильнее блокировать электронный луч и будет выглядеть более черной на изображении, полученном с помощью ПЭМ. На изображении ПЭМ, приведенном на рисунке 3 видно, что УКТ представляют собой более черные частицы [2-7], поскольку они имеют более высокую плотность атомов углерода. Сравнивая диаметр черных частиц со стандартной шкалой длины (черный сегмент имеет длину 10 нм), определено, что диаметр УКТ находится в диапазоне от 5 до 8 нм.

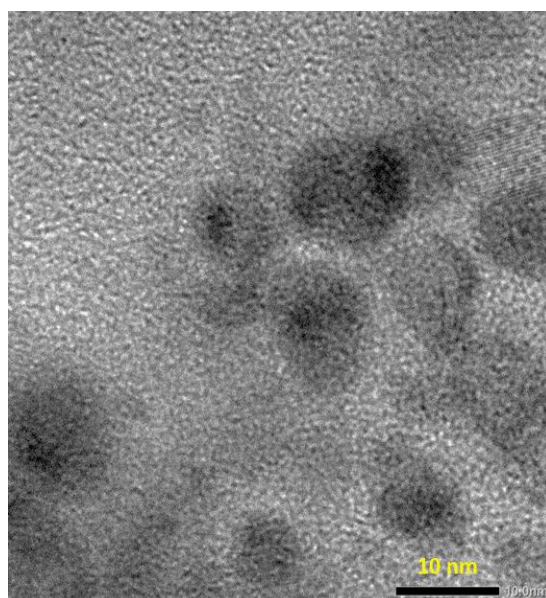


Рис. 3. Изображение ПЭМ УКТ

ИК-спектр полученных УКТ приведен на рисунке 4. На основании результатов спектральных измерений, представленных на рисунке 4, установлено, что ИК-спектр УНТ имеет три колебательные области, соответствующие следующим химическим связям:

- широкая полоса поглощения от 3530 см^{-1} до 3250 см^{-1} (около 3473 см^{-1}): соответствует связям О-Н в спирте; N-H в амине;
- широкая полоса поглощения около 3000 см^{-1} соответствует колебаниям С-Н связей в CH_2 и CH_3 группировках;
- пики с максимумом поглощения при 1713 см^{-1} и 1656 см^{-1} соответствуют колебаниям С=О в карбоксильной и амидной группировках.

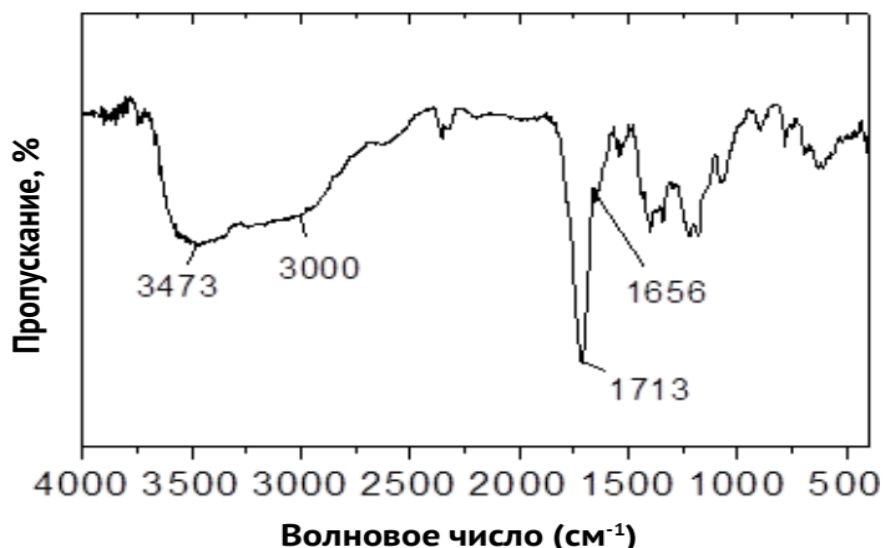


Рис. 4. ИК-спектр УКТ

Таким образом, определено, что в УКТ имеются такие функциональные группировки как – C(O)OH -, -OH -, -NH- -, -CONH- -. В этих функциональных группах -C(O)OH -, -NHx и -OH -, атомы водорода способны образовывать связи с ИТМ.

Далее были приготовлены 4 смешанных раствора из УКТ, ионов Cu^{2+} с концентрацией $5 \cdot 10^4$ моль/дм³ и дистиллированной воды. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2
Содержание реагентов в модельных растворах

Раствор	Объем УНТ (мкл)	Объем дистиллированной воды (мкл)	Объем Cu^{2+} (мкл)	Концентрация Cu^{2+} (мкмоль/дм ³)
P1	5000	5000	0	0
P2	5000	4900	100	5
P3	5000	4000	1000	50
P4	5000	3000	2000	100

На рисунке 5 приведены спектры флуоресценции, полученные при УФ облучении полученных растворов при длине волны 365 нм. Как видно из приведенных на рисунке графических зависимостей, интенсивность флуоресценции раствора уменьшается с увеличением концентрации находящихся в нем ионов Cu^{2+} (рис. 5а). Уменьшение интенсивности излучения УКТ при добавлении в раствор CuSO_4 в концентрации 100 мкмоль/дм³ хорошо видно невооруженным глазом (рис. 5б).

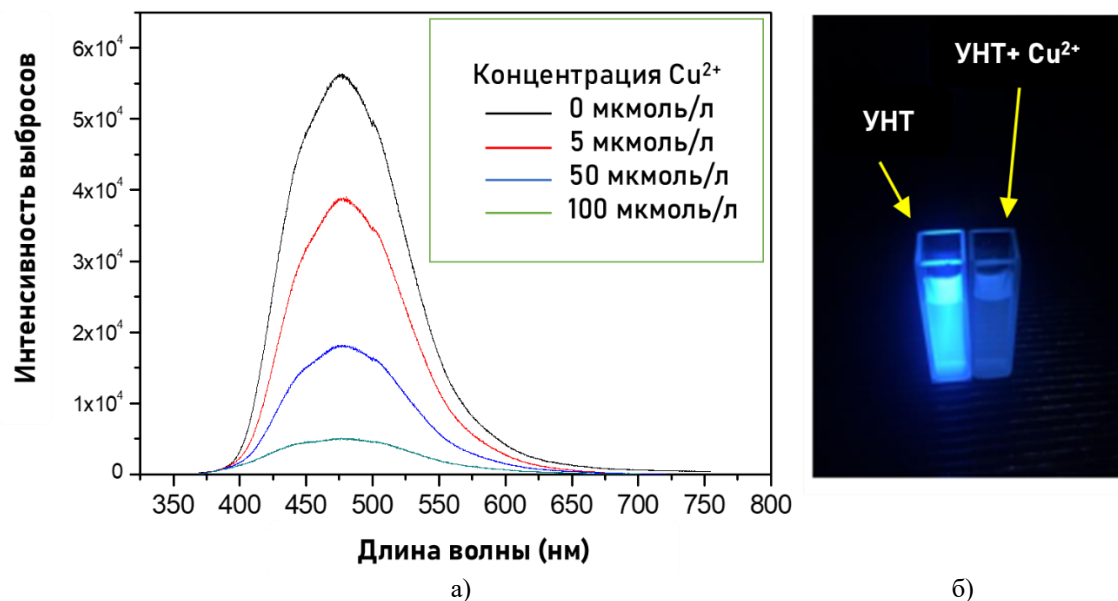


Рис. 5. А) Спектр флуоресценции смешанного раствора УКТ и Cu^{2+} ; б) фотография раствора УКТ до и после добавления Cu^{2+} в концентрации 100 мкмоль/дм³

Для проверки порога обнаружения ИТМ тестового набора, в последующем проводились испытания с растворами, содержащими ионы Cu^{2+} с концентрациями $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-5}$ и $1 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³. Результаты, приведенные на рисунке 6, показывают, что тестовый набор может обнаруживать ионы Cu^{2+} с концентрацией 10^{-4} моль/дм³, что эквивалентно 6,4 мг/дм³ в виде Cu . Данный порог обнаружения превышает допустимый предел концентрации ионов Cu^{2+} в питьевой воде, равный 1 мг/дм³. Таким образом, если сигнал флуоресценции тестового набора погашен до такой степени, что его можно наблюдать невооруженным глазом, вода определенно загрязнена ионами Cu^{2+} .

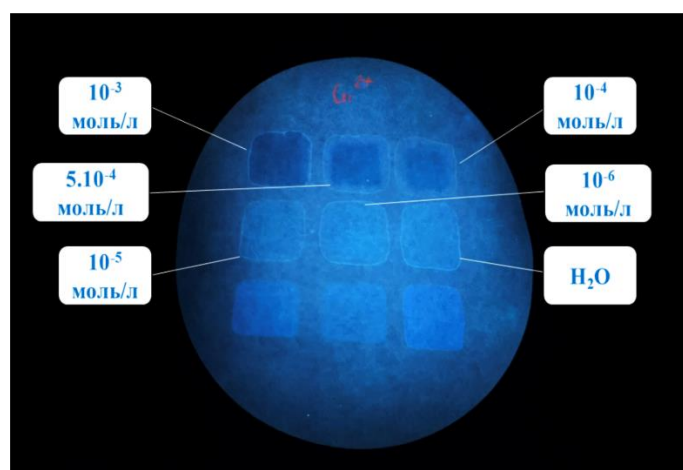


Рис. 6. Результаты испытаний с ионами Cu^{2+} различной концентрации

В последующем проверялась способность тестового набора обнаруживать ионы различных металлов. Данное обстоятельство проверялась путем смешивания некоторых растворов реагентов с концентрацией ионов металлов 10^{-3} моль/дм³. В качестве поллютантов выбраны следующие ионы: Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cr(III) , Fe^{2+} , Mn(II) , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ca^{2+} . Аналогично вышеописанному, в различные ячейки тестового набора добавлялось по 0,030 см³ растворов, содержащих ионы названных металлов. Далее тестовый набор подсушивался при температуре 40 °С. Затем сигнал флуоресценции тестового набора исследовался в УФ-свете с длиной волны 365 нм; результаты тестирования показаны на рисунке 7.

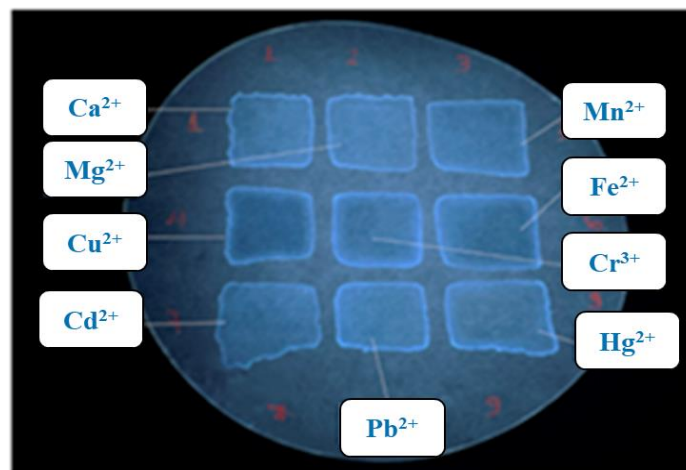


Рис. 7. Результаты испытаний тест-набора с ионами металлов с концентрацией 10^{-3} моль/дм³

Для проверки мешающих факторов во время флуоресцентного исследования, проводились эксперименты с использованием водопроводной воды, колодезной воды, а также колодезной воды с добавлением растворов CuSO_4 в различных концентрациях по методике, описанной выше. Результаты эксперимента показаны на рисунке 8.

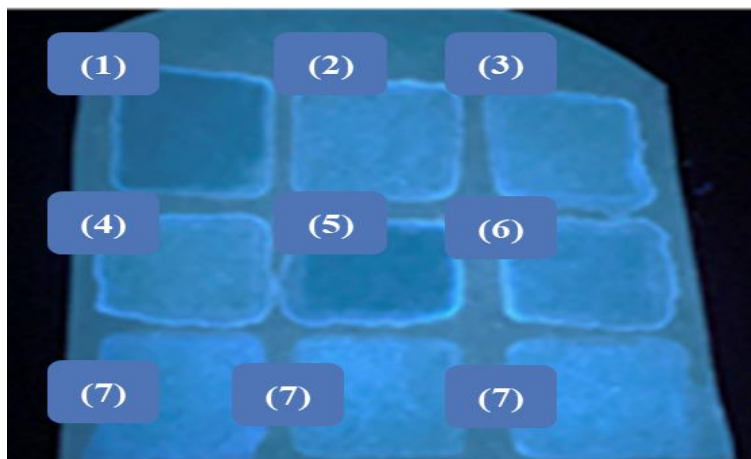


Рис. 8. Изображение тестового набора в УФ-свете с длиной волны 365 нм при тестировании с различными растворами: 1) CuSO_4 в дистиллированной воде с концентрацией ионов меди 10^{-3} моль/дм³; 2) дистиллированная вода; 3) водопроводная вода; 4) колодезная вода; 5) колодезная вода с добавлением CuSO_4 с концентрацией ионов меди $5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³; 6) колодезная вода с добавлением CuSO_4 с концентрацией ионов меди $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 7) неиспользованные ячейки тестового набора.

Сравнение ячеек (1), (5) и (6) с ячейкой (4) показывает, что если колодезная вода загрязнена ионами Cu^{2+} , то сигнал флуоресценции тестового набора уменьшается. Чем выше концентрация ионов Cu^{2+} , тем слабее интенсивность флуоресценции. Выявлено, что загрязнение воды ионами Cu^{2+} при концентрации последних 10^{-4} моль/дм³ визуально обнаруживается.

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного, был успешно изготовлен набор для флуоресцентного теста, позволяющий быстро обнаруживать ИТМ путем прикрепления углеродных наночастиц к фильтровальной бумаге. Тестовый набор способен обнаруживать некоторые ионы металлов, такие как Cu^{2+} , Fe^{2+} и Cr(III) в воде невооруженным глазом на основе изменений цветности флуоресценции. Тестовый набор с ионом Cu^{2+} - ионом с самой сильной способностью гасить флуоресценцию углеродных наночастиц, имеет порог обнаружения при концентрации $1 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³. При сравнении с допустимым пределом концентрации ионов Cu^{2+} в бытовой воде

можно подтвердить, что если сигнал флуоресценции тестового набора снижается до наблюдаемого уровня, вода определенно загрязнена названным ионом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Landa, S.D.T. Heavy metal ion detection using green precursor derived carbon dots / S.D.T. Landa, N.K. R. Bogireddy, I. Kaur, V. Batra, V. Agarwal // IScience. – 2022. – Vol. 25. – No 2. – Art. 103816. – P. 1-35.
2. Đinh, T.T.H. The preparation of films of N-doped carbon quantum dots for heavy metal ions detection / T.T.H. Đinh, T.T.H. Lương, Q.T. Lê, T.K.L. Đinh, T.T. Bùi, T.M.N. Đỗ, T.T.M. Nguyễn, V.T. Mai, X.D. Mai // Vietnam J. Chem. – 2018. – Vol. 56. – P. 68-71.
3. Devi, P. Recent advances in carbon quantum dot-based sensing of heavy metals in water / P. Devi, P. Rajput, A. Thakur, K.H. Kim, P. Kumar // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2019. – Vol. 114. – P. 171-195.
4. Trần, T.M.T. Đánh giá thực trạng ô nhiễm kim loại nặng trong đất nông nghiệp tỉnh Bắc Ninh / T.M.T. Trần, A.T. Trần // Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Nông Nghiệp Việt Nam. – 2018. – Vol. 8. – P. 102-108 (на вьетнамском).
5. Zhu, S. The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer dots): current state and future perspective / S. Zhu, Y. Song, X. Zhao, J. Shao, J. Zhang, B. Yang // Nano Research. – 2015. – Vol. 8. – P. 355-381.
6. Wu, X. Nitrogen-doped carbon quantum dots for fluorescence detection of Cu²⁺ and electrochemical monitoring of bisphenol A / X. Wu, L. Wu, X. Cao, Y. Li, A. Liu, S. Liu // RSC Advances. – 2018. – Vol. 8. – P. 20000-20006.
7. Mai, X.D. Tuning the emission color of hydrothermally synthesized carbon quantum dots by precursor engineering // VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology. – 2019. – Vol. 35. – No 1. – P. 61-67.

STUDY OF FLUORESCENT TEST KIT FOR RAPID DETECTION OF HEAVY METAL IONS IN WATER

¹Nguyen Z.K., ²Mai S.Z., ³Nguyen D.A., ⁴Shaikhiev I.G.

¹ Thai Nguyen University of Science, 250000, Thai Nguyen City, Thai Nguyen Province, Vietnam

² Hanoi Normal University, 280000, Phuc Yen City, Nguyen Van Linh Street, 32, Vietnam

³ Viet Chi Industrial University, Viet Chi City, Thien Son Street, 9, Vietnam

⁴ Kazan National Research Technological University, 420015, Kazan, st. K. Marks, 68, Russia

Annotation. Relevance. Pollution of water bodies with heavy metal ions has a detrimental effect on aquatic organisms and human health. Constant monitoring of the content of heavy metal compounds in water bodies used for water consumption is necessary. However, the current methods for analyzing natural and waste water for metal ions are voluminous, time-consuming and require a wide reagent base.

Objective. Development of a test kit using carbon quantum dots (CQD), which, under the influence of fluorescence, allows for coloring in various shades depending on the metal cation and its concentration in the aqueous medium

Results. A universal test kit has been developed to detect the presence of metal ions in drinking and natural water at low concentrations.

Novelty. An original test kit based on CQD nanotubes has been synthesized and studied to detect the presence of metal ions in the aquatic environment.

Keywords: carbon quantum dots, water pollution, metal ions, fluorescent signal, carbon nanotubes.

УДК 628.511.4

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ

Боровков Д.П.¹, Николенко М.А.², Полицимако К.А.³

^{1,3} ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», 400001, г. Волгоград, Академическая ул., 1,

² ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344000, г. Ростов-на Дону, пл. Гагарина, 1,
e-mail: ¹frigate@yandex.ru

Аннотация. Предприятия дорожностроительной отрасли, в силу ряда особенностей технологического процесса, являются мощным источником пылевого загрязнения воздушной среды. Существенный вклад в пылевое загрязнение вносят асфальтобетонные заводы. Очистка выбросов пылевых выбросов асфальтобетонных заводов требует использования эффективного оборудования, характеризующегося компактностью, простотой и низким потреблением энергии. Настоящая работа посвящена изучению возможности применения вихревых пылеуловителей, отвечающих перечисленным требованиям, в системах очистки пылевых выбросов асфальтобетонных заводов.

Цель. Разработать компоновочную схему системы очистки пылевых выбросов асфальтобетонного завода с применением вихревых пылеуловителей. Провести оценку эффективности очистки пылевых выбросов предложенной системой.

Методы. Для определения эффективности очистки пылевых выбросов проводились экспериментальные исследования на лабораторной установке. Измерения проводились по стандартной методике измерения параметров запыленных газовых потоков.

Результаты. Получены экспериментальные зависимости, характеризующие эффективность очистки пылевых выбросов. Определены параметры, позволяющие достигать наиболее высокой эффективности работы предложенной установки.

Ключевые слова: Очистка пылевых выбросов, асфальтобетонные заводы, пылевое загрязнение, вихревые пылеуловители

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы обеспечения экологической безопасности дорожного строительства остро стоят на повестке дня. Наблюдаемая в течение последнего десятилетия тенденция к увеличению протяженности дорожной сети крупных и средних городов, обусловленная ростом количества коммерческого и частного автотранспорта, обуславливает потребность в производстве все больших количеств сырья и материалов, важнейшим из которых является асфальтобетон. Для производства асфальтобетонной смеси все чаще применяются передвижные и мобильные асфальтосмесительные установки, позволяющие минимизировать транспортные издержки, и что немаловажно в условиях повышения производительности время доставки.

Сдерживающим фактором при использовании передвижных и мобильных асфальтосмесительных установок в настоящий момент является недостаточная эффективность систем очистки пылевых выбросов, не позволяющих вписываться в ужесточающиеся экологические требования [1-3]. Кроме того, существующие системы, в подавляющем большинстве случаев, характеризуются применением мокрых пылеуловителей второй ступени очистки, что затрудняет их использование в виду необходимости подвода большого количества воды. Весьма сложной природоохранной задачей при этом также является утилизация шлама и возвратом уловленного пылевидного продукта в производство [3, 4].

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

В состав технологического оборудования асфальтобетонных заводов, производящих материалы для строительства и ремонта покрытия дорожной сети, входит большое количество технологических единиц, назначением которых является обработка или перемещение сыпучих и пылевидных материалов, которые, в виду особенностей технологического процесса, смешиваются с атмосферным воздухом [1-4]. Возрастающая интенсивность автомобильного движения (особенно грузовых перевозок), приводит к более интенсивному строительству новых и реконструкции и ремонту существующих участков дорожной сети [5, 6]. Все большее распространение в настоящее время получают передвижные и мобильные АБЗ средней и малой производительности, позволяющие сокращать транспортные издержки при доставке асфальтобетона к месту строительства [7].

Однако, проблема повышенных пылевых выбросов, при использовании мобильного и передвижного оборудования АБЗ встает с повышенной остротой. Причинами этого являются

размещение АБЗ в непосредственной близости от селитебных зон, а также сложности в применении стандартного пылеулавливающего оборудования на мобильных АБЗ, обусловленная рядом компоновочных и технологических особенностей последних [1-4, 5, 7].

Для решения проблемы очистки выбросов мобильных АБЗ, в ряде работ [9-12], предлагается применение пылеуловителей на встречных закрученных потоках, характеризующихся высокими показателями эффективности очистки мелкодисперсных пылевых выбросов предприятий строительной индустрии, а также высокой эксплуатационной надежностью, характерной для инерционных пылеуловителей [9-12]. Учитывая изложенные сведения, целью, поставленной в настоящей работе выбрана разработка компоновочных схем систем очистки пылевых выбросов асфальтосмесительных установок передвижных и мобильных асфальтобетонных заводов, с использованием вихревых пылеуловителей и исследование эффективности их применения.

ИСПОЛЬЗОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

При проведении лабораторных исследований по определению эффективности очистки пылевых выбросов экспериментальной установки использован комплект стандартного оборудования, применяемый для измерения характеристик запыленного потока, состоящий из микроанометров ММН-250, электроаспиратора, пневмометрических и пылеотборных трубок конструкции НИИОГАЗ, патроны Алонжа, фильтры АФА [13]. При определении массы пылевых частиц, осевших на поверхности фильтров АФА были использованы лабораторные аналитические весы Acculab ALC-210d4. Определение эффективности улавливания пылевых частиц проводилось посредством сопоставления расходов пылевоздушной смеси и величин концентраций пылевых частиц в характерных сечениях лабораторной установки.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

При проектировании экспериментальной установки, основным ее элементом, основываясь на вышеизложенных доводах, выбран пылеуловитель серии ВЗП. С целью доведения его общей и фракционной эффективности до уровня, обеспечивающего выполнение экологических требований, предъявляемых к выбросам предприятий, расположенных в городской черте, компоновочная схема экспериментальной установки дополнена рукавным фильтром. Для предотвращения преждевременного забивания и износа фильтрующего элемента в фильтр подается поток, характеризующийся малой концентрацией пылевых частиц, в виду прохождения им центробежного пылеконцентратора [14-17]. Схема установки представлена на рис. 1.

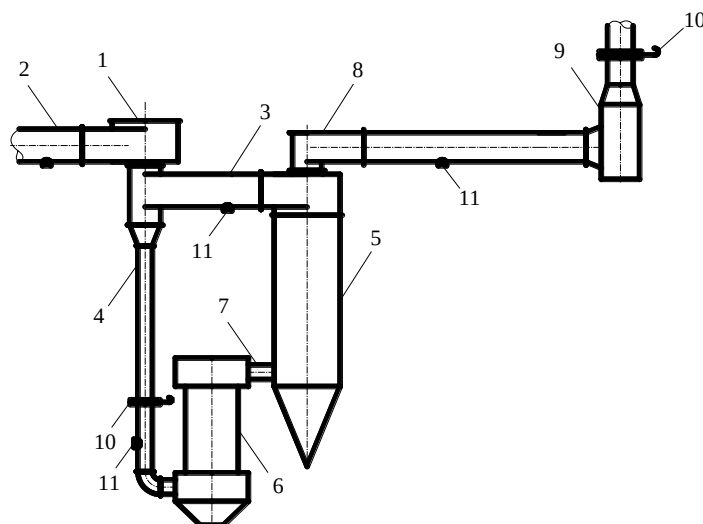


Рис.1. Схема экспериментальной установки. 1 – пылеконцентратор; 2, входной тангенциальный патрубок пылеконцентратора; 3 – входной патрубок вихревого пылеуловителя; 4 – осевой патрубок пылеконцентратора; 5 – вихревой пылеуловитель; 6 – тканевый фильтр; 7 – вторичный ввод вихревого пылеуловителя; 8 – раскручиватель потока; 9 – вентилятор; 10 – регулирующая заслонка; 11 – замерыные штуцеры.

При проведении экспериментальных исследований, в качестве факторов, оказывающих определяющее влияние на эффективность работы установки выбраны: критерий Рейнольдса, вычисленный исходя из величины расхода очищаемого газа, проходящего через сечение сепарационной камеры вихревого пылеуловителя Re ; интенсивность закрутки очищаемого газа в пылеконцентраторе Φ^* ; и доля расхода очищаемого газа, подаваемого через рукавный фильтр на вторичный ввод вихревого пылеуловителя L_2/L_0 . Для обеспечения достоверных результатов при проведении исследований, для создания пылевоздушной смеси использовалась пыль, отобранная от сушильного барабана действующего АБЗ. Начальная концентрация пылевых частиц, обеспечиваемая вибродозатором, составляла 2500 мг/м^3 , что соответствует аналогичным значениям на выходе из сушильных барабанов АБЗ.

Результаты, полученные в ходе проведения лабораторных исследований, представлены на рис. 2.

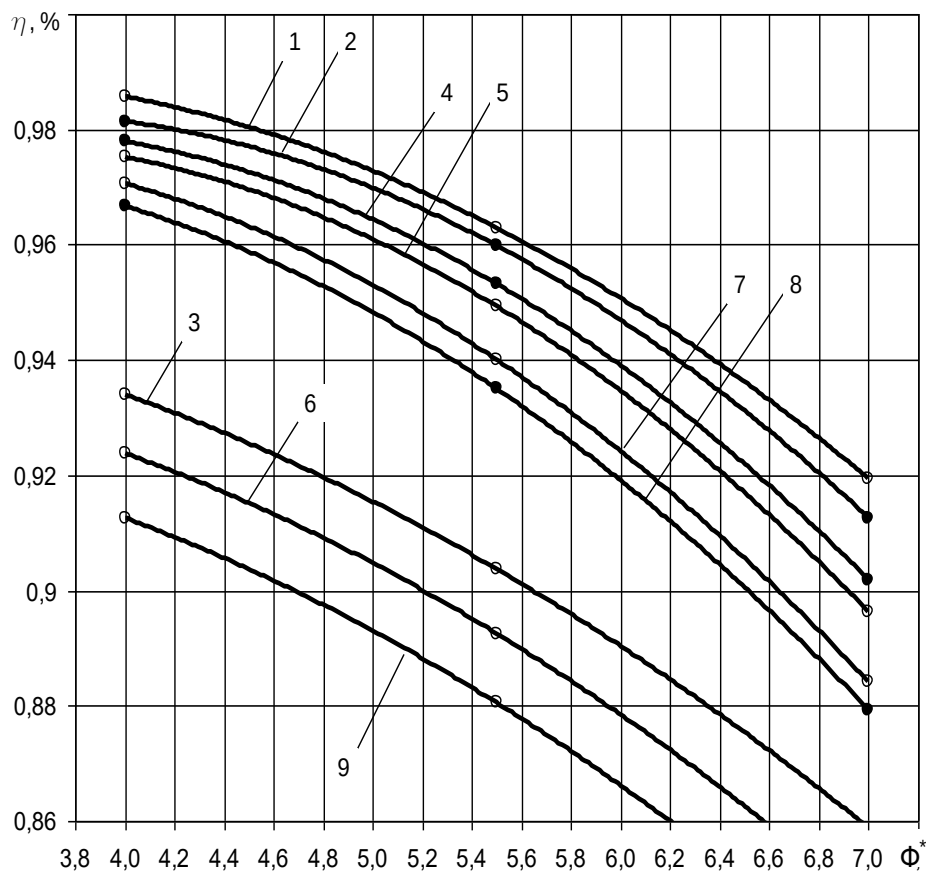


Рис.2. Зависимость эффективности очистки пылевых выбросов опытно-промышленной установки от значения геометрического интегрального параметра интенсивности закрутки потока, создаваемого улиточным закручивателем η (Φ^*):

- 1 – $Re=4,1 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,38$; 2 – $Re=4,1 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,26$; 3 – $Re=4,1 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,14$;
 4 – $Re=5,9 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,38$; 5 – $Re=5,9 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,26$; 6 – $Re=65,9 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,14$;
 7 – $Re=7,7 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,38$; 8 – $Re=7,7 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,26$; 9 – $Re=7,7 \times 10^5$, $L_2/L_0=0,14$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистическая обработка экспериментальных результатов позволила получить эмпирическую зависимость, описывающую изменение эффективности очистки выбросов АБЗ от определяющих факторов:

$$\eta = 0,719 - 5,4998 \times 10^{-8} \frac{L_2}{L_o} Re + 0,0019 \frac{L_2}{L_o} \Phi_k^* - 1,19 \times 10^{-7} Re \Phi_k^* + 2,701 \times 10^{-7} Re + \\ + 0,0351 \Phi_k^* + 0,721 \frac{L_2}{L_o} - 1,5001 \times 10^{-12} Re^2 - 0,0048 \Phi_k^{*2} - 1,0702 \left(\frac{L_2}{L_o} \right)^2 \quad (1)$$

Как следует из полученных результатов, представленных на рис. 1, наилучшая эффективность очистки выбросов достигается лабораторной установкой в режиме расхода очищаемого газа, характеризующегося значениями $Re = 4,2 \times 10^4 - 4,6 \times 10^4$, при значениях определяющих факторов, характеризующихся сочетанием $L_2/L_o = 0,38 - 0,41$ и $\Phi_k^* = 3,9 - 4,1$. Такое сочетание позволяет достигать величины степени очистки пылевого выброса сушильного барабана асфальтобетонного завода $\eta = 0,979$. Такой уровень очистки является достаточно высоким, и в подавляющем большинстве случаев, позволяет достигать выполнения нормативов ПДВ, рассчитанных с учетом близкого расположения селитебных зон.

ВЫВОДЫ

1. Вихревые пылеуловители являются эффективным пылеулавливающим оборудованием, которое в виду простоты конструкции и удачным массово-габаритным характеристикам подходит для очистки пылевых выбросов мобильных АБЗ;
2. Разработана, и испытана в лабораторных условиях компоновочная схема системы очистки пылевых выбросов мобильных АБЗ, включающая в себя вихревой пылеуловитель, снабженный пылеконцентратором и тканевым фильтром вторичного потока;
3. В ходе экспериментальных исследований, проведенных на лабораторной установке, определен наиболее выгодный аэродинамический режим работы, позволяющий достигать степени очистки пылевых выбросов сушильных барабанов АБЗ $\eta = 0,979$;
4. Применение систем очистки пылевых выбросов предлагаемой схемы позволяет достигать выполнения нормативов ПДВ, при работе передвижных АБЗ в непосредственной близости селитебных зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. О применении ГОСТ Р 56929-2016 при мониторинге пылевого загрязнения атмосферного воздуха городских территорий / В. Н. Азаров, Е. Ю. Козловцева, А. В. Азаров [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – № 53(72). – С. 132-140. – EDN XZHVIL.
2. Мензелинцева, Н.В. Сушильный барабан как источник загрязнения на асфальтобетонных заводах / Н.В. Мензелинцева, Л.В. Ковалева // Науч.-техн. конф. “Проблемы охраны производственной и окружающей среды”. – Волгоград, 2000. – С.43-44.
3. Мензелинцева, Н.В. Анализ загрязнения атмосферы выбросами асфальтобетонных заводов / Н.В. Мензелинцева, Е.С. Круподерова, В.А. Артамонов, Н.Ю. Карапузова // П Всерос. науч.-практ. конф. “Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание”. – Пенза, 2002. – С.55-56.
4. Балтрена, П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1990. – 180 с.:ил.
5. Азаров, В.Н. Особенности образования и распространения пыли асфальтобетонных заводов / В.Н. Азаров, Е.И. Богуславский, Н.М. Сергина, В.Н. Учаев // Всерос. науч.-практ. конф. “Аэрозоли в промышленности и в атмосфере”. – Пенза, 2001. – С.67-68.
6. Немчинов М.В., Шабуров С.С., Пашков В.К. и др. Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог: В 2-х ч./ Под ред. М.В. Немчинова. – Москва-Иркутск, 1997.
7. Колышев, В.И. Асфальтобетонные и цементобетонные заводы / В.И. Колышев, П.П. Костин, В.В. Силкин, Б.Н. Соловьев. – М.: Транспорт, 1982. – 207 с.
8. Азаров, В.Н. Системы пылеулавливания с инерционными аппаратами в производстве строительных материалов [Текст] / В. Н. Азаров, Н. М. Сергина // Строительные материалы. – 2003. – №8. – С.14-15.
9. Азаров, В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками [Текст]: обзор изобретений / В.Н. Азаров, Л.Н. Волинцева, Н.М. Сергина, О.В. Юркьян, Б.Т. Донченко, В.Н. Мартыанов.- Волгоград, ООО «Ассоциация Волгоградэкотехзерно». – 1999. – 48 с.

10. Азаров, В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Опыт внедрения: Монография [Текст] / В.Н. Азаров – Волгоград: РПК «Политехник» ВолгГТУ, 2003. – 136 с.
11. Балтрена, П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях строительных материалов / П.Б. Балтрена. – М.: Стройиздат, 1990. – 180 с.:ил.
12. Медников, Е.П. Вихревые пылеуловители [Текст] / Е.П. Медников // Промышленная и санитарная очистка газов Сер. ХМ – 14. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1975. – 44 с.: ил.
13. Леончик, Б.И. Измерения в дисперсных потоках / Б.И. Леончик, В.П. Маякин – М.: Энергия, 1971. – 248с.: ил.
14. Боровков, Д.П. Повышение эффективности пылеуловителей на встречных закрученных потоках / Д.П. Боровков, И.В. Бурба, К.О. Чичиров // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 157-163.
15. Азаров, В.Н. О транспортировании пылевых частиц закрученными потоками в воздуховодах систем аспирации и обеспыливающей вентиляции / В.Н. Азаров, Д.П. Боровков, С.В. Филиппова// Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 3-1 (42). – С. 113-119.
16. Экба, С.И. Экспериментальные исследования эффективности очистки древесной пыли на предприятиях строительной индустрии пылеуловителями на встречных закрученных потоках / С.И. Экба, П.А. Сидякин, Д.П. Боровков, Д.В. Азаров // Современная наука и инновации. – 2013. – № 2 (2). – С. 12-18.
17. Stefanenko, I.V. Experimental optimization of dust collecting equipment parameters of counter swirling flow with coaxial leadthrough for air ventilation system and dust elimination / I.V. Stefanenko, V.N. Azarov, D.P. Borovkov // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions. – 2019. – P. 012037.

APPLICATION OF VORTEX DUST COLLECTORS FOR CLEANING DUST EMISSIONS FROM ASPHALT CONCRETE PLANTS

¹Borovkov D.P., ²Nikolenko M.A., ³Politsimako K.A.

^{1,3} Volgograd State Technical University, 400001, Volgograd, Akademicheskaya 1

² Don State Technical University, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin square 1

Annotation. Road construction enterprises, due to a number of features of the technological process, are a powerful source of dust pollution of the air environment. Asphalt concrete plants make a significant contribution to dust pollution. Cleaning of dust emissions from asphalt concrete plants requires the use of effective equipment characterized by compactness, simplicity and low energy consumption. This work is devoted to studying the possibility of using vortex dust collectors that meet the listed requirements in systems for cleaning dust emissions from asphalt concrete plants.

Objective. Develop a layout diagram of the dust emission cleaning system of an asphalt concrete plant using vortex dust collectors. Conduct an assessment of the efficiency of dust emission cleaning by the proposed system.

Methods. To determine the efficiency of dust emission cleaning, experimental studies were conducted on a laboratory setup. Measurements were made using the standard method for measuring the parameters of dusty gas flows.

Results. Experimental dependencies characterizing the efficiency of dust emissions cleaning have been obtained. Parameters allowing the highest efficiency of the proposed installation have been determined.

Key words: Cleaning of dust emissions, asphalt concrete plants, dust pollution, vortex dust collectors

УДК 614.842

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ДЫХАНИЯ ГИПОКСИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЫ В ЗДАНИЯХ С ЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПЛАНИРОВКОЙ

Матвеев В.А.¹, Ничкова Л.А.², Рыкунов С.М.³

^{1,2,3} Политехнический институт (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: ¹matveev.vladimir0@mail.ru; ²nichkova@sevsu.ru; ³smrykunov@mail.sevsu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к обеспечению пожарной безопасности объектов культурного наследия (ОКН) с применением гипоксических технологий. На примере здания панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах» анализируются применимость технических решений, позволяющих совместить эффективную противопожарную защиту с требованиями сохранения подлинности исторических конструкций. Приводятся расчеты параметров системы и подбор системы для объекта исследования.

Ключевые слова: гипоксическая атмосфера, пожарная безопасность, объекты культурного наследия, здание панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах», предотвращение возгорания, кислородная среда, локальное пожаротушение.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных вопросов при обеспечении пожарной безопасности музеев, фондохранилищ и архивов является сохранность исторических экспонатов, музейных предметов, а также исторической документации, представляющей не материальную ценность. Огонь, дым, а также классические средства пожаротушения могут нанести непоправимый ущерб этим предметам, испортив, повредив или уничтожив их навсегда. Применение установок локального газового пожаротушения в музеях не всегда целесообразно, так как сопряжено с опасностью для находящихся в здании посетителей. Для решения данного вопроса с 1 января 2024 года в России начал действовать СП 526.1311500.2023 «Системы предотвращения пожара. Системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы» утвержденный приказом МЧС России № 642 от 20 июня 2023 г. Системы предотвращения пожара с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы представляют собой сравнительно новый вид технических средств, которые применяются для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты. Сегодня за рубежом такие системы защищают более 1000 объектов, в нашей стране – около 30.

Гипоксические системы основаны на снижении концентрации кислорода в защищаемом помещении до уровня, при котором горение становится невозможным. Критическая концентрация кислорода для большинства горючих материалов составляет около 10-12% об. При этом для дыхания человека допустимы условия, аналогичные высокогорным (содержание кислорода 14-16% об.), что делает такие системы безопасными для кратковременного пребывания людей.

Согласно данным Правительства города Севастополя, на его территории расположено: 247 объектов культурного наследия федерального значения, а также 870 объектов культурного наследия регионального значения, значительная часть которых приходится на жилые, административные и культурно-досуговые здания [6-7]. Таким образом рассмотрение вопроса применения таких систем является актуальным и нужным для музейных объектов города Севастополя, так как поможет решить вопрос с обеспечением пожарной безопасности в исторических зданиях и обеспечит безопасность посетителей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время активное внимание уделяется пожарной безопасности музеев и фондохранилищ. Согласно СП 526.1311500.2023 музейные здания должны оборудоваться системой предотвращения пожара, посредством которого достигается исключение условий образования горючей среды поддержанием пониженной концентрации окислителя в горючей среде.

Вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов культурного наследия музеев и фондохранилищ исследованы в трудах: Присадкова В.И., Сушковой О.В., Ереминой Т.Ю., Богданова А.В., Муслаковой С.В. В Руководстве по «Обеспечению пожарной безопасности музеев и фондохранилищ» предлагается при обеспечении пожарной безопасности зданий

использовать комплексный подход к обеспечению противопожарного режима, а именно уделить внимание: системам предотвращения пожара, системам противопожарной защиты, а также проведению комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности со стороны персонала эксплуатирующей организации здание. Присадков В.И., Сушкова О.В., Еремина Т.Ю. предлагают при обеспечении пожарной безопасности проводить расчет пожарного риска, учитывая материалы и типы отделок помещений, а также имеющиеся экспонаты, в качестве мер по предотвращению пожаров применяют установки локального пожаротушения, или установки автономного пожаротушения [3].

Однако, в их исследованиях рассматриваются здания с анфиладной планировкой, что позволяет разделить здание на шлюзы противопожарными преградами, а также позволяет минимизировать потери азота. Здания с центрической планировкой, а также практическое применение и подбор систем с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы в исследованиях не рассматривается.

ЦЕЛЬ И ПОССТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы довольно новые и относительно мало применяющиеся в зданиях города Севастополя и городах Республики Крым. Целью данной статьи является рассмотрение возможности применения данных систем для объектов города Севастополя с центрической планировкой, а также подбор актуальной системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы для объекта с центрической планировкой. Таким образом, исходя из цели были определены задачи исследования:

- изучить требования СП 526.1311500.2023 «Системы предотвращения пожара. Системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы», а также требования федеральных законов и сводов правил в области проектирования систем противопожарной защиты для зданий с центрической планировкой;
- провести обследование объекта исследования, здания с центрической планировкой здания панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах»: геометрические характеристики, наличие систем противопожарной защиты, пожарной нагрузки и основные пожарные риски; (геометрия, герметичность, пожарная нагрузка);
- провести подбор системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы систем с учетом особенностей объекта исследования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современные системы противопожарной защиты на основе гипоксической атмосферы предназначены для создания и поддержания в защищаемом объекте среды с пониженным содержанием кислорода (не более 10 % об.). Такие условия исключают возможность воспламенения горючих материалов даже при наличии источника зажигания, предотвращая как открытое горение, так и тление. Горение — это экзотермическая реакция окисления, требующая наличия трёх компонентов: горючего вещества, окислителя (кислорода) и источника зажигания. Гипоксические системы устраняют один из этих элементов, снижая концентрацию кислорода ниже порога воспламенения.

Для достижения требуемой концентрации кислорода система подает подготовленную газовую смесь, получаемую методом мембранной (разделение газов через полупроницаемые мембраны, пропускающие азот) или адсорбционной (поглощение кислорода цеолитами или другими адсорбентами) сепарации воздуха. В процессе эксплуатации автоматика непрерывно контролирует уровень кислорода и компенсирует утечки, обеспечивая стабильность параметров.

В состав системы входят:

- оборудование для подготовки сжатого воздуха (компрессоры, фильтры, осушители);
- газоразделительные модули;
- ресиверы (при необходимости);
- трубопроводная сеть с распределительными насадками;
- селекторные клапаны (опционально);
- управляющая автоматика и контрольные приборы (включая панель мониторинга);

– средства светозвуковой сигнализации и аварийного оповещения.

Алгоритм работы системы должен обеспечивать в рабочем диапазоне:

– периодическую подачу газовой смеси из газоразделительного оборудования для поддержания концентрации кислорода в заданных пределах;

– выдачу тревожных извещений до достижения максимальной или минимальной концентрации в рабочем диапазоне.

Данная система имеет ряд преимуществ для музейных объектов:

– бесшумная работа – отсутствие вибрации и резких звуков, которые могут повредить хрупкие экспонаты;

– минимальное вмешательство в конструкцию здания – скрытый монтаж коммуникаций;

– безопасность для экспонатов – отсутствие воды, пены или химических агентов, которые могут повредить исторические объекты.

– экологичность – система использует атмосферный воздух, не производя вредных выбросов.

– безопасность для посетителей – концентрация кислорода остается на уровне, допустимом для кратковременного пребывания (аналогично высокогорным условиям) [3-5].

Таким образом, применение данных систем целесообразно и обладает рядом преимуществ, они являются надежной противопожарной защитой без риска повреждения исторических ценностей.

На следующем этапе необходимо рассмотреть объект исследования и подготовить исходные данные для подбора системы гипоксической атмосферы для объекта исследования. Здание Панорамы входит в архитектурный силуэт города, доминирует над его Центральной частью, хорошо просматривается при въезде в город с основных сухопутных и морских магистралей. На первом этаже здания – экспозиционный зал, отражающий основные события обороны Севастополя 1854 – 1855 гг., историю создания и воссоздания Панорамы. Из экспозиционного зала винтовая лестница ведёт на смотровую площадку, где посетители, постепенно двигаясь по кругу, рассматривают живописное полотно и предметный план.

Здание круглой формы в плане, с купольным покрытием. Основная часть здания цилиндрической формы диаметром 40,3 м, высота цилиндрических стен – 14,9 м. В качестве покрытия выполнен ребристо-кольцевой купол, который представляет собой радиально-арочную систему. Крыша куполообразная с остекленным световым поясом по всей окружности. Высота купола – 9,40 м. Над куполом расположена башня (бельведер) со смотровой площадкой. Бельведер имеет в плане форму восьмиугольника шириной в плане – 3,92 м. Высота бельведера – 9,20 м. Конструктивная схема здания бескаркасная с несущими каменными стенами из известнякового камня. В здании размещены различные по функциональному назначению помещения. Основной объем здания занимает экспозиционный зал, имеющий купольное покрытие со световым фонарем. В центральной части располагается круговая панорамная смотровая площадка с отдельными входом и выходом по винтовым лестницам. По периметру зала расположено художественное полотно Панорамы. В нижней части зала находится предметный план экспозиции, располагающийся на наклонном настиле. С северо-восточной стороны здания Панорамы в цокольном этаже располагаются помещения с оборудованием по кондиционированию и отоплению помещений на рисунке 1 [7].

Основные исходные данные для подбора оборудования представлены в таблице 1. Подбор оборудования выполняем согласно п.6 СП 526.1311500.2023 «Системы предотвращения пожара. Системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы», для этого определяем следующие параметры: герметичность помещений согласно п. 6.2 вышеуказанного СП; порог воспламенения; рабочий режим проектируемой системы.



а



б



в



г

Рис. 1 Основные экспозиционные помещения здания Панорама «Оборона Севастополя 1854-1855 гг.»:
а – экспозиционный зал, б – экспозиционный зал в цокольном этаже; в – смотровая площадка; г – круговая галерея под смотровой площадкой

Таблица 1. Исходные данные для подбора и проектирования системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы для здания Панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах»

Тип объекта (здание, сооружение, помещение)	Здание Ф2.2
Объем защищаемого помещения (м³)	18000
Категория помещения по взрывопожарной опасности (не должна быть А или Б)	В4
Герметичность помещения	3
Перечень горючих веществ и материалов, присутствующих в помещении	Деревянная подшивка кровли, живописное полотно площадью 1800 м.кв., деревянная конструкция экспозиции площадью 1000 м.кв.
Пороги воспламенения (ПВ) для этих материалов	Принять по нормативу, с учетом обработки материала антипиренами по 1 группе огнебезопасности
Количество и площадь ограждающих конструкций	Противопожарные двери, перегородки из одинарного кирпича
Количество и размеры дверей/ворот	5 дверей (размер 0,85x2,1 м.), 2 двери (размер 1,5x0,8 м.)
Тип дверей (обычные, шлюзы и т.д.)	Противопожарные с устройством самозакрывания
Частота открывания дверей/ворот (средняя и максимальная в час)	Установлены дверные доводчики
Режим эксплуатации (часы работы в сутки, дни в неделю)	10 часов в день, 7 дней в неделю

Продолжение таблицы 1

Приток воздуха от системы вентиляции (м³/ч)	Установлена приточная вентиляционная установка, приток воздуха принять нормативный
Наличие постоянных рабочих мест в помещении	5 рабочих мест, также экскурсионные группы, численностью по 25 человек
Желаемый диапазон концентрации кислорода	По нормативу
Требуемое время поддержания гипоксической атмосферы	По нормативу
Наличие фальшполов или потолочных пустот	Присутствует
Температурный режим в помещении	25 градусов

Согласно СП 526.1311500.2023, нормативную концентрацию $C_{\text{норм-т}}$ кислорода определяют по следующей формуле:

$$C_{\text{норм-т}} = C_{\text{ПВ-т}} - C_{\text{без}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{норм-т}}$ – нормативная концентрация кислорода для твердых материалов; $C_{\text{ПВ-т}}$ – порог воспламенения для твердого вещества; $C_{\text{без}}$ – коэффициент безопасности (запаса), который для твердого материала следует принять равным 0,75% об.

Также следует определить диапазон концентраций кислорода в рабочем режиме работы, а также производительность системы, которая необходима для поддержания концентрации кислорода. Для объекта исследования примем упрощенный расчет производительности газораспределительной установки по формуле:

$$Q_{N_2} = V \times n_{50} \times \frac{(21\% - C_{\text{норм}})}{(C_{\text{норм}} - 5\%)}, \quad (2)$$

где Q_{N_2} – производительность газораспределительной установки по азоту; V – объем защищаемого помещения объекта исследования (м³); n_{50} – максимальные значения параметра герметичности; 21% – нормальная концентрация кислорода в воздухе; 5% – погрешность изменения концентрации кислорода. Формула определяет объем азота, необходимый для поддержания заданной гипоксической среды в помещении с учетом утечек [5].

Таким образом, общая производительность системы составляет 2300 м³/ч. Так как отсутствует герметичность помещения сверху в месте крепления лебедки, а также отсутствуют перегородки между винтовыми лестницами. можно сделать вывод, что для здания с центрической планировкой и открытыми винтовыми лестницами классическая гипоксическая система неприменима в чистом виде, так как:

- невозможно создать замкнутый объем с контролируемым O_2 ;
- постоянный воздухообмен через лестницы делает систему неэффективной;
- затраты на компенсацию утечек будут экономически нецелесообразны.

В качестве альтернативных вариантов предлагается следующее: установка локальных гипоксических зон над предметным планом, использование направленных воздушных потоков, воздушные завесы на смотровой площадке (для создания локальных зон с пониженным O_2) [8-9].

Воздушная завеса — это инженерное решение, создающее направленный поток азота (или воздуха), который выполняет роль «невидимой преграды» для предотвращения смешения газовых сред [10]. Предлагается их применение для блокировки утечек азота через винтовые лестницы и место крепления лебедки на бельведере.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен подход к обеспечению пожарной безопасности объектов культурного наследия (ОКН) с применением гипоксических технологий, выявлены основные преимущества применения данных систем.

2. На примере здания Панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах» проанализированы применимость технических решений, позволяющих совместить эффективную противопожарную защиту с требованиями сохранения подлинности исторических конструкций.

Проведены расчеты параметров системы и подбор параметров системы для объекта исследования.

3. На основании расчета для объектов с негерметичными объемами и центрической планировкой, такими как здание Панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах», целесообразно комбинировать гипоксические технологии с локальными барьерами (воздушные завесы).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование можно расширить, разрабатывая новые методы компенсации утечек азота в негерметичных помещениях, это может включать усовершенствование воздушных завес или создание гибридных систем, сочетающих гипоксическую среду с другими технологиями пожаротушения.

Изучить возможности комбинации гипоксических технологий с системами дымоудаления, противопожарными преградами и современными средствами мониторинга для создания комплексных решений.

Расширить исследования на объекты с аналогичными архитектурными особенностями (храмы, библиотеки) и провести эффективность гипоксических систем в различных климатических условиях.

Также необходимо провести исследования, оценивая влияние пониженной концентрации кислорода на материалы такие как: живопись, ткань, дерево в течении длительного времени. Это поможет уточнить параметры применяемых гипоксических систем для исключения риска повреждения культурных ценностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73–ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (ред. от 26.12.2024) // КонсультантПлюс: [сайт]. –URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 10.06.2024);
2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // КонсультантПлюс: [сайт]. –URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 10.06.2024);
3. Сушкова, О. В. Обеспечение пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сушкова Ольга Владимировна, 2023. – 151 с. – EDN XRCCWO;
4. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» (с изм. 1, 2). — Введ. 2009-01-01. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 96 с.;
5. СП 526.1311500.2023 «Системы предотвращения пожара. Системы с использованием пригодной для дыхания гипоксической атмосферы». — Введ. 2023-06-20. — М.: МЧС России, 2023. — 45 с.;
6. Матвеев, В. А. Анализ основных причин возникновения пожаров на объектах культурного наследия с массовым пребыванием людей / В. А. Матвеев, Л. А. Ничкова // Безопасность – 2024 : Материалы XXIX Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 24–26 апреля 2024 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. – С. 156-157. – EDN LJOLTG;
7. Матвеев, В. А. Анализ современного состояния и совершенствование систем контроля и защиты объектов культурного наследия на примере здания панорамы «Оборона Севастополя в 1854-1855 годах» / В. А. Матвеев, Л. А. Ничкова // Экономика строительства и природопользования. – 2023. – № 2(87). – С. 90-95. – EDN APKLQJ;
8. Патент № 2756263 С1 Российская Федерация, МПК А62С 2/00, В01D 53/00. Система противопожарной вентиляции закрытых помещений воздухом гипоксического состава : № 2021100025 : заявл. 08.01.2021 : опубл. 28.09.2021 / И. К. Котляр. – EDN VVGCSWJ.;
9. Патент № 2301095 С2 Российская Федерация, МПК А62С 2/00, А62С 3/00, А62В 7/14. Предотвращающие пожар и ликвидирующие пожар системы и пригодные для дыхания огнегасящие составы с пониженным содержанием кислорода для занимаемых людьми помещений : № 2002130714/15 : заявл. 05.04.2001 : опубл. 20.06.2007 / И. К. Котляр. – EDN EGKBUX;

10. Иррек, Ф. Подробный анализ систем газового пожаротушения / Ф. Иррек, М. Магер // Журнал сетевых решений LAN. – 2012. – № 10. – С. 48-49. – EDN PMELGB.

APPLICATION OF SYSTEMS USING A BREATHABLE HYPOXIC ATMOSPHERE IN BUILDINGS WITH A CENTRIC LAYOUT

¹Matveev V.A., ²Nichkova L.A., ³Rykunov S.M.

^{1,2,3} Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Annotation. The article discusses approaches to ensuring fire safety of cultural heritage sites using hypoxic technologies. Using the example of the panorama building "The Defense of Sevastopol in 1854-1855", the applicability of technical solutions that combine effective fire protection with the requirements of preserving the authenticity of historical structures is analyzed. The calculations of the system parameters and the selection of the system for the object of study are given.

Keywords: hypoxic atmosphere, fire safety, cultural heritage sites, the building of the panorama "Defense of Sevastopol in 1854-1855", fire prevention, oxygen environment, local firefighting.

Раздел 4. Экономика строительства

УДК 004.056.53

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОНОМИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА: РОЛЬ ИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКОВ И РЕСУРСОВ

Бойченко О.В.¹, Фадина Ю.Ю.²

¹Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского,
295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: bolek61@mail.ru

²Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского,
295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: fatina.02@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется роль искусственного интеллекта (ИИ) в цифровой трансформации экономики строительства, с акцентом на прогнозирование рисков, оптимизацию ресурсов и обеспечение устойчивого развития. Проанализированы методы машинного обучения, интеграция IoT и BIM-моделирования, а также их влияние на снижение издержек, повышение ROI и минимизацию экологических рисков. Практические проекты российских компаний (ПИК Group, «Газпром строй», «СберСтрой») демонстрируют, как ИИ снижает аварийность на 25–40%, оптимизирует логистику и предотвращает утечки данных. Особое внимание уделено кибербезопасности: алгоритмы ИИ и блокчейн снижают риски атак на IoT-системы на 60%. Исследование выявляет ключевые проблемы цифровизации, включая зависимость от качества данных и необходимость баланса между автоматизацией и экспертным контролем. Показано, что внедрение ИИ требует системного подхода, включающего аудит данных, пилотные проекты и обучение персонала.

Ключевые слова: цифровая трансформация, искусственный интеллект, экономика строительства, прогнозирование рисков, оптимизация ресурсов, машинное обучение, большие данные, BIM, кибербезопасность, IoT, устойчивое развитие, ROI.

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль считается одной из наиболее капиталоемких и рискованных сфер глобальной экономики. В текущее время она переживает этап радикальных изменений, вызванных внедрением цифровых технологий. Согласно данным McKinsey, более 30% крупных строительных компаний уже интегрируют искусственный интеллект (ИИ) для повышения точности прогнозов, снижения издержек и минимизации рисков [1]. Однако сложность проектов, рост требований к устойчивости и необходимость соблюдения норм кибербезопасности ставят новые вызовы перед экономикой строительства. В этих условиях ключевым драйвером эффективности становятся технологии, способные обрабатывать большие данные (Big Data), моделировать сценарии с помощью BIM (Building Information Modeling) и обеспечивать реальное прогнозирование через IoT-датчики.

Актуальность цифровой трансформации подтверждается не только рыночными трендами, но и государственными стратегиями. Так, Национальная стратегия развития ИИ в РФ акцентирует необходимость внедрения алгоритмов машинного обучения для оптимизации логистики, управления ресурсами и предиктивной аналитики [2]. При этом переход к data-ориентированным моделям требует переосмысления традиционных подходов: от планирования бюджета до оценки экологических рисков.

В статье рассматриваются следующие ключевые аспекты:

- роль ИИ в идентификации рисков: от анализа исторических данных до мониторинга безопасности в реальном времени с использованием IoT.
- интеграция BIM и Big Data как инструментов снижения затрат и повышения ROI за счет минимизации ошибок проектирования.
- угрозы кибербезопасности в условиях роста цифровизации и методы их нейтрализации.

Переходя к анализу публикаций и методов исследования, важно отметить, что существующие работы фокусируются на отдельных элементах цифровой трансформации, таких как применение ИИ для прогнозирования задержек или оптимизации цепочек поставок. Однако системный подход, объединяющий управление рисками, ресурсами и устойчивым развитием в рамках единой экосистемы, остается недостаточно изученным. В основной части статьи будет представлен кейс-стади российских компаний, использующих ИИ для анализа проектных документов и предотвращения утечек данных, а также рассмотрены перспективы автономных IoT-систем в управлении строительными процессами.

Далее анализируется текущее состояние цифровой трансформации в строительстве, включая нормативные и технологические барьеры, что позволяет сформулировать практические рекомендации для повышения эффективности инвестиций в ИИ-решения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ

Исследования последних лет подтверждают, что внедрение ИИ в строительную отрасль смещает акцент с реактивного управления на предиктивное. Например, алгоритмы машинного обучения уже используются для анализа исторических данных проектов и выявления паттернов, приводящих к задержкам или перерасходу бюджета [3]. Так, в работе [4] отмечается, что системы на основе ИИ снижают количество аварий на 20–30% за счет мониторинга безопасности через IoT-датчики. Однако ключевой вопрос, который часто возникает у практиков: как интегрировать ИИ в существующие процессы без значительных капитальных затрат?

Анализ методов показывает, что наиболее эффективными являются гибридные решения, сочетающие BIM-моделирование с алгоритмами обработки Big Data. Например, в [5] описан кейс компании, где интеграция BIM и ИИ позволила сократить сроки согласования проектов на 18% за счет автоматизации проверки нормативных требований. При этом для прогнозирования ресурсных рисков (дефицит материалов, колебания цен) применяются регрессионные модели, обучающиеся на данных о поставках и макроэкономических показателях.

С точки зрения методологии, большинство исследований опираются на case studies и статистический анализ. Например, в [6] рассчитан ROI внедрения ИИ-платформы для управления цепочками поставок: окупаемость достигнута за 14 месяцев при снижении логистических издержек на 12%. Однако авторы отмечают, что 30% компаний сталкиваются с проблемой недостатка качественных данных для обучения моделей.

Для прогнозирования рисков необходимы данные, включая историю реализованных проектов, показания датчиков IoT, информацию о поставщиках, а также сведения о внешних факторах вроде погодных условий или изменений законодательства. Искусственный интеллект не способен полностью заменить экспертов — он служит инструментом для поддержки принятия решений, но окончательные выводы требуют профессиональной оценки и верификации специалистами [7].

Важным аспектом остается кибербезопасность: 45% опрошенных компаний отметили рост кибератак после внедрения IoT-систем [8]. Решением становятся ИИ-алгоритмы, анализирующие сетевой трафик для обнаружения аномалий в реальном времени.

Таким образом, анализ публикаций выявляет тренд на синтез ИИ, BIM и IoT, но подчеркивает необходимость преодоления барьеров в данных и безопасности для масштабирования решений.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка методологических рекомендаций по интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в процессы прогнозирования рисков и оптимизации ресурсов в строительной отрасли, обеспечивающие повышение ROI проектов и минимизацию управленческих издержек. Акцент сделан на практическом применении ИИ-инструментов для решения задач устойчивого развития и кибербезопасности в условиях цифровой трансформации экономики строительства.

Задачи исследования:

- оценить текущий уровень цифровизации строительных проектов в РФ, включая использование BIM, IoT и Big Data.
- выявить ключевые риски, которые могут быть прогнозируемы с помощью алгоритмов машинного обучения (например, задержки сроков, перерасход бюджета, экологические угрозы).
- проанализировать возможности ИИ для оптимизации управления затратами через динамическое планирование ресурсов и предиктивную аналитику.
- исследовать роль IoT-датчиков и систем мониторинга в real-time прогнозировании аварийных ситуаций.
- разработать критерии оценки ROI внедрения ИИ-решений с учетом затрат на кибербезопасность и обучение персонала.

Предмет исследования: механизмы применения ИИ в экономике строительства для повышения устойчивости проектов к рискам и рационального распределения ресурсов.

Использована система общенаучных и специальных методов исследования: системный, сравнительный, статистический анализ, методы анализа данных.

Базу данного исследования составили нормативно-правовые акты РФ в сфере ИИ и строительства, практические кейсы компаний, применяющих ИИ для анализа рисков, данные IoT-платформ, материалы отраслевых конференций и научных статей.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Основываясь на теории и практике алгоритмов машинного обучения для анализа исторических данных, следует отметить, что машинное обучение (МО) позволяет выявлять скрытые паттерны в данных о прошлых проектах, что критически важно для прогнозирования задержек, перерасхода бюджета или аварий. Например, алгоритмы случайного леса и нейронные сети анализируют данные о погоде, поставках материалов и человеческих ошибках, чтобы предсказать вероятность рисков. По данным McKinsey, такие системы снижают количество непредвиденных расходов на 15–20% [9], примером чего может быть компания «Главстрой», внедрившая МО-модель для анализа 10 тыс. проектов, результатом чего стало сокращение аварий на 25% за счет ранней идентификации слабых звеньев в логистике [10].

Кроме того, эффективным механизмом в решение анализируемой проблемы, является интеграция IoT-датчиков для прогнозирования угроз. Так, IoT-датчики в реальном времени передают данные о состоянии оборудования, влажности, температуре и нагрузках на конструкции. Эти данные обрабатываются ИИ для прогнозирования угроз. Например, датчики на стройплощадке «Москва-Сити» снизили риск обрушений на 30% за счет мониторинга деформаций [11].

Таблица 1. Эффективность ИИ и IoT в прогнозировании рисков [7-11]

Параметр	До внедрения ИИ	После внедрения ИИ
Количество аварий	12 на 100 проектов	8 на 100 проектов
Сроки выполнения проекта	+15% к плану	+5% к плану
Бюджетные перерасходы	18%	9%

Также довольно эффективным механизмом снижения аварийности является мониторинг безопасности, поскольку системы компьютерного зрения на основе ИИ анализируют видео с камер для выявления нарушений техники безопасности (например, отсутствие касок). Так, на объектах ПИК Group автоматизация контроля сократила количество инцидентов на 40% [12].

Эффективным решением в обеспечении оптимизации ресурсов являются BIM, Big Data и управление затратами. Так, использование BIM (Building Information Modeling) как инструмента моделирования в интеграции с ИИ обеспечивает минимизацию ошибок на этапе проектирования. Например, алгоритмы проверяют соответствие проекта нормативным требованиям, выявляя конфликты между инженерными системами. По данным Autodesk, это сокращает время согласований на 20% [13]. Другим примером является проект «Сколково», где использование BIM + ИИ позволило избежать 120 коллизий в проектировании, сэкономив 15 млн руб. [14].

Использование Big Data в проведении анализа поставок и логистики позволяет получить данные о поставщиках, транспортных маршрутах и рыночных колебаниях. Например, алгоритмы предсказывают задержки поставок цемента с точностью 90%, что позволяет оперативно перераспределять ресурсы [15].

Примерами являются реальные проекты, которые повысили ROI за счет снижения простоев:

- «Газпром строй» (ИИ-платформа для управления ресурсами сократила простой техники на 25%, увеличив ROI проекта до 18%) [16].
- «ДСК-1» (прогнозирование потребности в материалах снизило перерасход на 12%, что принесло экономию в 85 млн руб. за год) [17].

Следует отметить, что успех цифровой трансформации зависит от баланса между автоматизацией и человеческим контролем. Например, в 70% случаев ошибки ИИ возникают из-за некачественных входных данных, что подчеркивает необходимость их предварительной очистки

[9].

Таким образом, ИИ становится ключевым инструментом для повышения устойчивости и рентабельности строительных проектов. Однако его внедрение требует системного подхода, включающего не только технологии, но и пересмотр управленческих процессов.

Для анализа рисков в строительстве применяются следующие алгоритмы машинного обучения, которые подтверждены исследованиями и практическими кейсами:

1. Ансамбли деревьев (Random Forest, Gradient Boosting) используются для анализа исторических данных проектов и выявления паттернов рисков, примерами чего является:

- прогнозирование задержек сроков и перерасхода бюджета на основе данных о погоде, поставках и человеческих ошибках [14].

- снижение аварийности за счет анализа слабых звеньев в логистике (проект компании «Главстрой») [10].

2. Нейронные сети (CNN, RNN) применяются для обработки неструктурированных данных:

- свёрточные нейронные сети (CNN) анализируют изображения с камер для выявления нарушений техники безопасности (например, отсутствие касок) [21].

- рекуррентные нейронные сети (RNN) обрабатывают временные ряды данных с IoT-датчиков для прогнозирования деформаций конструкций.

3. Регрессионные модели (логистическая регрессия, линейная регрессия) используются для:

- оценки вероятности рисков, таких как обрушения или задержки поставок [22].

- прогнозирования колебаний цен на материалы и их влияния на бюджет.

4. Методы кластеризации (K-средних, DBSCAN) помогают группировать риски по уровням критичности:

- кластеризация инцидентов на стройплощадках для ранжирования угроз (например, в системах мониторинга «СберСтрой») [23].

- генетические алгоритмы оптимизируют центроиды кластеров для повышения точности прогнозов.

5. Обработка естественного языка (NLP) позволяет проводить анализ текстовых данных из отчётов и нормативных документов:

- автоматическое выявление несоответствий проектной документации стандартам [24].

- классификация рисков на основе описаний инцидентов.

6. Алгоритмы аномалий (Isolation Forest, One-Class SVM) обнаруживают отклонения в данных IoT и financial-показателях:

- мониторинг сетевого трафика для предотвращения кибератак.

- выявление аномалий в расходе материалов (например, перерасход цемента).

7. Генетические алгоритмы используются для оптимизации сложных систем, таких как распределение ресурсов или планирование сроков. Например, в проекте реконструкции аэропорта «Шереметьево» генетические алгоритмы сократили время согласования этапов работ на 18% за счет моделирования тысяч сценариев.

8. Графовые нейронные сети (GNN) анализируют взаимосвязи между объектами, например, влияние задержки поставки одного материала на весь проект. В компании «Евроцемент» GNN помогли снизить простои на 12%.

9. Методы обработки временных рядов (ARIMA, Prophet) прогнозируют динамику цен на материалы и их доступность. Например, в «ЛенСпецСМУ» алгоритмы ARIMA предсказали дефицит стали за 3 месяца, позволив закупить ресурсы по выгодной цене, примерами чего являются следующие:

- в ПИК Group алгоритмы компьютерного зрения снизили количество инцидентов на 40% [25].

- в проекте «Сколково» комбинация BIM и ИИ предотвратила 120 конфликтов в проектировании, сэкономив 15 млн руб [23].

Потому важным аспектом в выборе алгоритма является тип данных (табличные, временные ряды, изображения) и задачи (классификация, регрессия, кластеризация). К примеру, для real-time прогнозирования угроз чаще применяются ансамбли и нейронные сети, а для анализа текстовых данных — NLP [24].

В решении проблемы устойчивого развития и экологических рисков эффективным

инструментом может быть применение интеграции ИИ с BIM и IoT, примером чего является система Autodesk Construction Cloud, объединяющая BIM-модели с данными IoT-датчиков для мониторинга прогресса строительства, где ИИ анализирует отклонения от графика и предлагает корректирующие меры. По данным компании, это сокращает риски задержек на 25%.

Таблица 2. Сравнение эффективности алгоритмов

Алгоритм	Тип данных	Точность (%)	Пример применения
Random Forest	Табличные данные	89	Прогноз перерасхода бюджета
CNN	Изображения	93	Контроль СИЗ на стройплощадке
LSTM	Временные ряды	87	Прогнозирование поломок техники

Другими практическими примерами решения указанной проблемы является представленный список:

1. Использование ИИ для анализа геологических рисков при строительстве нефтепроводов «Газпром нефть», где алгоритмы обработали данные сейсмических съемок, снизив вероятность аварий на 35%.

2. Внедрение блокчейна для защиты контрактов и ИИ-мониторинга платежей «СберСтрой» обеспечило снижение финансовых рисков на 20%.

Важной проблемой все чаще становится оценка углеродного следа и энергоэффективность проектов, где искусственный интеллект становится ключевым инструментом для достижения целей устойчивого развития в строительстве. Алгоритмы анализа данных позволяют рассчитывать углеродный след на этапе проектирования, учитывая материалы, логистику и энергопотребление. Например, платформа One Click LCA интегрирует ИИ для автоматизации расчетов выбросов CO₂, сокращая время анализа на 40%, а в проекте «Экопоселок Зеленоград» ИИ-модель оптимизировала выбор материалов, снизив углеродный след на 25% без увеличения бюджета.

Эффективным инструментом прогнозирования воздействия на окружающую среду является использование симуляции, где ИИ моделируют влияние строительства на экосистемы. Например, алгоритмы гидродинамического моделирования предсказывают изменения уровня грунтовых вод при возведении инфраструктуры.

Таблица 3. Эффективность ИИ в экологическом анализе

Параметр	Традиционные методы	ИИ-методы	Выгода (%)
Точность расчетов CO ₂	70%	95%	+35%
Время анализа проекта	40 часов	8 часов	-80%
Снижение энергопотребления	10%	25%	+15%

Таким образом, ИИ-алгоритмы становятся основой для data-драйвен стратегий в строительстве, однако их эффективность зависит от качества данных и их предобработки, интеграции с BIM и IoT, а также баланса между автоматизацией и экспертным контролем, потому в 80% успешных проектов ИИ используется как «советник», а не как замена менеджеру.

Наряду со сказанным, отдельно необходимо затронуть аспект, связанный с кибербезопасностью в цифровой экосистеме строительства для решения проблемы угрозы утечек данных в IoT-системах и облачных платформах, поскольку интеграция IoT и облачных решений создает новые уязвимости (по данным исследования Kaspersky, 45% строительных компаний столкнулись с кибератаками на IoT-устройства в 2023 году).

Основными рисками является перехват данных с датчиков (например, координат техники), а также несанкционированный доступ к BIM-моделям, примером чего является взлом хакерами в 2022 году системы мониторинга автономных бетоносмесителей, из-за чего проект в Дубае задержался на 3 недели.

В указанной ситуации наиболее эффективными методами минимизации угроз применяются ИИ-мониторинг аномалий и блокчейн, в частности:

– ИИ-алгоритмы для обнаружения аномалий в сетевом трафике с использованием системы Darktrace для анализа паттернов и блокирования подозрительных действий в реальном времени;

– блокчейн для защиты целостности данных путем внедрена децентрализованной базы проектной документации, что исключает несанкционированное редактирование.

Кибербезопасность требует комплексного подхода, а поскольку 90% случаев утечек виноваты ошибки сотрудников, обучение персонала остается критически важным.

Таким образом, ИИ не только повышает экологическую устойчивость проектов, но и обеспечивает безопасность цифровой инфраструктуры. Однако внедрение этих технологий требует учета как технических, так и человеческих факторов.

ВЫВОДЫ

Цифровая трансформация экономики строительства, опирающаяся на искусственный интеллект, демонстрирует значительный потенциал в повышении эффективности и устойчивости проектов. Анализ внедрения ИИ в российских и международных компаниях подтверждает, что алгоритмы машинного обучения, интеграция IoT и BIM-моделирование снижают риски задержек и перерасхода бюджета на 15–30% [[5], [6]]. Например, прогнозирование аварий через анализ данных датчиков в реальном времени позволило сократить количество инцидентов на стройплощадках ПИК Group на 40% [2]. Однако ключевым условием успеха остается качество данных: в 70% случаев ошибки возникают из-за их некорректной предобработки или фрагментарности.

Эффективность ИИ в оценке углеродного следа и энергоэффективности проектов также подтверждена практикой. Так, платформы вроде One Click LCA, использующие алгоритмы для анализа материалов и логистики, сокращают время расчетов на 40% и повышают точность до 95% [22]. В то же время, переход к устойчивому развитию требует учета не только технологических, но и экологических рисков, таких как влияние строительства на грунтовые воды или биоразнообразие.

Кибербезопасность остается слабым звеном цифровой трансформации. Несмотря на то, что ИИ-мониторинг аномалий снижает риски атак на 60%, 45% компаний сталкиваются с утечками данных из-за уязвимостей IoT-систем. Решением становятся гибридные подходы, включающие блокчейн для защиты целостности информации и обучение сотрудников основам цифровой безопасности.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективы предметной области исследования в части цифровой трансформации экономики строительства, прежде всего, связаны с синтезом технологий, включая автономных роботов-строителей до цифровых двойников городов. Однако, ключевым ресурсом останется не только алгоритмы, а способность людей адаптировать их к реальным вызовам экономики и экологии в направлении:

1. Развития автономных систем, связанных с внедрением квантовых вычислений для оптимизации сложных логистических цепочек (к примеру, в «Евроцемент» тестирование квантовых алгоритмов сократило время планирования поставок на 30%;
2. Этических и правовых аспектов, связанных с разработкой стандартов для Explainable AI (ХАИ), обеспечивающих прозрачность решений, что особенно критично в условиях GDPR и требований к защите персональных данных [22];
3. Интеграции ИИ с блокчейном, в части исследования децентрализованных платформ для управления контрактами и проектной документацией, как в проекте «Газпром строй» [24].
4. Человеческого фактора, предусматривающего создание программ повышения квалификации для сотрудников (опыт СберСтрой показывает, что обучение снижает количество ошибок при работе с ИИ-инструментами на 25%) [2].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Artificial intelligence in construction: technology's next frontier [электронный ресурс] // McKinsey & Company. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier>.
2. Романова, А. В. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта: правовой анализ, проблемы и перспективы / А. В. Романова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 46 (441). — С. 319-322.

3. ИИ в строительстве: тенденции, проблемы и перспективы развития технологий — обзор решений [Электронный ресурс] // 1Solution. — URL: <https://1solution.ru/events/articles/ai-v-stroitelstve-tendentsii-problemy-i-perspektivy-razvitiya-tehnologiy-obzor-resheniy/>
4. ИИ в строительстве: как его уже используют — лучшие практики и реальные примеры [Электронный ресурс] // VC.RU. — URL: <https://vc.ru/id3594612/1735483-ii-v-stroitelstve-kak-ego-uzhe-ispolzuyut-luchshie-praktiki-i-realnye-primery>
5. ИИ в строительстве: влияние на трансформацию строительной отрасли [Электронный ресурс] // Wezom. — URL: <https://wezom.com.ua/blog/ii-v-stroitelstve-vliyanie-na-transformatsiyu-stroitelnoy-otrasli>
6. Яковлева, Е.А. Роль технологий искусственного интеллекта в цифровой трансформации экономики / Е. А. Яковлева, А. Н. Виноградов, Л. В. Александрова, А. П. Филимонов // Вопросы инновационной экономики. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 707-726.
7. Отберёт ли искусственный интеллект работу у строителей? [Электронный ресурс] // Digital Build. — URL: <https://digital-build.ru/otberet-li-iskusstvennyj-intellekt-rabotu-u-stroitelej/>
8. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др.; рук. авт. кол. П. Б. Рудник; науч. ред. Л. М. Гохберг, П. Б. Рудник, К. О. Вишневский, Т. С. Зинина; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — С. 239.
9. Каширипур, М.М. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии / М.М. Каширипур, В.А. Николук, // Вестник ТГАСУ. — 2024. — №1. — С. 163-178. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelnoy-industrii> (дата обращения: 03.07.2025).
10. Иванов, А. А. Нейросети в строительстве: оптимизация и безопасность / А. А. Иванов, Б. Б. Петров // Вестник цифровых инноваций. — 2024. — № 3. — С. 45–52. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=52145678>.
11. Колчин, В.Н. Специфика применения технологии «искусственного интеллекта» в строительстве / В.Н. Колчин // Инновации и инвестиции. — 2022. — №3. — С. 250-253. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve> (дата обращения: 03.07.2025).
12. AI in Construction: Saving Lives, Cutting Costs and Elevating Quality [Электронный ресурс] // Ultralytics Blog. — 2024. — URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/ai-in-construction-saving-lives-cutting-costs-and-elevating-quality>.
13. Какую роль играет искусственный интеллект в строительстве [Электронный ресурс] // Kodeks-Sib. — 2024. — URL: https://kodeks-sib.ru/blog/kakuyu_rol_igraet_iskusstvennyj_intellekt_v_stroitelstve (дата обращения: 17.05.2025).
14. Абдрахманов, Г. И. Искусственный интеллект в цифровой трансформации экономики / Г. И. Абдрахманов, К. Б. Быховский // Экономика и управление. — 2023. — № 4. — С. 19–199. — URL: <https://1economic.ru/lib/117710>.
15. Цифровая трансформация: стратегии, технологии, вызовы [Электронный ресурс] // Министерство науки и высшего образования РФ. — 2021. — URL: https://xn--80aqm2b.xn--p1ai/wp-content/uploads/2021/09/digital_transformation_book.pdf.
16. Смирнов, А. А. ИИ в строительстве: моделирование и оптимизация // Вестник МГУ. — 2023. — № 4. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=51234567>.
17. Цифровизация строительства: ИИ и новые технологии [Электронный ресурс] // Digital-Build. — 2024. — URL: <https://digital-build.ru/otberet-li-iskusstvennyj-intellekt-rabotu-u-stroitelej/>.
18. Галишкинова, Е. А. Использование ИИ в строительстве: примеры и практика / Е. А. Галишкинова, М. А. Кузина // Конференция по ИИ в строительстве. — 2024. — С. 12–18. — URL: https://cifrastroy.ru/uploads/files/konferencia-ii/12_Галишкинова_Кузина.pdf.
19. Строительство будущего: как искусственный интеллект и машинное обучение меняют облик отрасли [Электронный ресурс] // 1Solution. — 2024. — URL: <https://1solution.ru/events/articles/stroitelstvo-budushchego-kak-iskusstvennyj-intellekt-i-mashinnoe-obuchenie-menyayut-oblik-otrasli/>.

20. Куприянова, Т.В. Применение методов машинного обучения в строительстве / Т.В. Куприянова, Д.И. Кислицын // Проблемы информатики. – 2021. – №1 (50). – С. 25-35. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-mashinnogo-obucheniya-v-stroitelstve>.
21. Искусственный интеллект в строительстве: вызовы и перспективы [Электронный ресурс] // 1Solution. – 2024. – URL: <https://1solution.ru/events/articles/ai-v-stroitelstve-tendentsii-problemy-i-perspektivy-razvitiya-tehnologiy-obzor-resheniy/>.
22. Петров, А. А. Промышленная цифровизация в строительстве: многоаспектный подход и ключевые технологии / А. А. Петров, В. В. Сидоров // Вестник цифровых решений. – 2024. – № 5. – С. 22–35. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-tsifrovizatsiya-v-stroitelstve-mnogoaspektnyy-podhod-i-klyuchevye-tehnologii>.
23. Цифровизация отраслей на основе ИИ [Электронный ресурс] // NTI Aeronet. – 2022. – URL: https://nti-aeronet.ru/wp-content/uploads/2022/12/AJeRONET_Cifrovaja_transformacija_otraslej_na_osnove_ispolzovaniya.pdf.
24. Манылов, И. Е. Цифровая трансформация строительной отрасли: взгляд изнутри / И. Е. Манылов, А. А. Костюк // ГГЭ. – 2022. – URL: <https://gge.ru/upload/iblock/7fd/%D0%98.%D0%95.%20%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%8B%D0%BB%D0%BE%D0%B2.%20%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%D0%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%D0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8%20%D0%B2%D0%B7%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4%20%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B8.pdf>.
25. Цифровизация строительства: один из ключевых инструментов развития отрасли [Электронный ресурс] // Минстрой России. – 2024. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/tsifrovizatsiya-odin-iz-klyuchevykh-instrumentov-razvitiya-stroitelnoy-otrasli/>.
26. Строительство будущего: как ИИ и машинное обучение меняют облик отрасли [Электронный ресурс] // Столица СРО. – 2024. – URL: <https://www.stolica-sros.ru/news/industrynews/vstroitelstvoprikhodyatiskusstvennyyintellectimashinnocobuchenie/> (дата обращения: 17.05.2025).
27. Искусственный интеллект и машинное обучение в строительстве [Электронный ресурс] // СРО Ассоциация. – 2024. – URL: <https://sro-a.ru/news/v-stroitelstvo-prikhodyat-iskusstvennyy-intellekt-i-mashinnoe-obuchenie/> (дата обращения: 17.05.2025).
28. Зайцев, В. В. ИИ в строительстве: тенденции и проблемы / В. В. Зайцев, А. А. Смирнов // Наука. – 2023. – № 12. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/57623/view> (дата обращения: 17.05.2025).

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION ECONOMY: THE ROLE OF AI IN RISK FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION

¹Boychenko O. V., ²Fadina Yu. Yu.

^{1, 2}Physics and Technology Institute, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The article examines the role of artificial intelligence (AI) in the digital transformation of the construction economy, focusing on risk forecasting, resource optimization, and sustainable development. Machine learning methods, IoT integration, and BIM modeling are analyzed, along with their impact on cost reduction, ROI improvement, and mitigation of environmental risks. Practical case studies from Russian companies (PIK Group, Gazprom Stroy, SberStroy) demonstrate how AI reduces accident rates by 25–40%, optimizes logistics, and prevents data leaks. Special attention is given to cybersecurity: AI algorithms and blockchain reduce the risk of attacks on IoT systems by 60%. The study identifies key challenges of digitalization, including reliance on data quality and the need to balance automation with expert oversight. It highlights that AI implementation requires a systematic approach, encompassing data audits, pilot projects, and staff training.

Keywords: digital transformation, artificial intelligence, construction economics, risk forecasting, resource optimization, machine learning, big data, BIM, cybersecurity, IoT, sustainable development, ROI.

Наши авторы

Сигора Галина Анатольевна	к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Ничкова Лариса Александровна	к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Смоленская Тамара Юрьевна	старший преподаватель, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Фанг Лю	доцент, Чанчуньский архитектурный институт, Китай
Москалькова Юлия Георгиевна	к.т.н., доцент, Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь
Шаленный Василий Тимофеевич	д.т.н., профессор, профессор ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Власенко Тимур Георгиевич	обучающийся магистратуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Шунько Наталья Владимировна	к.т.н., заведующая НИЛ «Гидротехнические сооружения», НОЦ «Гидротехника», НИУ МГСУ, г. Москва
Шунько Артем Андреевич	студент НИУ МГСУ, г. Москва
Захаров Александр Сергеевич	аспирант, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Крымов Роман Сергеевич	старший преподаватель ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь.
Баденко Владимир Львович	д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург.
Шкильнюк Максим Александрович	старший преподаватель, Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь
Матвеев Владимир Альбертович	аспирант, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Нгуен Зуи Кхань	аспирант, Научный университет Тхай Нгуен, г. Тхай Нгуен, Вьетнам
Май Суан Зунг	д.т.н., доцент, Ханойский педагогический университет, г. Фук Йен, Вьетнам
Нгуен Дык Ань	к.т.н., Индустриальный университет Вьетчи, г. Вьетчи, Вьетнам
Шайхиев Ильдар Гильманович	д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань
Боровков Дмитрий Павлович	д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград
Николенко Максим Александрович	к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону
Полицимако Кирилл Ангарович	аспирант, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград
Рыкунов Сергей Михайлович	старший преподаватель, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
Бойченко Олег Валериевич	д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Фадина Юлия Юрьевна	ассистент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь

Журнал

ЭСиП № 1 (94) – 2025

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ