

Системные технологии

научно-практический
журнал

System technologies

scientific-practical
journal

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (ВАК)

Журнал является ежеквартальным научным изданием. В выпусках журнала публикуются научные статьи ученых, аспирантов и соискателей ученых степеней, студентов по актуальным проблемам различных отраслей науки, содержащие результаты собственных исследований авторов. Редакционная коллегия издания сформирована из ведущих российских и зарубежных ученых, представляющих академическое и вузовское сообщество.



thesystemtechnologies.com
системтех.рф

Системные технологии

научно-практический журнал

3 [56] 2025

System technologies

scientific-practical journal

Адрес редакции:

367025, респ. Дагестан, г. Махачкала,
пр. Акушинского, д. 21.
«Институт системных технологий»
Телефоны: 8 499 340-02-33; 8 8722 51-61-87
integralferma@gmail.com

Address of Editorial Office:

367025, rep. Dagestan, Makhachkala city,
Akushinskogo st, 21.
«Institute of system technologies»
Phone: +7 499 340-02-03; +7 8722 51-61-87
integralferma@gmail.com



web-сайт: системтех.рф
thesystemtechnologies.com

Научно-практический журнал Издаётся с 2011 г. Выходит 1 экземпляр в квартал Подписной индекс 45040	Scientific practical journal Published 2011 Issue every 3 month Index 45040
Журнал «Системные технологии» является периодическим ежеквартальным научным изданием. В выпусках журнала публикуются научные статьи ученых, аспирантов и соискателей ученых степеней, студентов по актуальным проблемам различных отраслей науки, содержащие результаты собственных исследований авторов. Редакционная коллегия издания сформирована из ведущих российских и зарубежных ученых, представляющих академическое и вузовское сообщество. Журнал входит в систему РИНЦ, CyberLeninka, ВИНИТИ РАН. Научно-практический журнал «Системные технологии» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ №ФС77-46161 от 12 августа 2011г.	

Главный редактор канд. физ.-мат. наук.	А. К. Курбанмагомедов	Editor in Chief Cand. physical -mat. sciences.	A. K. Kurbanmagomedov
Заместитель главного редактора (ответственный за рубрику Строительство) канд. техн. наук, профессор	Г. Э. Окольников	Deputy Editor-in-Chief (responsible for the heading Construction)	G. E. Okolnikova
Заместитель главного редактора (ответственный за рубрику Архитектура) канд. арх., профессор, член-корреспондент РАН	Е. Г. Трибельская	Deputy Editor-in-Chief (responsible for the Architecture heading)	E. G. Tribelskaya

Редакционная коллегия

Председатель ред.коллегии д-р техн. наук, профессор	А. В. Иванайский	Московский политехнический университет
д-р архитектуры, профессор	Е. Р. Возняк	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
д-р техн. наук, профессор, чл.-к. РААСН	М. М. Батдалов	Дагестанский государственный технический университет
д-р техн. наук, профессор	Е. М. Морозов	Московский инженерно-физический институт
канд. техн. наук, профессор	Г. Э. Окольников	Российский университет дружбы народов
д-р физ.-мат. наук, профессор	М. К. Гусейханов	Институт системных технологий
д-р физ.-мат. наук, профессор	В. П. Красин	Московский политехнический университет
д-р физ.-мат. наук, профессор	О. Б. Бутусов	Московский политехнический университет
д-р физ.-мат. наук, профессор	Г. С. Жукова	Финансовый университет при Правительстве РФ
д-р архитектуры, профессор	Ю. С. Янковская	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
д-р физ.-мат. наук	М. Д. Коваленко	Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН
канд. техн. наук, доцент	Р. Т. Бржанов	Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш.Есенова
д-р физ.-мат. наук, профессор	Е. А. Пушкар	Московский политехнический университет
канд. техн. наук	С. М. Халаби	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	Р. Л. Шаталов	Московский политехнический университет
д-р техн. наук, профессор	В. В. Гурьев	ОАО «Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования»
д-р техн. наук, профессор	И. Н. Тихонов	НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
канд. техн. наук, профессор	Н. К. Пономарев	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	А. В. Корнилова	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	В. Н. Сидоров	Российский университет транспорта (МИИТ)
д-р. архитектуры, профессор	Г. Н. Черкасов	Московский архитектурный институт
канд. архитектуры, доцент	О. Л. Банцеров	Московский государственный строительный университет
канд. техн. наук, доцент	Е. В. Орлов	Московский государственный строительный университет
канд. физ.-мат. наук	Т. С. Хачлаев	МИРЭА — Российский технологический университет
д-р техн. наук, доцент	Р. С. Федюк	Дальневосточный федеральный университет
д-р техн. наук, профессор	Б. М. Языев	Донской государственный технический университет

The editorial Board

The Chairman of Editorial Board Dr. Sc. (Eng.), Prof.	A.V. Ivanayskiy	Moscow Polytechnic University
Dr. Architecture, Professor	E. R. Voznyak	Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Dr. Sc. (Eng.), Prof., Cor.-m. of RAACS	M. M. Batdalov	Dagestan state technical university
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	E. M. Morozov	Moscow engineering physics Institute
Cand. Sc. (Eng.), Prof.	G. E. Okolnikova	RUDN University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	M. K. Guseyhanov	Institute of system technologies
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	V. P. Krasin	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	O. B.Butusov	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	G. S. Jukova	Financial University under the Government of the Russian Federation
Dr. Architecture, Prof.	Y. S. Yankovskaya	Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Dr. Sc. (Phys.-Math.)	M. D. Kovalenko	Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics RAS
Cand. Sc. (Eng.), Assistant Prof.	R. T. Brzhanov	Yessenov University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	E. A. Pushkar	Moscow Polytechnic University
Cand. Sc. (Eng.)	S. M. Halabi	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	R. I. Shatalov	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	V. V. Guryev	OJSC «Moscow Research and Design Institute of Typology, Experimental Design»
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	I. N. Tikhonov	NIYZHB them. A.A. Gvozdev
Cand. Sc. (Eng.), Prof.	N. K. Ponomarev	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	A.V. Kornilova	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	V. N. Sidorov	Russian University of Transport (MIIT)
Dr. Architecture, Prof.	G. N. Cherkasov	Moscow Architectural Institute
Cand. Architecture, Associate Prof.	O. I. Bantserova	Moscow State University of Civil Engineering
Cand. Tech. Sciences, Associate Prof.	E. V. Orlov	Moscow State University of Civil Engineering
Cand. Sc. (Phys.-math.)	T. S. Khachlaev	MIREA — Russian Technological University
Dr. Sc. (Eng.), Assistant Prof.	R. S. Fediuk	Far Easten Federal University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	B. M. Yaziev	Don State Technical University

СТРОИТЕЛЬСТВО

И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, М. А. Закирова
Теория ограничений в энергетическом строительстве: критическая цепь
как инструмент ускорения сроков и повышения рентабельности.....5

Г. В. Алтунин
Актуальные проблемы применения систем биологической очистки сточных вод.....15

А. Е. Качаев, В. В. Сорока, Я. И. Хитров
Анализ результатов численного моделирования устойчивости откоса
гидротехнического сооружения с подпорной стенкой SRM и SAM методами.....20

Д. В. Абрамкина, К. М. Фатуллаева
Возможность организации естественного воздухообмена
в помещении по содержанию крупного рогатого скота.....32

И. Н. Гарькин, Г. И. Фазылзянова
Применение тепловизионной диагностики для мониторинга
и сохранения объектов культурного наследия.....41

Ю. С. Захаров
Определение толщины стенки новой полимерной трубы при восстановлении
трубопроводов безнапорных систем водоотведения класса состояния IIIа.....49

К. М. Фатуллаева
Фактический воздухообмен в квартирах многоэтажного жилого здания.....60

Т. В. Чернышова, Е. А. Чернышова, А. А. Титков
Проблемы внедрения информационных технологий и автоматизации
в работе органов по оценке соответствия строительных материалов.....69

В. К. Мусаев
Вычислительная волновая теория сейсмической безопасности в задаче
определения напряженного состояния подземного сооружения.....76

АРХИТЕКТУРА

С. Е. Гурьева, Н. А. Керимова
Задачи сохранения и использования водно-болотных угодий в городской среде.....93

Ю. А. Жук, Е. А. Королев, Д. М. Костева, О. О. Карпцова
Благоустройство пространства с использованием малых архитектурных
форм и мультимедийных решений на основе персонажей Чуковского.....111

П. И. Ипатова, А. В. Пономарев
К вопросу о принципах проектирования в условиях глобальных
климатических изменений. Концепция домостроения.....119

Е. М. Сапожкова
Современные проблемы градостроительной организации жилых районов в современных условиях.....127

А. В. Панфилов
Фасади́зм как инструмент реновации исторической застройки:
опыт и перспективы применения на примере города Тверь.....136

К. А. Сергеева, М. А. Торопкина
Полевые и сорные растения как инструмент решения экологических проблем в городской среде.....143

О. А. Гефнер, А. В. Романов
Международный опыт проектирования велосипедных дорожек.....154

О. В. Кефала
Организация туристических комплексов на территории исторических деревень Заонежья.....161



УДК 620.9:69
doi: 10.48612/dnitii/2025_56_5-14

ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
КРИТИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ КАК ИНСТРУМЕНТ УСКОРЕНИЯ СРОКОВ
И ПОВЫШЕНИЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ

И. Н. Гарькин *
Л. С. Сабитов **
М. А. Закирова **

* Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва
** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

Анализируется применение Теории ограничений (ТОС) при оптимизации строительно-монтажных работ на энергетических объектах. Анализируется актуальность использования вычислительных методов ТОС в организации сложных строительных процессов. На основе выявленных ограничений предлагаются подходы к совершенствованию управления проектами, приводится упрощённый математический пример. Обсуждаются перспективы дальнейшей интеграции ТОС в практику энергетического строительства.

Ключевые слова

Теория ограничений, строительно-монтажные работы, энергетика, критическая цепь, оптимизация, управление проектами, узкое место.

Дата поступления в редакцию

29.09.2025

Дата принятия к печати

06.10.2025

Развитие энергетической инфраструктуры сопровождается реализацией крупномасштабных инвестиционно-строительных программ, характеризующихся высокой технологической и организационной сложностью, множественностью заинтересованных сторон и повышенным уровнем интегрированных рисков. К ключевым негативным факторам относятся несвоевременность выполнения работ, превышение плановых бюджетов, отклонения по срокам поставок критического оборудования, а также нерациональное распределение трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов. Совокупность указанных факторов приводит к росту транзакционных издержек, снижению предсказуемости сроков ввода объектов в эксплуатацию и ухудшению экономической эффективности капитальных вложений [1, 2].

В ответ на данные вызовы в управлении проектами энергетического сектора в последние десятилетия возрастающее распространение получили методологические подходы к операционной и ка-

лендарно-ресурсной оптимизации. Среди них особое место занимает Теория ограничений (ТОС), представляющая собой системную парадигму повышения пропускной способности за счет идентификации, эксплуатации и последовательного снятия ограничений в цепочке создания ценности. В контексте проектного управления ТОС позволяет выявлять структурные и динамические «узкие места» в критических потоках работ, логистике поставок и принятии решений, обеспечивая целенаправленную фокусировку управленческого внимания и ресурсов на факторах, формирующих доминирующее влияние на сроки и стоимость.

Методологическая база ТОС в проектах опирается на ряд взаимодополняющих инструментов:

- Проектный буферный менеджмент (Critical Chain Project Management, CCPM), предусматривающий построение сетевой модели по критической цепи с учетом ресурсных ограничений, внедрение буферов времени (проектного, фидерных и ресурсных) и их активный мониторинг по показателям потребления буфера для оперативного управления рисками сроков.
- Мыслительные процессы ТОС (Thinking Processes) для причинно-следственного анализа конфликтов, построения диаграмм текущей и будущей реальности, формулирования целевых условий и разработки программ изменений, устраняющих системные причины хронических задержек и перерасхода.
- Drum-Buffer-Rope (DBR) и его адаптация к среде многопроектного исполнения, позволяющие синхронизировать загрузку критических ресурсов, ограничивать незавершенное производство и минимизировать многозадачность, снижающую производительность инженерных и строительных подразделений.

Применение ТОС в энергетическом строительстве обеспечивает следующие эффекты:

- Сокращение продолжительности реализации программ за счет уменьшения мультипликативных потерь от вариабельности и многозадачности, а также за счет приоритизации работ по влиянию на критическую цепь.
- Повышение надежности сроков за счет буферного управления, позволяющего переводить стохастическую неопределенность в управляемые индикаторы состояния проекта.
- Снижение совокупной стоимости через уменьшение сверхурочных, штрафов за просрочку, оптимизацию графиков мобилизации/демобилизации подрядчиков и сокращение складских запасов критических материалов.
- Рост пропускной способности портфеля проектов путем ограничения запуска новых инициатив в соответствии с доступностью узких ресурсов и стандартизации правил приоритизации.

Интеграция ТОС с другими подходами — такими как метод критического пути (CPM/PERT), продвинутое календарно-ресурсное планирование, бережливое производство (Lean) и управление рисками на базе вероятностного моделирования (например, Монте-Карло) — позволяет сформировать целостную систему управления, в которой стратегические и оперативные решения согласованы с реальными ограничивающими факторами. В энергетических проектах это особенно актуально в условиях длинных циклов поставок высокотехнологичного оборудования, сложной координации между проектированием, разрешительными процедурами и строительно-монтажными работами, а также высокой зависимости от надежности субподрядной сети.

Практическая реализация ТОС предполагает:

- Диагностику ограничений на уровне портфеля, проекта и ключевых ресурсов (инженерные компетенции, специализированная техника, узловые подрядчики, окна отключений).
- Перестройку планов по принципу критической цепи с явной защитой сроков посредством буферов и отказом от локальной оптимизации по отдельным участкам графика.
- Внедрение визуального мониторинга потребления буферов и правил эскалации, обеспечивающих своевременное принятие корректирующих мер.
- Управление политиками запуска и приоритизации работ для минимизации многозадачности и выравнивания загрузки узких ресурсов.
- Непрерывное улучшение через цикл «идентифицировать — воспользоваться — подчинить — увеличить — вернуться к началу», гарантирующий устойчивое снятие ограничений по мере трансформации системы.

Таким образом, Теория ограничений выступает эффективным научно-практическим инструментом для повышения результативности и предсказуемости реализации капиталоемких проектов энергетической инфраструктуры. Ее применение позволяет переводить управление из режима реактивного устранения последствий в режим проактивного контроля ключевых ограничений, что обеспечивает рост производительности, соблюдение целевых сроков и улучшение экономических показателей программ развития.

Традиционные методологии календарно-сетевого планирования строительства, включая метод критического пути (СРМ), обладают ограниченной способностью к учёту ресурсных взаимодействий и стохастической природы выполнения работ. В частности, они зачастую предполагают неограниченную доступность ресурсов или рассматривают ресурсные ограничения постфактум, что приводит к возникновению локальных перегрузок, каскадных простоев и нерелевантной оптимизации на уровне отдельных пакетов работ. В контексте энергетического строительства, характеризующегося высокой капиталоемкостью, жёсткими регуляторными рамками, сложной координацией междисциплинарных команд и существенными штрафами за нарушение сроков ввода, данные методологические ограничения трансформируются в систематические отклонения графиков и рост совокупной стоимости владения активом. Следовательно, возникает потребность в управленческом инструменте, который обеспечивает фокусировку управленческого внимания и ресурсов на доминирующих ограничениях производственной системы, минимизирует совокупное время цикла проекта и снижает вариативность сроков за счёт синхронизации потоков работ и буферизации неопределённости.

Теория ограничений (ТОС) предлагает парадигму системного управления потоком создания ценности, в которой производительность системы определяется пропускной способностью наиболее узкого звена. В строительстве это узкое звено может проявляться как ограничивающий ресурс (бригада, специализированная техника), технологический участок, доступ к площадке, регуляторная процедура или критическая зависимость поставок. Применение ТОС в проектном управлении предполагает циклическую процедуру целенаправленного улучшения, включающую:

1) Идентификацию системного ограничения.

Проводится структурно-функциональный анализ сети работ с учётом ресурсных компетенций и календарных ограничений. Используются метрики пропускной способности, загрузки/выработки, коэффициенты вариативности длительностей и вероятностные профили задержек. Дополнительно применяются методы анализа бутылочных горлышек на основе симуляции Монте-Карло и ресурсно-ограниченного сетевого анализа.

2) Эксплуатацию ограничения и субординацию системы.

Формируется режим максимальной полезной загрузки ограничивающего фактора при обеспечении его ритмичности и непрерывности. Остальные работы субординируются такту ограничения через выравнивание приоритетов, настройку последовательности и ограничение незавершённого производства (WIP). Вводятся механизмы управления очередями, канбан-лимиты на фронт работ, а также политики ускоренного обеспечения доступностью материалов и решений для узкого места.

3) Поднятие ограничения и непрерывное совершенствование.

Реализуются мероприятия по наращиванию пропускной способности (перераспределение квалифицированного персонала, дублирование критического оборудования, модификация технологии, контрактные стимулы поставщиков), после чего проводится переидентификация нового системного ограничения, что замыкает цикл улучшений. Поддерживается культура экспериментирования и оперативной обратной связи на основе данных фактического исполнения.

В проектной среде энергетического строительства применяется метод критической цепи (ССРМ) как адаптация ТОО к управлению сроками с явным учётом ограничений ресурсов и неопределённости длительностей. В отличие от СРМ, критическая цепь строится с учётом ресурсной доступности и конкурентного использования ключевых компетенций, что позволяет получить реалистичный путь, действительно лимитирующий срок проекта.

Ключевые элементы методологии ССРМ:

- **Буферы проекта и буферы питания.** Индивидуальные «скрытые запасы» времени на задачах агрегируются в централизованные буферы, размещаемые в конце критической цепи и на входах ветвей питания. Это снижает эффект синдрома студента и закона Паркинсона, концентрируя управление неопределённостью в контролируемых точках.
- **Буфер управления ресурсами.** Для высокодефицитных ресурсов формируются временные буферы/защёлки, сглаживающие микроколебания в доступности и предотвращающие простои критических бригад.
- **Правила приоритезации.** Выполнение задач регулируется индикаторами потребления буфера (Buffer Consumption Index) и относительного продвижения, что обеспечивает объективную диспетчеризацию и раннее предупреждение о рисках.
- **Контроль вариативности.** Используются эмпирические коэффициенты усеживания длительностей (например, планирование по агрессивным оценкам, близким к квантилю 50%, с последующей буферизацией на уровне сети), а также регулярный пересчёт буферов на основе фактических данных.

Для объектов генерации, подстанций и ЛЭП метод ССРМ позволяет:

- синхронизировать деятельности гражданского строительства, электромонтажа, ПНР и поставок крупногабаритного оборудования под такт узких ресурсов (крановые окна, высококвалифицированные бригады, окна отключений);
- снизить суммарные простои за счёт ограничения параллелизма, создающего конкурентный спрос на дефицитные ресурсы, и управляемого запуска работ (release control);
- повысить предсказуемость сроков ввода за счёт буферов, калиброванных по данным исторической производительности и логистической вариативности, включая таможенно-транспортные риски и погодные окна;

- поддерживать контрактные модели ЕРС/ЕРСМ через прозрачные метрики исполнения: процент потребления буфера, индекс стабильности такта, профиль критической цепи.

Предлагаем следующие методические рекомендации по внедрению:

- **Диагностика и подготовка данных.** Провести аудит ресурсной и процессной модели, нормализовать справочники работ, ресурсов и производственных норм, сформировать базовую кривую производительности.
- **Построение ресурсно-ограниченной сети.** Сформировать логику зависимостей с учётом технологической последовательности, окон доступа и матрицы компетенций, затем определить критическую цепь.
- **Проектирование буферов.** Рассчитать размеры буферов исходя из распределений длительностей и исторической вариативности; назначить буферы проекта, питания и ресурсов.
- **Настройка оперативного управления.** Внедрить визуализацию потребления буферов, регулярные короткие циклы контроля (например, 3–5 дней), правила запуска задач, а также процедуры эскалации при превышении порогов потребления.
- **Организационные изменения.** Обучить участников принципам субординации системе ограничения, пересмотреть KPI в сторону пропускной способности и надёжности сроков, внедрить политику ограничения WIP.
- **Непрерывное улучшение.** Использовать постпроектный анализ для перекалибровки буферов, обновления норм и уточнения идентификации ограничений.

Ожидаемые эффекты:

- сокращение календарной длительности проектов за счёт устранения скрытых запасов и снижения вариативности,
- рост пропускной способности критических ресурсов и уменьшение суммарных простоев,
- повышение точности прогнозов сроков и качества управленческой отчетности,
- оптимизация совокупных затрат жизненного цикла посредством снижения штрафов за срыв сроков, удешевления мобилизаций/демобилизаций и лучшей координации поставок.

Таким образом, применение принципов ТОС и метода критической цепи в энергетическом строительстве обеспечивает системно-ориентированное планирование и управление, фокусирующееся на реальном ограничении производственного потока, и предоставляет механизмы управляемой буферизации неопределённости, что приводит к устойчивому сокращению сроков и повышению надёжности исполнения проектов.

Рассмотрим упрощённую задачу календарно-ресурсного планирования монтажа оборудования подстанции, включающая три последовательно выполняемых этапа: подготовительные работы (А), монтаж (Б), пусконаладочные работы (В). Целевая функция — минимизация общей продолжительности проекта при фиксированном ограничении по ресурсу «монтажные бригады».

Исходные данные

- **Этап А:** потребность — 1 бригада, длительность — 5 календарных дней.
- **Этап Б:** потребность — 2 бригады, длительность — 8 календарных дней.
- **Этап В:** потребность — 1 бригада, длительность — 3 календарных дня.
- **Доступный пул ресурсов:** 2 бригады (постоянно доступны).

- **Технологическая зависимость:** строго последовательная логика $A \rightarrow B \rightarrow V$ (без перекрытия по фронтам работ), при этом допустимы параллельные вспомогательные операции, не нарушающие технологических ограничений.

При наивной последовательной организации работ общая длительность равна сумме длительностей этапов: $5 + 8 + 3 = 16$ дней. Ресурсные ограничения соблюдаются, однако не учитываются возможности создания защитных буферов, синхронизации у переходов между этапами и упреждающей подготовки.

Применение принципов Теории ограничений (ТОС)

Ключевой ограничивающий ресурс — бригады. Этап Б является «узким местом» по потребности в ресурсе (требуется обе бригады) и по влиянию на критический маршрут. Цель — выстроить график и буферизацию вокруг узкого места, минимизируя потери на переходах и незначимые простои.

Методологические элементы

- **Идентификация узкого места:** этап Б как ресурсоемкая операция с полной загрузкой пула.
- **Защитные буферы:** формирование временно-ресурсного буфера до входа на Б за счет вспомогательных параллельных работ (логистика, комплектование, подготовка рабочих мест), выполняемых второй бригадой, пока первая занята на А.
- **Синхронизация:** завершение А «точно к моменту» готовности Б, обеспечивая старт Б обеими бригадами без лагов.
- **Управление потоком:** приоритизация работ, влияющих на вход в Б, и ограничение незавершенного производства перед узким местом.

Оценка эффекта

- В период выполнения А (5 дней) одна бригада занята на А, вторая осуществляет подготовительно-обеспечивающие операции, устраняя потенциальные срывы старта Б (материалы, допуски, ППР, подготовка площадки, разграничение зон, инструменты).
- На границе $A \rightarrow B$ обеспечивается синхронный перевод обеих бригад на Б с нулевым или минимальным переходным лагом.
- Сокращение суммарной длительности достигается за счет устранения непроизводительных перерывов между этапами и частичной перекрываемости вспомогательных работ с А. При типовой организационно-технологической структуре это дает уменьшение общей длительности на 2–3 дня относительно 16-дневного базового плана, то есть ориентировочно до 13–14 дней.
- Этап В стартует немедленно по завершении Б одной бригадой, вторая может быть перераспределена на подготовку последующих объектов или завершение сопутствующих работ, не влияя на срок.

Формализация подхода

- Модель можно представить в терминах детерминированного RCPSP (Resource-Constrained Project Scheduling Problem) с единственным дискретным ресурсом (бригады) и жесткими предшествованиями.
- ТОС-интервенции эквивалентны введению буферов проекта и буферов питания узкого места, а также политике приоритетов «драм-буфер-канат» для этапа Б.
- Оптимизационные процедуры: жадные эвристики с приоритетом критического узла (Б), буферное управление сроками, либо смешанные целочисленные модели с бинарными пе-

ременными запуском/окончанием работ и ограничениями на суммарную загрузку ресурса не более двух.

Практические аспекты реализации

- **Регламентация подготовки:** чек-листы готовности к старту Б (комплектность материалов, инструмента, проектной документации, разрешений), чтобы исключить стартовые задержки.
- **Календарно-сетевое планирование:** фиксация даты «барабана» — целевого старта Б и подчинение подготовительных операций этому рубежу.
- **Мониторинг WIP:** ограничение накопления незавершенного объема перед Б до минимально достаточного буфера.
- **Управление рисками:** создание временного буфера проекта на выходе Б для поглощения стохастических колебаний производительности и поставок.

Количественная иллюстрация перераспределения

- **День 1–5:** Бригада 1 — этап А; Бригада 2 — параллельная подготовка и логистика под Б (не увеличивает длительность критического маршрута, но сокращает переходный лаг).
- **День 6–13/14:** Обе бригады — этап Б без стартовой задержки.
- **День 14/15–16/17:** Бригада 1 — этап В; Бригада 2 — вспомогательные/завершающие операции.

Итоговый диапазон общей длительности: 13–14 дней при условии дисциплины исполнения и отсутствия внешних задержек.

Перспективы развития и цифровая интеграция

- **Интеграция с BIM:** связывание графика работ (4D) и ресурсов (5D) с информационной моделью объекта для автоматической проверки готовности зон, выявления коллизий и управления допусками.
- **Системы мониторинга ресурсов:** IoT-метки, цифровые пропуска, трекинг оборудования и средств малой механизации для подтверждения готовности к старту узкого этапа.
- **Автоматизированные системы управления строительством (АСУ):** единый план-факт контур с буферным управлением по ТОС, визуализация статуса буферов, автоматическая эскалация при сжатию буфера.
- **Модели машинного обучения:** прогноз узких мест на горизонте 1–3 недели по телеметрии, поставкам и историческим производственным ритмам; рекомендательные алгоритмы по перераспределению бригад и формированию динамических буферов.
- **Оптимизационные цифровые двойники:** сценарный анализ «что-если» для стресс-тестирования графика, валидации планов ускорения и оценки влияния сбоя поставок на узкое место.
- **Сквозная прослеживаемость данных:** интеграция ERP/SCM, систем снабжения и строительной площадки для упреждающего обеспечения узкого места.

Выводы

Применение принципов ТОС к ресурсно-ограниченному монтажу позволяет за счет фокусировки на узком месте, буферизации и синхронизации работ сократить суммарную длительность проекта на 10–20% без увеличения ресурсного пула. Цифровая интеграция с BIM, системами мони-

торинга и АСУ усиливает эффект, обеспечивая раннее выявление ограничений, адаптивное перераспределение ресурсов и устойчивость графика к вариативности внешней среды.

Заключение

Применение методологического аппарата Теории ограничений к управлению строительно-монтажными работами на энергетических объектах обеспечивает значимое повышение экономической эффективности проектов за счет целенаправленного управления узкими местами производственно-логистической системы. Фокус на системном ограничении позволяет увеличить сквозную пропускную способность, снизить совокупные издержки и обеспечить более предсказуемое достижение целевых сроков.

Интеграция метода критической цепи с традиционными инструментами календарно-сетевого планирования формирует устойчивую к возмущениям архитектуру управления сроками и ресурсами. Использование буферов проекта, питания и ресурсов, а также буферного менеджмента позволяет компенсировать стохастические отклонения, уменьшить эффект многозадачности и локальной оптимизации, сократить скрытые запасы времени и минимизировать риск перерасхода трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

Практические результаты внедрения включают:

- сокращение длительности критических и полукритических потоков работ за счет синхронизации по ограничению и приоритизации запуска задач;
- повышение точности прогнозирования благодаря регулярной буферной диагностике и ранней индикации отклонений;
- снижение вариативности исполнения через стандартизированные правила запуска, ограничение незавершенного производства и выверенное распределение ограниченных ресурсов (краны, высококвалифицированные бригады, окна отключений);
- улучшение рентабельности за счет роста throughput при контролируемом уровне операционных расходов, а также сокращения штрафов за просрочку и дополнительных затрат на мобилизацию.

Методологическая состоятельность подхода подтверждается его соответствием принципам системной инженерии и управлению рисками: идентификация и верификация главного ограничения, разработка целевых интервенций (elevate/subordinate), циклическая переоценка узких мест по мере изменения конфигурации проекта, а также количественная оценка буферов на основе исторической вариативности и допусков поставщиков/подрядчиков.

Для энергетического строительства, характеризующегося высокой капиталоемкостью, сложной межоперационной координацией, зависимостями от поставок технологического оборудования и жесткими регуляторными окнами, применение критической цепи обеспечивает дополнительно:

- повышение готовности к внешним возмущениям (логистика крупнотоннажного оборудования, погодные ограничения, технологические перерывы);
- совместимость с контрактными моделями ЕРС/ЕРСМ и смешанными цепочками поставок через прозрачные правила приоритизации и критерии приемки;
- улучшение управляемости портфеля проектов посредством унифицированной метрик буферного состояния и сквозной визуализации ограничений.

Таким образом, Теория ограничений и метод критической цепи, будучи внедренными в контур планирования и оперативно-диспетчерского управления строительно-монтажными работами энер-

гетических объектов, формируют научно обоснованный и практически валидированный каркас, позволяющий одновременно сокращать сроки реализации, снижать риски перерасхода ресурсов и повышать рентабельность при сохранении требуемого уровня надежности и качества. Рекомендовано институционализировать данные практики в регламентах управления проектами, обеспечить обучение ключевых ролей принципам буферного менеджмента и внедрить систему регулярной аналитики по динамике ограничений и эффективности их эскалации.

Библиографический список

1. Абдуллазянов Э. Ю., Сабитов Л. С., Попов А. О., Гарькин И. Н. Геотехнический расчет влияния строительства объектов энергетики на окружающую застройку // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2025. Т. 17. № 1 (65). С. 3–9.
2. Липидус А. А., Олейник П. П. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 4. С. 70–74.
3. Абдуллазянов Э. Ю., Сабитов Л. С., Гарькин И. Н., Закирова М. А. Ресурсно-оптимизационный подход при ремонтных работах на объектах энергетического строительства башенного типа // Строительное производство. 2025. № 2. С. 105–111.
4. Захаров Ю. С. Долгосрочное планирование капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей // Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 64–71. — DOI 10.48612/dnitii/2024_53_64-71. — EDN DFHONQ.
5. Теличенко В. И., Липидус А. А., Слесарев М. Ю., Али М. М. Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. № 2. С. 166–177.
6. Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Пеньковцев С. А. Выбор рационального типа поперечного сечения опор // Приволжский научный журнал. 2014. № 4 (32). С. 90–94.
7. Кузин Н. Я., Багдоев С. Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 2. С. 79–82.
8. Окольников, Г. Э. Обследование и оценка остаточной несущей способности конструкций студенческого общежития / Г. Э. Окольников, М. Е. Еришов, А. С. Малафеев // Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 129–137. — DOI 10.48612/dnitii/2024_50_129-137. — EDN GFSBCI.
9. Клюев С., Клюев А. В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом устойчивости равновесия // Фундаментальные исследования. 2008. № 9. С. 62.
10. Жданова М. В., Липидус А. А. Сокращение продолжительности сроков жизненного цикла строительного проекта // Строительство и архитектура. 2024. Т. 12. № 4 (45). С. 6.

**THEORY OF CONSTRAINTS IN POWER ENGINEERING: CRITICAL CHAIN
AS A TOOL FOR SPEEDING UP TIME AND INCREASING PROFITABILITY**

I. N. Garkin^{*}
L. S. Sabitov^{**}
M. A. Zakirova^{**}

^{*} Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

^{**} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

Application of the Theory of Constraints (TOC) in optimizing construction and installation works at power facilities is analyzed. The relevance of using computational methods of TOC in organizing complex construction processes is analyzed. Based on the identified constraints, approaches to improving project management are proposed, and a simplified mathematical example is given. Prospects for further integration of TOC into the practice of power engineering construction are discussed.

The Keywords

Theory of Constraints, construction and installation works, power engineering, critical chain, optimization, project management, bottleneck.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

06.10.2025

Ссылка для цитирования:

И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, М. А. Закирова. Теория ограничений в энергетическом строительстве: критическая цепь как инструмент ускорения сроков и повышения рентабельности. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 5 – 14.



УДК 628.35

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_15-19

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Г. В. Алтунин

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург

Аннотация

Статья посвящена истории развития систем биологической очистки стоков и совершенствованию методов и технических средств на современном этапе. Проанализированы процессы биологической очистки стоков, выявлены основные принципиальные типы и этапы данного процесса, приведена типология. Дан сравнительный анализ различных систем биологической очистки, приведены положительные и отрицательные моменты каждого из типов. Дополнительно уточнено, что технология биологической очистки сточных вод развивалась не по одному, а по нескольким параллельным направлениям. Выявлены основные преимущества применения биологических систем очистки сточных вод. В современных условиях энергосбережения и рационального природопользования биологическая очистка сточных вод является наиболее экологичной, так как при данном процессе из естественного круговорота веществ не выводятся элементы, а одно загрязнение не переходит в другую форму. Выявлены положительные экономические аспекты применения биологических методов очистки стоков, так как главный компонент сооружений при данном процессе — активный ил или биопленка, являются самовоспроизводимыми.

Ключевые слова

Очистка сточных вод, активный ил, аэробный метод, анаэробный метод, биофильтр, аэротенк.

Дата поступления в редакцию

29.09.2025

Дата принятия к печати

11.10.2025

Принцип действия биологических методов по очистке сточных вод основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества в процессе жизнедеятельности. Совокупность методов биологической очистки сточных вод условно можно разделить на два типа. Условия очистки методами первого типа приближены к естественным. Очистка загрязненных стоков методами второго типа осуществляется в искусственно созданных установках и сооружениях. К первому типу относятся поля фильтрации и поля орошения, представляющие собой земельные участки, на которых очистка сточных вод происходит за счет инфильтрации сквозь слои грунта. К этому же типу можно отнести биологические пруды, которые представляют собой водоемы, в которых очистка сточных вод основана на принципе самоочищения водоемов [1, с. 54].

Второй тип методов биологической очистки сточных вод составляют две большие группы: аэробные и анаэробные. При аэробных методах очистка стоков производится микроорганизмами, способными поглощать растворенный в сточных водах кислород. Анаэробные методы очистки сточных вод характеризуются отсутствием доступа к кислороду, в данном случае используются микроорганизмы, способные осуществлять свою жизнедеятельность без кислорода [2, с. 115].

Аэробные методы очистки сточных вод включают в себя такие системы как аэротенки и биофильтры. При использовании аэротенков очистка производится посредством активного ила — биоценоза колоний бактерий и простейших организмов. В процессе очистки сточные воды проходят сквозь массу активного ила, в результате чего происходит деструкция органических веществ микроорганизмами и разложение их до простых элементов [3, с. 33]. Специфика функционирования данной системы состоит в поддержании биомассы во взвешенном состоянии с непрерывной аэрацией перемешивающими устройствами. После аэротенка смесь сточных вод и активного ила поступает во вторичный отстойник, где осуществляется их разделение. После чего происходит рециркуляция активного ила обратно в аэротенк, а очищенные стоки поступают в водоем.

Биофильтр представляет собой резервуар, в котором очистка сточных вод осуществляется путем их фильтрации загрузочным материалом, покрытым биологической пленкой, состоящей из колоний микроорганизмов. Загрязненные стоки попадают на поверхность загрузочного материала путем водораспределительных устройств. Видовой состав микроорганизмов, составляющих биопленку, шире, чем в системах аэротенков. Аэробные микроорганизмы биопленки используют органические вещества, содержащиеся в загрязненных стоках, в качестве источника питания, разлагая их до простых веществ [4, с. 129]. В данной системе очистки функция биопленки та же, что и функция активного ила в аэротенках. В качестве загрузочного материала используются пористые вещества с невысокой плотностью и большой площадью поверхности частиц: керамзит, щебень, гравий, — в качестве альтернативных материалов могут применяться пластмассы, асбестоцемент, керамика [5, с. 119].

Принцип действия биофильтров состоит в том, что загрязненные стоки пропускаются через фильтрующую загрузку, функция которой — механическая очистка от нерастворенных твердых частиц. Дальнейшая биологическая очистка осуществляется путем взаимодействия стоков с биопленкой. Часть органических веществ, содержащихся в стоках, становится основой для увеличения непосредственно самой биомассы пленки. Осуществляется очистка стоков и рост колонии микроорганизмов. Поступление кислорода в загрузочный материал осуществляют воздухораспределительные устройства естественной или искусственной вентиляции. Отфильтрованные стоки удаляются из биофильтра путем дренажных устройств с последующим поступлением в естественные водоемы.

В зависимости от пропускной способности биофильтры делятся на две группы: с малой пропускной способностью, или капельные, и с большой пропускной способностью, или высоконагружаемые. В биофильтрах с малой пропускной способностью применяется естественная система аэрации, а с большой — и естественную, и искусственную. Высоконагружаемые биофильтры с искусственной системой вентиляции называются аэрофильтрами. В зависимости от типа загрузочного материала различают биофильтры с объемной загрузкой, где в качестве загрузочного материала выступают керамзит, щебень, гравий, и плоскостной, где в качестве загрузки могут применяться пластмассы, асбестоцемент, керамика. Среди биофильтров с плоскостной загрузкой выделяются погружные, в которых загрузочный материал располагается ниже отметки поверхности воды. Подобные системы менее чувствительны к токсичным веществам.

Анаэробные методы очистки сточных вод включают в себя различные септиктеристики, сбраживатели и биофильтры с обратной фильтрацией. Принцип работы заключается в очистке загрязнен-

ных стоков путем разложения органических веществ определенными видами бактерий, способных функционировать без доступа кислорода [6, с. 436]. Схема устройства анаэробных систем представлена на рис. 3 Приложения 1. Септиктенки используются в системе городских очистных сооружений и представляют собой резервуары-отстойники, где осевший ил подвергается анаэробному разложению [7, с. 94]. Подобные системы эксплуатируются при температуре 30–35 °С, а период очистки стоков значительно выше, чем у аэробных методов и составляет около 20 суток. Сброженный ил впоследствии утилизируется [8, с. 36]. Анаэробные сбраживатели получили широкое применение для анаэробной очистки стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий [9, с. 185]. Эффективно применение анаэробных систем для очистки загрязненных стоков предприятий пищевой промышленности, а также стоков, образуемых при ведении интенсивного животноводства [10, с. 18].

Анаэробные методы не получили широкого применения ввиду ряда ограничений. Необходимость применения пористых насадок, ограничения по взвесям, трудоемкость очистки предопределили высокую стоимость данной системы.

Методы биологической очистки сточных вод превосходят другие способы по ряду показателей. Они характеризуются низким энергопотреблением, автономностью функционирования, отсутствием вредных химических веществ, примесей и взвесей [11, с. 128]. К преимуществам биологических методов можно отнести: компактность, универсальность при применении для различного типа стоков, функционирование без дополнительного утепления, отсутствие неприятных запахов, так как процесс жизнедеятельности микроорганизмов проходит без выделения газов, высокая степень очистки [12, с. 207].

Однако, биологические методы очистки сточных вод имеют ряд определенных недостатков. Сооружения с применением биологических методов являются энергозависимыми, так как требуется поддержание определенного уровня насыщенности кислородом и температуры с целью сохранения жизнедеятельности бактерий. Подобная система оснащена сложным оборудованием, требующим постоянного контроля. Системы биологической очистки рассчитаны на постоянную непрерывную эксплуатацию, и перерывы в работе могут привести к гибели колонии микроорганизмов [13, с. 45].

На сегодняшний день методы биологической очистки сточных вод являются самыми эффективными, экологичными и экономически целесообразными. Данные методы позволяют, во-первых, обеспечить высокую степень очистки сточных вод, а, во-вторых, являются химически безопасными.

Методы биологической очистки сточных вод имеют ряд значительных преимуществ. Бактерии расщепляют вредные вещества, содержащиеся в стоках, до простых элементов (газ и вода), одновременно вовлекая высвободившиеся вещества в природный круговорот. При биологических методах очистки сточных вод из естественного круговорота веществ не выводятся элементы, а одно загрязнение не переходит в другую форму. Подобное преимущество позволяет обеспечить рациональное природопользование. С экономической точки зрения биологические методы менее ресурсозатратные и требуют меньших расходов при эксплуатации. Главные компоненты сооружений по биологической очистке сточных вод — активный ил или биопленка, являются самовоспроизводимыми.

Несмотря на видимые преимущества методы биологической очистки имеют ряд серьезных недостатков, главными из которых являются энергозависимость и эксплуатационная сложность.

На сегодняшний день остается актуальной проблема поиска экономически эффективного метода очистки сточных вод, наносящий минимальный урон экологии. Существующие биологические методы очистки не в полной мере отвечают современным требованиям по защите окружающей среды от негативного воздействия. Несмотря на всю свою эффективность, сооружения с применением данных методов все еще занимают значительные площади территорий, изымаемых из естественного природного оборота, которые могли бы использоваться в рекреационных целях. Очищенные стоки,

выпускаемые в естественные водоемы, по химическому составу все еще далеки от природного. Одним из путей решения данной проблемы может быть повторное вовлечение очищенных стоков в хозяйственный оборот для мытья улиц или полива газонов, а также в промышленном производстве.

Библиографический список

1. *Коришунова Т. Ю.* Микробиологические процессы на очистных сооружениях / *Т. Ю. Коришунова, Н. Н. Силищев, О. Н. Логинов.* — Уфа: Издательство «Реактив», 2005. — 62 с.
2. *Лукиных Н. А.* Методы доочистки сточных вод / *Н. А. Лукиных, Б. Л. Липман, В. П. Криштул.* — М.: Издательство «Стройиздат», 1978. — 160 с.
3. *Макаренко Э. Н.* Использование симбиоза микробных ассоциаций для интенсификации биологической очистки сточных вод / *Э. Н. Макаренко, Н. И. Касторной, Н. В. Смолина.* Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ, 2003. — С. 32–36.
4. *Лихачев, В. В.* Совершенствование процессов биологической очистки целлюлозно-бумажных фабрик путем внедрения альтернативных методов очистки сточных вод // *Вестник Белорусско-Российского университета.* — 2022. № 1. — С. 128–135.
5. *Кобелева, И. В., Сироткин, А. С., Вдовина, Т. В.* Наноструктурированные реагенты на основе железа в процессах биологической очистки сточных вод // *Теоретическая и прикладная экология.* — 2020. № 4. — С. 117–120.
6. *Кузнецов, А. Е.* Биологическая очистка сточных вод с регулируемым окислительным воздействием (ров-технология) // *Актуальная биотехнология.* — 2020. № 3. — С. 435–438.
7. *Большаков Н. Ю.* Биологическая очистка городских сточных вод / *Н. Ю. Большакова.* — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009. — 94 с.
8. *Колесников, В. П., Ксенофонтов, Б. С., Черникова, Л. Ю., Почуев, Н. А.* Комбинированные сооружения биологической очистки сточных вод и опыт утилизации избыточного активного ила // *Безопасность жизнедеятельности.* — 2021. № 10. — С. 36–42.
9. *Владимцева, И. В., Могилевская, И. В., Колотова, О. В., Древин, В. Е.* Магнитоуправляемые микроорганизмы для биологической очистки промышленных сточных вод // *Социально-экологические технологии.* — 2020. № 2. — С. 185–200.
10. *Петрова, Г. В., Буракаева, А. Д., Сорокун, С. В.* Повышение эффективности биологической очистки сточных вод убойного цеха птицефабрики для их дальнейшего использования в орошении // *The Scientific Heritage.* — 2021. № 80. — С. 17–20.
11. *Роговская, Ц. И.* Биохимический метод очистки производственных сточных вод / *Ц. И. Роговская.* — М.: Издательство «Стройиздат», 1967. — 140 с.
12. *Анисимов, Ю. П., Попов, Ю. А.* Факторы, влияющие на эффективность биологической очистки сточных вод // *Инженерный вестник Дона.* — 2020. № 10. — С. 207–218.
13. *Денисов А. А.* Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод / *А. А. Денисов.* — М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. — 45 с.

ACTUAL PROBLEMS OF APPLICATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS

G. V. Altunin

St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg

Abstract

The article is devoted to the history of the development of biological wastewater treatment systems and the improvement of methods and technical means at the present stage. The processes of biological wastewater treatment are analyzed, the main principal types and stages of this process are identified, and the typology is given. A comparative analysis of various biological purification systems is given, the positive and negative aspects of each type are given. It is additionally clarified that the technology of biological wastewater treatment has developed not in one, but in several parallel directions. The main advantages of using biological wastewater treatment systems have been identified. In modern conditions of energy conservation and rational use of natural resources, biological wastewater treatment is the most environmentally friendly, since this process does not remove elements from the natural cycle of substances, and one pollution does not change into another form. The positive economic aspects of the use of biological wastewater treatment methods have been identified, since the main component of structures in this process is activated sludge or biofilm, which are self-reproducible.

The Keywords

Wastewater treatment, activated sludge, aerobic method, anaerobic method, biofilter, aerotank.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

11.10.2025

Ссылка для цитирования:

Г. В. Алтунин. Актуальные проблемы применения систем биологической очистки сточных вод. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 15 – 19.



УДК 622.27

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_20-31

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ С ПОДПОРНОЙ СТЕНКОЙ SRM И SAM МЕТОДАМИ

А. Е. Качаев *

В. В. Сорока **

Я. И. Хитров **

* Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна

** Коломенский институт Московского политехнического университета, г. Коломна

Аннотация

Надежная эксплуатация гидротехнических сооружений различного назначения и обеспечение их долговечности являются важными задачами современного гражданского и инженерного строительства. В исследовании рассмотрена тема использования и обоснования численных методов для анализа устойчивости элементов объектов гидротехнического назначения. Цель исследования — проведение сравнительного анализа методов снижения прочности (SRM) и анализа напряжений (SAM) при численном моделировании устойчивости неоднородного откоса гидротехнического сооружения с бетонной подпорной стенкой, а также обоснование их совместного применения при расчетах подобных сооружений. В исследовании приводится расчётная модель гидротехнического сооружения с железобетонной подпорной стенкой в конечных элементах (в программном комплексе GTS NX 2022 R1). При моделировании устойчивости объекта для грунтов использовалась модель Мора-Кулона, для железобетонной густоармированной подпорной стенки — модель Elastic. Определено, что для исследуемой конструкции коэффициенты устойчивости по рассматриваемым методам отличаются друг от друга на 12,38% (в сравнении: по методу SMR – $FoS_{min} = 1,2125$, по методу SAM – $FoS_{min} = 1,1383$). Обоснована необходимость комбинирования SRM и SAM — методов в расчетах подобного рода, что снижает риск недооценки опасности и повышает надёжность оценки устойчивости элементов конструкции объектов гидротехнического назначения.

Ключевые слова

Метод снижения прочности, метод анализа напряжений, устойчивость, откос, коэффициент устойчивости.

Дата поступления в редакцию

11.10.2025

Дата принятия к печати

13.10.2025

Введение

Обеспечение безопасности и долговечности гидротехнических сооружений — одна из приоритетных задач современного гражданского и инженерного строительства [1, 2]. Особое значение при

этом имеет оценка устойчивости откосов в подобных сооружениях, таких как плотины, дамбы, подпорные стенки и другие гидротехнические конструкции. Нестабильность или разрушение откосов могут привести к серьезным последствиям: экологическим катастрофам, уничтожению инфраструктуры, человеческим жертвам и значительным экономическим убыткам. В связи с этим, актуальность своевременной и точной оценки устойчивости откосов в гидротехнических сооружениях становится всё более очевидной [3].

Рост нагрузок на гидротехнические сооружения в результате изменения гидрологических условий, интенсивного развития городской и сельской инфраструктуры, а также возникновения новых требований к проектированию приводит к необходимости использования современных и более точных методов анализа устойчивости элементов объектов гидротехнического назначения. При сложных геотехнических условиях, неоднородности грунтов, а также наличия подпорных стен и других элементов конструкции, традиционные методы оценки устойчивости могут не дать полной картины ситуации, что повышает риск принятия ошибочных решений при проектировании и эксплуатации объектов гидротехнического назначения [4, 5].

В числе современных методов численного моделирования активно применяются методы SRM (Strength Reduction Method) — метод снижения прочности и SAM (Stability Analysis Method) — метод анализа напряжений [6, 7].

Метод SRM основывается на пошаговом снижении прочностных характеристик грунта до тех пор, пока не обнаружится нарушение устойчивости сооружения. Этот подход позволяет получить критические параметры рабочего состояния объекта и определить факторы его безопасности на протяжении всего жизненного цикла [8].

Метод SAM включает применение различных математических моделей и алгоритмов для оценки вероятности и характера возможных деформаций и разрушений откосов (и других элементов грунтовых сооружений), а также оценки их устойчивости на основе моделирования силовых (силовые факторы и моменты) и геометрических параметров [9].

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа методов SRM и SAM при численном моделировании устойчивости неоднородного откоса гидротехнического сооружения с подпорной стенкой на неоднородном основании, а также обоснование совместного использования SRM и SAM — методов при расчетах подобных сооружений.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при проектировании, эксплуатации и аварийном мониторинге гидротехнических сооружений, направлены на повышение уровня их безопасности, снижение рисков разрушений и способствуют развитию более устойчивых и рациональных конструктивных решений для устройства насыпных откосов объектов гидротехнического назначения.

Методы исследования

Объектом исследования является защитное гидротехническое сооружение из насыпных грунтов с железобетонной густоармированной подпорной стенкой на местных грунтах (*рис. 1*). При моделировании устойчивости откоса объекта исследования для насыпи и грунта использовалась модель Мора-Кулона [10, 11], для густоармированного железобетона бетона использовалась модель — Elastic [11, 12].

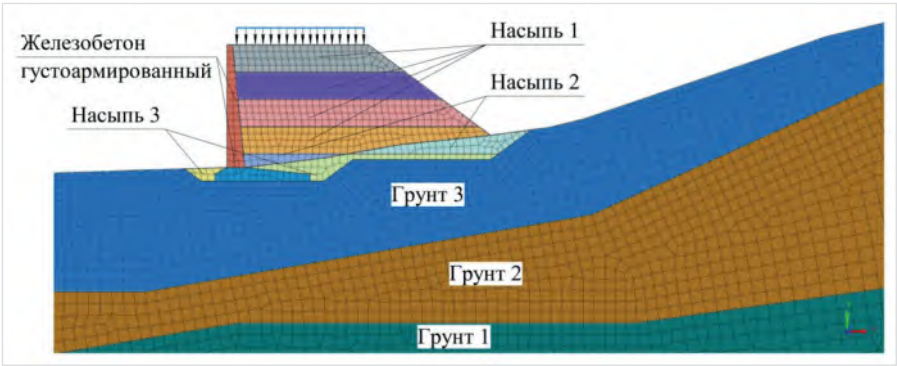


Рис. 1. Расчетная модель исследуемого объекта в конечных элементах

В табл. 1 показаны исходные данные по инженерно-геологическим изысканиям для насыпи. Насыпь выполнена слоями, как показано на рис. 1. На насыпь действует вертикальная погонная нагрузка равная 20 кН/м, а в самой модели учитывается собственный вес всех элементов, рассматриваемого объекта.

Таблица 1

Исходные данные материалов насыпи для численного моделирования устойчивости гидротехнического сооружения с подпорной стенкой

Параметры	Величина		
	Насыпь 1	Насыпь 2	Насыпь 3
1	2	3	4
Удельный вес грунта при естественной влажности, кН/м ³	18	19,2	19,5
Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м ³	20	20,8	21,1
Начальный коэффициент пористости	0,45	0,42	0,42
Эффективный модуль Юнга, кН/м ²	25000	25100	25900
Коэффициент Пуассона	0,3	0,3	0,3
Модуль сдвига, кН/м ²	9615,38	9870,2	10005,5
Касательный одометрический модуль деформации, кН/м ²	33653,8	33540,2	33570,5
Угол внутреннего трения, рад	29	36	36
Угол дилатансии, рад	0	0	0
Коэффициент фильтрации по оси X	1	1	1
Коэффициент фильтрации по оси Y	1	1	1

В табл. 2 приведены данные для местных подстилающих грунтов и железобетонной подпорной стенки. Подпорная стенка представляет собой единое железобетонное монолитное изделие и моделируется как вертикальный объект, соединенный с горизонтальной железобетонной густоармированной подушкой, опирающейся на слой насыпи 3 (как показано на рис. 1).

По приведенным исходным данным в соответствии с целью научного исследования было выполнено численное моделирование устойчивости не подпертого железобетонной стенкой откоса объекта гидротехнического назначения по методам SRM и SAM в программном комплексе GTS NX 2022 R1 от компании MIDAS в плоской постановке. При этом для данного объекта устойчивость вертикальной подпорной стенки из железобетона на опрокидывание и скольжение по подошве обеспечена.

Таблица 2

Исходные данные материалов подстилающих грунтов
и железобетонной подпорной стенки

Параметры	Величина			
	Железо-бетон	Грунт 1	Грунт 2	Грунт 3
1	2	3	4	5
Удельный вес грунта при естественной влажности, кН/м ³	25	20,1	22,6	18,2
Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м ³	26,5	20,1	22,6	20,3
Начальный коэффициент пористости	0,67	0,67	0,35	0,64
Эффективный модуль Юнга, кН/м ²	2·10 ⁷	27600	32100	24200
Коэффициент Пуассона	0,2	0,3	0,3	0,3
Модуль сдвига, кН/м ²	8,33·10 ⁶	10615,4	12346,2	9307,69
Касательный одометрический модуль деформации, кН/м ²	2,22·10 ⁷	37153,8	43211,5	32576,9
Угол внутреннего трения, рад	36	20,7	25,3	37,7
Угол дилатансии, рад	0,5	0	0,3	3,5
Коэффициент фильтрации по оси X	0,864	0,0008	0,05	2
Коэффициент фильтрации по оси Y	0,864	0,0008	0,05	2

Для достижения поставленной цели исследования использовались следующие методы численного моделирования:

1. Метод снижения прочности (Strength Reduction Method, SRM)

Представляет собой численную технику оценки устойчивости грунтовых откосов и других геотехнических конструкций за счёт поэтапного снижения прочностных характеристик грунта — угла внутреннего трения и сцепления. Идея состоит в том, чтобы моделировать процесс ухудшения свойств грунта до момента, когда неподпертый откос потеряет устойчивость [13].

В исходной исследуемой модели для этого метода задаются реальные значения прочностных параметров грунта (сцепление c и угол внутреннего трения φ) [14]. Прочностные характеристики систематически уменьшаются посредством коэффициента снижения прочности, эквивалентного коэффициенту устойчивости (factor of safety, FoS) на каждом цикле расчёта. Выполняется численное моделирование (методом конечных элементов, МКЭ), при этом отслеживается деформация и напряжённое состояние объекта.

Преимуществом SRM-метода является возможность детального моделирования сложных геометрических объемов с неоднородностью грунта. Метод не требует заранее заданных поверхностей сдвига, поскольку определяется автоматически в процессе моделирования. Хорошо подходит для анализа сложных взаимодействий между грунтовыми массивами и конструкциями (например, с подпорными стенками). Позволяет визуализировать зоны пластических деформаций, увидеть очаги возможного разрушения грунтового массива.

2. Метод анализа напряжений (Stability Analysis Method, SAM)

Это более широкий класс методик, включающих как аналитические, так и численные подходы, направленные на оценку устойчивости откосов с учётом всех воздействующих сил и особенностей конструкции. Метод SAM обычно базируется на балансовых методах, критических сечениях, а также на моделировании предельных состояний откоса [13].

Типичные подходы SAM-метода включают: предел равновесия (limit equilibrium methods), где производится баланс сил и моментов для предполагаемой поверхности сдвига; вероятностные методы, учитывающие статистическую неопределенность прочностных параметров и нагрузок; численные модели, основанные на решении уравнений прочности, деформируемости и взаимодействия с элементами сооружения.

С помощью SAM-метода формируется модель откоса, включая его геометрию, характеристики грунтов и конструктивные элементы (например, подпорные стенки), определяются потенциальные поверхности скольжения и возможные механизмы разрушения грунтового массива.

Выполняется расчет устойчивости по этому методу при помощи выбранного аналитического или численного подхода — таким образом, получаются коэффициенты запаса устойчивости или вероятность разрушения грунтового массива; с его помощью также анализируются влияние внешних факторов (водонапор, сейсмические нагрузки, изменение уровня грунтовых вод) на объект расчета.

Преимуществами SAM-метода являются широкий инструментарий для выбора метода, исходя из конкретных задач и доступных данных, возможность учитывать разнообразные физические процессы, включая влияние воды, динамические нагрузки и др., поддержка вероятностного подхода для управления рисками и неопределённостями. Данный метод хорошо подходит для инженерной практики и нормативного проектирования.

В комплексных задачах гидротехнического строительства часто целесообразно использовать оба подхода совместно — сначала провести предварительную оценку устойчивости с помощью SAM-метода, а затем уточнить критические параметры и поведение откоса с помощью SRM-метода. Такого принципа будем придерживаться и в нашем исследовании.

Основная часть

В процессе нагружения исследуемой конструкции особое внимание уделялось определению факторов устойчивости насыпи, подпираемой вертикальной стенкой из бетона. На **рис. 2** показаны изополя полных перемещений в сооружении под действием собственного веса и погонной загрузки, равной 20 кН/м.

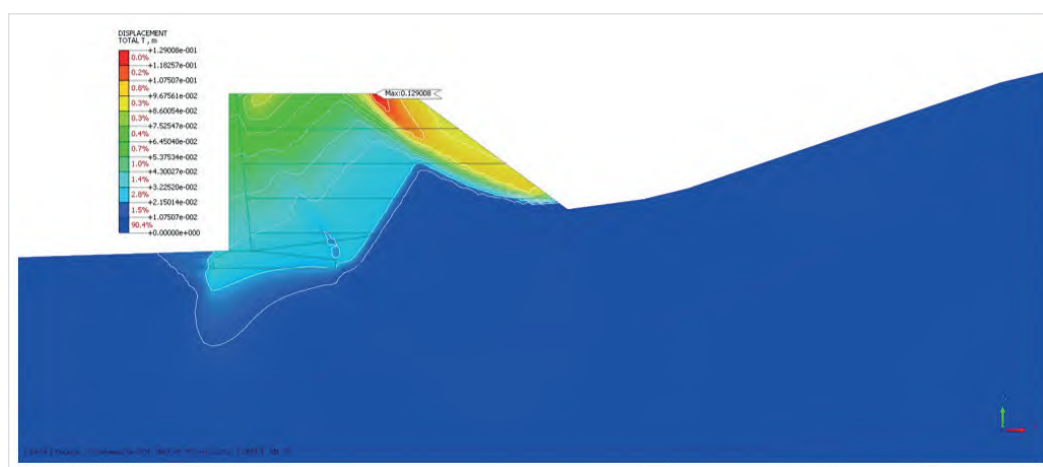


Рис. 2. Изополя полных перемещений в исследуемом сооружении при сохранении устойчивости по методу SMR

По **рис. 2** видно, что максимальные перемещения, равные 0,1290 м возникают в верхней части откоса, что соответствует опыту численных расчетов различных исследователей [15 – 17]. Изополя

полных перемещений показывают, что образуются круглоцилиндрические плоскости скольжения грунтовых слоев откоса, при этом наблюдаются перемещения грунта в верхней части насыпи, соприкасающееся с подпорной стенкой. Такие перемещения свидетельствуют об условиях опрокидывания вертикальной конструкции бетонной подпорной стены по аналогии как показано на *рис. 3*.

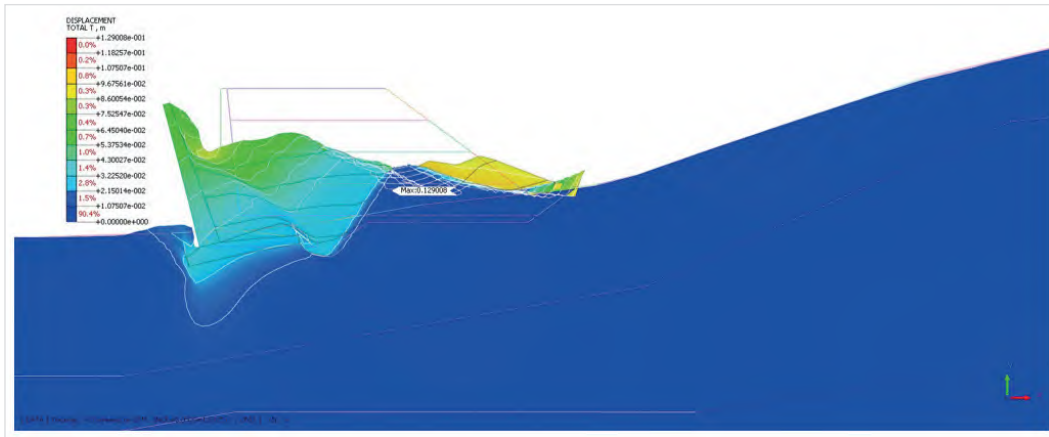


Рис. 3. Изополя полных перемещений в исследуемом сооружении при потере устойчивости по методу SMR: разрушен откос и опрокинута подпорная стенка

На *рис. 3* наблюдается разрушение откоса насыпного гидротехнического сооружения и опрокидывание вертикальной бетонной подпорной стенки, наблюдаем недостаточную несущую способность насыпи 3 и грунта 3. При этом необходимо отметить, что перемещения в модели вызваны прежде всего распределенной нагрузкой на насыпь, массой самой насыпи и подпорной стенки, а также уровнем грунтовой воды, которая заложена в расчетной модели на стадии расчета напряженно-деформированного состояния всего сооружения. Эти показатели учитывались в расчете фильтрации и консолидации данного объекта гидротехнического назначения и являются главными факторами, которые влияют на показатель устойчивости откоса.

Также отметим, что подстилающие грунты 2 и 3 мало деформируются и уплотняются. По этим материальным слоям наблюдаются минимальные перемещения и деформации, стремящиеся к нулю. Следовательно, можем заключить, что грунты 2 и 3 обладают высокой несущей способностью для исследуемой конструкции насыпи с подпорной стенкой.

На *рис. 4* и *5* продемонстрирован результат численного расчета коэффициента устойчивости (factor of safety, FoS) откоса сооружения, который и является целевой функцией настоящего исследования для данного объекта гидротехнического назначения. Из изополей на *рис. 4* заключаем, что при максимальном значении (относительной) эквивалентной деформации, равном 0,121958, в круглоцилиндрической поверхности откоса, полученной по методу SAM, наблюдается $FoS_{min} = 1,1383$, при этом численно в этом примере смоделирован параметр $FoS_{min} = 1,2125$ по методу SMR. Расхождение между ними составляет 12,38 %. Что для результатов численного моделирования условий существования откоса в устойчивом состоянии можно считать удовлетворительным. Устойчивость насыпного откоса будет зависеть, прежде всего, от соотношения суммарных сил, приложенных к грунтам на этом откосе, к суммарным моментам, вызванным сдвиговыми усилиями, тангенциально касающимися круглоцилиндрической поверхности, которая определяет минимальную величину коэффициента устойчивости, как показано на *рис. 4*.

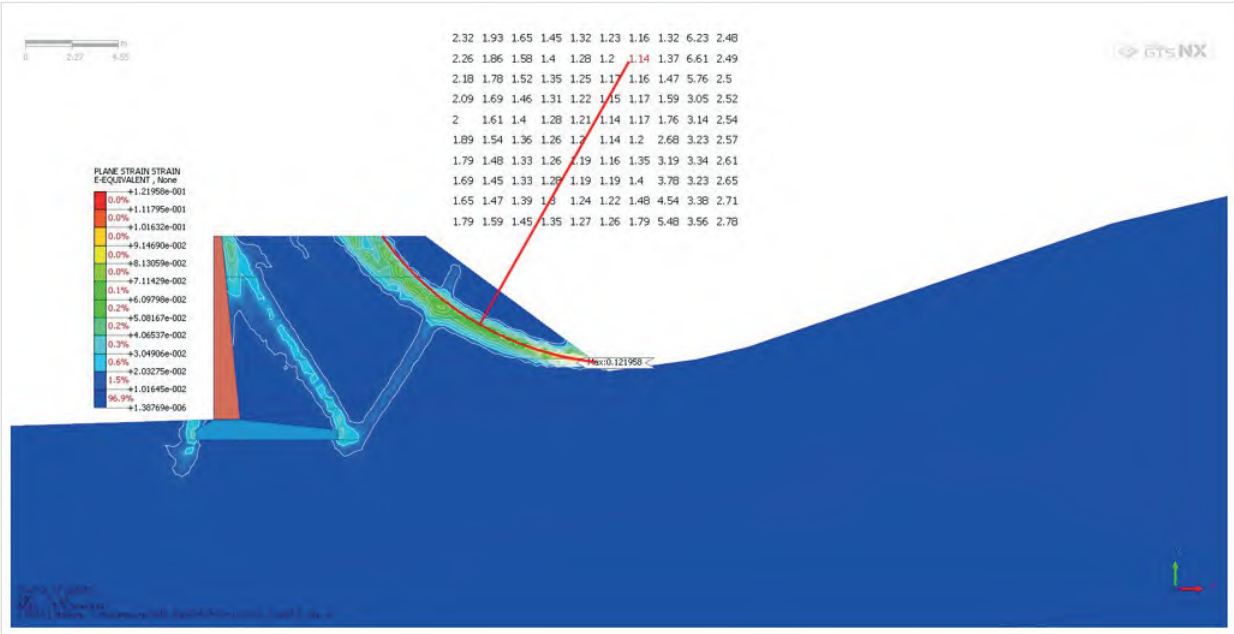


Рис. 4. Изополю эквивалентных деформаций в исследуемом сооружении при сохранении устойчивости по методу SMR $FoS_{min} = 1,2125$ ($FoS_{min} = 1,1383$ по методу SAM — красная дуга круглоцилиндрической диаграммы скольжения)

На рис. 5 получена круглоцилиндрическая поверхность для исследуемого откоса с $FoS_{max} = 2,54$, что говорит нам о возможно большем обрушении не только откоса насыпи, но и откоса, образованного подстилающими грунтами местного залегания.

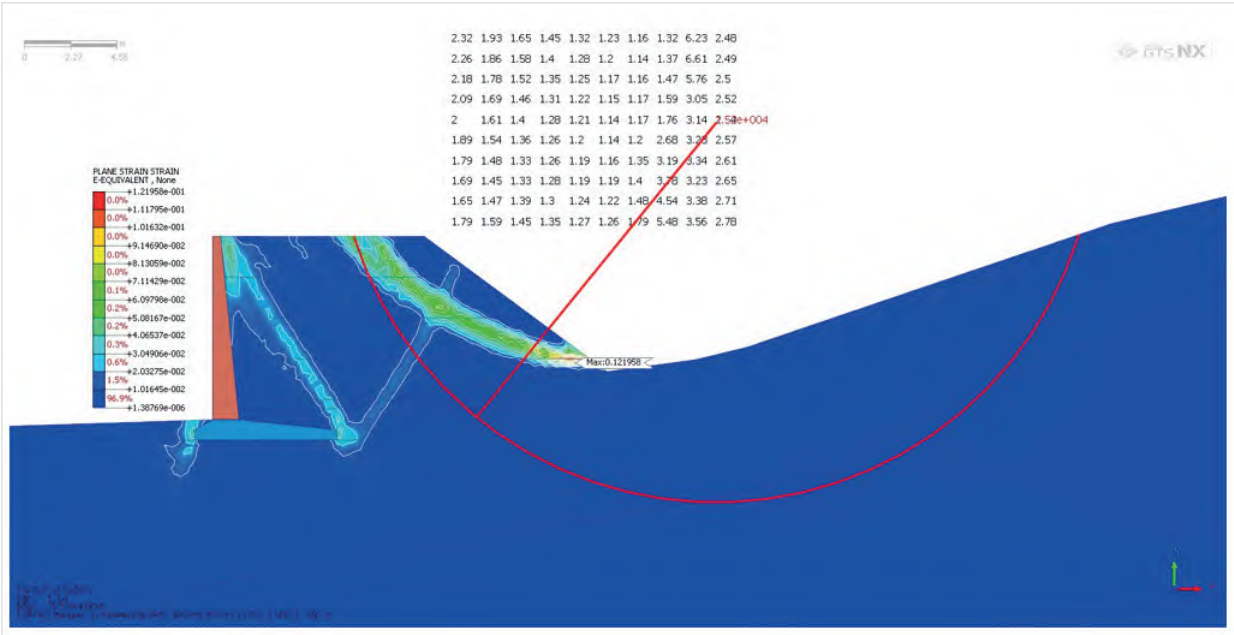


Рис. 5. Изополю эквивалентных деформаций в исследуемом сооружении при сохранении устойчивости по методу SMR ($FoS_{max} = 2,54$ по методу SAM — красная дуга круглоцилиндрической диаграммы скольжения)

Численное моделирование устойчивости неоднородного откоса на неоднородном основании является весьма сложной задачей, которую необходимо обязательно проверять с помощью аналитических методов исследования, которые могут быть не учтены решателями современных расчетных программных комплексов.

Результаты

Обоснование совместного использования SMR и SAM — методов при решении задач устойчивости откосов гидротехнических сооружений:

- 1. **Комплементарность методов:** SMR — метод, основанный на статике грунта, позволяет определить вероятность срыва откоса по критериям равновесия сил и моментов. Он широко применяется для статического анализа и оценки безопасности при различных условиях нагрузки, показывает удовлетворительные результаты [18, 19]; SAM — метод (снижения прочности грунта) или других параметров до возникновения разрушения, позволяет выявить критические условия, при которых грунтовой массив становится нестабильным. Результаты расчетов, полученные этим методом, более точные и транспарентные.
- 2. **Понимание различных аспектов устойчивости рассматриваемого объекта (объема):** использование SMR-метода даёт ясное представление о силовом состоянии откоса и позволяет проверить его стабильность по классическим положениям равновесия; метод SAM помогает конкретизировать уровень прочности грунта, при котором наступает опасность срыва, что особенно ценно при наличии неоднородных грунтовых условий.
- 3. **Повышение надежности оценки полученных результатов расчета:** совмещение методов позволяет учитывать как параметры равновесия, так и механические свойства грунта, что снижает риск недооценки опасности разрушения или ошибочной оценки устойчивости различных по устройству откосов.
- 4. **Расширение аналитических возможностей при работе с численными моделями гидротехнических сооружений:** совместное применение методов помогает выявить как вероятностные оценки (через SMR-метод), так и критические параметры физических характеристик грунта (через SAM-метод), что важно при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений.

С учетом отечественного и иностранного опыта ряда ученых [7 – 10, 15 – 19] и на основании проведенных исследований особенностей применения методов SRM и SAM для оценки устойчивости откосов проведем сравнение данных методов по следующим параметрам (*табл. 3*).

Таблица 3

Сравнение методов SMR и SAM для обоснования их совместного использования при расчетах устойчивости откосов

Параметр	SMR (Strength Reduction Method)	SAM (Stability Analysis Method)
Основной принцип	Анализ равновесия сил и моментов, проверка общего баланса	Постепенное снижение прочности грунта для выявления критического состояния
Подход к расчету	Статический анализ, проверка предельных состояний	Итеративный метод: снижение прочностных характеристик грунта до срыва (разрушения)

Параметр	SMR (Strength Reduction Method)	SAM (Stability Analysis Method)
Тип анализа	Положительный (утвердительный), вероятность оценки риска	Качественный, выявляет критические параметры в теле сооружения
Модельные условия	Предполагается статическое равновесие без учета деформаций	Учитывает изменение свойств грунта в процессе анализа сооружения
Преимущества	Простота применения, хорошо работает при однородных грунтах, позволяет оценить риск	Высокая точность в определении критических параметров, полезен при сложных условиях эксплуатации объекта
Недостатки	Может недооценивать риск при сложных условиях для объекта, предполагает идеальную граничную несущую способность	Может быть более трудоемким, требует точных характеристик грунта
Область применения	Повседневный анализ устойчивости, проектирование гидротехнических сооружений	Детальный анализ прочности исследуемого объема, критические ситуации, сложные геометрии объема
Точность оценки	Средняя, зависит от полноты информации о грунтовых свойствах	Высокая, если параметры грунта подробно известны
Особенность моделирования	Предполагает использование внутренних сил и моментов	Фокусируется на характеристиках прочности грунтов и их критическом снижении

Анализируя параметры, по которым проведено сравнение SMR и SAM-методов в *табл. 3*, можно заключить, что совместное использование этих методов в оценке устойчивости грунтовых откосов (природных склонов) обеспечивает более комплексный и точный анализ сооружения, что особенно важно при проектировании и эксплуатации сложных гидротехнических объектов. SMR-метод дает быструю оценку риска обрушения откоса, а SAM-метод — представляет собой глубокий анализ критических условий, определяющих безопасность сооружения при эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла. Именно по этим причинам значения коэффициентов устойчивости, определяемые для откосов различной конструкции будут различными.

Заключение

В ходе исследования проведено численное моделирование защитного гидротехнического сооружения из насыпных грунтов с бетонной подпорной стенкой на предмет определения коэффициента устойчивости его откоса по методам SRM (метод снижения прочности) и SAM (метод анализа напряжений).

По результатам численного моделирования для рассматриваемого объекта получены изополя перемещений, показывающие максимальные смещения в верхней части откоса (0,1290 м) и сформированы цилиндрических плоскости скольжения откоса в соответствии с максимальными ($FoS_{max} = 2,54$) и минимальными ($FoS_{min} = 1,1383$) значениями коэффициента устойчивости. Определено, что для исследуемой конструкции коэффициенты устойчивости по рассматриваемым методам отличаются друг от друга на 12,38% (в сравнении: по методу SMR – $FoS_{min} = 1,2125$, по методу SAM – $FoS_{min} = 1,1383$). Установлено, что ключевой причиной различий в расчете коэффициента устойчивости откоса этими двумя методами являются разные концептуальные подходы к моделированию устойчивости: SMR-метод ориентирован на статический баланс сил и моментов, а SAM-метод — на динамическое снижение прочности до предельного состояния. Поэтому, при одинаковых исходных данных, эти методы

могут показывать разные коэффициенты устойчивости, что подчеркивает важность их совместного применения для получения более надежной оценки безопасности откоса. Обосновано, что при рассмотрении вопросов, связанных с безопасной эксплуатацией гидротехнических сооружений, целесообразно производить расчеты численными методами по двум рассматриваемым методам, которые взаимно дополняют информацию, получаемую из численной модели сооружения, и способствуют принятию правильных проектных решений.

Библиографический список

1. Ольгаренко Г. В., Турапин С. С., Каиштанов В. В., Савушкин С. С., Гжибовский С. А., Абрамов В. В. Безопасная эксплуатация гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса. Коломна: ИП Лавренев А. В., 2018. 228 с.
2. F. K. Abdrazakov, S. S. Orlova, T. A. Pankova, Mirkina E. N., Fedyunina T. V. The monitoring of condition of hydraulic structures // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10, No. 13. Pp. 1952 – 1958.
3. Бабчук В., Шилова Л., Евстратов В. Использование технологий информационного моделирования в гидроэнергетическом строительстве // Энергетическая политика. 2022. № 10 (176). С. 66 – 73. — DOI 10.46920/2409-5516_2022_10176_66.
4. Brinkgreve R. B. J. Validating geotechnical finite element models // Proceedings of the 3-rd International Symposium on Computational Geomechanics (COMGEO III), Krakov, Poland, 21 – 23 August, 2013. Rhodes, Greece & Swansea, UK: International Center for Computational Engineering. Pp. 292 – 304.
5. Шарманов В. В., Симанкина Т. Л., Мамаев А. Е. Контроль рисков строительства на основе BIM-технологий // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, № 12 (63). С. 113 – 124.
6. He S.H., Zheng Q.Q., Xia T.D. Experimental study on long-term dynamic characteristics of marine soft soil under subway train load considering time intermittent effect // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2019. Vol. 38. No. 2. P. 353.
7. S. Bala Padmaja, G. V. N. Reddy and E. Saibaba Reddy. Stability Analysis of Slope Using Displacement Criteria of Soil on The Shear Plane // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1280, 2nd International Conference on Advancements in Sustainable Materials and Infrastructure 2023 12/09/2023 – 13/09/2023 Online. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1280. 012044. — DOI 10.1088/1755-1315/1280/1/012044.
8. Virat Singh Chauhan, Md. Rehan Sadique, Mohd. Masroor Alam & Mohd. Ahmadullah Farooqi. Assessment of road-cut slope stability using empirical, numerical, and machine learning methodologies // Discover Civil Engineering (2025) 2:108.
9. Jasim M. Abbas, A. Aljanabi Qasim, Ali Mutiny Diyala Zainab. Slope stability analysis of an earth dam // Journal of Engineering Sciences. 2017. Vol. 10, No. 01. Pp. 106 – 117.
10. Мирсаидов М. М., Султанов Т. З., Ходжаев Д. А. Оценка устойчивости откосов грунтовых плотин с учетом реологических свойств грунта (англ) // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 9 (35). С. 49 – 58.
11. Мирный А. Ю., Мосина А. С. Математические модели грунтов для инженеров. — Москва: Гео-Инфо (ИП Ананко В. Н.), 2024. 414 с.

12. Бенин А. В., Семенов А. С., Семенов С. Г., Беляев М. О., Модестов В. С. Методы идентификации упругопластических моделей бетона с учетом накопления повреждений // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8 (76). С. 279–297.
13. Burman A. A. Acharya S. P., Sahay R. R. Comparative study of slope stability analysis using traditional limit equilibrium method and finite element method // Asian journal of civil engineering (BHRC). 2015. Vol. 16, No. 4. Pp. 467–492.
14. Борозенец Л. М. Научное обоснование физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2017. Т. 17, № 2. С. 27–33. — DOI 10.14529/build170204.
15. Анискин Н. А., Сергеев С. А. Устойчивость откоса грунтовой плотины при сработке водохранилища // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12, № 3. С. 6–17. — DOI 10.22227/2305-5502.2022.3.1.
16. Каменчуков А. В., Николаева Г. О., Горшков Н. И., Ловцов А. Д. Оценка устойчивости откосов системы «земляное полотно — дорожная одежда» с нарушенной структурой // Транспортные сооружения. 2020. Т 7. № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/05SATS420.pdf>. — DOI: 10.15862/05SATS420.
17. Хасанов А. З., Хасанов З. А. Устойчивость природных склонов и определение давления несвязных грунтов на ограждение // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2024. № 1. С. 8–13.
18. Федоренко Е. В. Особенности расчетов устойчивости методом снижения прочности в программе SIO 2D // Современные методы проектирования, подземного строительства и реконструкции оснований и фундаментов (GFAC 2024): Сборник тезисов Национальной (всероссийской) научно-технической конференции с международным участием, посвященной 90-летию кафедры геотехники (механики грунтов, оснований и фундаментов, инженерной геологии), Санкт-Петербург, 23–25 октября 2024 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. С. 31.
19. Тер-Мартirosян А. З., Лузин И. Н. Расчет устойчивости откосов и склонов, подстилаемых водонасыщенными грунтами методом понижения прочности // Геотехника. 2013. № 3. С. 16–21.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING OF THE STABILITY OF THE SLOPE OF A HYDRAULIC STRUCTURE WITH A RETAINING WALL BY SRM AND SAM METHODS

A. E. Kachaev*

V. V. Soroka**

Ya. I. Khitrov**

* All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply “Raduga”, Kolomna

** Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University, Kolomna

Abstract

Reliable operation of hydraulic structures for various purposes and ensuring their durability are important tasks in modern civil and engineering construction. This study examines the use and validation of numerical methods for analyzing the stability of hydraulic structure elements. The objective of the study is to conduct a comparative analysis of strength reduction methods (SRM) and stress analysis methods (SAM) in numerical modeling of the stability of a non-uniform slope of a hydraulic structure with a concrete retaining wall, as well as to justify their combined use in the calculations of such structures. The study presents a finite element computational model of a hydraulic structure with a concrete retaining wall (using the GTSNX2022R1 software package). The Mohr-Coulomb model was used for modeling the stability of the structure for soils, and the Elastic model for the concrete retaining wall. It was determined that for the structure under study, the stability factors for the methods under consideration differ by 12.38% (compared to $FoS_{min} = 1.2125$ for the SMR method and $FoS_{min} = 1.1383$ for the SAM method). The need to combine SRM and SAM methods in such calculations is substantiated, which reduces the risk of hazard underestimation and improves the reliability of stability assessments for hydraulic structures.

The Keywords

Strength reduction method, stress analysis method, stability, slope, stability coefficient.

Date of receipt in edition

11.10.2025

Date of acceptance for printing

13.10.2025

Ссылка для цитирования:

А. Е. Качаев, В. В. Сорока, Я. И. Хитров. Анализ результатов численного моделирования устойчивости откоса гидротехнического сооружения с подпорной стенкой SRM и SAM методами. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 20–31.



УДК 697.952

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_32-40

ВОЗМОЖНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Д. В. Абрамкина

К. М. Фатуллаева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

Организованный естественный воздухообмен в помещении по содержанию животных является важным аспектом поддержания здоровья и благополучия питомцев. Это позволяет обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности животных, минимизировать риски заболеваний дыхательных путей и создать комфортную среду обитания. В работе рассмотрена возможность реализации организованного естественного воздухообмена в холодной период для помещения по содержанию двухсот животных (скота). Воздух поступает и удаляется из помещения через отверстия с поворотно-откидными створками. Расход воздуха регулируется изменением площади отверстий. Были выполнены расчеты воздухообмена при различных параметрах наружного микроклимата, а именно температуры. Первоначально были подобраны углы, обеспечивающие воздухообмен близкий к нормируемому при расчетных для холодного периода года параметрах. При тех же углах рассчитан воздухообмен для трех зимних месяцев, которые сравниваются с воздухообменом по зоогигиеническим нормам.

Ключевые слова

Системы естественной вентиляции, естественный воздухообмен, приточные и вытяжные отверстия.

Дата поступления в редакцию

09.10.2025

Дата принятия к печати

11.10.2025

Введение

Правильно организованный воздухообмен оказывает влияние на процессы в помещении. Это относится и к животноводческим помещениям в том числе. Основные принципы организации воздухообмена:

1. Создание условий для поступления свежего воздуха:

- Использование окон, форточек, вентиляционных отверстий и специальных устройств для притока свежего воздуха.
- Регулярное проветривание помещений путем открывания окон и дверей.

2. Обеспечение эффективного удаления загрязненного воздуха:

- Установка вытяжных систем, позволяющих удалять отработанный воздух, содержащий вредные вещества и запахи.
- Организация принудительной вентиляции в помещениях с большим количеством животных.

3. Контроль температуры и влажности воздуха:

- Поддержание оптимальной температуры и уровня влажности, соответствующих потребностям конкретных видов животных.
- Использование увлажнителей и осушителей воздуха при необходимости.

4. Регулярный мониторинг качества воздуха:

- Проведение регулярных проверок состояния воздуха, включая измерение концентрации вредных веществ и оценку общего микроклимата помещения.

Для крупных животноводческих комплексов рекомендуется устанавливать автоматические системы управления климатом, позволяющие автоматически регулировать температуру, влажность и интенсивность вентиляции. Необходимо проводить профилактическое обслуживание вентиляционного оборудования, очищать фильтры и проверять исправность всех элементов системы этих систем, что зачастую не выполняется. По этой причине большая часть коровников все еще имеет более упрощенные конструкции.

Сельскохозяйственные помещения по содержанию животных могут иметь различные конструкции. В работе было выбрано помещение молочного производства облегченной конструкции [1], в котором за счет естественных условий, как показывают исследования, повышается качество молока [2]. Помещение представляет собой высокое вытянутое здание со скатной кровлей. Вдоль длинных сторон здания расположены окна, а на кровле аэрационные фонари, которые являются аэрационными отверстиями, а сама система называется аэрацией [3]. Зачастую в подобных зданиях есть ворота, через которые так же рассчитывается воздухообмен. Но в холодный период года из-за низкой температуры наружного воздуха большую часть времени они закрыты, поэтому не рассматриваются в данной работе. Взаимное расположение приточных и вытяжных отверстий определяет эффективность вентиляционных систем [4], которые должны исключить нежелательные факторы, влияющие на производительность, например сквозняки [5]. За приточные отверстия принимаются окна вдоль длинных сторон здания, а вытяжными отверстиями выступают аэрационные фонари. Важным фактором при организации воздухообмена является разность между осями приточных и вытяжных отверстий, которая влияет на разность давлений с обеих сторон от отверстий и, соответственно, на расход воздуха через них.

В помещениях по содержанию скота не предусматривается система отопления из-за больших теплопоступлений, которые обеспечивают нормируемые параметры внутреннего микроклимата. В ряде работ представлены исследования по определению внутренней температуры в помещении [6]. Было выявлено, что температура соответствует допустимым значениям, за исключением нескольких месяцев в холодный период года, когда она выше, что можно отрегулировать при помощи изменения площади приточных и вытяжных аэрационных отверстий, тем самым увеличив приточный аэрационный расход воздуха, который понизит температуру внутри помещения до нормируемых значений, но не ниже [7].

Методика исследования

Для достижения нормируемый воздухообмен для здания, удовлетворяющий зоогигиеническим требованиям, были выполнены множественные расчеты воздухообмена при различных площадях

приточных и вытяжных устройств, полученные путем изменения угла раскрытия створок проемов. Параметры наружного микроклимата: расчетная для системы отопления температура наружного воздуха, средние температуры в зимний период (декабрь 2008 – февраль 2019, исключая сезон с 2015 – 2016 гг. ввиду отсутствия данных).

В результате исследования был рассчитан нормируемый воздухообмен для рассматриваемого здания. Путем множественных расчетов, в которых переменными величинами были углы раскрытия фрамуг окон и аэрационных фонарей, добились нормируемого воздухообмена при расчетных для вентиляции параметрах наружного микроклимата.

Зная площади приточных и вытяжных отверстий, были выполнены расчеты воздухообмена для зимнего периода года в течение нескольких лет. В случае несоответствия воздухообмена нормируемым значениям, проводилось изменение размеров вентиляционных отверстий (увеличение или уменьшение площадей проёмов).

Параметры внутреннего микроклимата (соответствуют требованиям по продуктивности животных [8, 9, 10]):

- температура внутреннего микроклимата, $t_{в}$, °C:
 - 10 °C — при $t_{н}$ до -25 °C
 - 3 °C — при $t_{н} < -25$ °C
- относительная влажность, %:
 - 40 – 75% [3]

Результаты исследования

За объект исследования выбрано помещение на 200 голов с габаритными размерами 18×57×9 (h) м в г. Одинцово, административный центр Одинцовского городского округа Московской области. Воздухообмен осуществляется через отверстие, расположение которых описано выше. Расстояние между приточными и вытяжными отверстиями составляет 5 м.

Для определения площадей отверстий был рассчитан воздухообмен по зоогигиеническим требованиям с учетом тепlopоступлений от животных. Он же минимально необходимый воздухообмен в помещении. Исходные данные и результаты расчета [11, 12] представлены в *таблице 1*.



а)

б)



Рис. 1. Вариант помещения по содержанию животных (скота): а) снаружи; б) внутри

Таблица 1

Исходные данные и результаты предварительного расчета явных тепловых поступлений в помещения по содержанию животных (скота)

Местоположение:		
г. Одинцово		
Температура, °С	Наружного воздуха $t_{\text{н}}$, °С	–26
	Внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}$, °С	10 °С при $t_{\text{н}} > -25^{\circ}\text{С}$
		3°С при $t_{\text{н}} < -25^{\circ}\text{С}$
	Удаляемого воздуха $t_{\text{уд}}$, °С	10 °С при $t_{\text{н}} > -25^{\circ}\text{С}$
		3°С при $t_{\text{н}} < -25^{\circ}\text{С}$
Скорость ветра в ХП $v_{\text{н}}$, м/с	3,0	
Явные теплоступления $Q_{\text{я}}$, кВт	117,4	
Минимальные объем воздуха $L_{\text{прит}}, L_{\text{выт}}$, кг/ч	18000	

Необходимо рассчитать площадь приточных и вытяжных отверстий и определить соответствующие расходы воздуха в процессе естественной вентиляции помещения.

Подходы и методы решения

Прямая задача: Определение необходимой площади отверстий.

Зависимости: Площадь отверстия зависит от угла раскрытия створок (фрамуг).

Методология: Предположено, что начальное значение угла составляет 3 град.

Формула коэффициента расхода: $\mu = 0,62 \sin \alpha$

Изменяя давление вследствие колебаний параметров микроклимата (температуры, ветра), можно изменять необходимое количество подаваемого воздуха.

Регулировка осуществляется посредством увеличения угла раскрытия створок.

Результат каждого расчета (расход приточного и вытяжного воздуха при конкретной наружной температуре) должен соответствовать указанному нормируемому объему минимальный объем воздуха в соответствии с зооигиеническими требованиями). Если расчетный расход меньше нормативного, это свидетельствует о недостаточной эффективности вентиляции, что негативно сказывается на здоровье животных и продуктивности хозяйства.

Соблюдение указанных норм имеет большое значение для благополучного содержания животных, поскольку недостаток свежего воздуха ведет к ухудшению качества среды обитания, увеличению риска заболеваний и снижению производительности стада. Следовательно, важно провести тщательные расчеты и убедиться, что установленные вентиляционные устройства обеспечивают нужный уровень воздухообмена даже при неблагоприятных погодных условиях.

Расчетное давление аэрации, Па:

$$\Delta P_{расч} = \left(A_{аэр.н} - A_{аэр.з} \right) \frac{v_n^2}{2} \rho_n + gH (\rho_n - \rho_{вн}), \quad (1)$$

где: $A_{аэр.н}$, $A_{аэр.з}$ — аэродинамические коэффициенты на фасады с наветренной и заветренной сторон, принимаются равными 0,8 и -0,5;

ρ_n , $\rho_{вн}$ — плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м³;

H — расстояние по высоте между центрами приточных и вытяжных отверстий, м.

Характеристика Б:

$$B = \left(\frac{G_{прит}}{G_{выт}} \right)^2 \frac{\rho_{уд}}{\rho_n}, \quad (2)$$

$\rho_{уд}$ — плотность удаляемого воздуха, кг/м³.

Величина расчетного давления аэрации, расходуемого в приточных проемах, Па:

$$\Delta P_{пр} = \frac{1}{1+B} \Delta P_{расч}. \quad (3)$$

В вытяжных отверстиях, Па:

$$\Delta P_{выт} = \Delta P_{расч} - \Delta P_{пр}. \quad (4)$$

Требуемые площади фрамуг окон и аэрационных фонарей:

$$S_{пр} = \frac{G_{пр}}{3600 \mu_{пр} \sqrt{2 P_{пр} \rho_n}}, \quad (5)$$

$$S_{выт} = \frac{G_{выт}}{3600 \mu_{выт} \sqrt{2 P_{выт} \rho_{уд}}}. \quad (6)$$

В результате расчета было определено, что площадь приточных отверстий равна $S_{пр} = 30,462 \text{ м}^2$, а вытяжных — $S_{выт} = 30,462 \text{ м}^2$.

Используя принятый стандартный угол раскрытия створок оконных фрамуг (3 град), вычисляются площади приточных и вытяжных отверстий. Эти значения принимаются как базовые при дальнейших расчетах воздухообмена на весь зимний период (таблица 2). В период с 2008 по 2019 гг. коэффициент расхода воздуха для варианта 1 (когда все створки имеют одинаковую площадь) равен 0,032 (угол раскрытия створки окна 3 град). Воздухообмен оценивается по средним температурам наружного воздуха зимой (рисунок 2). Если полученный объем воздуха оказывается ниже установленной минимальной нормы, такая ситуация признается неудовлетворительной. Чтобы привести воздухообмен к необходимому уровню, выполняется повторный расчет при увеличенных углах раскрытия створок. Это позволяет увеличить приток свежего воздуха и удалить загрязненный внутренний воздух (рисунок 3):

- в период с 2008 по 2009 гг. — коэффициент расхода равен 0,038 (3,5 град);
- в период с 2009 по 2010 гг. — коэффициент расхода равен 0,036 (3,4 град);
- в период с 2010 по 2011 гг. — коэффициент расхода равен 0,036 (3,3 град);
- в период с 2011 по 2012 гг. — коэффициент расхода равен 0,037 (3,4 град);
- в период с 2012 по 2013 гг. — коэффициент расхода равен 0,037 (3,4 град);
- в период с 2013 по 2014 гг. — коэффициент расхода равен 0,038 (3,5 град);
- в период с 2014 по 2015 гг. — коэффициент расхода равен 0,038 (3,5 град);
- в период с 2016 по 2017 гг. — коэффициент расхода равен 0,037 (3,4 град);
- в период с 2017 по 2018 гг. — коэффициент расхода равен 0,038 (3,5 град);
- в период с 2018 по 2019 гг. — коэффициент расхода равен 0,037 (3,4 град).

Температура внутри помещения поддерживается постоянной на уровне 10°C (таблица 1), что обеспечивает комфортные условия для животного организма.



Рис. 2. Средняя температура наружного воздуха зимой (за декабрь, январь и февраль)

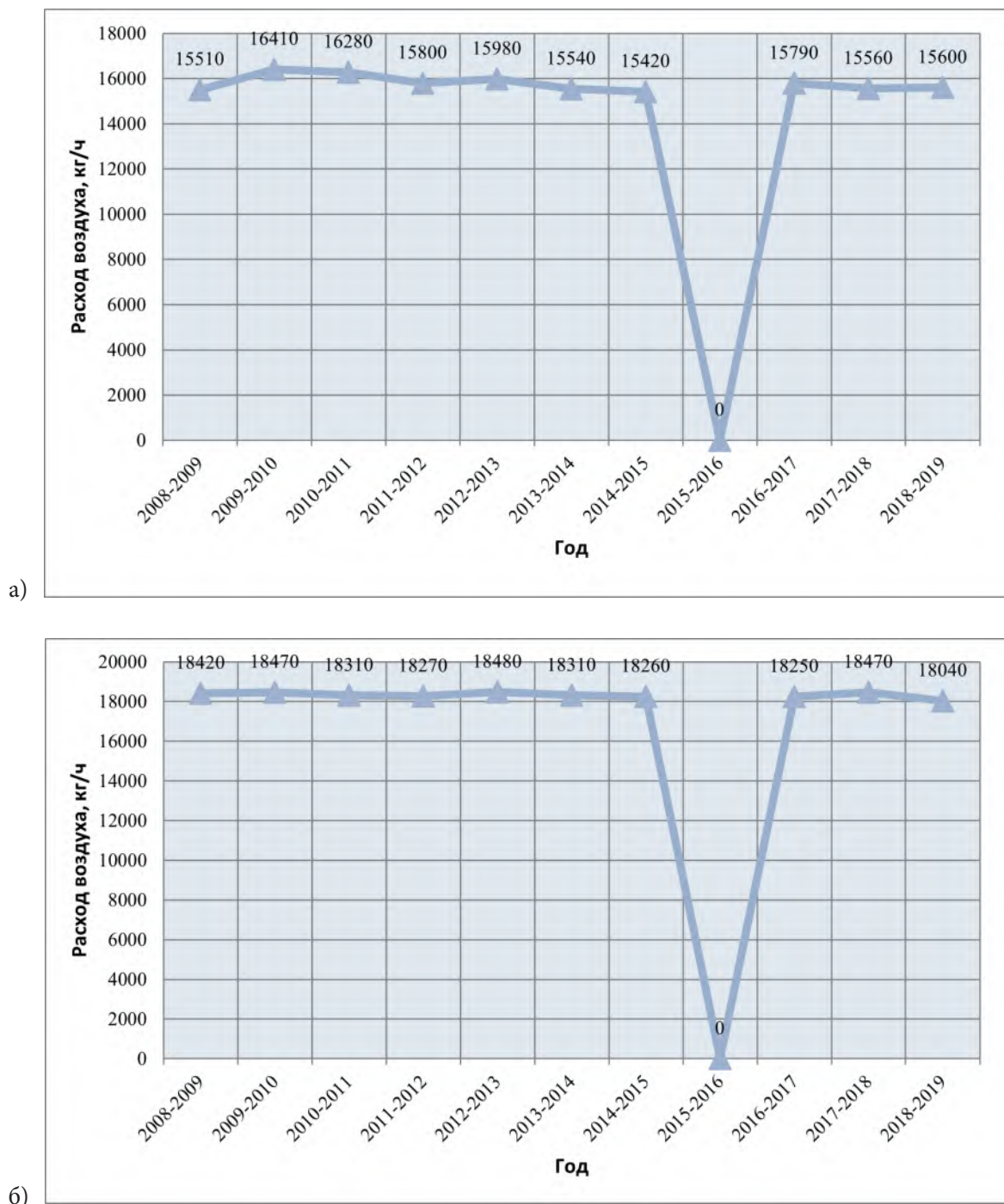


Рис. 3. Изменение расхода воздуха в течение рассматриваемого периода, вариант 1 (а), вариант 2 (б)

Выводы

Проведен расчет воздухообмена при стандартных углах створок (3 град). Установлено, что при высоких наружных температурах снижение разницы давлений затрудняет поддержание нужного объема воздуха.

Поскольку требования по воздухообмену не выполняются, проводится серия вариативных расчетов для нахождения оптимальных углов открытия створок. Каждое временное окно (месяц, квартал и т. п.) требует отдельного рассмотрения, что отражено в таблице 2 (вариант 2). Многократные итерации позволили установить точные углы открытия створок для каждой временной точки, га-

рантирующие достижение необходимого минимума воздухообмена вне зависимости от изменений климата. Этот подход подчеркивает важность учета специфики местности и климатических особенностей при проектировании систем вентиляции сельскохозяйственных объектов.

Настройка оптимальной вентиляции через регулирование угла раскрытия створок оконных фрамуг является сложной задачей, особенно учитывая необходимость постоянного мониторинга изменений параметров наружного микроклимата (температуры, скорости ветра и др.). Предлагается упрощенная схема эксплуатации системы вентиляции, основанная на фиксированном стандартизированном угле раскрытия створок (3,5 градуса). Такой подход значительно облегчает обслуживание, снижая потребность в частых регулировках. Использование стандартного угла открывания (3,5 градуса) оправдано тем, что при незначительных колебаниях наружного микроклимата (особенно при небольших изменениях площади отверстий) реальный расход воздуха изменяется не существенно, оставаясь близким к рекомендованным зоогигиеническим нормам. Например, при расчетных условиях для города Одинцово, расход воздуха при таком подходе составляет 22310 кг/ч, что соответствует требуемым показателям воздухообмена.

Библиографический список

1. Медведский В. А., Догель А. С. Какой коровник лучше? / В. А. Медведский, А. С. Догель // Животноводство России. — 2016. — № 4. — С. 19–21.
2. Медведский В. А., Догель А. С. Влияние условий содержания на продуктивность коров и качество получаемого молока / В. А. Медведский, А. С. Догель // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. — 2016. — № 19. — С. 222–227.
3. Бодров М. В., Кувшинов Ю. Я. Методологические основы проектирования систем обеспечения параметров микроклимата производственных сельскохозяйственных зданий // Вестник МГСУ. — 2011. — № 2. — С. 234–238.
4. Новиков Н. Н. Моделирование воздушных потоков и расчет элементов аэрационных систем микроклимата животноводческих помещений / Н. Н. Новиков // Вестник ВНИИМЖ. — 2011. — № 4 (4). — С. 34–42.
5. Ходанович Б. «Холодные» коровники: уроки суровой зимы и жаркого лета / Б. Ходанович // Животноводство России. — 2011. — № 2. — С. 37–39.
6. Медведский В. А., Догель А. С. Коровник облегченного типа. Где комфорт, там и продуктивность / В. А. Медведский, А. С. Догель // Тваринництво України. — 2016. — № 3. — С. 4–7.
7. Вторый В. Ф. Микроклимат коровника на 200 голов в зимний период / В. Ф. Вторый, С. В. Фторый, В. В. Гордеев, Е. О. Ланцова // Вестник ВНИИМЖ. — 2017. — № 4 (28). — С. 99–103.
8. Догель А.С. Влияние условий содержания на продуктивность коров и качество получаемого молока / А. С. Догель, В. А. Медведский // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. — 2016. — № 19 (2). — С. 222–227.
9. Вторый В. Ф., Вторый С. В., Ланцова Е. О. Результаты исследования концентрации CO₂ в типовом коровнике на 200 голов // Молочнохозяйственный вестник. — 2016. — № 4 (24). — С. 72–79.
10. Вторый В. Ф., Гордеев В. В., Вторый С. В., Ланцова Е. О. Оценка состояния температурно-влажностного режима в коровнике с использованием графического информационного моделирования // Вестник ВНИИМЖ. — 2016. — № 4 (24). — С. 67–72.

11. РД-АПК 1.10.01.03-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм крупного рогатого скота крестьянских (фермерских) хозяйств. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. — 167 с.

12. Квашнин И. М., Гурин И. И. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе // АВОК. — 2008. — № 5. — С. 34–41.

POSSIBILITY OF NATURAL AIR EXCHANGE IN CATTLE KEEPING FACILITIES

D. V. Abramkina

K. M. Fatullaeva

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

Organized natural indoor air exchange for livestock is an important aspect of maintaining the health and well-being of pets. This allows us to ensure optimal conditions for the vital activity of animals, minimize the risks of respiratory diseases and create a comfortable living environment. The paper considers the possibility of implementing an organized natural air exchange during the cold period for a room housing two hundred animals (livestock). The air enters and exits the room through openings with hinged doors. The air flow is regulated by changing the area of the holes. Calculations of air exchange were performed at various parameters of the outdoor microclimate, namely, temperature, angles were initially selected that ensure air exchange close to the normalized at the calculated parameters for the cold season. At the same angles, the air exchange is calculated for three winter months, which are compared with the air exchange according to zoohygienic standards.

The Keywords

Natural ventilation systems, natural air exchange, supply and exhaust ports.

Date of receipt in edition

09.10.2025

Date of acceptance for printing

11.10.2025

Ссылка для цитирования:

Д. В. Абрамкина, К. М. Фатуллаева. Возможность организации естественного воздухообмена в помещении по содержанию крупного рогатого скота. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 32–40.



УДК 72.025.3:004.934.2

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_41-48

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

И. Н. Гарькин
Г. И. Фазылзянова

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва

Аннотация

Анализируется применение тепловизионных технологий для неразрушающего контроля состояния объектов культурного наследия. Исследуются возможности инфракрасной термографии для выявления скрытых дефектов, оценки влагосодержания, определения теплофизических характеристик исторических материалов. Представлена методология проведения тепловизионного обследования памятников архитектуры и предложены математические модели для обработки термограмм. Результаты исследования показывают высокую эффективность метода для раннего обнаружения деструктивных процессов в каменной кладке, штукатурных покрытиях и других конструктивных элементах исторических зданий.

Ключевые слова

Тепловизионная диагностика, объекты культурного наследия, неразрушающий контроль, инфракрасная термография, консервация памятников, влагосодержание материалов, теплофизические свойства.

Дата поступления в редакцию
29.09.2025

Дата принятия к печати
11.10.2025

Сохранение объектов культурного наследия представляет собой приоритетную междисциплинарную задачу, требующую комплексного подхода к мониторингу состояния и разработке щадящих методов вмешательства. Исторические здания и инженерные сооружения подвержены совокупному воздействию природно-климатических и техногенных факторов, вызывающих деградацию материалов и элементов конструкции. К ключевым повреждающим агентам относятся атмосферные осадки, циклические температурно-влажностные воздействия, загрязняющие примеси воздуха с коррозионно-активными компонентами, статические и динамические механические нагрузки, включая вибрационные и сейсмические воздействия. Дополнительное влияние оказывают солевые кристаллизационные процессы в пористой структуре материалов, биологическое обрастание и фотохимическое старение поверхностных слоев. Традиционные методы обследования, основанные на выборочном отборе проб, кернов и вскрытии конструктивных слоев, сопряжены с нарушением целостности объекта и риском необратимого ущерба исторической субстанции. В отношении памятников архитектуры и археологии предпочтение отдается неразрушающим и минимально инвазивным подходам, обеспечивающим ре-

презентативность данных при сохранении аутентичности [1, 2]. Тепловизионная диагностика (инфракрасная термография) относится к методам неразрушающего контроля, регистрирующим пространственно-временные поля собственного теплового излучения поверхности в инфракрасном диапазоне. Метод опирается на уравнения теплопереноса и различия в термofизических свойствах материалов и дефектов, что позволяет по особенностям температурных контрастов косвенно судить о неоднородностях внутренней структуры. В зависимости от режима выделяют пассивную термографию, использующую естественные тепловые потоки, и активную термографию, при которой поверхность возбуждается внешним тепловым импульсом или модулированным нагревом, а отклик анализируется во временной или частотной областях (flash-, lock-in-, pulse-phase-термография).

Информационный потенциал термографии включает:

- выявление скрытых дефектов кладки и бетона (отслоения, пустоты, трещины, участки деградации раствора);
- локализацию зон повышенной влажности и капиллярного подсоса, оценку процессов кристаллизации солей;
- диагностику дефектов теплоизоляции, мостиков холода, воздушных пустот в многослойных ограждающих конструкциях;
- обнаружение коррозионного повреждения металлических включений и анкеров через изменение теплопроводности и теплоемкости окружающего материала;
- картирование участков с нарушенной адгезией штукатурных и декоративных слоев, в том числе под настенными росписями;
- мониторинг сезонной динамики теплотехнических характеристик и раннее выявление зон риска.

Ключевыми параметрами, определяющими точность и чувствительность метода, являются спектральный диапазон приемника (MWIR/LWIR), тепловая чувствительность (NETD), пространственное разрешение, точность радиометрической калибровки, учет эмиссионной способности материалов и отраженных составляющих излучения. Корректная интерпретация термограмм требует нормализации по внешним условиям, компенсации влияния солнечной инсоляции, ветра и влажности, применения эталонных мишеней и термопар для верификации температурных измерений. Методологически оправданно сочетание термографии с другими неразрушающими технологиями для повышения достоверности диагностики: ультразвуковой импульсно-эховый контроль для оценки целостности и модулей упругости, георадар для зондирования глубинной структуры, акустическая эмиссия для фиксации активных процессов роста трещин, фотограмметрия и лазерное сканирование для высокоточной геометрической привязки дефектов, влагометрия и инфильтрационные пробы для калибровки карт влажности [3, 4].

Для объектов наследия предпочтительны регламенты обследований, включающие:

- разработку теплотехнической модели фрагмента конструкции с известными термofизическими параметрами материалов;
- выбор режима съемки (пассивный сезонный мониторинг или активное возбуждение) исходя из глубины ожидаемых дефектов и допустимых энергетических воздействий;
- планирование съемок при оптимальных метеоусловиях, обеспечивающих достаточный естественный температурный градиент;
- повторные измерения для исключения случайных факторов и построения временных серий;
- интеграцию данных в ГИС/BIM-среду с атрибутивной информацией о материалах, вмешательствах и результатах предыдущих реставраций.

Ограничениями термографии являются малая глубина зондирования при пассивном режиме, зависимость контраста от влагосодержания и погодных условий, сложности радиометрической коррекции на неоднородно эмиттирующих поверхностях, риск ложноположительных интерпретаций без межметодной валидации. Эти факторы компенсируются корректным экспериментальным дизайном, применением активных режимов, математическим моделированием теплообмена и использованием методов обработки сигналов, включая фазовую и частотную демодуляцию, тепловую томографию, машинное обучение для кластеризации аномалий и автоматизированного распознавания паттернов. Практическая значимость термовизионной диагностики в сфере охраны наследия заключается в возможности оперативного, безконтактного и реплицируемого контроля состояния, формировании приоритетов консервационных мероприятий, оценке эффективности реставрационных вмешательств и мониторинге рисков без вмешательства в материальную субстанцию памятника. В совокупности применение инфракрасной термографии в стандартизированной методике обследований повышает обоснованность управленческих решений, снижает инвазивность и стоимость исследований, способствует продлению жизненного цикла уникальных историко-архитектурных объектов [5].

Ключевые методологические и практические вызовы при обследовании объектов культурного наследия можно сформулировать следующим образом и дополнительно конкретизировать:

- **ограниченная доступность несущих и ограждающих конструкций вследствие требований к сохранению подлинности и аутентичности.** Запрет на инвазивные вмешательства и раскрытие отделочных слоёв ограничивает выбор диагностических методик и снижает наблюдаемость критических зон, узловых соединений и скрытых полостей. Это приводит к необходимости разработки регламентов селективного доступа, применения миниинвазивных зондов и интеграции дистанционных средств диагностики.
- **принципиальная необходимость приоритета неразрушающего контроля.** Для предотвращения дополнительного ущерба историческим материалам применяются НК-методы (термография, ультразвуковая и импульсно-ударная диагностика, георадар, вихретоковые и магнитометрические методы, сканирующая лазерная съемка, акустическая эмиссия). Ограничения НК связаны с вариативностью чувствительности к анизотропии и увлажнению, глубиной зондирования, разрешением и требованием к калибровочным стандартам, сопоставимым по структуре с историческими аналогами. Возникает задача мультисенсорного слияния данных и валидации через редуцированные эталонные испытания.
- **эпистемическая неопределённость теплофизических, механических и реологических характеристик исторических материалов.** Гетерогенность кладок, наличия вторичных швов, неоднородных растворов, деградационных корок и репараций разного времени усложняет обратные задачи идентификации. Интерпретация сигналов НК требует априорной информации о пористости, степени солеотворения, влажности, карбонизации, о старении древесины, металлов и композитов традиционного происхождения. Необходима разработка процедур байесовской оценочной обратной задачи, применения стохастического апсемплинга и калибровки на основе цифровых двойников с параметрами, представленными распределениями, а не детерминированными значениями.
- **воздействие внешних факторов на точность измерений при обследовании in situ.** Температурные и влажностные градиенты, инсоляция, ветровая нагрузка, осадки, биологическое обрастание, электромагнитные помехи и вибрации создают систематические и случайные со-

ставляющие погрешности. Это требует протоколов нормирования условий испытаний, проведения серийных измерений с временной стратификацией, применения методов фильтрации сигналов, климатической коррекции, использования эталонных мишеней и контрольных участков для оценки дрейфа измерительной системы.

- **ограничения метрологического обеспечения и трассируемости.** Для многих методов отсутствуют стандартизованные калибровочные образцы, репрезентативные именно для исторических материалов. Важна разработка искусственно состаренных эталонов, межлабораторные сличительные испытания и оценка неопределенности по ISO/IEC с учетом полевых условий.
- **комплексность многоуровневой диагностики и интеграции данных.** Конструктивная безопасность и сохранность определяются совокупным влиянием дефектов материала, геометрической деградации и геотехнических факторов. Требуется иерархическое объединение данных от масштабов материала до масштаба сооружения с использованием структурно-идентифицируемых моделей, методов машинного обучения с физическими ограничениями и процедур cross-validation на исторических кейсах.
- **этические и консервационные ограничения вмешательства.** Любая диагностика должна соотноситься с доктринами минимальной интервенции и обратимости. Это предполагает обоснование риска-ориентированных схем обследований, где уровень инвазивности масштабируется вероятностью критического отказа и культурной ценностью элемента.
- **долговременный мониторинг и управляемость рисков.** Одномоментные обследования информативны ограниченно. Внедрение систем SHM с долгоживущими сенсорами, бесконтактной геодезией (LiDAR, фотограмметрия), спутниковой интерферометрией и периодической термографией позволяет отслеживать тренды деградации. Ключевыми задачами являются устойчивость сенсоров к климату, энергопитание, защита от вандализма и формирование диагностических индикаторов, связанных с предельными состояниями.
- **нормативно-правовая и организационная специфика.** Процедуры допуска к объекту, регламенты реставрации и охранные обязательства влияют на календарный план, состав методов и глубину обследования. Требуется согласование программ исследований с органами охраны, прозрачная документация и цифровые архивы с воспроизводимыми рабочими процессами.
- **цифровизация и репрезентация результатов.** Для обеспечения трассируемости и повторяемости необходимо вести унифицированные базы данных обследований, BIM/НБIM-модели с привязкой многомодальных датасетов, хранением метаданных о приборах, условиях и неопределенностях, генерацией отчетов, пригодных для междисциплинарного обмена между инженерами, реставраторами и архитекторами.

Совокупность перечисленных факторов диктует переход от фрагментарных обследований к интегрированным программам, включающим планирование измерений на основе априорного риска, мультисенсорный сбор данных, вероятностную идентификацию параметров, количественную оценку неопределенности и долговременный мониторинг с адаптивным пересмотром модели состояния объекта [6]. Такой подход повышает достоверность диагностики при соблюдении принципов сохранения аутентичности и минимальной вмешательства.

Предлагается комплексная методологическая схема тепловизионного обследования строительных объектов, ориентированная на выявление и верификацию дефектов ограждающих конструкций, инженерных узлов и зон повышенных теплопотерь. Подход интегрирует подготовительный аналитический этап, оптимизацию условий измерений, метрологическое обеспечение, расширенную спектральную

диагностику и верификацию результатов с применением комплементарных неразрушающих методов контроля.

Предварительное аналитическое обследование объекта включает систематизированный сбор и критический анализ исходно-разрешающей документации (проектные решения, исполнительные схемы, акты скрытых работ), изучение паспортов примененных строительных материалов, реконструктивной и ремонтной истории объекта. На основе этой информации формируется термофизическая модель ограждающих конструкций с оценкой расчетных термических сопротивлений, потенциальных теплотехнических мостиков и зон вероятного увлажнения. Дополнительно выполняется инвентаризация инженерных систем, способных влиять на температурное поле (вентиляция, отопление, теплые полы, технологические агрегаты), и составляется план обследования с трассировкой ключевых узлов [7].

Оптимизация условий термографической съемки предусматривает выбор временного окна и сезонности, обеспечивающих максимальный термоконтраст между фоновыми и аномальными участками. Рекомендуется ориентироваться на период устойчивых бароклинических условий с выраженной разностью температур между внутренней и наружной средами, отсутствие инсоляции фасадов, минимизацию ветровой нагрузки и осадков. Для наружных обследований предпочтительны ночные и пред-рассветные часы при установившемся тепловом режиме; для внутренних — режимы с фиксированным теплопритоком и стабилизированной конвекцией. При необходимости создается искусственный тепловой градиент путем кратковременного изменения режима отопления или локального теплового воздействия с последующей выдержкой до квазистационарного состояния.

Метрологическое обеспечение и калибровка измерительного комплекса выполняются с учетом радиометрических и термооптических характеристик обследуемых поверхностей. Для каждого класса материалов задается коэффициент излучения и коэффициент отражения, уточненные по эталонным образцам или справочным данным, с последующей верификацией методом наклейки реперных эталонов известной излучательной способности. Учитываются параметры среды, включая температуру и относительную влажность воздуха, содержание водяного пара, дальность визирования и тепловое излучение фоновых объектов. Проводится корректировка на отраженную кажущуюся температуру, настройка коэффициентов атмосферного ослабления и проверка термографа по чернотельным калибраторам. Дополнительно регламентируются геометрические параметры съемки: дистанция, угол наблюдения для снижения ошибок, связанных с анизотропией излучения и зеркальными компонентами [8].

Многоспектральная и, при наличии, гиперспектральная термография применяется для дифференциации механизмов дефектообразования. Сопоставление термограмм, полученных в средневолновом и длинноволновом инфракрасных диапазонах, позволяет разделять аномалии, обусловленные вариациями излучательной способности, поверхностным увлажнением, подповерхностными пустотами, отслоениями и мостиками холода. Используются временно-разрешенные методы: импульсная и модульная термография с построением термокинетических кривых, карт задержек и амплитуд, анализ фазовых изображений для повышения соотношения сигнал/шум и глубины зондирования. Для количественной интерпретации привлекаются модели теплопереноса в нестационарной постановке, инверсные алгоритмы и оценка эффективной теплопроводности, теплоемкости и диффузивности по параметрам релаксации.

Комплексирование с неразрушающими методами контроля направлено на повышение достоверности диагностики и снижение неопределенности. Рекомендуется интеграция с контактной термогигрометрией, влагометрией диэлектрического и карбидного типа, ультразвуковой импедансной томографией, акустико-эмиссионным мониторингом, радиолокационным сканированием (GPR) для выявления скрытых включений и пустот, электротермографией для контроля электрических систем обогрева. Сопоставление данных в единой геопривязанной системе координат и их мультикритери-

альная фьюзия выполняются с применением статистического взвешивания, байесовских моделей или методов машинного обучения для классификации дефектов [9].

Критерии качества и прослеживаемости результатов предусматривают:

- разработку протокола измерений с указанием условий, параметров калибровки, маршрутов съемки и средств измерений с их поверочными статусами;
- оценку совокупной погрешности, включая составляющие из-за излучательной неоднородности, атмосферной коррекции, углов наблюдения и дрейфа детектора;
- валидацию находок повторными измерениями в альтернативных условиях, выборочной вскрываемостью или зондированием в контрольных точках.

Выходные материалы включают термограммы с метрической привязкой, карты тепловых аномалий, отчеты о вероятностной оценке дефектов с указанием доверительных интервалов, рекомендации по приоритизации ремонтно-восстановительных мероприятий и, при необходимости, теплотехнические расчеты по нормируемым показателям сопротивления теплопередаче. Такой подход обеспечивает воспроизводимость, измерительную прослеживаемость и высокую информативность тепловизионного обследования в условиях реальной строительной практики.

Для количественной оценки результатов тепловизионного обследования используется математическая модель теплопроводности в многослойной стене:

Одномерное уравнение теплопроводности:

$$\partial T / \partial t = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2),$$

где T — температура, t — время, x — координата по толщине стены, $\alpha = \lambda / (\rho c)$ — коэффициент температуропроводности.

Граничные условия для наружной поверхности:

$$-\lambda (\partial T / \partial x)|_{x=0} = \alpha_s (T_s - T_0) + \sigma \varepsilon (T_s^4 - T_0^4) + q_s,$$

где α_s — коэффициент теплоотдачи, T_s — температура наружного воздуха, T_0 — температура поверхности, σ — постоянная Стефана-Больцмана, ε — коэффициент излучения, q_s — плотность солнечной радиации.

Расчет коэффициента влагосодержания по температурным данным:

$$W = W_0 + \Delta W \times (T_{(max)} - T_{(min)}) / (T_{(etalon)} - T_{(min)}),$$

где W_0 — базовое влагосодержание сухого материала, ΔW — максимальное приращение влагосодержания, $T_{(etalon)}$ — эталонная температура влажного материала.

Определение глубины дефекта:

$$h = \sqrt[3]{(4\alpha t \times \ln(\Delta T_{(max)} / \Delta T))},$$

где h — глубина залегания дефекта, t — время после начала нагрева, $\Delta T_{(max)}$ — максимальный температурный контраст, ΔT — текущий температурный контраст.

Выводы

Проведенный комплекс исследований подтвердил высокую диагностическую значимость инфракрасной термографии при обследовании объектов культурного наследия. Метод обеспечивает достоверное

выявление скрытых дефектов ограждающих конструкций, включая внутренние нарушения целостности каменной кладки, отслоения штукатурных и красочных слоев, зоны аномально повышенной влажности, неоднородности теплофизических свойств и локальные теплотери. По результатам валидации на репрезентативной выборке объектов точность детектирования указанных дефектов составляет 85–90% при соблюдении регламентированных условий съемки и стандартизированных процедур обработки данных.

Оптимальные условия проведения термографического обследования исторических зданий достигаются в утренние и вечерние периоды, когда обеспечивается устойчивый температурный градиент между поверхностью ограждающих конструкций и наружным воздухом не менее 5°C. В этих условиях снижается влияние солнечной инсоляции и конвективных возмущений, что повышает отношение сигнал/шум и повторяемость измерений. Применение разработанной математической модели инверсной оценки влажностного состояния материалов позволяет достигать погрешности определения массовой влажности на уровне $\pm 3-5\%$ (абсолютных) при корректной калибровке по эталонным образцам и учете emissivity-коэффициентов, шероховатости поверхности, толщины отделочных слоев и метеопараметров.

Дополнительно установлено, что:

- Диагностическая чувствительность к подповерхностным дефектам существенно возрастает при использовании активной термографии с контролируемым тепловым возбуждением (импульсное/модульное нагревание) для тонкослойных штукатурных систем и полихромии.
- Коррекция термограмм по геометрическим и радиометрическим искажениям, включая учёт отраженной компоненты и угла наблюдения, снижает суммарную методическую погрешность на 10–15%.
- Сочетание термографии с неразрушающими методами (ультразвуковой томографией, ГПР, электрическим импедансным картированием) повышает полноту выявления дефектов и позволяет проводить перекрестную верификацию результатов.

Библиографический список

1. Мальцев Д. С. Тепловизионное обследование многоэтажного дома // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2023. № 4 (279). С. 73–76.
2. Культияев С. Г. Тепловизионное обследование ограждающих конструкций // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2012. № 2. С. 147–150.
3. Гарькин И. Н., Галишиникова В. В. Методика детерминации степени деструкции объектов культурного наследия: системно-структурный анализ // Региональная архитектура и строительство. 2025. № 2 (63). С. 193–199.
4. Гарькин И. Н. Историко-архитектурная ценность объектов культурного наследия: методика оценки, пофакторный и историко-генетический анализ // Региональная архитектура и строительство. 2025. № 1 (62). С. 192–199.
5. Федяев А. А., Федяев А. А., Федяева В. Н. Особенности тепловизионного обследования деревянных ограждающих конструкций // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 2. С. 36–39.
6. Федяев А. А., Чубинский А. Н., Федяев А. А., Федяева Н. Ю. Анализ энергоэффективности стеновых элементов деревянных домов заводского изготовления // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 90–97.

7. Гарькин И. Н., Гарькина В. А. Техническая экспертиза объектов культурного наследия: разработка проекта предмета охраны // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 4 (29). С. 142 – 147.

8. Логанина В. И., Соколова Ю. А. Силикатные краски для отделки фасадов зданий // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 88 – 100.

9. Логанина В. И., Зайцева М. В. Применение золя кремниевой кислоты при разработке рецептуры составов для реставрации зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2024. № 3 (55). С. 31 – 44.

USE OF THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS FOR MONITORING
AND PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE SITES

I. N. Garkin
G. I. Fazylzyanova

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

Abstract

The application of thermal imaging technologies for non-destructive testing of cultural heritage sites is analyzed. The possibilities of infrared thermography for detecting hidden defects, assessing moisture content, determining thermophysical characteristics of historical materials are investigated. A methodology for conducting thermal imaging surveys of architectural monuments is presented and mathematical models for processing thermograms are proposed. The results of the study show high efficiency of the method for early detection of destructive processes in masonry, plaster coatings and other structural elements of historical buildings.

The Keywords

Thermal imaging diagnostics, cultural heritage sites, non-destructive testing, infrared thermography, conservation of monuments, moisture content of materials, thermophysical properties.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

11.10.2025

Ссылка для цитирования:

И. Н. Гарькин, Г. И. Фазылзянова. Применение тепловизионной диагностики для мониторинга и сохранения объектов культурного наследия. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 41 – 48.



УДК 696.1

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_49-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ НОВОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ТРУБЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ БЕЗНАПОРНЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ КЛАССА СОСТОЯНИЯ IIIa

Ю. С. Захаров

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва

Аннотация

В статье приводится методика статического расчета системы «новая полимерная труба – трубопровод – грунт», позволяющая определить толщину стенки новой полимерной трубы при восстановлении бетонных трубопроводов безнапорных систем водоотведения класса состояния IIIa, которые в долгосрочной и среднесрочной перспективе считаются статически неустойчивыми.

Для восстановления трубопроводов этого класса состояния, когда перекладка невозможна, следует рассматривать технологии «труба в трубе», с использованием полимерных труб заводской готовности или применять новые полимерные трубы, формируемые методом спиральной навивки.

Приведенная в статье методика статического расчета позволяет определить толщину стенки новой полимерной трубы при восстановлении трубопровода класса состояния IIIa с использованием группы технологий «труба в трубе» без использования специализированных компьютерных программ.

Ключевые слова

Система водоотведения, статические расчеты, восстановление, трубопровод, новая полимерная труба.

Дата поступления в редакцию

08.10.2025

Дата принятия к печати

11.10.2025

Известны случаи, когда старые трубопроводы из бетона и железобетона, наряду с характерными для класса состояния III классификационными признаками (наличие продольных трещин, сильная коррозия), имеют низкие прочностные характеристики (соответствуют марке бетона не выше М150) и, как следствие, низкую прочность на сжатие в контактных зонах трещин [1]. В результате, даже при незначительной овальности ($\omega_{GR,v} \leq 6\%$), передача нагрузки через контактные зоны трещин невозможна.

Такие трубопроводы относятся к классу состояния IIIa (рис. 1), а система «трубопровод–грунт» в долгосрочной и среднесрочной перспективе считается статически неустойчивой [1, 2].

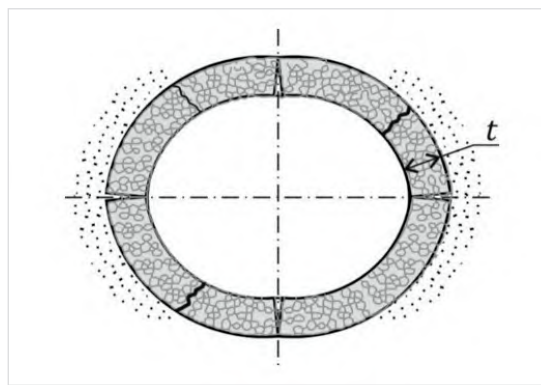


Рис. 1. Трубопровод класса состояния IIIa: t — толщина стенки восстанавливаемого трубопровода

Как правило, гибкие полимерные рукава для восстановления трубопроводов этого класса состояния не применяются. Если перекладка трубопровода невозможна, в первую очередь следует рассмотреть варианты применения других технологий «труба в трубе», в частности, с использованием полимерных труб заводской готовности или формируемых методом спиральной навивки.

В случае применения для восстановления трубопровода технологий «труба в трубе», необходимо определить толщину стенки новой полимерной трубы, которая бы обеспечила длительную надежную эксплуатацию восстановленного трубопровода в течение, как минимум 50 лет [3–8].

Толщина стенки новой полимерной трубы определяется с использованием метода последовательных приближений на основании статического расчета системы «новая полимерная труба – трубопровод – грунт».

Исходные данные для расчета получают при исследовании зоны заделки и материала трубопровода [1].

В общем случае формула для проверочного расчета на прочность, жесткость и устойчивость системы «новая полимерная труба – трубопровод – грунт», используют формулу (1):

$$\frac{S_d}{krit S_d} \leq 1, \quad (1)$$

где S_d — расчетное значение нагрузки; $krit S_d$ — предельное расчетное значение сопротивления нагрузке.

Расчетное значение нагрузки S_d определяется как произведение действующей нагрузки на соответствующий коэффициент надежности γ_F . Предельное расчетное значение сопротивления нагрузки $krit S_d$ определяется как частное прочности конструкционного материала и коэффициента надежности этого материала действующей нагрузке γ_M .

При расчете необходимо определить соотношение (запас устойчивости) между значением критической для потери устойчивости нагрузки на новую полимерную трубу и действующей нагрузкой. Силы сжатия, действующие после санации трубопроводов класса состояния IIIa на стенки новой полимерной трубы, обусловлены:

- гидростатическим давлением грунтовых вод;
- давлением грунта и движением транспортных средств.

Если на систему «новая полимерная труба – трубопровод – грунт» наряду с нагрузками, обусловленными давлением грунта и движением транспорта, одновременно действуют грунтовые воды, условие ее статической устойчивости можно представить в виде неравенства [1]:

$$\left(\frac{q_{v,d}}{krit\ q_{v,d}}\right)^{2,0} + \left(\frac{p_{a,d}}{krit\ p_{a,d}}\right)^{1,0} \leq 1, \quad (2)$$

где $q_{v,d}$ — вертикальная нагрузка, обусловленная давлением грунта и движением транспорта, кН/м^2 ; $krit\ q_{v,d}$ — расчетная критическая суммарная вертикальная нагрузка, кН/м^2 ; $p_{a,d}$ — давление грунтовых вод, кН/м^2 ; $krit\ p_{a,d}$ — расчетное значение критического давления грунтовых вод, вызывающее необратимые деформации новой полимерной трубы (выпучивание), кН/м^2 .

Для статического расчета новой полимерной трубы для восстановления трубопроводов класса состояния IIIa следует использовать расчетную модель, в которой новая труба опирается на упругое основание [2].

В этом случае стенки старой трубы можно представить, как слой уплотненного щебня (рис. 2).

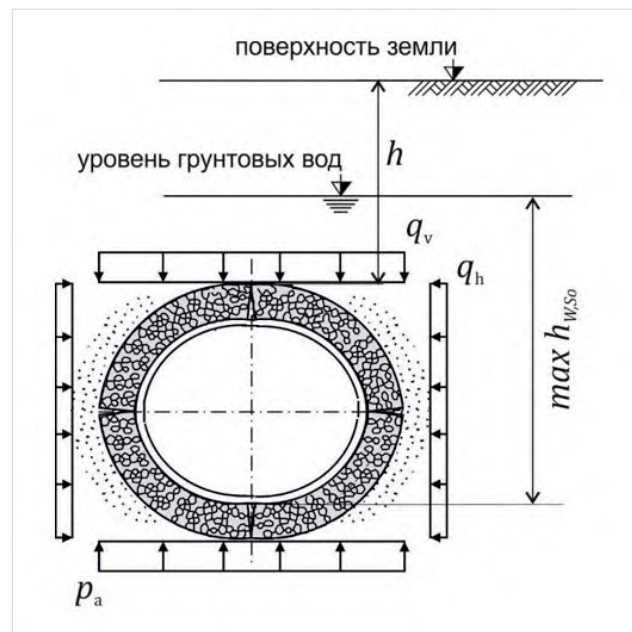


Рис. 2. Расчетная модель для определения толщины стенки новой полимерной трубы при восстановлении трубопроводов класса состояния IIIa: h — расстояние от шельги до уровня земли; q_v — вертикальное воздействие грунта; q_h — горизонтальное воздействие грунта; $max\ h_{w,so}$ — расстояние между уровнем грунтовых вод и лотком старого трубопровода; p_a — давление грунтовых вод

При определении толщины стенки новой полимерной трубы примем следующие допущения:

- с высокой долей вероятности можно считать, что на новую трубу действует суммарная нагрузка, обусловленная давлением грунта и движением транспорта q_v , а также грунтовых вод p_a — формула (3):

$$q_{v,w} = q_v + p_a. \quad (3)$$

- на новую трубу постоянно действуют симметричные нагрузки, обусловленные давлением грунта и движением транспорта, направленные вдоль вертикальной $q_{v,d}$ и горизонтальной оси $q_{h,d}$;
- собственный вес новой трубы при расчетах не учитывается;
- для моделирования новой полимерной трубы используется деформированная упругая балка;
- трение между новой трубой и восстанавливаемым трубопроводом отсутствует;

- деформации при изгибе определяются методом последовательных приближений;
- определяющими нагрузками являются:
 - при преобладающих транспортных нагрузках — нагрузки в шельге;
 - при высоком уровне грунтовых вод — нагрузки в лотке.
- основание новой полимерной трубы: слой щебня и грунт.

Модуль деформации грунта в зоне заделки трубопровода E'_2 с учетом модуля деформации слоя щебня E_{AR} определяется по формуле (4):

$$E'_2 = E_{AR} \cdot \zeta, \quad (4)$$

где E_{AR} — модуль деформации слоя щебня, моделирующего старый трубопровод, Н/мм²;

$\zeta = \frac{1,667}{\Delta f + (1,667 - \Delta f) \cdot \frac{E_{AR}}{E_2}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий жесткость грунта по горизонтальной оси; $\Delta f = \frac{2 \cdot t / d_a}{0,982 + 0,283 \cdot 2 \cdot t / d_a} \leq 1,667$ — коэффициент; d_a — наружный диаметр трубопровода, м;

E_2 — модуль деформации грунта в зоне заделки.

Жесткость основания по горизонтальной оси определяется по формуле (5):

$$S_{Bh} = 0,8 \cdot E'_2, \quad (5)$$

где E'_2 — модуль деформации грунта в зоне заделки, Н/мм².

При наличии грунтовых вод вдоль трассы действующая величина нагрузки в шельге трубопровода $q_{v,d}$ определяется по формуле (6):

$$q_{v,d} = \gamma_{F,G} \cdot \lambda_R \cdot [\gamma_B \cdot (h - h'_w) + \gamma'_B \cdot h'_w] + \gamma_{F,Q} \cdot p_T, \quad (6)$$

где $\gamma_{F,G} = 1,35$ — коэффициент надежности для постоянной нагрузки, обусловленный давлением грунта; $\lambda_R = 0,75$ — коэффициент концентрации напряжений грунта над трубопроводом; γ_B — удельный вес грунта, кН/м³; $h'_w = \max h_{w,so} - d_a$ — расстояние между шельгой и уровнем грунтовых вод, м; $\max h_{w,so}$ — уровень грунтовых вод относительно лотка трубопровода, м; γ'_B — удельный вес грунта в водной среде, кН/м³; $\gamma_{F,Q} = 1,5$ — коэффициент надежности для переменных нагрузок; p_T — напряжения грунта вдоль вертикальной оси, обусловленные дорожным движением, кН/м².

Давление грунта на новую трубу вдоль горизонтальной оси в точке опоры свода $q_{h,d}$ определяется по формуле (7):

$$q_{h,d} = \gamma_{F,G} \cdot K_2 \cdot [\lambda_B \cdot \gamma_B \cdot (h - h'_w) + \gamma'_B \cdot (h'_w + d_a/2)] + \gamma_{F,Q} \cdot p_{Th}, \quad (7)$$

где K_2 — коэффициент, учитывающий соотношение вертикальной и горизонтальной составляющих в зоне заделки; λ_B — коэффициент, учитывающий распределение напряжения грунта в зоне засыпки; p_{Th} — напряжения грунта в области точек опоры свода трубопровода, обусловленные транспортными нагрузками и действующие в горизонтальном направлении, кН/м².

Расчет на прочность

При расчете на прочность новой полимерной трубы следует использовать ее долговременный модуль упругости.

Толщина стенки новой полимерной трубы определяется с использованием графиков [1] для следующих исходных данных:

- модуль упругости материала — формула (8):

$$E_{L,d} = E_L / \gamma_M, \quad (8)$$

где E_L — характеристическое значение долговременного модуля упругости гибкого полимерного рукава после завершения реакции полимеризации; γ_M — коэффициент надежности материала.

- при воздействии грунта и транспортных нагрузок на трубопровод класса состояния IIIa локальные деформации рукава не оказывают существенного влияния на его статическую устойчивость и их можно не учитывать. Поэтому можно принять $\omega_v = 0$;
- при выполнении проверочного расчета принимается допущение, что между старой трубой и новой трубой кольцевая щель отсутствует. $\omega_s = 0$.

Коэффициенты изгибающих моментов m_q , которые используются при статических расчетах новых полимерных труб круглого сечения для санации трубопроводов класса состояния IIIa, с постоянной по периметру толщиной стенки t_L , для внешнего гидростатического давления p_a , можно определить по графикам зависимостей $m_q = f(q_{v,d})$ для заданной овальности $\omega_{GR,v}$ [1]. Овальность задается в процентах от радиуса новой полимерной трубы. График зависимости $m_q = f(q_{v,d})$ для овальности $\omega_{GR,v} = 3\%$ восстанавливаемого трубопровода DN 300 приведен на **рис. 3**.

В качестве коэффициентов нормальной силы при проверочном расчете на устойчивость следует использовать значения:

- при сжатии: $n_q = -1,5$;
- при растяжении: $n_q = -0,8$.

Внутренние напряжения при одновременном воздействии q_v и q_h рассчитываются по формулам (9) и (10):

$$M_{q,d} = m_q \cdot q_{v,d} \cdot r_L^2, \quad (9)$$

$$N_{q,d} = n_q \cdot q_{v,d} \cdot r_L, \quad (10)$$

где m_q — коэффициент изгибающего момента, обусловленный суммарными вертикальными нагрузками; n_q — коэффициенты нормальной вертикальной нагрузки.

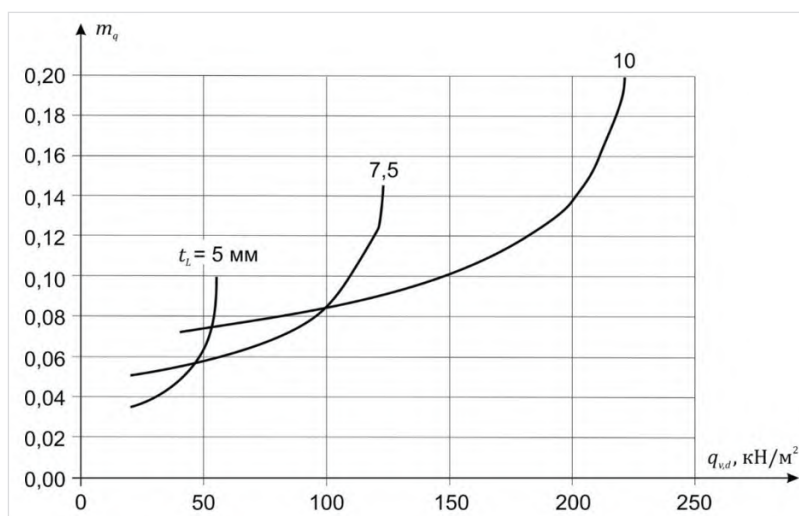


Рис. 3. Графики зависимостей коэффициентов изгибающих моментов m_q , обусловленных давлением грунта и транспортными нагрузками $q_{v,d}$, действующих на новую полимерную трубу с толщиной стенки t_L

Примечания

1. Восстанавливаемый трубопровод: модуль упругости $E_{L,d} = 1000 \text{ Н/мм}^2$; овальность $\omega_{GR,v} = 3\%$; модуль деформации грунта в зоне заделки $E'_2 = 5 \text{ Н/мм}^2$.
2. Новая полимерная труба: реакционная смола — UP; армирующая основа — SF.

Напряжения в наружных и внутренних волокнах новой полимерной трубы определяются с помощью расчетных значений внутренних сил и моментов $M_{q,d}$, $N_{q,d}$ по формулам (11) – (14):

$$\sigma_{i,d} = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i}, \quad (11)$$

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L}, \quad (12)$$

$$\sigma_{a,d} = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_a}, \quad (13)$$

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L}, \quad (14)$$

где N_d — нормальная сила, обусловленная давлением грунтовых вод, кН/м; A — площадь поперечного сечения новой полимерной трубы, мм²; α_{ki} — поправочный коэффициент, учитывающий кривизну стенки новой полимерной трубы; M_d — изгибающий момент, обусловленный давлением грунтовых вод, кН·м/м; W_i — момент сопротивления изгибу внутренних волокон новой полимерной трубы, мм³/мм; r_L — радиус оси стенки новой полимерной трубы, мм; α_{ka} — поправочный коэффициент, учитывающий кривизну стенки новой полимерной трубы; W_a — момент сопротивления изгибу наружных волокон новой полимерной трубы, мм³/мм.

Параметры поперечных сечений для новых круглых полимерных труб на 1 мм длины трубы определяются по формулам (15) и (16):

$$A = 1 \cdot t_L, \quad (15)$$

$$W = W_i = W_a = \frac{1 \cdot t_L^2}{6}, \quad (16)$$

где W_i — момент сопротивления изгибу внутренних волокон новой полимерной трубы, мм³/мм; W_a — момент сопротивления изгибу наружных волокон новой полимерной трубы, мм³/мм.

Полученные в результате расчетов напряжения или растяжения волокон на краях новой полимерной трубы при определении размеров сравниваются с долговременными значениями $\sigma_{bz,d}$, $\sigma_{D,d}$, которые установлены в нормативной документации [1].

Расчет на жесткость

Для подтверждения долговременной деформационной устойчивости системы «новая полимерная труба-трубопровод» необходимо выполнение условия [1]:

$$\delta_v \leq 10 \%,$$

где δ_v — относительное изменение внутреннего диаметра трубопровода d_i по вертикальной оси, %.

Для определения изменения диаметра трубопроводов класса состояния IIIa по вертикальной оси следует увеличить значение упругой деформации $\delta_{v,el}$ на значение исходной овальности $\omega_{GR,v}$ — формула (17):

$$\delta_v = \delta_{v,el} + \omega_{GR,v}, \quad (17)$$

где $\delta_{v,el}$ — упругая деформация новой полимерной трубы вдоль вертикальной оси, %; $\omega_{GR,v}$ — овализация трубопровода, %.

Упругие деформации $\delta_{v,el}$ для трубопроводов класса состояния IIIa можно определить по графикам зависимостей $\delta_{v,el} = f(q_{v,d})$ для заданной овальности $\omega_{GR,v}$ [1]. График зависимости $\delta_{v,el} = f(q_{v,d})$ для овальности $\omega_{GR,v} = 3\%$ восстанавливаемого трубопровода DN 300 приведен на **рис. 4**.

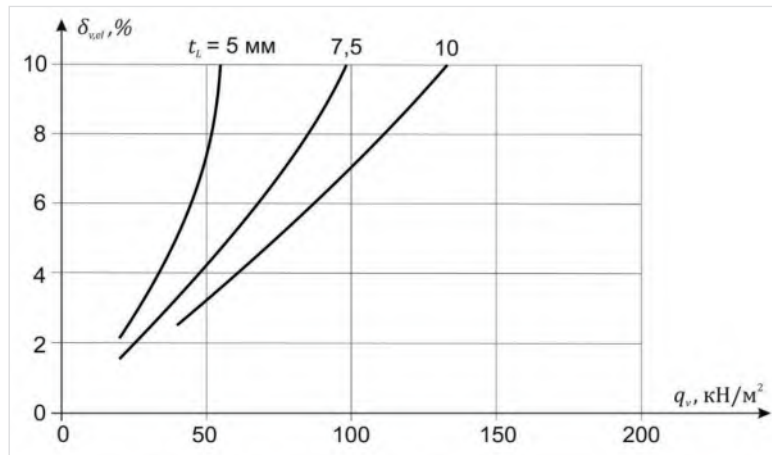


Рис. 4. Величина упругой деформации $\delta_{v,el}$ новой полимерной трубы (UP-SF) с толщиной стенки t_L , обусловленной давлением грунта и транспортными нагрузками q_v , при восстановлении трубопроводов с овальностью $\omega_{GR,v}$

Примечания

1. Восстанавливаемый трубопровод: модуль упругости $E_{L,d} = 1000 \text{ Н/мм}^2$; овальность $\omega_{GR,v} = 3\%$; модуль деформации грунта в зоне заделки $E'_2 = 5 \text{ Н/мм}^2$.
2. Новая полимерная труба: реакционная смола — UP; армирующая основа — SF.

Для упругих деформаций (без учета исходных деформаций) устанавливаются следующие предельные значения:

- для нагрузок, обусловленных гидростатическим давлением грунтовых вод: $\delta_{v,el} \leq 3\%$;
- для нагрузок, обусловленных давлением грунта и движением транспортных средств: $\delta_{v,el} \leq 6\%$;
- для нагрузок, действующих на трубопровод, проложенный под железнодорожными путями: $\delta_{v,el} \leq 2\%$ или $w_{el} \leq 10 \text{ мм}$.

Проверочный расчет на устойчивость к выпучиванию при воздействии грунтовых вод

При воздействии только внешнего гидростатического давления p_a критическое давление потери устойчивости новой полимерной трубы круглого сечения определяется по формуле (18):

$$k_{rit} p_{a,d} = k_{v,s} \cdot \alpha_D \cdot S_{L,d}, \quad (18)$$

где $k_{v,s}$ — интегральный понижающий коэффициент, учитывающий влияние на критическую нагрузку, обусловленную давлением грунтовых вод, дефектов внутренней поверхности трубопровода, овализации и кольцевой щели; α_D — коэффициент пробоя, учитывающий устойчивость полимерной трубы к «хлоп-кú»; $S_{L,d}$ — расчетное значение долговременной жесткости новой полимерной трубы, Н/мм².

Примечание

«Хлопок» («прощёлкивание») — скачкообразная потеря устойчивости тонкой оболочкой. «Хлопок» сопровождается возникновением трещин или появлением значительных пластических деформаций.

Коэффициент пробоя [9 – 11] определяется по формуле (19):

$$\alpha_D = 2,62 \cdot \left(\frac{r_L}{t_L} \right)^{0,8}. \quad (19)$$

Расчетное значение долговременной жесткости новой полимерной трубы с гладкими стенками и однородной структурой достаточной длины определяется по формуле (20):

$$S_{L,d} = \frac{E_{L,d}}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t_L}{r_L} \right)^3 = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{E_{L,k}}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t_L}{r_L} \right)^3, \quad (20)$$

где $E_{L,d}$ — расчетный модуль упругости материала новой трубы, Н/мм²; μ — коэффициент Пуассона; $E_{L,k}$ — характеристический долговременный модуль упругости новой полимерной трубы, Н/мм² [1].

Интегральный понижающий коэффициент определяется по графикам, представленным на **рис. 5**.

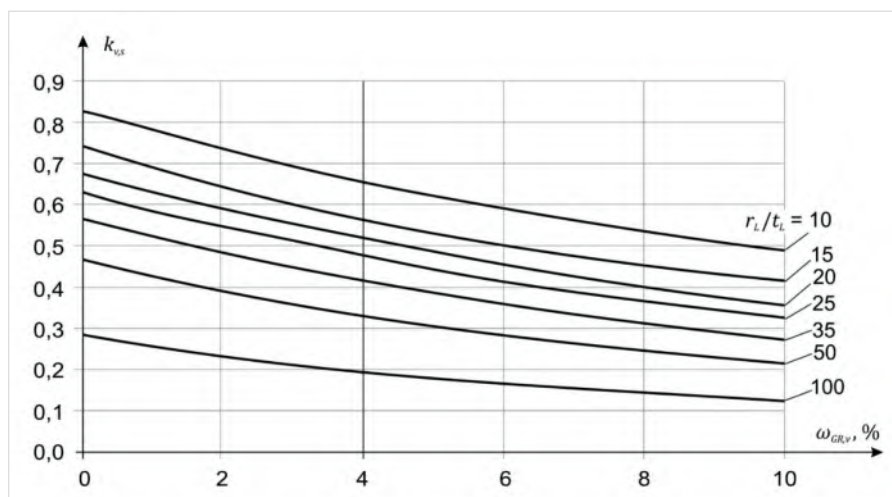


Рис. 5. Значения понижающего коэффициента $k_{v,s}$ для различных значений овализации при $\omega_v = 2\%$ и $\omega_s = 0,5\%$

Внешнее давление воды $p_{a,d}$ является расчетным гидростатическим давлением, приведенным к лотку полимерной трубы, и рассчитывается по формуле (21):

$$p_{a,d} = \gamma_F \cdot \gamma_W \cdot \max h_{W,So}, \tag{21}$$

где γ_W — удельный вес грунтовых вод, кН/м³.

Исходя из вышесказанного, условие устойчивости к «хлопкú» определяется неравенством (22):

$$\frac{p_{a,d}}{krit\ p_{a,d}} \leq 1. \tag{22}$$

Проверочный расчет на деформационную устойчивость к нагрузкам, обусловленным давлением грунта и движением транспорта

Для трубопроводов класса состояния IIIа также необходимо выполнить проверочный расчет на устойчивость к действующим нагрузкам, обусловленным давлением грунта и движением транспорта.

По графикам на **рис. 6** можно определить критические нагрузки для новых полимерных труб на основе искусственного войлока (UP-SF), при которых обеспечивается устойчивость трубопроводов класса состояния IIIа.

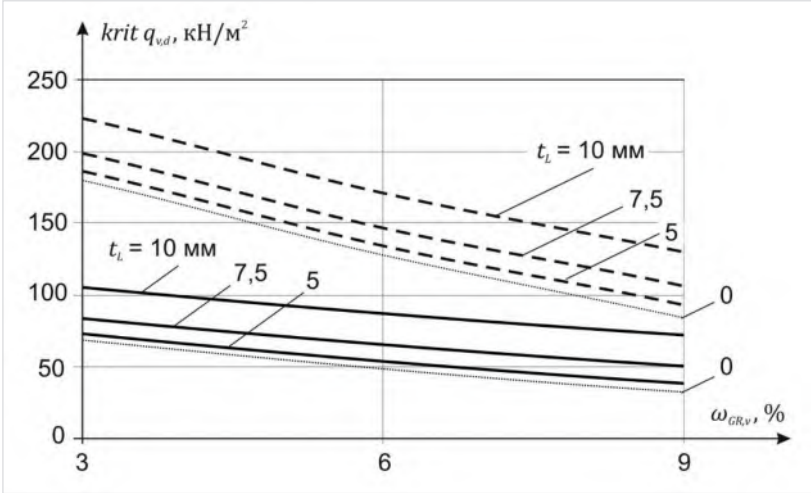


Рис. 6. Значения критической вертикальной нагрузки $krit\ q_{v,d}$ для новой полимерной трубы с толщиной стенки t_L , в зависимости от овализации трубопровода $\omega_{GR,v}$

Примечания

1. Восстанавливаемый трубопровод: DN 300; класс состояния III; $e_G = 0,25 \cdot t$.
2. Новая полимерная труба: реакционная смола — UP; армирующая основа — SF.

На **рис. 6** критическая вертикальная нагрузка $krit\ q_{v,d}$ приводится для $t/r_i = 0,167$ и $K'_2 = 0,2$.

Вывод

Приведенная в статье методика статического расчета позволяет с высокой долей надежности определить толщину стенки новой полимерной трубы при восстановлении трубопровода класса состояния IIIа с использованием группы технологий «труба в трубе» без использования специализированных компьютерных программ.

Библиографический список

1. DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden — Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren — Juli 2015, Hennef. ISBN: 978-3-88721-208-7.
2. DWA-A 127-1 Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen — Teil 1: Grundlagen — Dezember 2022, Hennef. ISBN: 978-3-96862-539-3.
3. Захаров Ю. С., Орлов В. А. Ремонт и восстановление самотечных водоотводящих сетей: Монография. — Москва: Издательство АСБ, 2023. — 266 с. ISBN: 5-4365-1342-5.
4. ATV-DVWK-A 127 (2000) Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. — 3. korrigierte Auflage. — August 2000, Hennef. ISBN: 978-3-933707-37-6.
5. Орлов В. А., Примин О. Г. Анализ причин появления дурнопахнущих газов в водотводящих сетях // Системные технологии. 2024. № 2 (51). С. 22 – 27.
6. Орлов В. А., Крашенинина Ю. Е. Запах в самотечных водоотводящих сетях и мероприятия по борьбе с ним // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 41 – 46.
7. Андрианов А. П., Хургин Р. Е. Анализ нарушений нормальной работы водоотводящей сети и показатели ее надежности // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 54 – 61.
8. Захаров Ю. С. Долгосрочное планирование капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей // Системные технологии. 2024. № 4 (53). С. 64 – 71.
9. Falter, B. Statische Berechnung von Linern. In: Instandsetzung von Rohrleitungen. Band 2: Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen (Hrsg. Richter, H), Vulkan-Verlag GmbH, Dezember 2005, Essen. ISBN: 978-3-802727-31-3.
10. Захаров Ю. С. Определение толщины стенки гибких полимерных рукавов для восстановления трубопроводов класса состояния I // Водоснабжение и санитарная техника. — Москва. — 2024. № 12. С. 53 – 57. DOI: 10.35776/VST.2024.12.08.
11. Захаров Ю. С. Определение толщины стенки гибких полимерных рукавов для восстановления трубопроводов класса состояния II // Водоснабжение и санитарная техника. — Москва. — 2024. № 12. С. 58 – 64. DOI 10.35776/VST.2024.12.09.

DETERMINATION OF THE WALL THICKNESS OF A NEW POLYMER PIPE DURING THE RESTORATION OF PIPELINES OF UNPRESSURIZED WASTEWATER DISPOSAL SYSTEMS OF CONDITION CLASS IIIa

Y. S. Zakharov

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow

Abstract

The article presents a method for static calculation of the system “new polymer pipe–pipeline–soil”, allowing to determine the wall thickness of a new polymer pipe when restoring concrete pipelines of gravity drainage systems of condition class IIIa, which in the long and medium term are considered statically unstable.

To restore pipelines of this condition class, when re-laying is impossible, it is necessary to consider “pipe in pipe” technologies using factory-made polymer pipes or to use new polymer pipes formed by the spiral winding method.

The method of static calculation presented in the article allows to determine the wall thickness of a new polymer pipe when restoring a pipeline of condition class IIIa using the “pipe in pipe” group of technologies without using specialized computer programs.

The Keywords

Drainage system, static calculations, restoration, pipeline, new polymer pipe.

Date of receipt in edition

08.10.2025

Date of acceptance for printing

11.10.2025

Ссылка для цитирования:

Ю. С. Захаров. Определение толщины стенки новой полимерной трубы при восстановлении трубопроводов безнапорных систем водоотведения класса состояния IIIa. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 49–59.



УДК 697.95

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_60-68

ФАКТИЧЕСКИЙ ВОЗДУХООБМЕН В КВАРТИРАХ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

К. М. Фатуллаева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

Работа направлена на рассмотрение соответствия фактического воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого здания проектным данным. В работе рассмотрены методы и результаты натурных испытаний гравитационных вытяжных систем вентиляции, широко применяемых в многоквартирных домах. По результатам измерений температура наружного воздуха, скорость ветра, внутренняя температура воздуха и скорость движения воздуха на входе в вытяжные отверстия рассчитывались реальные расходы воздуха, удаляемого из квартир, которые сравнивались с нормативными показателями, заявленными в проекте. Замеры проводились при открытом положении оконных створок (соответствует расчетному режиму вентиляции). Одновременность замеров устраняет воздействие временных факторов, таких как колебания силы ветра. Сравнительный анализ выявил значительное расхождение между замеренными расходами воздуха и нормативными значениями как при закрытом, так и при открытом состоянии оконных створок.

Ключевые слова

Воздухообмен, системы естественной вентиляции, приточные и вытяжные отверстия, измерение скорости, анемометр.

Дата поступления в редакцию
09.10.2025

Дата принятия к печати
11.10.2025

Введение

Статья посвящена результатам натурных испытаний естественных вытяжных систем вентиляции в многоквартирном доме. Рассматривалась функционированность систем вентиляции при частично открытых поворотно-откидных створках окон. Основной целью было проверить обеспечение нормируемого воздухообмена в квартирах дома. За объект исследования принято многосекционное жилое здание высотой 18 этажей (*рисунок 1*) с тремя вертикальными каналами вентиляции в каждой квартире, обслуживающие помещения кухонь, с/у и ванных комнат (*рисунок 2*). На каждом этаже расположено три квартиры.

Система вентиляции предусматривает естественный приточно-вытяжной воздухообмен. Приточная вентиляция осуществляется естественным способом через поворотно-откидные створки окон. Вытяжная вентиляция представлена сетью вертикальных каналов с присоединёнными ответ-

влениями-спутниками, расположенными под прямым углом к основному каналу. Ответвления имеют длину 2 метра и подсоединяются непосредственно к общему вертикальному воздушному каналу, расположенному под потолком верхнего этажа.

Свежий воздух попадает внутрь помещений через окна, оборудованные специальной конструкцией створчатых элементов. Загрязнённый воздух выходит через систему вентканалов, расположенных вертикально вдоль всей высоты здания, с подключёнными ответвляющими элементами, обеспечивающими равномерное распределение вытяжного эффекта по всем квартирам.

Данная конструкция направлена на создание эффективной системы воздухообмена, соответствующей строительным нормам и правилам, указанным в [1 – 5], и обеспечивающей комфортные условия проживания для жителей.

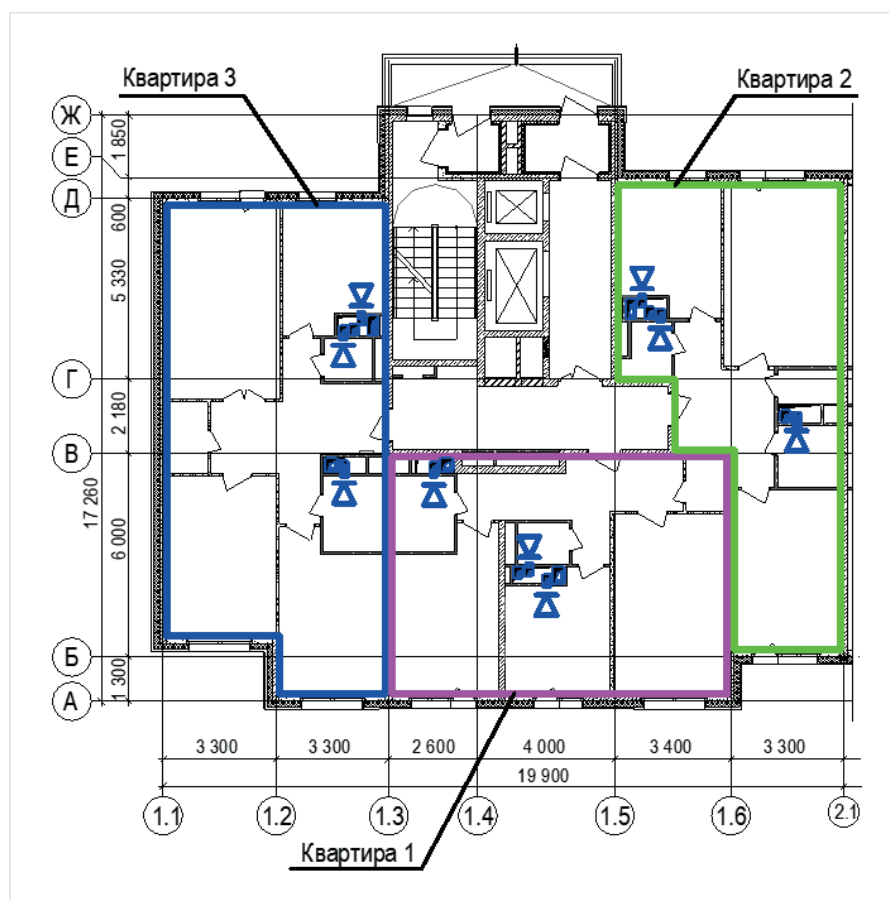


Рис. 1. План типового этажа секции девятнадцатизэтажного жилого дома

Структура вытяжной вентиляции жилого здания предполагает разделение по зонам высотности, каждая из которых обслуживается своей частью системы:

Со второго по одиннадцатый этажи — единая зона обслуживания.

С двенадцатого по восемнадцатый этажи — отдельная зона с собственным потоком воздуха.

В соответствии с [3] расчётные объёмы удаляемого воздуха составляют:

- кухня 60 м³/ч,
- ванная комната: 50 м³/ч,
- санузел: 25 м³/ч.

Кроме того, предусмотрено возмещение объёма воздуха, уходящего через вытяжную систему, приточным воздухом, поступающим через окна при условии их открытого состояния хотя бы в одном из жилых помещений. Этот подход направлен на обеспечение баланса воздухообмена и поддержание комфортной атмосферы в квартире.

Методика исследования

В ходе проведенных натурных испытаний были зафиксированы следующие параметры [6–9]:

- средняя скорость воздуха, проходящего через вытяжные отверстия;
- температура воздуха внутри помещений квартир;
- внешние метеорологические условия, включая температуру наружного воздуха, силу и направление ветра.

Замеры производились специализированными приборами Testo 435-4, оснащёнными датчиками, позволяющими определять как скорость воздушного потока, так и внутреннюю температуру помещений. Особое внимание уделялось этапам подготовки и проведению экспериментов, поскольку сложная архитектура здания создавала трудности при синхронном снятии показаний на различных участках системы вентиляции.

Выбор конкретных этажей (2-ого, 6-ого, 11-ого, 12-ого, 15-ого и 18-ого) обусловлен особенностями расположения вентиляционных шахт и необходимостью оценки функциональности всей системы. Использование современного оборудования позволило повысить точность и надежность полученных данных, что послужило основой для дальнейшего анализа и выводов.

Проведение эксперимента происходило поэтапно, включив в себя серию последовательных шагов:

1. **Подготовка оборудования:** Один измерительный прибор закреплялся на каждом этаже, где размещалась одна или несколько вытяжных систем вентиляции.
2. **Сбор данных:** Производился замер средней скорости воздуха на входе в каждую вытяжную решётку. Продолжительность замера составляла одну минуту, в течение которой фиксировались показания прибора, устанавливающего среднее значение.
3. **Одновременность замеров:** Чтобы минимизировать возможные искажения из-за изменения внешних условий, измерения осуществлялись синхронно по всему зданию сразу на нескольких этажах.
4. **Фиксация результатов:** Полученные данные заносились в специальную таблицу для последующего анализа (*таблица 1*).
5. **Последовательность операций:** После завершения первого цикла замеров следующий цикл начинался спустя три минуты, обеспечивая интервал между сериями замеров и позволяя стабилизироваться воздушной среде.

Эта процедура позволила собрать объективные и репрезентативные данные о функционировании вентиляционной системы, необходимые для последующей обработки и интерпретации результатов.

Проводились замеры средней скорости воздушного потока на входе в каждое вытяжное отверстие всех трех квартир. Помимо измерения скорости, параллельно определяли температуру воздуха внутри помещений, используя тот же комплект приборов. Согласно [10], выбор мест и количества контрольных точек зависит от геометрии поперечного сечения вентиляционного отверстия. Точки располагаются таким образом, чтобы охватить всю поверхность отверстия равномерно.

Таблица 1

Средняя скорость воздуха на входе в вытяжное отверстие при открытых окнах

Параметры наружного и внутреннего воздуха			$t_H = -6\pm0,3^{\circ}\text{C}$	$t_B = 19\pm0,3^{\circ}\text{C}$	$v_H = 2 \text{ м/с}$	Направление ветра—3			
Этаж	При открытых окнах								
	Квартира 1:			Квартира 2:			Квартира 3:		
	Средняя скорость на входе в решетку v , м/с			Средняя скорость на входе в решетку v , м/с			Средняя скорость на входе в решетку v , м/с		
	Решетка 1 (кухня)	Решетка 2 (с/у)	Решетка 3 (совм. с/у + ванная)	Решетка 1 (кухня)	Решетка 2 (с/у)	Решетка 3 (ванная)	Решетка 1 (кухня)	Решетка 2 (с/у)	Решетка 3 (совм. с/у + ванная)
	2	1,43	0,55	0,76	1,63	0,63	0,76	1,64	0,63
6	1,39	0,53	0,66	1,37	0,58	0,6	1,46	0,59	0,67
11	1,34	0,51	0,57	1,24	0,56	0,57	1,3	0,48	0,6
12	1,35	0,56	0,61	1,29	0,62	0,71	1,35	0,56	0,64
15	1,36	0,49	0,37	0,15	0,56	0,73	1,33	0,51	0,5
18	1,2	0,51	0,69	0,98	0,51	0,46	1,22	0,5	0,66

Проводились замеры средней скорости воздушного потока на входе в каждое вытяжное отверстие всех трех квартир. Помимо измерения скорости, параллельно определяли температуру воздуха внутри помещений, используя тот же комплект приборов. Согласно [10], выбор мест и количества контрольных точек зависит от геометрии поперечного сечения вентиляционного отверстия. Точки располагаются таким образом, чтобы охватить всю поверхность отверстия равномерно

По средней скорости воздуха на входе в вытяжные отверстия выполнен расчет объемных расходов удаляемого вытяжными системами вентиляции воздуха, G , кг/ч, из помещений кухонь, ванных и санузла по формуле:

$$G = \frac{3600vF}{\rho},$$

(1)

где v — скорость на входе в вытяжное отверстие, м/с;

F — площадь живого сечения решеток, м²;

ρ — плотность воздуха, м³/ч.

Полученные значения сравнивались с результатами расчета воздушного режима того же здания.

Воздушный режим здания формируется совокупностью множества факторов, влияющих на движение воздуха внутри и вокруг строения. Основными составляющими этого процесса являются:

Влияние природных факторов:

- **гравитация:** Различия в плотности теплого и холодного воздуха создают разницу давлений, стимулируя конвекционное движение воздуха вверх.
- **ветер:** Наружный ветер создает дополнительное давление на стены здания, вызывая проникновение воздуха через щели и отверстия.

Технические факторы:

- **воздухопроницаемость стен и перекрытий:** Конструктивные дефекты и неплотности приводят к дополнительным путям проникновения воздуха извне.
- **режимы работы вентиляционных систем:** Естественная и принудительная вентиляция играют ключевую роль в регулировании обменных процессов воздуха.

Все перечисленные факторы взаимодействуют друг с другом, формируя сложный динамический баланс, известный как воздушный режим здания. Важно понимать, что воздухообмен в каждом отдельном помещении не существует изолированно. Его состояние связано с соседними помещениями, системами вентиляции и межэтажными коммуникациями, такими как лестницы и лифты. Поэтому адекватное проектирование и эксплуатация вентиляционных систем требуют комплексного подхода, учитывающего взаимодействие всех перечисленных аспектов.

Воздушный режим здания представляется как комплексная система, в которой потоки воздуха движутся под воздействием градиентов давления. Для описания поведения воздушных потоков используют две ключевых концепции [11]:

1. **Первый закон Кирхгофа:** Сумма расходов воздуха через все воздухопроницаемые элементы должна равняться нулю. Это означает, что общее количество воздуха, поступающее в здание, равно количеству воздуха, покидающего его. Закон применяется для узлов распределения воздуха (вентиляционные шахты, дверные проёмы и т. д.).
2. **Уравнение Бернулли:** Потери давления зависят от расхода воздуха, проходящего через отдельные элементы воздухопроницаемой структуры. Чем больше поток воздуха, тем сильнее потери давления, возникающие на пути перемещения воздуха.

Строится схема, включающая разные уровни взаимодействия воздушных потоков (квартиры, коридоры, лестничные клетки и т. д.). Каждая зона рассчитывается индивидуально. Зоны, оказывающие взаимное влияние на воздушные потоки, оцениваются позже остальных, что позволяет учесть эффект обратной связи. Определённые давления внутри помещений и потоки воздуха через проёмы и вентиляционные системы служат базой для принятия технических решений по оптимизации работы вентиляций и повышению энергоэффективности здания.

Таким образом, понимание принципов и методик расчёта воздушного режима помогает инженерам создать эффективную и экономичную схему вентиляции и кондиционирования воздуха в здании.

$$G_{отв} = \left[\frac{|P_n - P_{вн}|}{S_{отв}} \right]^{1/r} \text{sign}(P_n - P_{вн}), \quad (2)$$

$P_{т,н}$ — полное избыточное наружное давление, приложенное к центру воздухопроницаемого элемента, Па;

$P_{вн}$ — внутреннее давление в помещении, Па;

r — коэффициент, зависит от режима фильтрации воздуха (3/2 — для окон, 2 — для дверей);

$S_{отв}$ — характеристика сопротивления воздухопроницаемых отверстий, Па/(кг/ч)²:

$$S_{отв} = 10 \left(\frac{R_{отв}}{F_{отв}} \right)^r, \quad (3)$$

$R_{отв}$ — сопротивление воздухопроницанию воздухопроницаемого отверстия, (м²·ч)/кг, при разности давлений по обе стороны воздухопроницаемого элемента 10 Па;

$F_{отв}$ — площадь воздухопроницаемого отверстия, м².

Расход воздуха через открытую створку окна:

$$G_{пр} = 3600 \mu_{ств} A_{ств} \sqrt{2\rho(P_n - P_{вн})} \cdot \text{sign}(P_n - P_{вн}), \quad (4)$$

$\mu_{отв,н}$ — коэффициент расхода воздухопроницаемого отверстия.

Расход воздуха, удаляемый системами вентиляции:

$$G_{уд,м} = \left(\frac{|P_{к.у.} - P_{н.у.}|}{S_{уч}} \right)^{1/2} \text{sign}(P_{к.у.} - P_{н.у.}), \quad (5)$$

$P_{н.у.}$, $P_{к.у.}$ — давление в начале и конце рассматриваемого участка, Па;

$S_{уч}$ — характеристика сопротивления участка сети, Па/(кг/ч)²:

$$S = \frac{\frac{\lambda}{d} l + \sum \zeta}{2 f^2 \rho 3600^2}, \quad (6)$$

λ — коэффициент гидравлического трения;

d — эквивалентный диаметр воздуховода, м;

l — длина воздуховода, м;

ζ — коэффициент местного сопротивления на участке;

f — живое сечение элемента, м²;

ρ — плотность перемещаемого воздуха, кг/м³.

Наружное давление состоит из трех основных компонентов: ветровой и гравитационной составляющих и внутреннего гравитационного давления, которое выносится к наружному [12], что более удобно при определении внутреннего давления в помещении [13–15]:

$$P_{полн}^{нар} = g(H_{расч} - h)(\rho_n - \rho_v) + (C_{аэр} - C_{аэр}^{зав}) \frac{v_{ветра}^2}{2} \rho_n k, \quad (7)$$

g — ускорение силы тяжести, м/с²;

$H_{расч}$ — расстояние от условного нуля до земли, м;

h — расстояние центра воздухопроницаемого элемента от земли, м;

ρ_n — плотность наружного воздуха, кг/м³;

ρ_v — плотность внутреннего воздуха, кг/м³;

$C_{аэр}$ — аэродинамический коэффициент, т. е. доля статического давления, формирующегося на каждом фасаде от динамического давления ветра;

$v_{ветра}$ — скорость ветра на фасад, м/с;

k — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте здания.

Результаты исследования

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными представлено на **рисунке 2**.

Сравнение экспериментально полученных данных с расчетными значениями показали высокую сходимость результатов. Но результаты расчета отличны от нормируемых воздухообменов в соответствии с [СП 60].

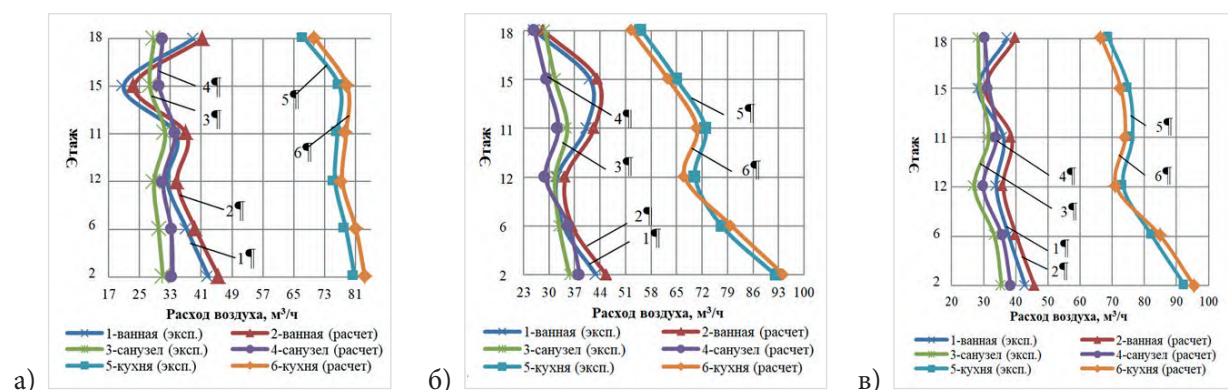


Рис. 2. Расходы удаляемого естественными вытяжными системами воздуха: а — из квартиры 1, б — из квартиры 2, в — из квартиры 3

Выводы

Результаты проведенного исследования выявили ряд важных наблюдений касательно функционирования вентиляционных систем в многоквартирных жилых зданиях. Открывание створок на кухне оказывает существенное влияние на работу вентиляционной системы. Несмотря на открытие окон, наблюдается значительный дефицит вытяжного воздуха, что нарушает установленный нормативный баланс. Фактический расход воздуха, удаляемого через вытяжные системы, оказался ниже рекомендуемых значений, установленных действующими строительными нормами и правилами. Для обеспечения воздухообмена, близкого к нормируемому, необходимо выполнять расчет воздушного режима здания на стадии проектирования.

Библиографический список

1. Константинова, В.Е. Расчет воздухообмена в зданиях методом гидравлической аналогии / В. Е. Константинова // Водоснабжение и санитарная техника. — 1961. — № 11.
2. СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. — М.: Минрегион России, 2016. — 42 с.
3. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. — М.: Минстрой России, 2016. — 78 с.
4. Стандарт АВОК 2.1-2017 Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. — Москва, 2017. — 16 с.
5. ТО-06-17640 Пособие по проектированию принципиальных схем систем вентиляции и противодымной вентиляции в жилых, общественных зданиях и стоянках автомобилей: примеры схем и решений. Огнестойкие воздуховоды. Противопожарные клапаны и дымовые клапаны. — М.: ОАО Моспроект, 2007. — 192 с.
6. Агаханова, К. М. Натурное испытание гравитационных вытяжных систем вентиляции / К. М. Агаханова, Е. Г. Малявина // Сборник материалов семинара молодых учёных «Молодёжные инновации» XXI Международной научной конференции «Строительство — формирование среды жизнедеятельности». — М.: МГСУ, 2018. — С. 311–313.

7. Бодров, М. В. Режимы работы естественной приточно-вытяжной вентиляции многоквартирных жилых домов / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин // Приволжский научный журнал. — 2014. — № 1 (29). — С. 51–56.
8. Прохоренко, А. П. Естественная вентиляция зданий с теплым чердаком / А. П. Прохоренко, О. А. Сизенко // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2011. — № 12 (120). — С. 82–83.
9. Скрябин, В. И. Исследование скорости потока воздуха в системах естественной вентиляции жилого здания в зимних условиях / В.И. Скрябин, Е. Г. Старостин // Вестник северо-восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. — 2011. — № 4. — С. 56–59.
10. ГОСТ 12.3.018-79. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. — М.: Издательство стандартов, 1979. — 8 с.
11. Кривошеин, М. А. К вопросу о математическом моделировании распределения воздуха в системах вентиляции / М. А. Кривошеин // Омский научный вестник. — 2017. — № 5. — С. 98–103.
12. Батулин, В. В. Аэрация многопролетных цехов промзданий / В. В. Батулин // Отопление и вентиляция. — 1935. — № 6. — С. 2–7.
13. Бирюков, С. В. Разработка метода определения нормы потребления тепловой энергии системами отопления и вентиляции общественных зданий (на примере учебных корпусов ВУЗов): дис. канд. техн. наук : 05.23.03 / С. В. Бирюков. — Москва, 2002. — 198 с.
14. Тертичник, Е. И. Вентиляция / Е. И. Тертичник. — М.: Издательство АСВ, 2015. — 608 с.
15. Agakhanova, K. M. Computational Study of a Natural Exhaust Ventilation System During the Heating Period / E. G. Malyavina, K. M. Agakhanova // Advances in Intelligent Systems and Computing — 2019. — Vol. 1 — Pp 116–124.

THE ACTUAL AIR EXCHANGE IN APARTMENTS OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING

K. M. Fatullaeva

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The work is aimed at considering the compliance of the actual air exchange in apartments of a multi-storey residential building with design data. The paper considers the methods and results of field tests of gravity exhaust ventilation systems widely used in apartment buildings. Based on the measurement results, the outdoor air temperature, wind speed, internal air temperature and the air flow rate at the exhaust vents were calculated, the real costs of the air removed from the apartments, which were compared with the normative indicators stated in the project. The measurements were carried out with the window sashes open (corresponds to the calculated ventilation mode). Simultaneous measurements eliminate the impact of temporary fac-

The Keywords

Air exchange, natural ventilation systems, supply and exhaust ports, speed measurement, anemometer.

Date of receipt in edition

09.10.2025

Date of acceptance for printing

11.10.2025

tors such as fluctuations in wind strength. A comparative analysis revealed a significant discrepancy between the measured air flow rates and the standard values for both closed and open window sashes.

Ссылка для цитирования:

К. М. Фатуллаева. Фактический воздухообмен в квартирах многоэтажного жилого здания. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 60–68.





УДК 330.3

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_69-75

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ В РАБОТЕ ОРГАНОВ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т. В. Чернышова*

Е. А. Чернышова**

А. А. Титков***

* Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

** «Национальный институт качества» Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения (ФГБУ «Национальный Институт Качества» Росздравнадзора), г. Москва

*** Общество с ограниченной ответственностью «ВашЭксперт», г. Москва

Аннотация

Современные условия строительной отрасли требуют не только соблюдения высоких стандартов качества и безопасности материалов, но и эффективного функционирования органов, осуществляющих оценку соответствия. В этом контексте автоматизация и внедрение информационных технологий становятся ключевыми факторами повышения точности, прозрачности и оперативности процедур контроля. Однако несмотря на очевидные преимущества, процесс цифровизации в органах по оценке соответствия сталкивается с рядом серьезных барьеров, включая технические, организационные, кадровые и правовые аспекты.

Статья посвящена комплексному анализу проблем, возникающих при интеграции цифровых решений в деятельность по оценке соответствия строительных материалов. Рассматриваются не только технологические трудности, но и реальные кейсы, демонстрирующие неполное использование потенциала автоматизации.

Автор обращается к вопросам нормативного регулирования, доступности инфраструктуры, уровня цифровой зрелости испытательных лабораторий и органов по сертификации, а также к кадровому обеспечению цифровой трансформации. Отдельное внимание уделено анализу пилотных проектов и опыту регионов, где автоматизация процессов оценки соответствия уже начала приносить результаты.

В результате работы предложены направления совершенствования системы оценки соответствия на основе цифровых инструментов, а также стратегические ориентиры для развития отрасли в условиях цифровой экономики.

Ключевые слова

Информационные технологии, автоматизация, строительные материалы, органы оценки соответствия, цифровизация, стандартизация, контроль качества.

Дата поступления в редакцию

11.10.2025

Дата принятия к печати

14.10.2025

Введение

Строительная отрасль традиционно занимает одно из ключевых мест в экономике Российской Федерации, определяя темпы урбанистического развития, уровень инфраструктурной безопасности и степень технологического суверенитета государства. При этом, устойчивое развитие строительства невозможно без строгого соблюдения требований к качеству, прочности, экологичности и долговечности применяемых строительных материалов.

На протяжении последних десятилетий особое значение приобретает институт оценки соответствия — система процедур, направленных на объективную верификацию характеристик продукции и подтверждение её соответствия установленным нормативам, техническим регламентам и национальным стандартам. Именно через органы по оценке соответствия реализуется государственная и общественная гарантия того, что используемые материалы не представляют опасности и пригодны для эксплуатации в строительстве [2].

Современные вызовы, связанные с глобализацией рынков, усилением контроля за качеством продукции, необходимостью быстрого реагирования на технологические изменения, а также переходом к цифровой экономике, требуют радикального переосмысления традиционных подходов к проведению процедур оценки соответствия. В частности, всё более очевидной становится необходимость интеграции информационных технологий и автоматизированных систем в деятельность органов по сертификации и испытательных лабораторий [5].

Автоматизация процессов, цифровая трансформация документооборота, внедрение лабораторных информационных систем и средств удалённого контроля позволяют значительно повысить точность, надёжность и прозрачность процедур оценки, сократить сроки их проведения, минимизировать влияние человеческого фактора и снизить издержки всех участников строительного рынка. Тем не менее, несмотря на развитие цифровых решений в смежных отраслях, уровень автоматизации в сфере оценки соответствия строительных материалов остаётся недостаточным [7].

В большинстве случаев цифровизация ограничивается внедрением электронного документооборота или переходом к формально-цифровым форматам хранения данных, не сопровождаясь переосмыслением логики процессов и структурных связей между элементами системы. Отсутствие единой методологической базы, неразвитость нормативно-правового регулирования, слабая совместимость существующих ИТ-решений и нехватка квалифицированных кадров становятся серьёзными барьерами на пути трансформации. Более того, цифровая зрелость органов по оценке существенно варьируется в зависимости от региона, формы собственности, типа лаборатории или сферы специализации, что усугубляет фрагментацию системы в целом [3].

Особую актуальность данная проблематика приобретает в условиях усиливающейся интеграции российской строительной отрасли в международные технологические и стандартизационные процессы. Необходимость признания российских протоколов за рубежом, участие в трансграничных проектах, соответствие требованиям международных систем аккредитации — всё это требует высокого уровня прозрачности, верифицируемости и прослеживаемости данных, что невозможно обеспечить без внедрения автоматизированных и стандартизированных цифровых решений [1]. Таким образом, цифровизация оценки соответствия становится не только инструментом повышения эффективности, но и фактором конкурентоспособности строительной продукции на глобальном уровне.

Цель настоящего исследования заключается в комплексном анализе проблем, препятствующих эффективной интеграции цифровых технологий в деятельность органов, осуществляющих оценку соответствия строительных материалов, а также в формировании предложений по преодолению выявленных барьеров.

Результаты исследования позволили выявить как структурные дисфункции существующей системы, так и перспективные направления её модернизации с опорой на цифровые инструменты.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ современного состояния цифровизации в органах по оценке соответствия строительных материалов позволяет констатировать, что, несмотря на общее направление на цифровую трансформацию в строительной отрасли, фактический уровень внедрения информационных технологий остаётся крайне ограниченным. Это выражается в том, что значительная часть организаций по-прежнему опирается на традиционные формы обработки данных, ручные процедуры формирования протоколов и бумажный документооборот. Такая ситуация обусловлена множеством факторов, как внутренних, так и внешних, охватывающих технологические, кадровые, нормативные и финансовые аспекты.

Для более глубокого понимания барьеров, сдерживающих автоматизацию, целесообразно обратиться к обобщённым результатам проведённого исследования, представленным в таблице, отражающей основные проблемные зоны, выявленные при анализе состояния органов оценки соответствия.

Таблица 1

Основные барьеры цифровизации органов по оценке соответствия строительных материалов

Категория проблемы	Содержание препятствий
Технологические	Отсутствие совместимых программных решений, фрагментарность используемой ИТ-инфраструктуры
Нормативно-правовые	Недостаточная юридическая значимость электронных документов, отсутствие единых стандартов цифрового взаимодействия
Кадровые	Низкий уровень ИТ-компетенций у сотрудников, ограниченность в доступе к цифровому обучению
Финансовые	Высокая стоимость внедрения программного обеспечения, отсутствие поддержки для малых организаций
Организационные	Инертность внутренних процессов, сопротивление переходу на новые форматы работы

Приведённые в таблице факторы позволяют судить о том, что проблемы цифровизации не являются изолированными и требуют системного подхода к их решению. Прежде всего, необходимо отметить, что отсутствие технологической совместимости между различными системами и платформами препятствует формированию сквозных цифровых цепочек. Даже при наличии отдельных решений в рамках одной организации их полезность оказывается ограниченной при взаимодействии с внешними структурами — аккредитуемыми органами, заказчиками, производителями и государственными системами контроля [4]. Кроме того, юридически не урегулированный статус цифровых протоколов испытаний и удалённого аудита делает автоматизацию не только технически, но и нормативно уязвимой. Ситуация усугубляется дефицитом специалистов, способных внедрять и сопровождать подобные решения, особенно в регионах и на уровне малых предприятий [6].

Финансовый аспект также играет ключевую роль. Организации с ограниченным бюджетом объективно не могут позволить себе закупку дорогостоящих ИТ-продуктов, особенно если отсутствуют

государственные субсидии или налоговые льготы на цифровизацию. Вместе с тем, внутренние организационные барьеры, включая сопротивление изменениям, отсутствие цифровой культуры и сложившуюся инерцию бумажных процедур, формируют устойчивую среду, в которой цифровизация воспринимается как дополнительная нагрузка, а не как инструмент развития [10].

Однако при наличии политической воли и инвестиционной поддержки цифровизация может обеспечить принципиально новый уровень эффективности, прозрачности и достоверности оценки соответствия. В *таблице 2* представлены ожидаемые эффекты при успешной реализации ИТ-решений в отрасли.

Таблица 2

Ожидаемые эффекты цифровизации процедур оценки соответствия

Ожидаемый эффект	Практическое значение
Сокращение времени процедур	Существенное ускорение процессов подготовки заключений и выдачи сертификатов
Повышение качества данных	Исключение человеческого фактора и снижение вероятности ошибок при регистрации результатов
Устранение бумажных носителей	Повышение сохранности документов и упрощение доступа к архивной информации
Повышение прозрачности	Возможность отслеживания каждого этапа испытаний и аудита с полной верифицируемостью
Интеграция с гос. платформами	Улучшение взаимодействия с Росаккредитацией, ГИС, строительным надзором

Возможные эффекты цифровизации выходят далеко за рамки внутренних улучшений в работе конкретных лабораторий или сертификационных центров. Речь идёт о переосмыслении самой концепции оценки соответствия как элемента цифровой инфраструктуры строительной отрасли. Появляется возможность оперативного анализа накопленных данных, выявления трендов в качестве материалов, прогнозирования отказов, автоматизированного выявления поддельных сертификатов и некачественной продукции. Это может стать основой для формирования национальных цифровых каталогов строительных материалов, где каждая партия будет сопровождаться электронным паспортом с результатами лабораторных испытаний, проверенными и верифицированными в цифровом виде [3].

Кроме того, системный переход к цифровому формату позволит усилить надзорные функции государства, так как данные будут доступны в реальном времени и могут быть автоматически сопоставлены с проектной документацией и нормативными требованиями. В условиях интенсификации градостроительной деятельности и ужесточения требований к безопасности объектов это приобретает особую актуальность [7].

Таким образом, результаты анализа указывают на необходимость не просто технической модернизации органов оценки соответствия, но и комплексной трансформации институциональной среды.

Цифровизация должна быть не актом внедрения отдельных решений, а частью стратегического курса отраслевой модернизации, опирающегося на стандартизацию, нормативное обеспечение, подготовку кадров и экономическое стимулирование участников. Только в этом случае можно рассчитывать на формирование устойчивой и эффективной модели оценки качества строительных материалов, соответствующей вызовам цифровой экономики.

Выводы

Проведённое исследование позволило установить, что внедрение информационных технологий и автоматизации в деятельность органов по оценке соответствия строительных материалов является неотъемлемым элементом современной трансформации строительной отрасли, однако на практике этот процесс протекает крайне неравномерно и сопровождается целым рядом системных ограничений. Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, её реализация сдерживается как внутренними, так и внешними факторами, включая недостаточную технологическую подготовленность, фрагментарность нормативно-правовой базы, низкий уровень цифровой зрелости участников системы и дефицит квалифицированных специалистов.

Выявлено, что автоматизация процессов оценки соответствия в большинстве случаев ограничивается формальной «оцифровкой» документов без изменения логики процедур и бизнес-моделей. Такая поверхностная цифровизация не только не решает ключевых проблем, но и порождает новые трудности, связанные с несогласованностью цифровых форматов, невозможностью сквозной прослеживаемости данных и отсутствием юридической силы у значительной части электронных записей. Практические примеры, рассмотренные в рамках исследования, свидетельствуют о том, что лишь при комплексном подходе — сочетающем техническую модернизацию, институциональные изменения и нормативное обновление — возможен ощутимый эффект от внедрения ИТ-решений.

Одним из ключевых обобщений стало понимание того, что цифровизация органов по оценке соответствия — это не просто технологический процесс, а стратегический вызов, связанный с необходимостью переосмысления роли института сертификации и испытаний в условиях цифровой экономики. От успешности этой трансформации напрямую зависит прозрачность строительного рынка, доверие к результатам контроля, а также способность отечественной строительной продукции конкурировать на международных рынках, где цифровая документация, стандартизированные форматы данных и автоматическая верификация уже становятся нормой.

В перспективе цифровизация может стать фундаментом для создания единого цифрового пространства в строительной сфере, включающего в себя интеграцию лабораторных систем с государственными платформами, формирование цифровых паспортов продукции, использование искусственного интеллекта в анализе результатов испытаний и предиктивной сертификации. Однако для реализации этого потенциала необходимо обеспечить нормативное признание электронных протоколов, разработать и внедрить универсальные форматы обмена данными, инвестировать в обучение специалистов и разработку специализированных ИТ-продуктов, адаптированных к потребностям отрасли.

Таким образом, цифровая трансформация органов по оценке соответствия строительных материалов должна рассматриваться не как локальная инициатива отдельных участников рынка, а как приоритетное направление государственной и отраслевой политики. Только при комплексной координации усилий государства, бизнеса и профессионального сообщества возможно преодоление текущих барьеров и формирование устойчивой, прозрачной и эффективной системы оценки качества строительной продукции, соответствующей вызовам времени и принципам цифровой экономики.

Библиографический список

1. Абути́н Р. А. Оценка соответствия инженерных проектов современным стандартам безопасности // Актуальные исследования. — 2024. — №. 32 (214).

2. Гасанов К. К., Игнатов А. Н. Факторы детерминации и меры противодействия обороту фальсифицированных строительных материалов // Вестник Московского университета МВД России. — 2025. — №. 1. — С. 31–36.
3. Кагазежев А. Ю. Концепция автоматизации проектирования капитального ремонта МКД с использованием систем ИИ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — №. 10. — С. 309–313.
4. Манакова И. А., Ряплова О. Н. Интегрированный метод управления рисками органов оценки соответствия // Управленческий учет. — 2024. — №. 5. — С. 197–205.
5. Пикус Д. М., Бушуева Е. В. Система управления качеством в строительстве. — 2024. — 311 с.
6. Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Ваганов Н. А. Особенности подбора нормативной документации по пожарной безопасности строительных материалов с помощью нейросетей // Современные проблемы гражданской защиты. — 2025. — №. 1 (54). — С. 145–153.
7. Снимищиков С. В. и др. Использование цифровых технологий для решения практических задач строительной отрасли // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — №. 3. — С. 59–62.
8. Снимищиков С. В., Саврасов И. П., Чарушин М. С. Количественная оценка качества строительной продукции с применением программных комплексов и машинопонимаемых стандартов // Бетон и железобетон. — 2025. — Т. 628. — №. 3.
9. Чайкин А. А. Автоматизация процессов проектирования и монтажа инженерных систем на строительных объектах // Актуальные исследования. — 2024. — №. 43 (225). — С. 20–26.
10. Якунов С. Г., Колотова Ю. И. Осуществление контроля качества при строительстве инженерных сооружений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2025. — №. 1-3 (100). — С. 251–254.

PROBLEMS OF INFORMATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION IMPLEMENTATION IN THE WORK OF BUILDING MATERIALS CONFORMITY ASSESSMENT BODIES

T. V. Chernyshova *

E. A. Chernyshova **

A. A. Titkov ***

* Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

** “National Institute of Quality” of the Federal Service for Surveillance in Healthcare (RFSBI “National Institute of Quality”), Moscow

*** VashExpert Ltd, Moscow

Abstract

The modern conditions of the construction industry require not only the observance of high standards of quality and safety of materials, but also the effective functioning of bodies carrying out conformity assessment. In this context, automation and the introduction of information technology are becoming key factors in improving the accuracy, transparency and efficiency of control procedures. However, despite the obvious advantages, the process of digitalization in conformity assessment bodies faces a number of serious barriers, including technical, organizational, personnel and legal aspects.

The article is devoted to a comprehensive analysis of the problems that arise when integrating digital solutions into conformity assessment activities for building materials. Not only technological difficulties are considered, but also real-world cases demonstrating the incomplete use of automation potential.

The author addresses issues of regulatory regulation, accessibility of infrastructure, the level of digital maturity of laboratories and certification organizations, as well as staffing for digital transformation. Special attention is paid to the analysis of pilot projects and the experience of regions where automation of evaluation processes has already begun to bring results.

As a result of the work, directions for improving the conformity assessment system based on digital tools are proposed, as well as strategic guidelines for the development of the industry in the digital economy.

The Keywords

Information technology, automation, building materials, conformity assessment bodies, digitalization, standardization, quality control.

Date of receipt in edition

11.10.2025

Date of acceptance for printing

14.10.2025

Ссылка для цитирования:

Т. В. Чернышова, Е. А. Чернышова, А. А. Титков. Проблемы внедрения информационных технологий и автоматизации в работе органов по оценке соответствия строительных материалов. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 69–75.



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_76-92

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ

В. К. Мусаев^{*} / ^{***} / ^{***} / ^{****} / ^{*****}

^{*} Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва

^{**} Институт системных технологий, г. Махачкала

^{***} Российский университет транспорта, г. Москва

^{****} Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва

^{*****} Российская академия естественных наук, г. Москва

Аннотация

Актуальность

В данном исследовании представлена информация о цифровом (вычислительном) моделировании нестационарных волн переходного процесса в подземном сооружении при нестационарном сейсмическом воздействии. Моделирование нестационарного сейсмического волнового воздействия на строительные объекты является актуальной задачей как с научной, так и с прикладной точек зрения.

Методика

Для изучения, определения и оценки переходных волновых процессов была разработана специальная методика, алгоритм и вычислительный комплекс программ. Этот комплекс позволяет получить перемещения, скорости перемещений, ускорения, напряжения и деформации в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых процессах. При создании комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90. Исследуемая область была разбита на конечные элементы первого порядка по пространственным и временным переменным. С помощью математического моделирования система с бесконечным числом неизвестных была сведена к системе с конечным количеством неизвестных.

Результаты

Для оценки достоверности и точности разработанного комплекса программ была решена задача о воздействии двух периодов в виде треугольника и трапеции на упругую полуплоскость. Система уравнений из 8016008 неизвестных была решена по явной двухслойной схеме. Результаты напряженного состояния показали

Ключевые слова

Безопасность в чрезвычайных ситуациях, гражданская оборона в мирных целях, природная и техносферная безопасность, подземное сооружение, контурное напряжение, несущая способность, первое предельное состояние, механическое напряжение, прочность, комплекс программ Мусаева В. К.

Дата поступления в редакцию

13.10.2025

Дата принятия к печати

16.10.2025

качественное и количественное совпадение с реальными данными. Была решена задача о внешнем сейсмическом волновом воздействии на подземное сооружение. Воздействие моделируется в виде ступеньки или функции Хевисайда. Система уравнений из 16016004 неизвестных была решена. Были получены напряжения, перемещения и траектории перемещений в характерных областях исследуемой задачи — подземное сооружение.

Введение

Постановка нестационарных волновых задач, методы и результаты решенных задач приведены в следующих работах [1 – 27]. Программированный и алгоритмический подход представления научных результатов в настоящее время является приоритетным в экономике информационных технологий. В настоящее время имеется возможность создания наук под общим знаменателем «Фундаментальная инженерия». Комментарий, научного результата, в котором отсутствует выход исследований в виде иллюстраций или математических терминов, можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

Статья посвящена численному (математическому моделированию нестационарной сейсмической волны на подземное сооружение с упругим основанием при фундаментальном воздействии в виде ступеньки или функции Хевисайда.

В этой области имеются некоторые исследования разных ученых. Приводится некоторый анализ применения волн напряжений в различных объектах, которые выполнены с помощью математического моделирования.

В статье [4] исследуется проблема воздействия плоской продольной сейсмической волны, представляющей собой импульс в виде ступеньки или функции Хевисайда, на свободную поверхность упругой полуплоскости. Сейсмическое волновое воздействие приложено параллельно свободной поверхности. Для решения этой задачи применяется численное моделирование уравнений нестационарной волновой теории упругости. В результате анализа определяются значения напряжений, возникающих на контуре упругой полуплоскости.

В работе [5] исследуются задачи о распространении упругих волн с плоским фронтом в стержне и слое. Приводятся численные результаты моделирования распространения ударного фронта в стержне. Сообщается, что возникают колебания за счет вычислительной дисперсии и вязкости. Приводится информация, что в граничных узлах может быть неточное соответствие исследуемых неизвестных приложенной нагрузке. Для выполнения расчетов применяются зарубежные программные продукты Ansys/LS-Dyna и Abaqus, которые используют метод конечных элементов. Однако по полученным результатам можно сделать следующие замечания. Авторы приводят подробно постановку краевой задачи для решения волновых уравнений. Постановка задачи общая. На научную новизну и актуальность не может претендовать. Приводится решение ступенчатой волны (воздействие функция Хевисайда) на фронте. Однако, на рисунке авторы приводят погрешность напряжения на фронте волны по сравнению с точным решением. Далее имеются осцилляции численного решения, которые имеют большой период времени и не могут быть приняты, как достоверные на уровне апробации численного метода. Авторы приводят решение перемещений и напряжения в стержне при воздействии в виде треугольника и ступеньки. По результатам можно сделать вывод, что численное решение не соответствует известным научным знаниям и имеют очень большое качественное несоответствие с результатами аналитического решения. Авторы проблему моделирования нестационарных волн в стержне не довели до уровня качественного и количественного сопоставления с результатами аналитического метода и с известными знаниями в области ре-

шения таких классов задач. Проблема численного моделирования волн напряжений в стретнях не решена и актуальность сохраняется. Отсутствует однозначная, корректная, постановка решаемой задачи с точки зрения волновой вычислительной механики. Авторы напряжения не исследуют, поэтому получение контурных напряжений и компонентов тензора напряжений остается актуальной для задач моделирования волн напряжений в деформируемых телах. Волны напряжений в деформируемых телах получить сложнее, чем кинематические неизвестные: перемещения, скорости перемещений и ускорения, поэтому получение напряжений должно быть приоритетным при решении задач о моделировании волн напряжений в деформируемых объектах. Однако для оценки несущей способности строительных объектов и прочности машиностроительных конструкций без исследования и получения напряжений выполнить невозможно. Отсюда новизна и актуальность получение напряжений в исследуемых задачах повышается.

В работе [6] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде горизонтальных барьеров. Однако приводится схема горизонтальных барьеров без привязки исследуемых элементов в единой системе координат. То есть приводится рисунок на уровне произведений художника. В механике такой подход к исследованию не применяется. Далее приводятся некоторые аналитические зависимости из исследований других авторов в области скоростей распространения в сплошной деформируемой среде. Авторы статей приводят в перемещениях решение задачи с горизонтальными барьерами. Однако осцилляции перемещений достигают почти 50%. Результаты расчетов в напряжениях не приводятся. Наверное, при такой осцилляции перемещений, напряжения будут не понятными и их анализ невозможно будет сделать. Полученные результаты не могут претендовать на законченное исследование сейсмической безопасности с горизонтальными барьерами, так как полученные результаты в перемещениях нельзя квалифицировать, как новые знания, новые закономерности и рекомендации для нормативно-правовых документов.

В работе [7] приводится некоторая информация численного моделирования нестационарных упругих волн в сложных деформируемых областях. При решении сложных задач возникают проблемы оценки достоверности полученных результатов. В работе рассматривается оценка точности и достоверности результатов численного моделирования волн напряжений в областях сложной формы. Приводится сопоставление с результатами экспериментального, аналитического и численного методов. Анализ численных результатов показывает, что метод конечных элементов в перемещениях с успехом применяется для решения нестационарных динамических задач. Проведенные исследования сходимости и устойчивости, сравнение с результатами других методов показало хорошее совпадение, что позволяет сделать вывод о физической и математической достоверности результатов численного решения динамических задач, полученных методом конечных элементов в перемещениях. Методика, алгоритм, комплекс программ и результаты решенных задач рекомендуются для использования в научно технических организациях, специализирующихся в области динамического расчета сооружений с окружающей средой при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях.

В статье [8] рассматриваются некоторые вопросы численного моделирования сейсмической безопасности бетонной Курпайской плотины с грунтовым основанием при волновых воздействиях. Плотина моделируется при заполненном водохранилище. Программный комплекс позволяет решать задачи при нестационарных воздействиях на объекты сложной формы. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработаны алгоритм и комплекс программ для решения линейных плоских двумерных задач волновой теории упругости. Проведено сопоставление с результатами смешанного метода конечных элементов. Максимальное растягивающее напряжение возникает в верхней части задней области контура плотины. Упругое контурное напряжение на гранях плотины является почти зеркальным отражением одно другого, то есть антисимметричным.

В работе [16] приводится информация о расчете подземных сооружений на сейсмические воздействия. Подземные объекты, возведенные в сейсмоопасных районах, должны быть обеспечены сейсмической (динамической) безопасностью. Задача обеспечения обоснованного проектирования безопасных сейсмостойких подземных сооружений является актуальной задачей. Представлено описание статического метода конечных элементов для расчета подземных сооружений. Внимательное ознакомление с научной статьей позволило отметить следующее. Волновая теория сейсмической безопасности является актуальной, в настоящее время. В научной статье приводятся методы расчета подземных сооружений на уровне допущений и некоторых аналогий для статических воздействий. Описание метода расчета на уровне формализации уравнений динамики для уравнений волновой механики деформируемых тел — отсутствует. В статье отсутствует пример решения задачи сейсмостойкости подземных сооружения численным методом. Хотя в названии статьи имеются слова «О методах сейсмического расчета подземных сооружений». Название статьи должно соответствовать содержанию. Иначе возникают проблемы со стороны читателей о целесообразности такого подхода и стиля написания статьи.

Авторы статьи [17] приводят следующую информацию. Представлена общая характеристика «наукоемкого универсального программного комплекса СТАДИО», который предназначен для численного решения статического и динамического напряженно-деформированного состояния, устойчивости и прочности произвольных комбинированных механических систем в плоской, осесимметричной и трехмерной линейной и нелинейной постановках. При внимательном рассмотрении содержания статьи, можно отметить следующее в области динамического моделирования. Авторы приводят аппроксимацию трехмерных тел, которые состоят из пространственных конечных элементов. Рисунки представлены, как очередное творчество в области графического дизайна различных технических объектов, но эти вопросы в ведении художников и архитекторов, но не строителей. Однако их нельзя рассматривать, как элементы математической формализации для решения задач механики деформируемого твердого тела в области получения основных неизвестных, так как этой информации очень мало, она не может квалифицироваться, как решение задач динамического воздействия на строительные объекты. В статье не приведена методическая или академическая задача для оценки достоверности программного продукта. Содержание статьи можно воспринимать, как один из вариантов рекламы, но для этого нужно встать на сторону читателя. А читатель, так и не понял, какие задачи решает программный продукт, можно ли результатам расчета доверять, так как о достоверности нет информации.

В работе [18] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде вертикальных и горизонтальных барьеров. Однако приводится некоторая информация о волнах в деформируемых телах. Приводится цветная фотография схемы расчета, но отсутствует связь между основными элементами корректной постановки задачи в декартовой системе координат. Постановка задачи с начальными и граничными условиями не приводится, поэтому оценить и повторить полученные результаты с помощью другого метода не представляется возможным. В механике такой подход к исследованию не применяется. В настоящее время с помощью численного моделирования волновых задач получаются цифры, которые с помощью графического редактора переводятся в графики. Этот алгоритм можно назвать следующим образом: корректность результатов математического моделирования. Представленные результаты в статье можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

В работе [19] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде вертикальных барьеров. Однако приводится схема вертикальных барьеров без привязки исследуемых элементов в единой системе координат. То есть приводится рисунок на уровне произведений художника. В механике такой подход к исследованию не применяется. Далее приводятся некоторые аналитические зависимости из исследований других авторов в области скоростей распространения в сплошной де-

формируемой среде. Авторы статей приводят в перемещениях решение задачи Лэмба при сосредоточенной вертикальной нагрузке, которое меняется по треугольному закону во времени. В модели исследования вертикальные барьеры не участвуют. Хотя авторы статьи в названии заявляют о сейсмических барьерах. Внимательное рассмотрение графиков изменения перемещений, позволяет сделать предварительный вывод о том, что они нарисованы от руки, но не графическим редактором. В настоящее время с помощью численного моделирования волновых задач получаются цифры, которые с помощью графического редактора переводятся в графики. Этот алгоритм можно назвать следующим образом: корректность результатов математического моделирования. В статье результаты в напряжениях отсутствуют.

В монографии [20] представлены актуальные исследования о безопасности уникальных объектов, которые сталкиваются с нестационарными волновыми нагрузками, возникающими в деформируемых упругих и упруговязкопластических средах. Для решения этих задач переходного (волнового) процесса применяется математическое моделирование. Первая глава «О безопасности технических объектов при нестационарных ударных, взрывных и сейсмических воздействиях» включает десять разделов, посвященных вопросам надежности и безопасности уникальных систем в столь сложных условиях. В этой главе также четко сформулированы цели исследований. Вторая глава «Математическое моделирование нестационарных упругих волн в деформируемых телах» охватывает девять разделов, посвященных численному (цифровому) моделированию нестационарных волн в упругих деформируемых средах (переходной процесс). Третья глава «Оценка физической достоверности и математической точности моделирования напряжений в деформируемых телах при нестационарных упругих волновых воздействиях» состоит из двадцати четырех разделов. Четвертая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных волновых воздействиях» содержит шесть разделов. Пятая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных ударных волновых воздействиях» также включает шесть разделов. Шестая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных взрывных волновых воздействиях» охватывает десять разделов. Седьмая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных сейсмических волновых воздействиях» представляет собой одиннадцать разделов. Восьмая глава «Математическое моделирование нестационарных упругих, вязких и пластических волн напряжений в деформируемых телах» состоит из девяти разделов. Девятая глава «Математическое моделирование упругих, вязких и пластических напряжений в деформируемых телах при нестационарных волновых воздействиях» включает четыре раздела. В монографии получены напряжения (контурные и компоненты тензора) в характерных областях исследуемых объектов.

Целью работы [21] является рассмотрение задач численного моделирования сейсмостойкости консольного и десятиэтажного здания с основанием в виде упругой полуплоскости при нестационарных волновых воздействиях. Моделирование задач переходного периода является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей. Для решения двумерной плоской динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями используется метод конечных элементов в перемещениях. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработан алгоритм и набор программ для решения линейных плоских двумерных задач, которые позволяют решать задачи с нестационарными волновыми воздействиями на сложные системы. При разработке программного пакета использовался алгоритмический язык Fortran-90. Для оценки физической достоверности и математической точности рассматривается задача о воздействии плоской продольной волны на упругую полуплоскость в виде четырех трапеций и в виде двух полупериодов синусоиды. Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда или ступенчатой

функции на консоль с основанием (соотношение ширины к высоте — один к десяти). Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны в виде функции Хевисайда на десятиэтажное здание с основанием в виде полуплоскости. Получены контурные напряжения и компоненты тензора напряжений в характерных областях исследуемой задачи. На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Упругие контурные напряжения по бокам консоли и десятиэтажного здания являются почти зеркальным отражением друг друга, то есть антисимметричны. Консоль и несущие конструкции здания работают как балка во время сейсмической активности, то есть если с одной стороны возникают растягивающие напряжения, то с другой — сжимающие. При сейсмическом воздействии на контурах консоли и несущих конструкций здания преобладают изгибные волны.

В работе [22] рассматривается задача о математическом моделировании нестационарных сейсмических волн в упругой полуплоскости с вертикальной прямоугольной полостью, заполненной водой. Проблема моделирования задач переходного периода является актуальной научной задачей. Предложен квазирегулярный подход к решению системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка в перемещениях с начальными условиями и к аппроксимации исследуемой области. Методика основывается на схемах: точка, линия и плоскость. Разработаны алгоритм и комплекс программ для решения плоских (двумерных) задач, которые позволяют получать напряженно-деформированное состояние в сложных объектах. Для оценки достоверности разработанной методики, алгоритма и комплекса программ была решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде функции Хевисайда на упругую полуплоскость. Численное решение количественно соответствует аналитическому решению. Решена задача о математическом моделировании нестационарных упругих волн напряжений в полуплоскости с полостью, заполненной водой (соотношение ширины к высоте один к десяти) при сейсмическом воздействии. В характерных областях исследуемой задачи получены контурные напряжения и компоненты тензора напряжений. Пустота, заполненная водой, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого контурного напряжения.

В статье [23] рассматривается математическое моделирование нестационарных плоских, дифракционных, поверхностных и изгибных волн напряжений в различных строительных объектах сложной формы. Для решения этой задачи используется нестационарное волновое уравнение механики деформируемого твердого тела. На основе метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и программная система для решения линейных нестационарных динамических задач теории упругости. Для разработки программной системы использовался язык программирования Fortran-90. Исследуемая область разделена по пространственным и временным координатам на линейные конечные элементы. Получена явная двухслойная схема. В статье предлагается квазирегулярный подход к решению системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка в перемещениях с начальными условиями и к аппроксимации исследуемой области. Метод основан на следующих схемах: точечной, линейной и плоской. В исследовании проводится сравнение с результатами аналитических и экспериментальных методов, а также рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на свободное круглое отверстие. В статье также рассматривается воздействие плоской продольной упругой волны на подкрепленное круглое отверстие и воздействие сейсмической нестационарной волны на бетонные плотины с основанием под воздействием плоской продольной упругой волны. В рассматриваемых задачах сейсмической безопасности плотин преобладают изгибные волны. Проведенное исследование напряженного состояния нестационарной волны показывает, что результаты численного моделирования соответствуют характеру повреждений, наблюдаемых на плотине Койна после землетрясения. В исследовании решается задача математического моделирования нестационарных волн упругих напряжений (импульс в виде ступеньки) в полуплоскости с воздушной

полостью (соотношение ширины и высоты один к десяти) при сейсмическом воздействии, а также при локализованной взрывной нагрузке в форме треугольного импульса (треугольный импульс).

В работе [24] приводится информация о цифровом моделировании нестационарных волн на десятиэтажное здание с учетом и без учета перекрытия первого этажа при внешнем вертикальном сосредоточенном воздействии. Моделирование (компьютерное) нестационарного взрывного воздействия является актуальной научной (фундаментальной и прикладной) задачей. Для решения поставленной задачи о внешнем вертикальном сосредоточенном взрывном воздействии на десятиэтажное здание (с учетом и без учета перекрытия первого этажа) применяются уравнения нестационарной динамической теории упругости. На основе метода конечных элементов разработана методика и разработан алгоритм. Составлен комплекс программ для решения нестационарных волновых задач переходного периода для областей разной (сложной) формы. Для оценки достоверности разработанного программного продукта была решена задача о распространении плоских продольных волн в упругой полуплоскости в виде полтора периода синусоиды. Десятиэтажное здание моделируется с упругим основанием в виде упругой полуплоскости. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса или дельта функции. Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений.

В этой статье [25] представлены результаты математического (численного) моделирования нестационарных волн в подземных конструкциях, которые возникают из-за взрывов (как внутренних, так и внешних) и сейсмической активности. Актуальность моделирования переходных процессов обусловлена не только фундаментальным научным интересом, но и практическими задачами в различных областях. Разработанные методы, алгоритмы и программное обеспечение позволяют определять неизвестные (напряжения и перемещения) для оценки безопасности исследуемого объекта согласно положениям первого, второго и третьего предельного. С помощью разработанного вычислительного комплекса программ была решена задача о воздействии импульса в виде синусоидальной волны, охватывающей три полупериода. Проведено сопоставление волн напряжений для оценки точности и достоверности разработанного численного метода. Были рассмотрены следующие сценарии. Внутреннее нестационарное взрывное воздействие (треугольный импульс) в подземном сооружении и его влияние на окружающую среду. Внешнее взрывное воздействие на подземное сооружение (импульс треугольного вида). Фундаментальное сейсмическое воздействие (импульс в виде ступеньки) на подземное сооружение. Были получены новые результаты, касающиеся контурных напряжений.

Постановка задач исследований

Проведенный анализ литературы позволяет сделать следующие выводы.

1. Постановка решаемой задачи должна удовлетворять всем условиям корректности для волновых задач, в том числе расчетная схема должна быть представлена в декартовой или в другой системе координат.
2. Полученные результаты должны быть понятны читателями для оценки и возможности повторить другим численным методом.
3. Оценку несущей способности и прочности для технических систем можно реализовать с помощью напряженного состояния.
4. Физическая достоверность и математическая точность должна быть реализована для напряженного состояния, так как из перемещений переход к деформациям реализуется через производную, при этом теряется точность полученных результатов.

Выше приведенным критериям удовлетворяют научные работы выполненные Мусаевы В. К. и его учениками [4, 7 – 15, 20 – 26].

Таким образом, исследования в статье о сейсмическом воздействии на подземное сооружение является актуальным и удовлетворяет всем критериям, представленным выше.

Модели и методы

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное механическое воздействие. Многие материалы имеют свойство упругости при волновых воздействиях. Если деформации нестационарных сил не превышают некоторого нормативного предела, то после снятия этих сил деформация исчезает. Поэтому будем предполагать, что деформируемые тела, являются упругими. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости [20]. Систему уравнений в некоторой области деформируемого тела, следует интегрировать при начальных и граничных условиях [20]. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями (задача Коши) — используем метод конечных элементов (численное моделирование уравнений переходного процесса) [20]. Задача решается с помощью метода математического моделирования (вычислительный эксперимент) для распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. Приближенное уравнение движения в волновой теории упругости, с учетом определения матриц и векторов для некоторого тела, приведено в следующих работах [20]. С помощью метода Галеркина, получена двумерная явная двухслойная линейная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов [20]. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта-Фридрихса-Леви [20]. Систему с бесконечным числом неизвестных привели к системе с конечным числом неизвестных [20]. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка (треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах, а также аппроксимировать разрывы на фронтах различных волн [20]. Для исследуемой области, состоящей из материалов с разными физическими свойствами, выбирается минимальный шаг по временной координате. На основе численного метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [20]. Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [4, 7 – 15, 20 – 26]. Приводится численное решение задачи о моделировании нестационарных сейсмических волн на подземное сооружение.

Оценка достоверности моделирования волн напряжений

Рассматривается задача о распространении в упругой полуплоскости (*рис. 1*) плоской продольной волны в виде двух трапеций и двух треугольников (*рис. 2*) для оценки физической достоверности и математической точности [20]. Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [20].

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 109 \text{ кг/м}^3$.

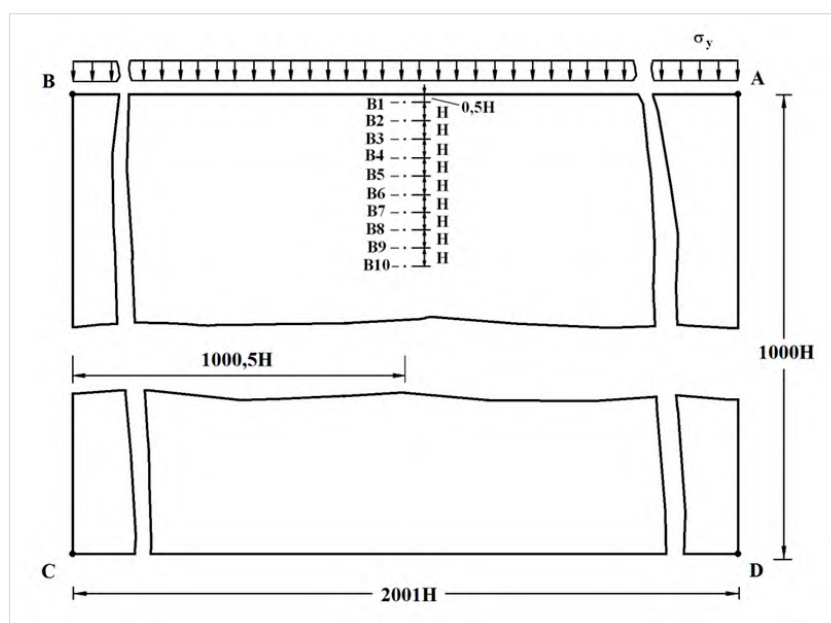


Рис. 1. Постановка задачи о распространении плоских продольных волн в виде двух трапеций и двух треугольников в упругой полуплоскости. Схема Мусаева В. К.

На границе полуплоскости АВ (**рис. 1**) приложено нормальное напряжение σ_y , которое изменяется от $0 \leq n \leq 101$ ($n = t/\Delta t$) и максимальное значение равно P ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа (-1 кгс/см²)). Граничные условия для контура BCDA при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура BCDA не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 160$.

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,862 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа ($2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²); $\nu = 0,3$; $\rho = 0,8 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,8 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 5371$ м/с; $C_s = 3177$ м/с. Исследуемая расчетная (аппроксимированная) область имеет 2004002 узловые точки. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных по явной двухслойной схеме. Результаты расчетов волновых напряжений получены в характерных точках В1 – В10 исследуемой области (**рис. 1**). В качестве примера на **рис. 3** приводится изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ ($\bar{\sigma}_y = \sigma_y / |\sigma_0|$) (**рис. 1**) во времени n в точке В1 (1 — численное решение; 2 — аналитическое решение).

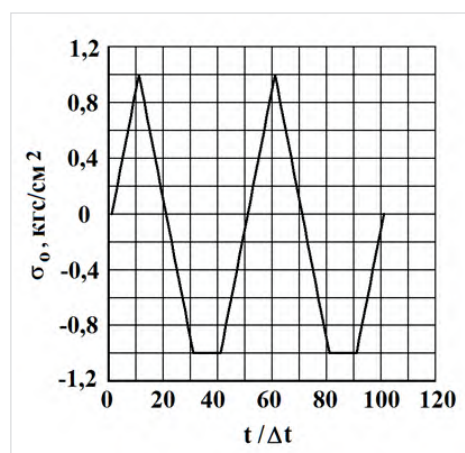


Рис. 2. Импульсное воздействие в виде двух периодов из треугольника и трапеции. График Мусаева В. К.

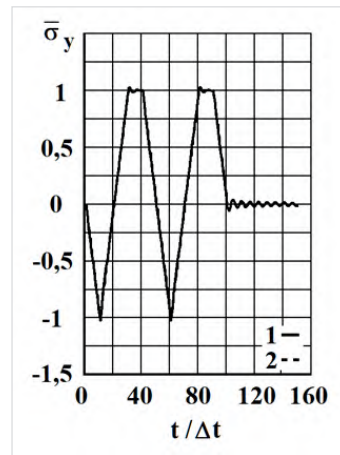


Рис. 3. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ (задача о распространении в виде двух периодов из треугольника и трапеции) во времени $t/\Delta t$ в точке В1: 1 — численное (цифровое) решение; 2 — аналитическое (точное) решение. График Мусаева В. К.

В данном случае можно использовать условия на фронте плоской волны, которые изложены в работе [3]. На фронте плоской продольной волны имеются следующие аналитические зависимости для плоского напряженного состояния $\sigma_y = -|\sigma_0|$. Отсюда видим, что точное решение задачи соответствует воздействию σ_0 (рис. 2).

Моделирование волн напряжений в подземном сооружении при внешнем сейсмическом воздействии

Рассматривается задача о моделировании напряженного состояния в подземном сооружении (рис. 4) при волновом сейсмическом воздействии в виде ступеньки или функции Хевисайда (рис. 5). Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{см}^4 \approx 109 \text{ кг/м}^3$.

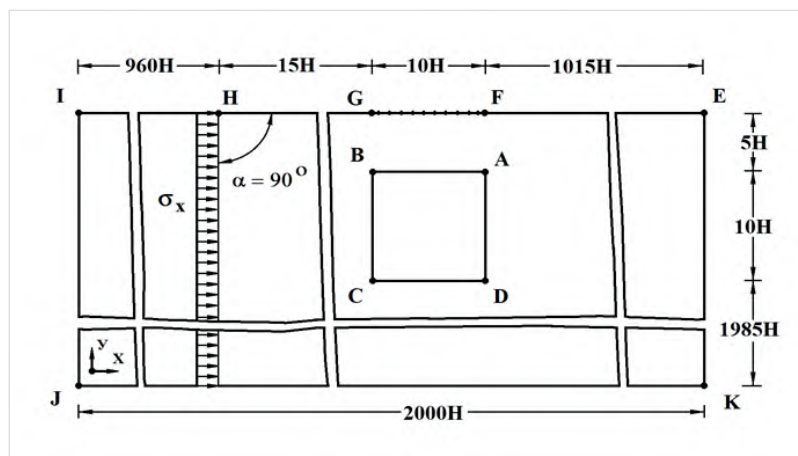


Рис. 4. Постановка задачи о сейсмическом волновом воздействии на подземное сооружение. Схема Мусаева В. К.

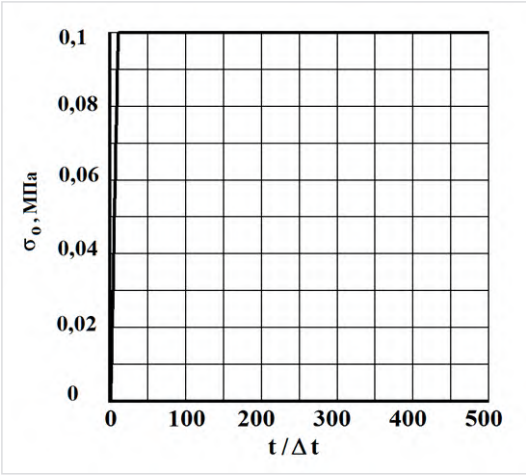


Рис. 5. Импульсное воздействие в виде ступеньки (функция Хевисайда). График Мусаева В. К.

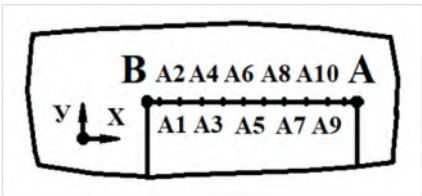


Рис. 6. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени в подземном сооружении. Схема Мусаева В. К.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [20]. Начальные условия приняты нулевыми. От точки Н параллельно свободной поверхности (передний фронт воздействия распространяется перпендикулярно свободной поверхности) ИГК приложено нормальное напряжение σ_x , которое при $0 \leq n \leq 11$ ($n = t/\Delta t$) изменяется от 0 до P ($P = \sigma_0, \sigma_0 = 0,1 \text{ МПа (1 кгс/см}^2\text{)}$). Граничные условия для контура ИГКЕ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура ИГКЕ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 1000$. Решается система уравнений из 16016004 неизвестных. Контурные напряжения получены в точках А1 – А10 (рис. 6). Перемещения и траектории перемещений получены в точках С1 – С10 (рис. 7).

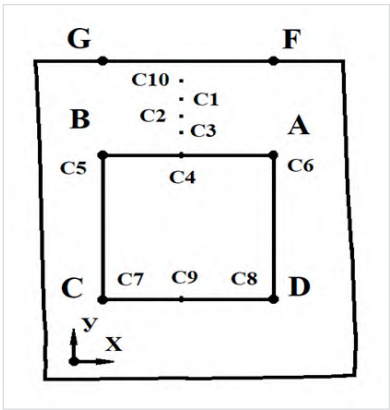


Рис. 7. Реперные точки, в которых получены кинематические неизвестные. Схема Мусаева В. К.

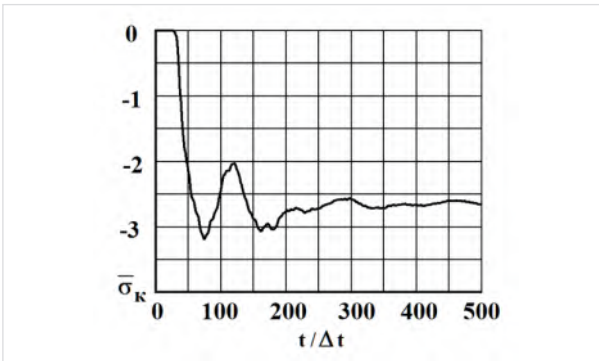


Рис. 8. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A1 во времени $t/\Delta t$. График Мусаева В. К.

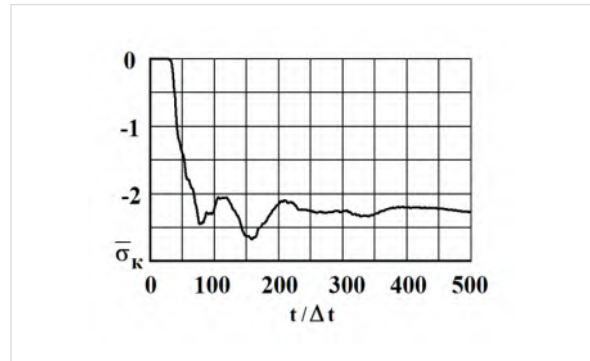


Рис. 9. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A2 во времени $t/\Delta t$. График Мусаева В. К.

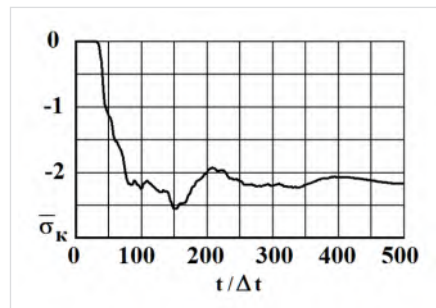


Рис. 10. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A3 во времени $t/\Delta t$. График Мусаева В. К.

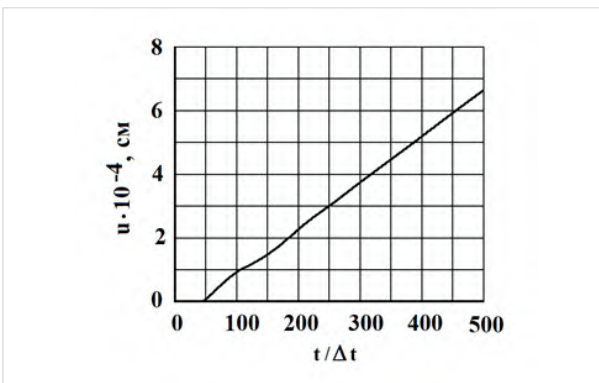


Рис. 11. Изменение горизонтального перемещения в точке C1 во времени. График Мусаева В. К.

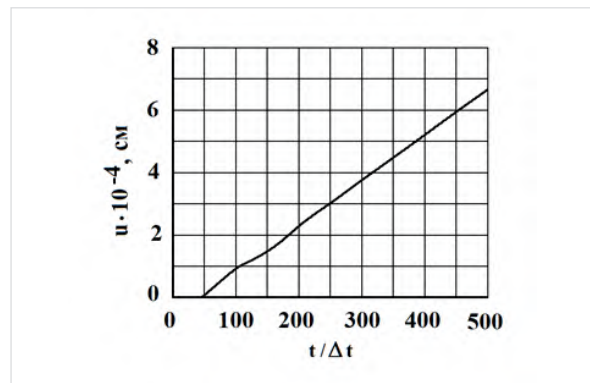


Рис. 12. Изменение горизонтального перемещения в точке C2 во времени. График Мусаева В. К.

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ получено в точках A1 (рис. 8), A2 (рис. 9) и A3 (рис. 10).

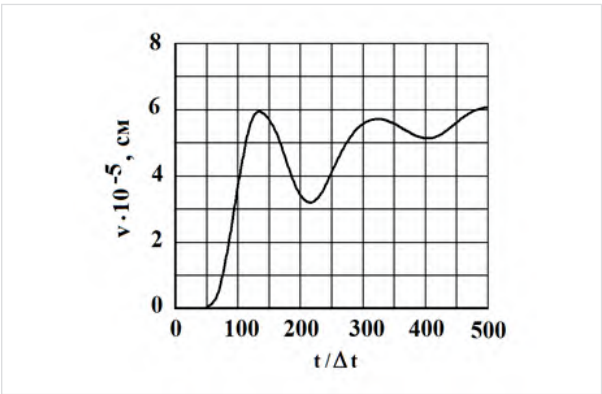


Рис. 13. Показано изменение вертикального перемещения в точке C1 во времени. График Мусаева В. К.

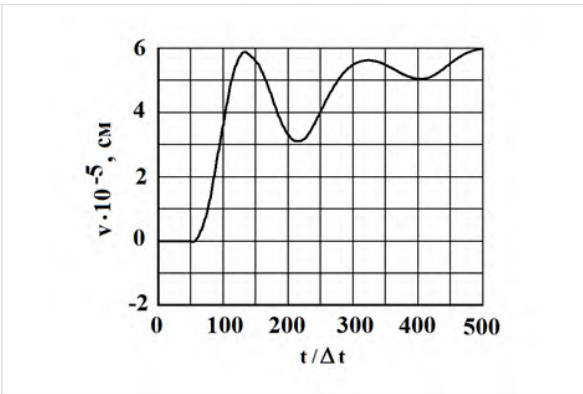


Рис. 14. Показано изменение вертикального перемещения в точке C2 во времени. График Мусаева В. К.

В точках C1 и C2 (*рис. 7*) показано изменение упругого горизонтального перемещения (*рис. 11 – 12*) во времени (шаг по времени от 1 до 500) в подземном сооружении при нестационарном волновом сейсмическом воздействии (*рис. 5*).

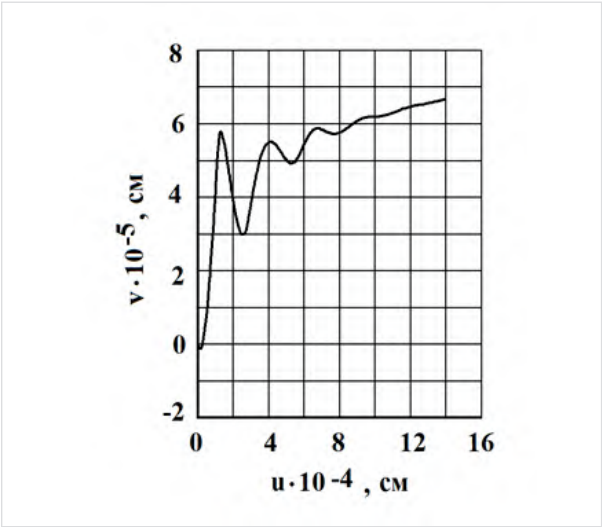


Рис. 15. Показана траектория перемещений в точке C1. График Мусаева В. К.

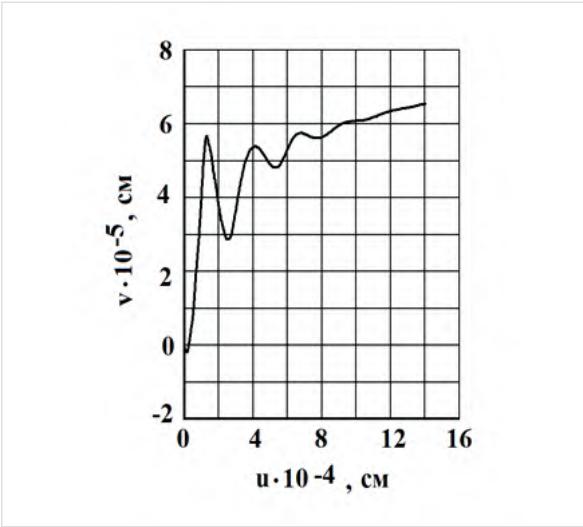


Рис. 16. Показана траектория перемещений в точке C2. График Мусаева В. К.

В точках C1 и C2 (*рис. 7*) показано изменение упругого вертикального перемещения (*рис. 13 – 14*) во времени (шаг по времени от 1 до 500) в подземном сооружении при нестационарном волновом сейсмическом воздействии (*рис. 5*).

В точках C1 и C2 (*рис. 7*) показано (шаг по времени от 1 до 1000) изменение траектории упругих перемещений (*рис. 15 – 16*) в подземном сооружении при нестационарном волновом сейсмическом воздействии (*рис. 5*).

Выводы

1. Для решения динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработан вычислительный комплекс программ Мусаева В. К. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.
2. Проведен анализ научных работ в области динамического моделирования деформируемых объектов, который позволяет сделать следующие выводы.
3. Показано, что постановка решаемой задачи должна удовлетворять всем условиям корректности для волновых задач, в том числе расчетная схема должна быть представлена в декартовой или в другой системе координат.
4. Полученные результаты должны быть понятны читателями для оценки и возможности повторить другим численным методом.
5. Оценку несущей способности и прочности для технических систем можно реализовать с помощью напряженного состояния.
6. Физическая достоверность и математическая точность должна быть реализована для напряженного состояния, так как из перемещений переход к деформациям реализуется через производную, при этом теряется точность полученных результатов.
7. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде двух периодов из треугольника и трапеции на упругую полуплоскость. Проведено сопоставление с результатами аналитического решения, которое показало, количественное совпадение.
8. Решена задача о сейсмическом воздействии на подземное сооружение. Сейсмическое воздействие моделируется в виде ступеньки (функция Хевисайда). Получены контурные напряжения, перемещения и траектории перемещений в характерных областях исследуемой задачи.

Библиографический список

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 543 с.
2. *Кольский Г.* Волны напряжений в твердых телах. Москва: Иностранная литература, 1955. 192 с.
3. *Тимошенко С. П., Гудьер Д.* Теория упругости. Москва: Наука, 1975. 576 с.
4. *Мусаев В. К.* О моделировании сейсмической волны параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 61 – 64.
5. *Кукуджанов В. Н., Кузнецов С. В., Гришин А. С., Левитин А. Л.* Исследование распространения ударных волн в упругом слое и призматическом стержне // Вестник НИЦ строительство. Исследования по теории сооружений. 2011. № 3 – 4. С. 35 – 42.
6. *Кузнецов С. В., Нафасов А. Э.* Моделирование распространения сейсмических волн и их взаимодействия с горизонтальными сейсмическими барьерами // Вестник НИЦ строительство. Исследования по теории сооружений. 2011. № 3 – 4. С. 43 – 54.
7. *Musayev V. K.* Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 135 – 146.

8. Мусаев В. К. Применение волновой теории сейсмического воздействия для моделирования упругих напряжений в Курпсайской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98 – 105.
9. Спиридонов В. П. Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геобъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12-5. С. 832 – 835.
10. Дикова Е. В. Достоверность численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. при решении задачи о распространении плоских продольных упругих волн (восходящая часть – линейная, нисходящая часть – четверть круга) в полуплоскости // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12-3. С. 354 – 357.
11. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Куранцов В. А., Мусаева С. В., Кулагина Н. В. Оценка точности и достоверности моделирования плоских нестационарных упругих волн напряжений (треугольный импульс) в полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. Москва: РГТУ. 2016. С. 352 – 355.
12. Стародубцев В. В., Акатьев С. В., Мусаев А. В., Шиянов С. М., Куранцов О. В. Моделирование упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – четверть круга) в полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 36 – 40.
13. Стародубцев В. В., Акатьев С. В., Мусаев А. В., Шиянов С. М., Куранцов О. В. Моделирование с помощью численного метода Мусаева В.К. нестационарных упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть – четверть круга, средняя – горизонтальная, нисходящая часть – линейная) в сплошной деформируемой среде // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 63 – 68.
14. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Крылов А. И. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва: РУДН. 2017. С. 339 – 341.
15. Куранцов В. А., Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Самойлов С. Н., Кузнецов М. Е. Моделирование импульса (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: треугольник) в упругой полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 2. С. 51 – 55.
16. Belostotsky A. M., Akimov P. A., Dmitriev D. S. About methods of seismic analysis of underground structures // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Volume 14, Issue 3. P. 14 – 25.
17. Belostotsky A. M., Potapenko A. L. Akimov P. A. Universal software system «STADTO» for the numerical solution of linear and nonlinear problems of the field theory, statics, stability and dynamics of spatial combined systems: general parameters and superelemental features // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Volume 14, Issue 3. P. 26 – 41.
18. Bratov V. A., Ilyashenko A. V., Kuznetsov S. V., Lin T.-K., Morozov N. F. Homogeneous horizontal and vertical seismic barriers: Mathematical foundation and dimensional analysis // Materials Physics and Mechanics. 2019. 44 (2020). P. 61 – 65.

19. Морозов Н. Ф., Братков В. А., Кузнецов С. В. Сейсмические барьеры для защиты от поверхностных и головных волн: множественные рассеиватели и метаматериалы // Известия российской академии наук. Механика твердого тела. № 6. 2021. С. 33 – 44.
20. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 629 с. ISBN 978-5-7473-1067-4.
21. Musayev V. K. Computer simulation of unsteady elastic stress waves in a console and a ten-storey building under fundamental influence in the form of a Heaviside function // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies. 2022. 14 (2): 187 – 196.
22. Musayev V. K. Modeling of seismic waves stresses in a half-plane with a vertical cavity filled with water (the ratio of width to height is one to ten) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Volume 18, Issue 3. P. 114 – 125.
23. Musayev V. K. Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. 2023. 57(3). P. 351 – 364.
24. Мусаев В. К. Моделирование напряженного состояния десятиэтажного здания (полное разрушение перекрытия первого этажа) при внешнем ударном воздействии на поверхности полуплоскости // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 61 – 74.
25. Musayev V. K. Mathematical Modeling of Explosive and Seismic Impacts on an Underground Structure // Power Technology and Engineering. 2024. 57(6). P. 875 – 881.
26. Курбанмагомедов А. К. Рост трещины при термомеханическом нагружении. Москва: Наука, 2024. 146 с.

COMPUTATIONAL WAVE THEORY OF SEISMIC SAFETY IN THE PROBLEM OF DETERMINING THE STRESS STATE OF AN UNDERGROUND STRUCTURE

V. K. Musayev* / *** / *** / **** / *****

* Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

** Institute of System Technologies, Makhachkala

*** Russian University of Transport, Moscow

**** Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Moscow

***** Russian Academy of Natural Sciences, Moscow

Abstract

Relevance

This study provides information on the digital (computational) modeling of non-stationary transient waves in an underground structure under non-stationary seismic action. Modeling of non-stationary seismic wave effects on construction sites is an urgent task both from a scientific and applied point of view.

The Keywords

Safety in emergency situations, civil defense for peaceful purposes, natural and technosphere safety, underground structure, contour stress, load-bearing capacity, first

Methodology

To study, define and evaluate transient wave processes, a special technique, algorithm and computational software package have been developed. This complex makes it possible to obtain displacements, displacement velocities, accelerations, stresses and deformations in deformable bodies of complex shape during non-stationary wave processes. The Fortran-90 algorithmic language was used to create the software package. The study area was divided into finite elements of the first order according to spatial and temporal variables. Using mathematical modeling, a system with an infinite number of unknowns was reduced to a system with a finite number of unknowns.

Results

To assess the reliability and accuracy of the developed software package, the problem of the effect of two periods in the form of a triangle and a trapezoid on an elastic half-plane was solved. The system of equations of 8016008 unknowns was solved using an explicit two-layer scheme. The results of the stress state showed a qualitative and quantitative agreement with the real data. The problem of an external seismic wave effect on an underground structure was solved. The impact is modeled as a step or Heaviside function. A system of equations consisting of 16016004 unknowns was solved. Stresses, displacements, and displacement trajectories were obtained in the characteristic areas of the problem under study — an underground structure.

*limit state, mechanical stress,
strength, complex of programs
Musayev V. K.*

Date of receipt in edition

13.10.2025

Date of acceptance for printing

16.10.2025

Ссылка для цитирования:

В. К. Мусаев. Вычислительная волновая теория сейсмической безопасности в задаче определения напряженно-го состояния подземного сооружения. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 76–92.



УДК 711.1

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_93-110

ЗАДАЧИ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

С. Е. Гурьева
Н. А. Керимова

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Данная статья посвящена вопросу сохранения и рационального использования водно-болотных угодий на территории Санкт-Петербурга. Описаны проблемы их сохранения и устойчивого развития, экосистемные функции. Проанализированы экологические аспекты, связанные с состоянием болотных комплексов и существующих рекреационных зон. Рассматривается проблематика исследуемых объектов и их рекреационный потенциал. Проведен анализ международной практики для выявления способов и методов использования ВБУ с использованием экологически устойчивых проектных решений и решения рекреационных задач. Разработаны проектные решения по функциональному зонированию одного из рассматриваемых объектов.

Ключевые слова

Водно-болотные угодья, городские болота, экотуризм, экологическое проектирование, экотропа, экомаршрут, Лахтинское болото.

Дата поступления в редакцию

29.09.2025

Дата принятия к печати

06.10.2025

Введение

Использование водно-болотных угодий (ВБУ) в рекреационных целях с сохранением важнейших экологических функций является мировым трендом поддержания биологического разнообразия и использования природных ресурсов для устойчивого развития экосистем в условиях урбанизации. ВБУ играют ключевую роль в экосистемных процессах, так как примерно 40% всех видов животных и растений существуют и размножаются именно там [1]. Болота участвуют в поддержании микроклимата, накоплении поверхностных вод и пополнении запасов подземных вод, являются источником питьевой воды, пищи, сырья, полезных веществ и гидроэнергии [1, 2]. Кроме того, болота позволяют увидеть, какой была значительная часть нынешней территории Санкт-Петербурга до основания города и на ранних этапах его развития [3, 4].

Водно-болотные угодья обеспечивают условия для развития целого ряда видов природопользования: водоснабжения; рыболовства (более двух третей мирового улова рыбы связаны со здоровым состоянием водно-болотных угодий); сельского хозяйства, благодаря поддержанию уровня грунтовых вод и высокого плодородия земель в поймах; производства лесоматериалов и прочих строительных материалов; заготовки энергетических ресурсов, таких как торф и древесный материал; охот-

ничьего хозяйства; заготовки прочих продуктов водно-болотных угодий, включая лекарственные растения [1].

В условиях растущего давления на природные ресурсы важно находить способы интеграции водно-болотных угодий в городскую инфраструктуру, так как городские болота становятся все более популярным объектом для отдыха, прогулок, просвещения жителей города и туристов. Это связано с повышением общего уровня экологической культуры общества, а также с проявлением интереса к уникальным ландшафтам, редким видам растений и животных в их естественной среде обитания. Также, дикие и живописные болотные территории в городах — это места уединения, спокойного отдыха от городского шума и наслаждения природой, находящиеся в пешеходной и транспортной доступности для горожан.

Однако неорганизованный туризм способен нанести вред болотам. Главный риск — вмешательство в болотную экосистему и ее процессы: нарушение биотопов, мест обитания птиц, насекомых и млекопитающих. Кроме того, неограниченное передвижение по болотистым местам опасно и для самих посетителей.

Поэтому возникла задача организации такой рекреации, которая удовлетворяла бы интерес людей, повышала их знания о роли территорий в экосистемных процессах и услугах, но не наносила бы вреда этим процессам.

Объектом исследования являются водно-болотные угодья Санкт-Петербурга: Лахтинское, Сестрорецкое, Левашовское, Больше Марково, Усть-Тосненское болота и торфяник в парке Сосновка. Предмет исследования — методы и проблемы создания рекреационных зон на территории этих объектов без последствий для экосистем. Цель работы заключается в изучении выбранных объектов, определении возможностей и методов их сохранения, выявлении рекреационных особенностей и разработке программы их использования при условии предотвращения загрязнения, деградации и депрессии экосистем путем определения актуальности, экологических характеристик и выявления текущих проблем водно-болотных угодий Санкт-Петербурга, а также с помощью анализа проектов по сохранению и использованию водно-болотных угодий из зарубежного и отечественного опыта.

Водно-болотные угодья (ВБУ)—это районы болот, фенов (низинных болот), торфяных угодий или водоемов — естественных или искусственных, постоянных или временных, стоячих или проточных, пресных, солоноватых или соленых, включая морские акватории, глубина которых при отливе не превышает 6 метров [1]. Некоторые из них относятся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) — участкам земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, объекты растительного и животного мира, естественные экологические системы, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [5]. ООПТ могут включаться в категорию рекреационных зон — специально выделяемых территорий, предназначенных для организации мест отдыха населения. Их основное назначение — восстановление физических и моральных сил человека. Рекреационные зоны охраняются законодательными актами, согласно которым любая хозяйственная деятельность в них, кроме направленной непосредственно на обеспечение отдыха, запрещается. Строительство ограничивается здесь созданием новых санитарно-курортных комплексов, однако, со строгим соблюдением норм архитектурной нагрузки [6].

Туризм на особо охраняемых природных территориях — временные выезды на особо охраняемые природные территории в целях посещения уникальных природных комплексов и объектов и иных целях, предусмотренных Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» [7]. Для

водно-болотных угодий в составе ООПТ характерно наличие экологических маршрутов в зонах особой охраны. В контексте экотуризма выделяют два понятия: экотропа и экомаршрут: экологические тропы — это специальные инженерные сооружения, оборудованные для прогулок в особо охраняемых природных зонах таким образом, чтобы не нанести вред окружающей среде. При планировании экологических троп учитываются различные факторы, такие как ландшафт территории, находящиеся там природные объекты, растения и животные [7]. Экомаршрут — это заведомо организованный маршрут по какой-либо местности, существующий для выполнения функции экологического просвещения и воспитания [8].

Методы

В процессе выбора объекта и предмета исследования была проанализирована научная литература об экосистемах водно-болотных угодий в границах Санкт-Петербурга и проблемах правового режима. Кроме того, были проанализированы примеры организации рекреационной деятельности на территориях ВБУ из международной практики. Было проведено рекогносцировочное обследование, включающее предварительную оценку территории с помощью геоинформационных данных с помощью ГИС-систем. Выполнены полевые исследования на территории ВБУ маршрутно-визуальным методом, включающее сбор информации о растительности, фотофиксацию сложившихся маршрутов, растительных сообществ, животного мира. На **рисунке 1** представлена блок-схема исследования.

Выбор объектов для изучения ограничен территорией города Санкт-Петербурга. Были выбраны территории, обладающие статусом ООПТ: Лахтинское (заказник «Юнтоловский») и Сестрорецкое (заказник «Сестрорецкое болото»), недавно созданный (2023 г.) объект ООПТ — Левашовское, Большое Марково болота (заказник «Левашовский»), планируемый объект ООПТ — Усть-Тосненское болото [9], а также торфяник в городском лесопарке Сосновка. Основанием для выбора послужило их близкое расположение к жилой застройке и активное пользование местными жителями.

Выбор объектов из зарубежной практики выполнен на основе анализа литературных источников в электронных базах данных: научной электронной библиотеке e-LIBRARY, на сайте международной организации по сохранению диких птиц и водно-болотных угодий WWT (Wildfowl and Wetlands Trust), платформах архитектурных проектов ArchDaily и Landezine и в научно-популярном журнале «Машины и механизмы», содержащем материалы об экологическом туризме и природе европейский водно-болотных угодий.

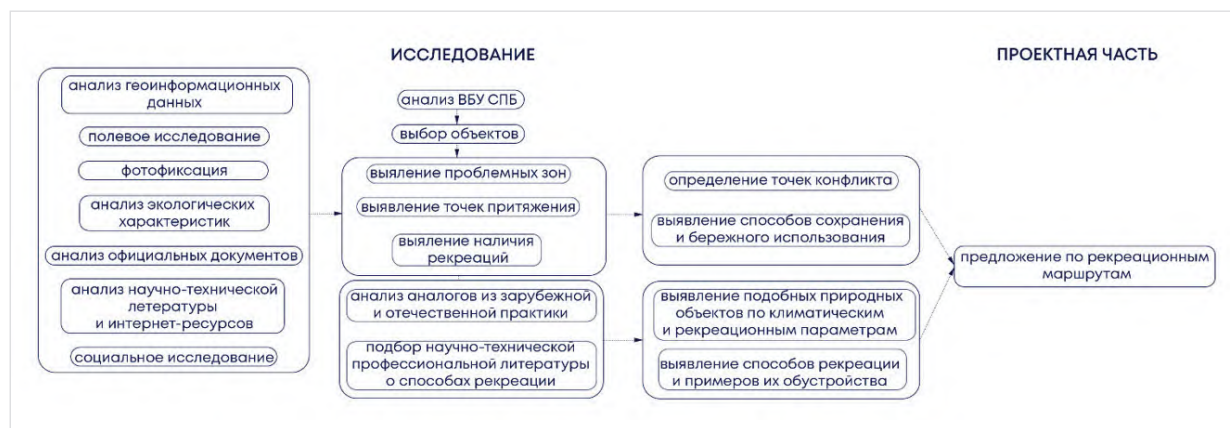


Рис. 1. Блок-схема исследования

Результаты

В настоящее время природно-заповедный фонд Санкт-Петербурга представлен 17 ООПТ регионального значения площадью 92,12 км² (6,4 % от площади Санкт-Петербурга). На территории города осталось примерно 41 км² болот, избежавших радикальных техногенных воздействий, в том числе 14 км² верховых и 17 км² переходных болот. Кроме того, на Приморской Литориновой террасе остались около 10 км² неосушенных низинных болот и заболоченных участков, крайне ценных для сохранения биоразнообразия [3, 4, 10].

Одна из главных проблем водно-болотных угодий в РФ — правовой режим. Во-первых, в Водном Кодексе РФ отсутствует специальный термин «водно-болотные угодья», а в ПЗЗ для них не предусмотрено отдельной функциональной зоны. Согласно Водному кодексу, болота являются водными объектами и являются федеральной собственностью. По действующим ПЗЗ они выделяются либо в зону городских лесов ТР-1 (предусматривает сохранение природных комплексов), либо в зону зеленых насаждений ТР2, зону водоохранных и санитарно-защитных зеленых насаждений ТР5-1 / ТР5-2 и зону пляжей и других прибрежных территорий ТР0-1 (предусматривается благоустройство). Остальные болота, не входящие в перечисленные зоны, должны быть выработаны или осушены для дальнейшего использования территории, к ним относятся некоторые низинные болота. Отдельной проблемой для Санкт-Петербурга является наличие свыше 160 га выработанных торфяников в рекреационных зонах, поскольку непонятно, как именно их можно использовать для рекреации и как предотвратить при этом торфяные пожары. Такие участки есть на Левашовском, Стародеревенском торфяниках, в парке Сосновка и в некоторых других местах. [4, 11, 12]. Стоит отметить также, что отношение властей и населения города к болотам крайне неоднозначно, обычно болота воспринимают не как богатую динамичную экосистему, а как непригодные для использования земли. Соответственно, происходит нерегулируемое использование торфяников: осушение и выработка, добыча полезных ископаемых и геологическое изучение, использование частных территорий, рекреационных и туристических зон.

Водно-болотные угодья относятся к наиболее продуктивным экосистемам мира. Они являются очагами биологического разнообразия, источниками воды и первичной продуктивности, от которых зависит существование бесчисленных видов растений и животных. Они поддерживают высокие концентрации многочисленных видов птиц, млекопитающих, пресмыкающихся, земноводных, рыб и беспозвоночных. Водно-болотные угодья также являются важными хранилищами генетического материала растений. Кроме этого, важными функциями являются: накопление, хранение и движение поверхностных и подземных вод, что предотвращает наводнения и последствия штормов; удерживание питательных веществ; удерживание загрязняющих веществ; стабилизация местных климатических условий, в особенности количества атмосферных осадков и температуры [1, 2, 13].

Лахтинское болото является переходным и расположено в Приморском районе на севере Санкт-Петербурга. Его площадь составляет 800 га. Торф начал отлагаться здесь около 3,5 тыс. лет назад на дне отступавшего Литоринового моря — предшественника современной Балтики. Максимальная мощность торфа достигает 2,5 м в северной части болота. Сохранившаяся часть болота входит в первый на территории Санкт-Петербурга комплексный природный заказник регионального значения «Юнтоловский» общей площадью 976,8 га. Заказник образован в 1990 г. с целью сохранения характерных исторических ландшафтов Финского залива, являющихся местом произрастания редких видов растений, гнездования и стоянок птиц. В предвоенные годы окрестности Лахты сохраняли большое рекреационное значение: в 1919 – 1932 гг. здесь работала Лахтинская экскурсионная станция, ставшая центром комплексных исследований окружающей территории [4, 10].

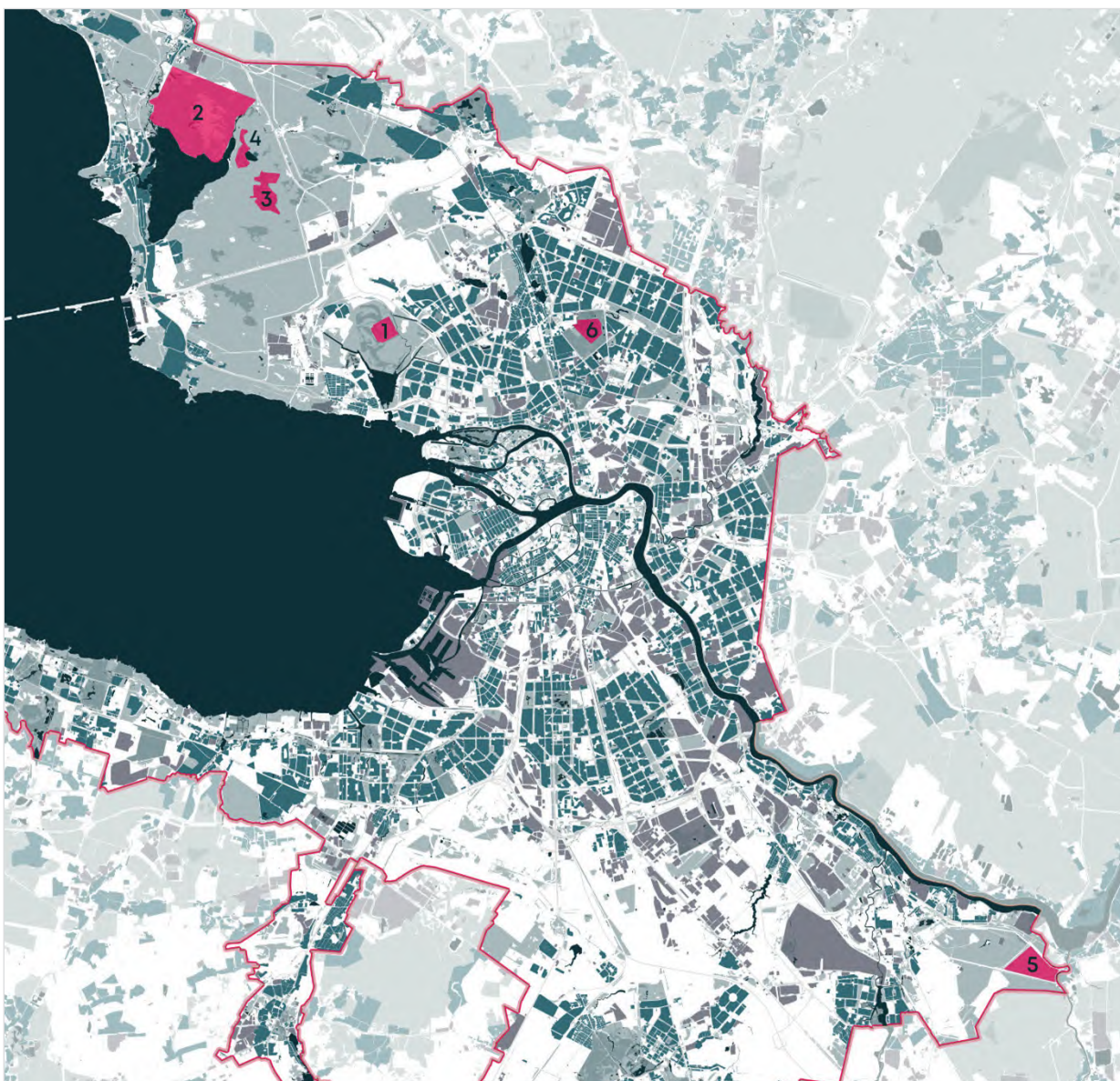


Рис. 2. Схема расположения выбранных объектов: 1 — Лахтинское болото, 2 — Сестрорецкое болото, 3 — Большое Марково болото, 4 — Левашовское болото, 5 — Усть-Тосненское болото, 6 — Торфяник в парке Сосновка

Торфяник сильно облесен вследствие добычи торфа и грунта в 20 веке. Отмечается тенденция дальнейшего зарастания открытых болот сосной. Основной древесный состав: березовые и березово-сосновые сфагновые леса, березовые рощи, ольха черная, рябина, осина. Характерные болотные растения: белокрыльник болотный, ирис болотный, восковник болотный (символ заказника) [4], фиалка топяная, крестовник болотный, росянка круглолистная, ветреница болотная, молочай болотный. Распространены леса с травянокустарничковым ярусом, сформированным болотными видами: пушицей, вахтой, сабельником, хвощом речным. Моховой покров образован болотными видами сфагновых мхов [14].

Отмечается самое большое количество редких видов птиц и перелетных птиц из-за труднодоступности болота для людей. Здесь гнездятся такие хищные птицы как скопа, канюк, чеглок, болотная сова. Обитают коростель, выпь, широконоска, жулан, варакушка [3].



Рис. 3. Тропа к Лахтинскому болоту

Сестрорецкое болото расположено в Государственном природном заказнике «Сестрорецкое болото» в Курортном районе на северо-западе Санкт-Петербурга. Представляет собой переходные, верховые болота и грядово-озерковый комплекс общей площадью 1877 Га. Поверхность болота слабовыпуклая: периферийные части имеют абсолютные высоты около 8 м, а центральная часть поднимается до 10–11 м. Мощность торфа не менее 0,5 м. Не подвергалось осушению, поэтому здесь сохранились типичные болотные комплексы, дающие представление о местности, на которой строился Санкт-Петербург [3, 4, 10].

Основной древесный состав: сосново-кустарничковый массив на грядах и островках: карликовые березы, осины, рябина, ольха черная, много молодых дубов. Встречаются специфические растения верховых болот: белокрыльник болотный, пушица влагалищная, росянка круглолистная, подбел восколистный, клюква болотная, очеретник белый, вереск, шейхцерия болотная, сабельник болотный, вахта трехлистная, рогоз, осоки, ирис болотный. 113 видов мхов, в том числе 26 сфагновых, они являются главными торфообразователями и определяют условия существования других растений.

Как и Лахтинское, Сестрорецкое болото находится на одной из ветвей миграции перелетных птиц. Среди гнездящихся здесь птиц — белая куропатка, средний и большой кроншнеп, скопа, жулан обыкновенный, чибис, бекас, кулик, тетерев — символ заказника, серая цапля, серый журавль, филин, совы. Насчитывается 29 видов млекопитающих: лисица обыкновенная, лось, заяц-беляк, рыжая полевка, бурозубка обыкновенная, ондатра, норка американская, ласка, горностай, лесной хорь. В южной части болота, у Сестрорецкого разлива обитает ночница прудовая — один из самых редких видов летучих мышей на Северо-Западе [3].



Рис. 4. Экотропа «Сестрорецкое болото»

Большое Марково и Левашовское болота, расположенные в недавно созданном заказнике «Левашовский лес», являются верховыми и занимают площадь около 400 Га. Самое крупное в заказнике Большое Марково болото имеет торфяную залежь глубиной более 5 м, остальные торфяники — 1–2 м. Территория ООПТ вплоть до 2023 года подвергалась сильному антропогенному воздействию, такому как создание и эксплуатация полигона ТБО, прокладка газопровода, строительство автодорожной трассы ЗСД через Большое Марково болото. Несмотря на это, болота имеют очень большой экологический и рекреационный потенциал и образуют единую лесную и болотную систему с Сестрорецким болотом [4, 12, 10].

Растительность верховых болот представлена в основном болотно-кустарничково-сфагновыми участками и пушице-сфагновыми с включениями долгомошников, березы, ивы, осок; растительность переходных участков — березово-осоково-сфагновыми, сабельниково-осоково-сфагновыми; встречается ива, ольха серая, тростники, долгомошники. Встречается также редкая для Санкт-Петербурга карликовая береза.

«Левашовский» является важным резерватом для сокращающейся в численности и исчезающей в городе гадюки (вид, занесенный в Красную книгу Санкт-Петербурга). Охраняются встречающиеся здесь два вида птиц — скопа и среднерусский подвид белой куропатки. Окраины болота заселяет заяц-беляк. На дренажных и мелиоративных канавах обитают ондатра, бобр европейский, водяная полевка, американская норка [15].

Усть-Тосненское болото — это верховое болото площадью 586,3 Га расположено в районе Колпино. Сейчас это планируемое ООПТ в соответствии с законом № 421-83 от 25.06.2014 «О перечне участков

территорий, в отношении которых предполагается провести комплексные экологические обследования». Из-за частичного осушения болота может стать местом крупного торфяного пожара из-за пала травы на соседних лугах. Сейчас это единственный крупный объект дикой природы в экологически неблагополучном Колпинском районе.

Здесь находятся гнездования краснокнижных птиц таких как рябчик, тетерев и глухарь, черная крачка, варакушка. Обитают некоторые перелетные птицы, в том числе редкие, бобр европейский, заяц-беляк [3, 4, 10, 16, 17].

Торфяник в парке Сосновка — это осушенное верховое болото с частично выработанным торфом. Один из немногих еще не застроенных выработанных торфяников в городе. Фактически, парк Сосновка — один из оставшихся участков лесного массива внутри жилой застройки. Характеризуется относительно частыми торфяными пожарами из-за высокой рекреационной нагрузки, что создает угрозу для всего болотно-лесного комплекса. Для осушения парка были вырыты 7 мелиоративных озер и прудов, вследствие этого болотистая местность начала зарастать сосняком. Наблюдается образование заболоченной местности на территории Муринского ручья (рис. 5).

Характерно сильное облесение. Преобладает сосново-кустарничковый массив и специфические болотные травы, в том числе несколько краснокнижных [18].



Рис. 5. Заболоченные участки в Сосновке

Из описания следует, что лишь 4 объекта ВБУ имеют статус ООПТ, однако все вышеперечисленные территории из-за своей экологической ценности требуют поддержания особого режима ис-

пользования с целью сохранения болотных комплексов. Все они представляют интерес для изучения динамики развития болотных ландшафтов, а объекты, подвергавшиеся сильному антропогенному воздействию, такие как Лахтинское болото или торфяник в Сосновке — для изучения последствий осушения и торфодобычи и их влияния на обитателей и растительность болот.

Сравнительный анализ рекреационных аспектов выбранных болотных территорий, проведенный с помощью научно-исследовательских ресурсов и полевых исследований представлен в *Таблице 1*. Полевые исследования и фотофиксация проводились на трех объектах: Лахтинском, Сестрорецком болотах и в парке Сосновка.

Таблица 1

Сравнительный анализ рекреационных аспектов выбранных болотных территорий

Название ВБУ	Режим водопользования и расположение	Условия для рекреации
Лахтинское болото	ООПТ Государственный природный заказник регионального значения «Юнтоловский», Приморский район	К болоту ведут необорудованные труднодоступные лесные тропы, (рис. 3). В северной части заказника, в более сухом месте проходит грунтовая дорога, насыпанная в 1990 г., изначально она была технологической, а сейчас доступна для пешеходов и велосипедистов. Информационных стендов для ознакомления с природой заказника нет.
Сестрорецкое болото	ООПТ Государственный природный заказник регионального значения «Сестрорецкое болото», Курортный район	В заказнике действует экотропа «Сестрорецкое болото» протяженностью 3,5 км. По непроходимым местам оборудованы пешеходные настилы со смотровыми площадками (рис. 4). Есть информационные стенды для самостоятельного знакомства с историей, растительностью и обитателями заповедника [19].
Большое Марково болото	ООПТ Государственный природный заказник регионального значения «Левашовский», Выборгский и Курортный район	Через заказник вдоль болот проходит пешеходная экотропа «Ленинская тропа» от музея «Шалаш Ленина» до озера Глухое, однако выхода на болота нет.
Левашовское болото		
Усть-Тосненское болото	Планируемый региональный памятник природы, Колпинский район	Среди рекреационных маршрутов выделяются несколько трейлов, например «Никольская тропа»: велосипедные и пешеходные спортивные маршруты, связывающие берег р. Тосны и Усть-Тосненское болото [20].
Торфяник в парке Сосновка	Городской лесопарк «Сосновка», планируемый региональный заказник, Выборгский и Калининский район	Сосновка — городской лесопарк со свободными пешеходными и велосипедными маршрутами по всей территории, оборудованный зонами отдыха и видовыми площадками, однако, информации для посетителей об экосистемах заболоченных участков нет.

Было выявлено, что лишь один объект — Сестрорецкое болото — имеет рекреационную инфраструктуру, отвечающую как экологическим, так и туристическим требованиям. Сосновка, как городской парк, обладает подходящими условиями и удобной инфраструктурой для посещения, но не отвечает экологическим требованиям, которые необходимы для сохранения важных экосистем. Юнтоловский и Левашовский заказники, имея высокую ценность для природы Санкт-Петербурга, нуждаются в введении функциональных зон, регламентирующих туризм на водно-болотных и лесных угодьях. Усть-Тосненское болото — единственный крупный зеленый объект в Колпинском районе — используется сей-

час как территория оздоровительной (спортивной) рекреации. Сохранение этой тенденции важно как для существующих, так и для потенциальных посетителей, но на территории таких ценных природных объектов данный вид рекреации должен иметь строгие границы используемых зон.

Таким образом, основная проблема с точки зрения возможности рекреации это — отсутствие инфраструктуры, которая позволяла бы комфортно и безопасно передвигаться туристам, не нарушая экосистемные процессы.

Для выявления способов и методов использования рекреационных возможностей ВБУ с использованием экологически устойчивых проектных решений были проанализированы ряд объектов из международной и отечественной практики.

К ним относится Лондонский центр водно-болотных угодий (London Wetland Centre), расположенный в самом центра Лондона (Великобритания). Заповедник создан на месте трех заброшенных водохранилищ Викторианской эпохи. Ландшафты центра представлены заводами с тихим течением, болотами и ручьями общей площадью 29,9 га. Целью создания было сохранение местообитания диких птиц, таких как черношейный лебедь, серая утка, обыкновенный зимородок, большая и малая поганка и других болотных животных. Территория была названа Центр водно-болотных угодий «Барн-Элмс» (Barn Elms Wetland Centre) и сейчас является объектом особого научного интереса. Для посетителей регулярно проводятся образовательные мероприятия, посвященные сохранению водно-болотных угодий. На территории создан пешеходный маршрут с местами отдыха и наблюдения за природой, рекреационная зона с детскими площадками, кафе, парковкой, администрацией (рис. 6). Также, весь прогулочный маршрут адаптирован под маломобильных граждан: предусмотрены звуковые и тактильные устройства [21].



Рис. 6. Схема инфраструктуры парка London Wetland Centre [21]

Следующий объект — водно-болотный парк Мингху (Minghu Wetland Park), расположен в городской провинции Гуанчжоу Люпаньшуй, Китай. Проект выполнило китайское ландшафтное бюро “Turenscape”. Парк площадью около 25 га расположен вдоль реки Shuicheng — единственного водоема в городе, куда сбрасываются поверхностные воды. Вследствие индустриализации река утратила некоторые экологические функции, в том числе защиту города от подтоплений, поэтому возникла необходимость в восстановлении реки. Существующие ручьи, водно-болотные угодья и низменные участки были объединены в систему, образуя серию водоудерживающих прудов и очистных водно-болотных угодий различной вместимости. Сведено к минимуму затопление города, создан регулируемый сток речной воды после сезона дождей, восстановлено самоочищение воды и естественная среда обитания для сохранения биоразнообразия (рис. 7). Кроме того, в парке созданы рекреационные зоны для отдыха горожан: пешеходные дорожки, смотровые вышки, плавающие беседки и пешеходный мост, тематически связанный с историей города и реки [22].



Рис. 7. Водосборные бассейны водно-болотного парка Мингху (Minghu Wetland Park) [22]

Национальный парк Торронсуо (Torransuon kansallispuisto), расположенный рядом с городом Форсса, в 100 км от Хельсинки, образован в 1990 году для сохранения характерных северных ландшафтов и крупнейшего болотного массива на юге Финляндии и защиты редких видов растений, птиц, например, золотистой ржанки, а также мест обитания различных животных. Торронсуо — крупнейшее из сети многочисленных болот Финляндии, представляет собой переходные участки, а также грядово-озерковый комплекс. Слой торфа достигает 12 м. Болота Финляндии наиболее схожи по происхождению, географическим и климатическим параметрам с болотами Санкт-Петербурга (Сестрорецким, Лахтинским) (рис. 8). Для посетителей создан пешеходный маршрут с настилом и двумя смотровыми вышками. Зимой здесь можно заниматься беговыми лыжами [23].

Национальный парк Большое Кемерское болото (Kemeru) расположено вблизи курорта Юрмала, в Латвии. Это крупнейшее болото Латвии использовалось для исследовательских целей еще в советском периоде — здесь была дорога до метеостанции. Но доступным для туристов болото стало лишь недавно, в 1997 году, когда был создан национальный парк Кемери. Через него проложено два кольцевых пешеходных маршрута (1,4 и 3,4 км) с местами отдыха и наблюдательными пунктами (рис. 9). По пути можно встретить характерные для болот Латвии редкие виды растений и места гнездования птиц, таких как журавль и серый дятел. На территории парка обитают белохвостые олени [25]. Болото ценно не только своей уникальной флорой и фауной, но и своими недрами: было выявлено, что слой

торфа здесь достигает 8 метров, кроме этого, болото образует серные воды, которые выходят на поверхность в окрестностях бальнеологического курорта Кемери.



Рис. 8. Экотропа через переходное болото парка Torronsuon [24]



Рис. 9. Рекреационная инфраструктура Большого Кемерского болота [26]

Приведенные примеры рекреационного использования ВБУ показывают возможности создания туристической инфраструктуры, а также реализации различных видов рекреационной деятельности

в зависимости от климатических и географических условиях, например, Кемерское болото интересно с точки зрения оздоровительной рекреации из-за наличия лечебных источников, а болото Торронсуо позволяет организовать познавательную и исследовательскую деятельность благодаря своему древнему происхождению и богатому разнообразию редких видов животных и растений, а также позволяет проводить лыжные прогулки в зимнее время. Первые два объекта служат примером грамотной и эффективной реставрации природных комплексов и внедрения рекреаций. Проекты London Wetland Centre и Minghu Wetland Park не только решили проблему сохранения природных комплексов и защиты города от наводнений, но и затронули социально-экономические аспекты: организованы места для отдыха горожан и объекты привлечения туристов. Во всех проектах в качестве основной рекреационной инфраструктуры присутствуют следующие элементы:

- пешеходные маршруты, выполненные с помощью настилов с местами для остановки и отдыха;
- смотровые вышки для обзора территории и наблюдения за птицами;
- система информационных стендов и навигация.

Лондонский центр включает также игровую площадку, кафе и парковку.

Таким образом, организация экотуризма на городских болотных территориях выполняет сразу несколько задач: оздоровительная функция экотроп, снижение антропогенного воздействия за счет организации маршрутов и функциональных зон, экологическое просвещение населения и повышение интереса к болотным комплексам, увеличение туристического потенциала города или региона.

Для разработки экспериментальных проектных предложений было выбрано Лахтинское болото, расположенное внутри особо охраняемой природной территории «Государственный природный заказник регионального значения Юнтоловский»: оно примыкает к густонаселенной жилой застройке Приморского района и постоянно используется горожанами, для него обеспечена удобная транспортная доступность: несколько автобусных маршрутов к разным входам в заказник от станций метро «Комендантский проспект» и «Беговая». Заказник связан с крупным городским парком «Юнтоловский лесопарк», который служит буферной зоной между ООПТ и городскими кварталами. На территории заказника происходит динамичное развитие болотного ландшафта [4], что привлекает исследователей и посетителей. Однако для комфортного посещения необходимо создать инженерное устройство пешеходной сети для возможности выхода к рекам и болотам.

На основе выполненного полевого обследования и анализа собранного материала для Лахтинского болота были определены проблемы и потенциал в рекреационном использовании. К проблемам можно отнести:

1. **Антропогенное воздействие:** нет четкого зонирования, экологичной инфраструктуры и маршрутного сценария для бережного природопользования и безопасного отдыха, люди хаотично передвигаются по территории заказника, в том числе по болоту, самостоятельно «исследуют» территорию, неосознанно нарушая экологические процессы;
2. **Последствия торфодобычи и мелиорации с 20 века:** до начала торфоразработок площадь торфяников занимала около 25 км², сейчас на территории заказника осталось два крупных болотных массива общей площадью около 10 км². Полностью исчезли участки верховых болот, площадь низинных болот уменьшилась за счет изменения береговой линии Лахтинского разлива. Основная часть Лахтинского болота в настоящее время представлена торфяниками переходного типа, большая часть которых облесена. В результате осушения сильно уменьшилась численность гнездящихся здесь перелетных птиц. Кроме этого, из-за создания мелиоративной системы нарушен сток реки Черной [10];

3. **Воздействие окружающей городской застройки:** на осушенных торфяниках проводились работы по намыву территории под застройку, которая сейчас расположена вплотную к западной границе заказника, а также вдоль Шуваловского проспекта. В 2013 году введен в эксплуатацию участок автомагистрали ЗСД на восточной границе заказника, что вызывает пыле- и шумозагрязнение;
4. **Отсутствие информационных ресурсов** для горожан о правилах пользования природной территорий;
5. **Отсутствие инфраструктуры для изучения ООПТ**, например, для проведения школьных экскурсий или полевых научных наблюдений;

Потенциалом болота является:

1. Транспортная и пешеходная доступность, достаточно большой поток посетителей требует создания оборудованных входных и подъездных зон;
2. Динамично развивающийся ландшафт и красота дикой природы Лахтинского болота и всего заказника — важный объект исследования и наблюдения. Необходимо разработать маршруты и места для наблюдательных пунктов для упорядоченного потока посетителей: прогулочный маршрут, исследовательский (экскурсионный) маршрут, транзитный маршрут (от Юнтолово к району Комендантского проспекта).

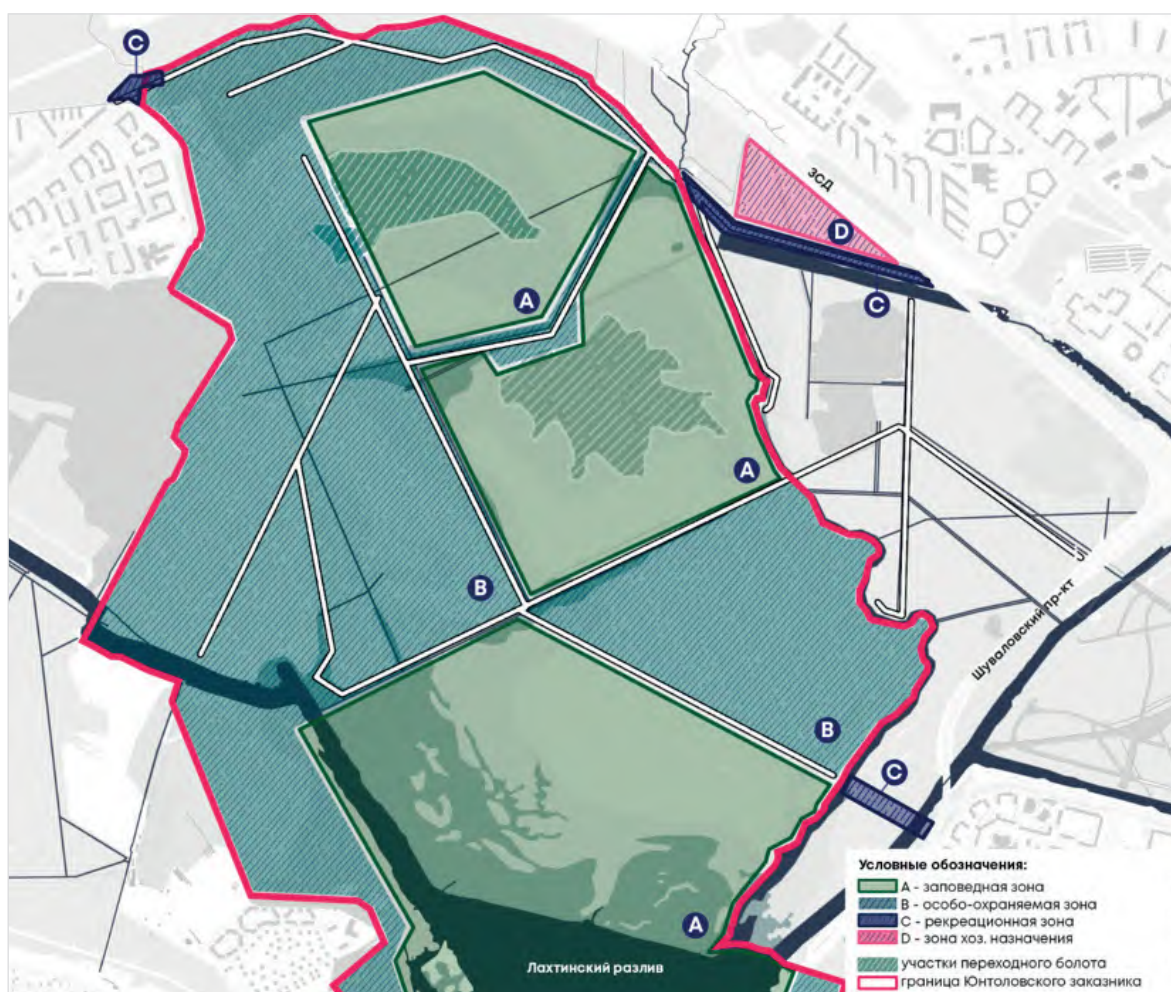


Рис. 10. Схема функционального зонирования Юнтоловского заказника

Несмотря на то, что в Законе об ООПТ не сказано о необходимости создания функциональных зон на территории заказников, предлагается выделить на территории исследуемого объекта — Лахтинского болота — 4 функциональные зоны [27] с инфраструктурой для минимизации антропогенного воздействия и регламентации потока посетителей (*рис. 10*):

- А)** заповедная зона, или зона экологического покоя, где запрещается осуществление любой экономической и рекреационной деятельности, где будут созданы наиболее комфортные условия для флоры и фауны;
- В)** особо охраняемая зона, где допускается осуществление как самостоятельной, так и организованной экскурсионной деятельности (оборудованная экотропа с настилом, смотровыми площадками), а также проведение научно-исследовательской деятельности (наблюдательные пункты, смотровые вышки);
- С)** рекреационная зона, предназначенная для размещения туристкой инфраструктуры (информационные центры, павильоны проката велосипедов, беседки, кафе и т. д.);
- Д)** зона хозяйственного назначения для обеспечения функционирования заказника (размещение административного центра и хозяйственных помещений, медпункт.).

Заповедная зона (А) охватывает территорию переходных участков болота и побережье Лахтинского разлива — основных мест гнездования птиц и произрастания редких видов растений [10, 13]. Особо охраняемая зона (В) занимает большую часть заказника, где расположены облесенные участки с существующими пешеходными тропами. При условии, что концентрация всей рекреационной и хозяйственной инфраструктуры, зон долговременного отдыха и туристической деятельности (зоны С и D) находится за границей заказника, не нарушаются условия жизни экосистемы и местообитаний в заповедной и особо охраняемой зонах. При этом на территории заказника решается проблема неорганизованного потока посетителей, создаются комфортные условия для посещения и развития научно-просветительской деятельности.

Заключение

Для водно-болотных угодий Санкт-Петербурга в составе заказников и городских парков, как для объектов, имеющих важное экологическое значение характерно отсутствие или недостаточно развитая инфраструктура, которая позволяла бы комфортно и безопасно передвигаться туристам, не нарушая экосистемные процессы. Анализ показал, что сложилась необходимость в выявлении рекреационных особенностей и разработки программы их использования при условии предотвращения загрязнения, деградации и депрессии экосистем под влиянием урбанизации. Разработка экспериментальных проектных предложений позволит сформировать необходимую туристскую инфраструктуру и регулировать оздоровительную и познавательную рекреационную деятельность. Создание такой инфраструктуры поспособствует формированию экологического сознания населения, проведению научных исследований через наблюдение за экологическими процессами и гармоничному взаимодействию человека с природой [7].

Рекреационное использование должно осуществляться согласно принципам бережного использования и устойчивого развития, минимизируя антропогенное воздействие и способствуя просвещению населения о значении и ценности водно-болотных угодий. Для решения этой проблемы также необходимо решить вопрос о правовом статусе объектов, определить их режим охраны и конкретные возможные виды рекреационной деятельности [28, 29].

Библиографический список

1. Руководство по Рамсарской конвенции: Справочник по осуществлению Конвенции о водно-болотных угодьях (Рамсар, Иран, 1971 г.), 4-ое издание. Гланд, Швейцария: Секретариат Рамсарской конвенции, 2006 г.
2. Янковская Ю. С., Гаджиев Г. А. Водно-болотные угодья в составе городов. Проблемы сохранения и устойчивого развития // Вестник науки. 2020. №2 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodno-bolotnye-ugodya-v-sostave-gorodov-problemy-sohraneniya-i-ustoychivogo-razvitiya>.
3. ГКУ «Дирекция особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга». — Санкт-Петербург. — URL: <https://oopt.spb.ru/directorate/contacts/>.
4. Исаченко Г. А., Резников А. И. Ландшафты Санкт-Петербурга: эволюция, динамика, разнообразие // Биосфера. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/landshafty-sankt-peterburga-evolyutsiya-dinamika-raznoobrazie>
5. Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 N 33-ФЗ (последняя редакция).
6. Рекреационные зоны/туризм: Официальный сайт органов местного самоуправления Старооскольского городского округа Белгородской области URL: <https://oskolregion.gosuslugi.ru/o-munitsipalnom-obrazovanii/rekreacionnye-zonyturizm/>.
7. Косорукова Д. Е., Шмелева И. А. Исследование зеленой инфраструктуры и обеспечение ее связности посредством внедрения экотроп на примере города Курска. — Национальный исследовательский университет ИТМО, 2025.
8. Будаева Д. Г. и др. Актуализация понятия «экологическая тропа» в контексте современного развития экологического туризма в России // Успехи современного естествознания. — 2020. — №. 12. — С. 62 – 67.
9. Закон Санкт-Петербурга от 25.06.2014 «О перечне участков территорий, в отношении которых предполагается провести комплексные экологические обследования» (с изменениями на 21 октября 2024 года) (Принят Законодательным Собранием Санкт-Петербурга 25 июня 2014 года) URL: <https://www.assembly.spb.ru/search/document/537957794/>.
10. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности [и др.]; [отв. ред. В. Н. Храмцов и др.]. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Марафон, 2016.
11. «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/.
12. Журнал Окружающая среда Санкт-Петербурга, 33, сентябрь, 2024 URL: https://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2024/09/OS-33_постранично.pdf.
13. Иовченко Н. П. Значение водно-болотных угодий Санкт-Петербурга для сохранения популяций некоторых редких видов птиц, обитающих на границе ареала // Рус. орнитол. журн. 2015. №1157. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-vodno-bolotnyh-ugodiy-sankt-peterburga-dlya-sohraneniya-populyatsiy-nekotorykh-redkih-vidov-ptits-obitayuschih-na-granitse>.
14. Боч М. С. Водно-болотные угодья России. Том 2. Ценные болота. Лахтинское болото. 1998. URL: <https://www.fesk.ru/wetlands/46.html>.
15. Волкова Е. А., Храмцов В. Н. Опыт оценки динамического состояния растительности на основе крупномасштабной карты современного растительного покрова (на примере территории «Левашовский

лес», Санкт-Петербург) // Геоботаническое картографирование. 2019. №2019. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-otsenki-dinamicheskogo-sostoyaniya-rastitelnosti-na-osnove-krupnomasshtabnoy-karty-sovremennogo-rastitelnogo-pokrova-na-primere>.

16. Клейменова Г. И., Верзилин Н. Н., Корнеенкова Н. Ю. Некоторые особенности торфонакопления на территории Ленинградской области в среднем голоцене // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-osobennosti-torfonakopleniya-na-territorii-leningradskoy-oblasti-v-srednem-golotsene>.

17. Воздействие пала травы на экосистему Колпинского района — Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга URL: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_kolpino/news/240843/.

18. Бялт В. В., Бялт А. В., Егоров А. А. Флора парка «Сосновка» (г. Санкт-Петербург) // Hortus botanicus. 2012. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/flora-parka-sosnovka-g-sankt-peterburg>.

19. Экотропа Сестрорецкое болото | Экологические тропы Санкт-Петербурга и ленинградской области: интернет-сайт Экотропы России, 2023 – 2025. URL: <https://eco-trails.ru/catalog/lenoblast/sestroreckoe-boloto/>.

20. Трейл Никольская тропа, Никольское: Федеральный беговой портал Get.run URL: <https://get.run/races/europe/russia/leningradskaya/nikolskoe/treyl-nikolskaya-tropa/>.

21. London Wetland Centre Barnes: интернет-сайт Международной благотворительной организации Wildfowl & Wetlands Trust <https://www.wwt.org.uk/wetland-centres/london>.

22. Minghu Wetland Park by Turenscape — Landscape Architecture platform | Landezine URL: <https://landezine.com/minghu-wetland-park-by-turenscape/>.

23. Маршрут перестроен: экотропы на болотах: Научно-популярный журнал «Машины и Механизмы». URL: <https://21mm.ru/news/korotko/marshrut-perestroen-ekotropy-na-bolotakh-/?ysclid=md5jdtjama887883098>.

24. Kupliva Torronsuo kätkee sisäänsä Lapin lintuja: журнал Turun Sanomat. URL: <https://www.ts.fi/uutiset/375040>.

25. Большое Кемерское болото: интернет-портал Самостоятельные путешествия по Европе. URL: <https://otcajannieputesestvenniki.com/bolshoe-kemerskoe-boloto/>.

26. Большое Кемерское болото, Латвия: LiveJournal — платформа для ведения блогов и развития сообществ. URL: <https://ru-travel.livejournal.com/32479269.html>.

27. Щербина А. Д., Цораева Э. Н. Функциональное зонирование особо охраняемых природных территорий регионального значения // Научный журнал КубГАУ. 2021. № 170. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoe-zonirovanie-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy-regionalnogo-znacheniya>.

28. Лесохозяйственный регламент курортного лесничества, Санкт-Петербург, 2024.

29. Скибин С. С. Правовой режим недропользования в пределах водно-болотных угодий международного значения // Baikal Research Journal. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoy-rezhim-nedropolzovaniya-v-predelah-vodno-bolotnyh-ugodiy-mezhdunarodnogo-znacheniya>.

ISSUES OF PRESERVING AND USING WETLAND AREAS IN THE URBAN ENVIRONMENT

S. E. Guryeva
N. A. Kerimova

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

This article is devoted to the issue of preserving and rational use of wetlands in Saint Petersburg. The problems described here are the wetland conservation, sustainable development and ecosystem functions. The article presents the environmental aspects related to the condition of wetland complexes and existing recreational areas. The article examines the problems of the selected objects and their recreational potential. The ways and methods of creating recreation zones using sustainable design and recreation tasks solution are analyzed. It also proposes a project decision for functional zones for one of the objects.

The Keywords

Wetlands, urban wetlands, ecotourism, ecological design, eco-trail, eco-friendly route, Lakhtinskoye wetland.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

06.10.2025

Ссылка для цитирования:

С. Е. Гурьева, Н. А. Керимова. Задачи сохранения и использования водно-болотных угодий в городской среде. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 93 – 110.



УДК 721.012

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_111-118

БЛАГОУСТРОЙСТВО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ И МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЕРСОНАЖЕЙ ЧУКОВСКОГО

Ю. А. Жук *

Е. А. Королев **

Д. М. Костева ***

О. О. Карпцова ***

* Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург

** ГК «РосОхрана», г. Санкт-Петербург

*** ООО «Городской оператор связи», г. Санкт-Петербург

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы улучшения городских открытых пространств на примере Зеленогорского парка. Определена необходимость создания современных арт объектов, популяризирующих культурное наследие и способствующих улучшению восприятия городской среды. Представлен разработанный проект «Парк будущего». Приведены примеры проектных решений малых архитектурных форм, созданных с использованием различных мультимедийных светозвуковых сервисов. Кроме этого, показана необходимость внедрения инструментов видеоаналитики и продемонстрированы интересные решения в данной области

Ключевые слова

Благоустройство городских парков, Зеленогорский парк, малые архитектурные формы, мультимедиа, видеоаналитика.

Дата поступления в редакцию
29.09.2025

Дата принятия к печати
06.10.2025

В современном мире, где культура и технологии стремительно развиваются, необходимость создания новых общественных пространств становится все более актуальной. В условиях стремительной урбанизации и увеличения плотности населения, создание качественных общественных пространств является неотъемлемой частью городской инфраструктуры. Важно, чтобы такие места не только служили для отдыха, но и способствовали культурному развитию общества.

Новейшие технологии открывают новые горизонты для проектирования парков и скверов. Интеграция цифровых решений и инновационных материалов в разработку малых архитектурных форм и арт-объектов позволяет создавать пространства, которые привлекают внимание и вдохновляют [10, 12]. Применение технологий нейросетей и видеоаналитики в общественных пространствах обеспечивает высокий уровень безопасности, что является важным аспектом для комфортного пре-

бывания горожан и туристов. Это позволяет создать не только уютные, но и безопасные условия для отдыха, что особенно важно в курортных зонах, где люди стремятся наслаждаться природой и культурными мероприятиями [1].

В 2024 году был разработан проект «Парк будущего» в городе Зеленогорск, который планируется внедрить в самое ближайшее время. Зеленогорск, как курортный район города федерального значения Санкт-Петербурга, обладает особенными природными условиями: чистым морским воздухом, насыщенным хвойными ароматами еловых лесов, и живописными песчаными пляжами. В таких условиях создание общественных пространств, способствующих отдыху и культурному обмену, становится особенно важным. Основная идея проекта состоит в популяризации русских писателей, в частности, произведений Корнея Ивановича Чуковского, и представляет собой инновационное решение, которое объединяет искусство, литературу и современные технологии. Малые архитектурные формы (МАФ), выполненные в виде героев любимых детских книг, взаимодействуют с посетителями парка за счет интеграции в них цифровых и свето-звуковых сервисов, а также нейросетевых технологий.

Создание общественных пространств, вдохновленных персонажами сказок и мультфильмов, является не только увлекательной, но и важной частью культурного развития городов. В России уже существует множество успешных примеров таких проектов, которые привлекают как местных жителей, так и туристов [6]. Например, в городе Раменское можно увидеть целую галерею сказочных героев, таких как Крокодил Гена и Чебурашка, а также персонажей из сказки о Винни Пухе и Докторе Айболите. Эти места становятся не только зонами отдыха, но и культурными центрами, где люди могут погрузиться в мир детских воспоминаний и фантазий.

Сказочный городок «Андерсенград» в Ленинградской области, хоть и является небольшой игровой площадкой, тем не менее, предлагает интересный опыт, где дома и скульптуры выполнены по мотивам сказок Ганса Христиана Андерсена. Это создает атмосферу волшебства и вдохновения, что особенно важно для детей и их родителей [11].

Арт-парк «Никола-Ленивец» в Калужской области представляет собой сочетание современных архитектурных форм и искусства, привлекая творческих людей и любителей необычного [11]. Здесь работы художников и архитекторов погружают посетителей в мир фантазий, что делает парк не только местом для отдыха, но и площадкой для культурного просвещения.

Деревня «Тыгыдым» в Ярославской области предлагает посетителям возможность познакомиться с фольклором и традициями региона, погружаясь в атмосферу XIX века. Это место, где можно не только увидеть, но и услышать истории, которые передаются из поколения в поколение.

Аллея сказок в Лианозовском парке в Москве является своеобразной визитной карточкой этого места, связывая игровой городок с парком аттракционов [11]. Здесь маленькие посетители могут встретить дружелюбных персонажей русского фольклора, что создает душевную атмосферу для семейного отдыха.

Примером также служит частный парк «Тридевятое царство» в Брянске, где собраны герои советских мультфильмов и русских сказок [11]. Это место, где дети могут не только увидеть своих любимых персонажей, но и поучаствовать в различных активностях.

Еще одним ярким примером тематических парков является «Кудыкина гора» в Липецкой области, в нем сочетается природа и мифология, а посетители могут увидеть трехглавого дракона, охраняющего древнерусскую крепость [4]. Это лишь часть удачно реализованных проектов по созданию тематических парков, памятников и арт-объектов.

Идея использовать современные технологии, нейросети для оживления и интерактивного взаимодействия с героями сказок, также имеет примеры успешной реализации [5, 7]. Например, интерак-

тивная выставка «Тайна забытых сказок» в Санкт-Петербурге [3]. Мультиформатная интерактивная выставка для всей семьи совмещает в себе сразу несколько форматов: интерактивную игру, аудиоспектакль, квест и экскурсию. Эта выставка посвящена самым знаменитым мировым сказкам, где «живые» декорации и волшебные предметы объединены единой сюжетной линией.

Еще одним примером внедрения цифровых технологий для «оживления» сказочных персонажей является сказочный музей «Особняк-Небылица» в Санкт-Петербурге, впечатляющий по своему масштабу проект, с невероятными декорациями, световыми и звуковыми спецэффектами, здесь каждый посетитель может погрузиться в мир всеми известных с детства сказок и легенд [9]. Каждое пространство музея наполнено особой атмосферой и посвящено определенной тематике, здесь можно узнать удивительные факты или интересные истории о сказочных жителях музея.

Менее масштабная, но очень интересная выставка «Герои сказок А. С. Пушкина на экране» состоялась (май 2024 г.) в библиотеке имени Горького г. Рязани, где были представлены «ожившие» герои поэмы «Руслан и Людмила» и «Сказка о царе Салтане» [2]. Все эти примеры показывают, как можно эффективно сочетать искусство, природу и современные технологии, создавая привлекательные и безопасные места для отдыха горожан и туристов.

Предлагаемый проект «Парк будущего» представляет собой концепцию, которая выделяется на фоне существующих арт-объектов и выставок, тематических парков и скверов. Основная идея состоит в том, чтобы расположить ряд МАФ на территории Зеленогорского парка, образуя своеобразный пеший маршрут-знакомство с героями сказок (см. рис. 1). Парк выбран не случайно, так как именно в этом восхитительном месте, начинались самые волшебные творения Корнея Ивановича Чуковского [8] Небылица.



Рис. 1. Общий план пешей прогулки по парку

Первой точкой взаимодействия гостей с атмосферой парка и его арт-объектами будет тоннель «Путь в сказку» (рис. 2а), который представляет собой пространство, созданное с использованием современных мультимедийных технологий. Внутренние стены тоннеля представляют собой большие экраны, на которых будут проецироваться яркие и динамичные изображения, связанные с темой парка. Для создания интерактивного опыта в тоннеле будут установлены инфракрасные датчики движения. Они будут отслеживать перемещение посетителей, позволяя адаптировать контент на экранах в зависимости от их местоположения и действий. Например, при приближении к определенному участку тоннеля могут активироваться специальные анимации или звуковые эффекты, создавая эффект вовлеченности. Кроме

этого, в тоннеле будут использоваться технологии трехмерного стереоскопического проецирования, что позволит создать эффект глубины и объема. Посетители смогут наслаждаться зрелищем, которое будет казаться объемным и живым, благодаря чему они почувствуют себя частью происходящего.

В тоннеле будут представлены анимированные персонажи сказок (слоны, крокодилы, доктор Айболит, Муха-цокотуха и прочие), созданные с использованием технологий трекинга движения. Эти персонажи смогут взаимодействовать с посетителями, реагируя на их движения и действия. Например, они могут приветствовать гостей, задавать вопросы или приглашать участвовать в различных активностях, что сделает опыт еще более увлекательным и запоминающимся. Задача тоннеля состоит в том, чтобы стать не просто проходом, а настоящим погружающим пространством, которое задаст тон всему посещению «Парка будущего».

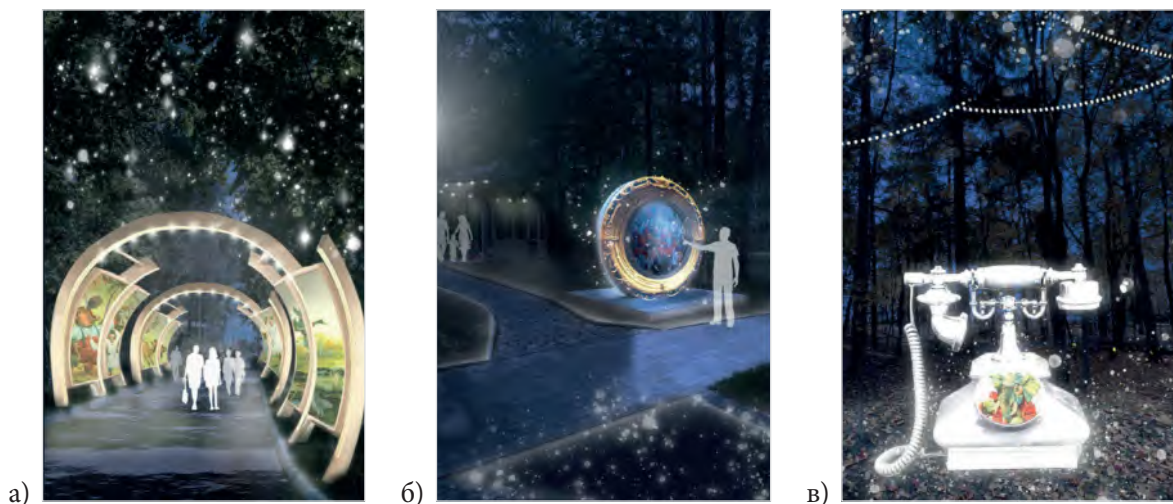


Рис. 2. МАФ, расположенные на территории «Парка будущего»

Объект парка «Волшебное зеркало» выполнен в виде интерактивного экрана, который функционирует как портал видеоконференцсвязи методом потоковой трансляции аппаратной формы (рис. 2б). Посетители могут использовать «Волшебное зеркало» для соединения с другими городами, участвуя в видеоконференциях с друзьями и родственниками, находящимися далеко. Это создает возможность для общения и обмена впечатлениями, позволяя людям делиться своими эмоциями и открытиями в реальном времени. Благодаря нейросетевым технологиям, на экране могут «оживать» любимые персонажи из сказок и мультфильмов. Эти персонажи могут взаимодействовать с посетителями, задавать вопросы, рассказывать истории или даже проводить мини-игры. Кроме этого, «Волшебное зеркало» предлагает различные интерактивные функции, позволяя посетителям управлять контентом на экране с помощью жестов или голосовых команд. Это делает взаимодействие с объектом еще более увлекательным и персонализированным.

Вдоль всего пешего маршрута располагаются малые архитектурные формы, представляющие собой световые скульптуры. Например, «Телефон» представляет собой инсталляцию, которая сочетает в себе элементы искусства, технологии и звукового дизайна (рис. 2в). Скульптура выполнена в виде стилизованного телефона, изготовленного из матового полупрозрачного ABS-пластика, что придает ей легкость и элегантность. Внутри скульптуры установлен LED-светильник, который может менять цвет и интенсивность света в зависимости от времени суток или взаимодействия с посетителями. Встроенный мультимедийный экран позволяет отображать различные визуальные эффекты, анимации и сообщения.

Инсталляция сопряжена с системой распределенного звука, что позволяет тонко настраивать уровень звучания звонка и голосов сказочных героев. Звуки могут меняться в зависимости от времени суток или активности вокруг скульптуры, создавая эффект погружения и присутствия. Посетители могут услышать, как сказочные персонажи общаются друг с другом или приглашают гостей поучаствовать в увлекательных приключениях.

Световая 3D-скульптура «Лисички и спички» (рис. 3а). Инсталляция представляет из себя соединение световой 3D-скульптуры и связанной с ней каменной тропинкой, вымощенной небольшими валунами. В промежутках между камнями устанавливаются пучки диодов, также на тропинке находится прозрачный экран для 3D-проектирования, помещенный в стеклянный куб. Когда посетители попадают на участок с этой скульптурой, датчики движения передают сигнал на сервер и на экран выбегают две лисички, зажигающих спички и бросающих их на тропинку. И в этот момент от синих световых переливов, имитирующих реку, диоды резко загораются красным пламенным светом.

Весомым преимуществом данной мультимедийной инсталляции является её вариативность: вместо лисичек на тропе может появиться жадный крокодил, крадущий красное солнце (рис. 3б). Скульптура использует разнообразные визуальные эффекты, такие как анимация, цветовые переходы и световые вспышки, которые делают образы живыми и динамичными. Эти эффекты могут меняться в зависимости от времени суток или настроения посетителей.



Рис. 3. Световые 3D-скульптуры

Двигаясь дальше по маршруту посетители увидят световое поле «Светлячки», представляющее собой завораживающую инсталляцию, которая погружает зрителей в атмосферу волшебства и сказки. Композиция выполнена в виде поля, где тысячи маленьких светодиодов, установленных на гибком проводе, имитируют светлячков. Эти светодиоды могут быть расположены в различных конфигурациях, создавая эффект живого роя, который кажется, будто парит в воздухе. Гибкие провода позволяют изменять форму инсталляции, что добавляет динамичности и разнообразия в восприятие.

Каждый светодиод может светиться различными цветами и интенсивностью, что создает эффект мерцания и движения. Светлячки могут «оживать» в ритме музыки или реагировать на окружающую среду, создавая уникальные визуальные эффекты. Плавные переходы между цветами и яркостью делают инсталляцию особенно привлекательной и завораживающей.

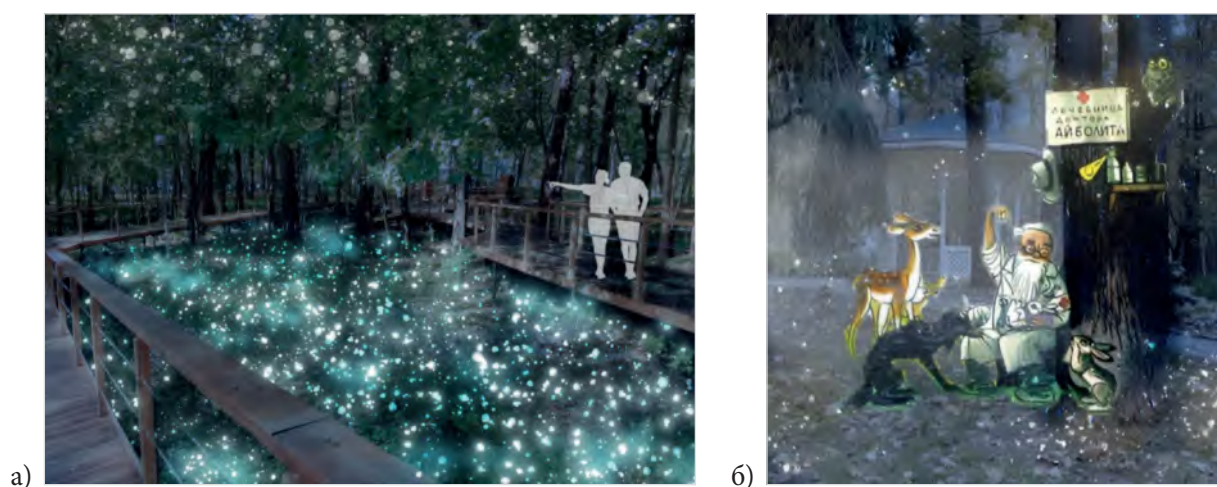


Рис. 4. Световые арт-объекты «Парка Будущего»

Особого внимания заслуживает «Айболит», который представляет собой инсталляцию, использующую лазерную проекцию на сетчатый голографический экран (рис. 4б). Проекция создает ощущение, что персонаж находится прямо перед ними, готовый к взаимодействию. Использование технологии 3D mapping создает эффект движения и глубины, что позволяет зрителям видеть Айболита с разных ракурсов. Проекция может включать анимации, которые показывают, как Айболит заботится о животных, взаимодействует с природой и решает различные задачи. Одной из ключевых особенностей «Айболита» является технология трекинга присутствия, которая активирует проекцию в зависимости от того, насколько близко находятся зрители. Когда посетители приближаются к инсталляции, начинается действие: Айболит начинает «разговаривать» с ними, рассказывая истории о своих приключениях и призывая к помощи. Инсталляция может быть дополнена звуковым оформлением, которое включает в себя звуки природы, голоса животных и мелодии, усиливающие эффект погружения и создающие атмосферу сказочного леса.

Ключевой особенностью концептуального предложения является его изменчивость и универсальность. Мультимедийные сервисы предоставляют возможность проекции и воспроизведения различных видео и аудиоматериалов, что позволяет экспозиции на тропе значительно трансформироваться в зависимости от праздников или специальных мероприятий. Открытые пространства могут меняться в зависимости от времени года, погоды и событий, что делает каждый визит уникальным.

В рамках реализации проекта особое внимание уделялось безопасности: парк планируется оборудовать системой мультимедиа с использованием алгоритмов видеоаналитики, с целью контроля обеспечения правопорядка, обнаружения противоправных действий, таких как хулиганство, курение в общественных местах, распитие спиртных напитков, порча имущества, в том числе зеленых насаждений. А также для осуществления контроля состояния парковых зон на наличие мусора, исправность всех фонарей освещения, переполненности урн, незаконное нанесение рисунков, надписей и расклейку объявлений.

Таким образом, создание современных общественных пространств в Зеленогорске и других городах не только способствует популяризации русской литературы, но и создает новые возможности для культурной жизни Зеленогорска, делая его более привлекательным и безопасным как для местных жителей, так и для туристов. Важно, чтобы такие проекты продолжали развиваться, учитывая потребности современного общества, а также инновационные технологические достижения.

Библиографический список

1. Вишневская, Е. В. Оценка потенциала тематических парков для социально-экономического развития региона // Научный результат. Экономические исследования — 2024 г. № 2. С. 20 – 29.
2. Выставка «Герои сказок А. С. Пушкина на экране»: [Электронный ресурс]. URL: <https://liart.ru/ru/news/3557/> (Дата обращения: 10.09.2025).
3. Выставка «Тайна забытых сказок»: [Электронный ресурс]. URL: <https://skazka.show/> (Дата обращения: 01.09.2025).
4. Гиткович О. О. 8 тематических парков развлечений для детей в России // Путешествия по России. [Электронный ресурс]. URL: <https://t-j.ru/short/fairy-parks/> (Дата обращения: 10.09.2025).
5. Дегтев, Ю. В. Эволюция малых архитектурных форм в России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова — 2013 г. № 1. С. 41 – 44.
6. Ивлиева, О. В., Шмыткова А. В. Тематические парки как одно из направлений развития туризма в Ростовской области // Современные проблемы сервиса и туризма — 2020 г. № 2. С. 105 – 113.
7. Кругляк, В. В. Специализированные объекты ландшафтной архитектуры // Модели и технологии природообустройства — 2024 г. № 2 (19). С. 35 – 42.
8. Морозов, Н. П. «О Зеленогорском парке культуры и отдыха на Карельском перешейке». Литрес. 2024 г. С. 118.
9. Музей «Особняк-Небылица»: [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80ablnoj1eub.xn--p1ai/> (Дата обращения: 01.09.2025).
10. Пастух О. А., Елистратов В. Н., Есауленко И. В. Архитектурные аспекты и конструктивные решения формирования и устойчивого развития дизайна городской среды // Системные технологии. — 2024. — № 2 (51). — С. 162 – 170.
11. Тарунова В. А. Сказочные места: 12 тематических парков в России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.onetwotrip.com/ru/blog/guides/russian-federation/theme-parks/> (Дата обращения: 10.09.2025).
12. Хайретдинова, Н. Э. Концепт «Экологии души» через призму «сказочного туризма». Региональные кейсы России // Современные проблемы сервиса и туризма — 2017 г. № 4. С. 112 – 123.

**IMPROVEMENT OF SPACE USING SMALL ARCHITECTURAL FORMS
AND MULTIMEDIA SOLUTIONS BASED ON CHUKOVSKY'S CHARACTERS**

Yu. A. Zhuk*
E. A. Korolev**
D. M. Kosteva***
O. O. Karptsova***

* Saint-Petersburg State Forest University named after S. M. Kirov, Saint-Petersburg

** RosOkhrana Group of Companies, Saint-Petersburg

*** City Communications Operator LLC, Saint-Petersburg

Abstract

The article considers the issues of improving urban open spaces using the example of Zelenogorsk Park. The need to create modern art objects that popularize cultural heritage and contribute to improving the perception of the urban environment is determined. The developed project "Park of the Future" is presented. Examples of design solutions for small architectural forms created using various multimedia light and sound services are given. In addition, the need to implement video analytics tools is shown and interesting solutions in this area are demonstrated

The Keywords

Improvement of city parks, Zelenogorsk Park, small architectural forms, multimedia, video analytics.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

06.10.2025

Ссылка для цитирования:

Ю. А. Жук, Е. А. Королев, Д. М. Костева, О. О. Карцова. Благоустройство пространства с использованием малых архитектурных форм и мультимедийных решений на основе персонажей Чуковского. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 111 – 118.



УДК 78.02

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_119-126

К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ. КОНЦЕПЦИЯ ДОМОСТРОЕНИЯ

П. И. Ипатова
А. В. Пономарев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

В данной статье рассматривается концептуальное предложение (конкурсный проект) по проектированию нового типа жилья для обитания человека в экстремальных условиях. Подобран примерный тип локации для расположения зданий. Описан принцип работы составной части здания — жилой ячейки — принцип аэродинамической трубы. Разработаны схемы работы блока. Проведен сравнительный анализ существующих и существовавших примеров (капсульной башни «Накагин» и Башни Теней Ле Корбюзье) по применению выбранных принципов проектирования. Приведена краткая историческая справка об идейной составляющей проекта. Подчеркнута значимость нового подхода к проектированию архитектурных объемов в контексте мирового изменения климатических условий, провоцирующих на массовое переселение народа.

Ключевые слова

Градостроительство, жилая ячейка, конвекция, глобальное потепление, климатические условия, антропогенное воздействие, аэродинамическая труба, пустыни, динамическое трение воздуха.

Дата поступления в редакцию

29.09.2025

Дата принятия к печати

04.10.2025

Введение

Изменение климата планеты Земля есть характерный природный процесс, происходящий на фоне влияния различных естественных факторов. Например, изменение солнечной радиоактивности, влияющее на циркуляцию воздушных масс и установление температур, извержения вулканов, океанские течения, сдвиги тектонических плит и др. Однако, по ходу развития человеческой цивилизации помимо природных процессов серьезное влияние на климат оказывает и сам человек.

В последние несколько десятилетий антропогенное воздействие стало иметь разрушительный характер. Индустриализация, развитие промышленности породили процессы, значительно ухудшающие «нормальное» состояние климата на планете. Например, увеличение количества углекислого и других парниковых газов в атмосфере при сжигании ископаемого топлива (угля, нефти, газа), массовая вырубка лесов, агрессивное сельское хозяйство. Все это усиливает парниковый эффект, тем самым вызывая одну из главных экологических проблем современности – глобальное потепление [1].

Долгосрочное повышение средней температуры поверхности Земли несет в себе ряд негативных последствий: таких как таяние ледников, повышение уровня моря, увеличение частоты природных

катаклизмов, изменение в характере выпадения осадков, утрата биоразнообразия, увеличение площади пустынь. Все это комплексно влияет на жизнедеятельность человека и способствует поискам новых путей развития в наступающий период чрезвычайных климатических условий.

На протяжении последних десятилетий проводятся множество научных исследований и наблюдений по данной теме, конференции специалистов из различных областей, международные саммиты, запущены космические программы наблюдения за природными процессами со спутников, работают метеорологические станции мониторинга, криосферные лаборатории, аппаратура измерений на Земле и т. д. [2]. Несмотря на то, что многие страны стараются уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, в некоторых регионах условия становятся слишком экстремальными для жизни. Чтобы выжить, местному населению приходится постепенно мигрировать. Подобная миграция уже началась — люди уезжают из районов, страдающих, к примеру, от постоянных затоплений, где становится невозможным заниматься сельским хозяйством. К сожалению, темпы процесса по прогнозу будут только нарастать. Поэтому человечеству стоит начать более основательную подготовку к изменяющимся условиям и организовывать места под климатические убежища с соответствующими инфраструктурой и энергетическими системами.

Идея самого первого климатического убежища пришла в голову американскому инженеру Бакминстеру Фуллеру, автору термина «Космический корабль — Земля» [3]. Именно он первым осознал огромную ответственность за сохранение очень хрупкой жизни на планете, «путешествующей» по бескрайнему космическому пространству. В 1960 году он предложил накрыть гигантским трёхкилометровым геодезическим куполом Средний Манхеттен, который бы позволил регулировать погодные условия в данном районе и уменьшить загрязнение воздуха. Тогда идея казалась просто фантастической по причине отсутствия разработок по технологии возведения конструкций и изобретения подходящих материалов для покрытий [4]. Спустя 50 лет, в 2010 году появился проект защитного от жары и ураганов климатического купола над городом Хьюстоном в США, заимствующий идеи Фуллера. Благодаря новым технологиям у человечества все же появилась возможность возвести купол размером 500 метров в высоту и 1600 метров в диаметре, с искусственно поддерживаемым климатом, новейшим полимерным покрытием ЭТФЭ (в 100 раз легче стекла) и строительством с помощью грузоподъемных дирижаблей вместо традиционных кранов и строительных лесов на огромной высоте. Внутри купола планировалось регулировать оптимальную влажность и температуру с помощью компьютеров, создавая здоровый микроклимат для людей и представителей флоры и фауны. Однако данное предложение было отвергнуто по причине огромнейших финансовых и энергетических затрат.

В рамках данного исследования предлагается проектное решение по строительству нового типа жилья, позволяющего решить проблему создания здорового микроклимата с наименьшими энергозатратами посредством объемно-планировочного решения.

Существующие аналоги ячеистых зданий и технологий

Самым ярким примером архитектурного объекта с объемно-планировочным решением ячеистого типа можно назвать капсульную башню «Накагин». Своеобразная архитектура здания основана на принципе модульности. Оно состоит из двух взаимосвязанных бетонных башен (11 и 13 этажей), в которые встроены 140 сборных модулей, или «капсул». Каждая капсула — это автономное жилое или рабочее пространство, которое можно объединить с другими для увеличения площади. Крепление к башням осуществляется четырьмя болтами. Изначально капсулы проектировались как взаимозаменяемые элементы, предназначенные для массового производства, однако эта возможность так и не была реализована. Все капсулы идентичны по размеру (2,3 м × 3,8 м × 2,1 м) и имеют характерное

круглое окно. Внутри каждой капсулы предусмотрено все необходимое для комфортной жизни или работы. Инженерные системы здания (лифты, кондиционирование, водоснабжение и электроснабжение) интегрированы в две центральные шахты.

По принципу проектирования и объемно-планировочному решению башня «Накагин» и проектное предложение можно назвать одинаковыми, но ключевое различие заключается в самом расположении модулей относительно природных показателей. В башне «Накагин» учет направления ветров и солнечных лучей не производится в связи за ненадобностью таких мероприятий в городской среде мегаполиса в отличие от пустынных просторов.

Примером здания с предполагаемым учетом розы ветров и положения солнца может служить Башня теней Ле Корбюзье в Чандигархе, Индия. Местоположение объекта в случае Башни теней диктует и его особенности. Архитектор конструирует объем, не только исходя из принципов эстетики объемно-пространственной композиции, но и исходя из климатических условий. В городе Чандигарх тип климата: субтропический муссонный. В течение года наблюдаются значительные колебания температуры и осадков, связанные с муссонными ветрами. С учетом всех факторов в совокупности великий мастер сумел воплотить совершенно несуразное, но очень интересное сооружение. На первый взгляд функциональность данного объекта неоднозначна. Объем, состоящий из двух частей, выглядит незавершенным: представляет собой открытый бетонный каркас с необычной пластикой. Северного фасада практически нет, но остальные фасады, составные части которых еще называют «солнцерезами», придерживаются определенного правила. Западная сторона открыта «солнцерезами» для лучшего проникновения преобладающих ветров (по розе ветров). Горячий воздух, попадая в верхнее пространство под крышей, не задерживаясь, распределяется по двум направлениям, тем самым образуя тягу воздушной массы. Воздух, попадающий извне по другим путям, поднимаясь снизу вверх, устремляется за воздухом в верхнем пространстве, вследствие чего происходит полное замещение объема воздуха в павильоне [5].

Разгоняясь, потоки горячего воздуха при трении о бетонные поверхности, охлаждаются. По задумке архитектора Ле Корбюзье при минимальном попадании солнечных лучей в объем с помощью разнонаправленных бетонных «солнцerezов» получилась действенная схема охлаждения воздуха павильона методом конвекции.

Модификация именно такой технологической архитектурной идеи и была заложена в предложенную концепцию. Однако, следует отметить, что «применимость» данной технологии для людей значительно выше. Башни из блоков со встроенными жилыми ячейками позволяют не только любоваться сооружением, но и жить в нем. С точки зрения экономики строительства в новых условиях они являются выгодным капиталовложением.

Жилая ячейка. Концепция формы

Изменение климата и частный характер последствий в каждой территориальной единице планеты, вероятнее всего, будут различаться, однако рост температурных показателей будет увеличиваться повсеместно [6]. Результатами роста глобальной температуры являются изменение количества и характера осадков, увеличение мировых пустынь. Поэтому данное концептуальное проектное предложение допускает и агитирует в качестве возможной климатической зоны для организации жилой среды — климат пустыни и примыкающей к ней территорий [7]. Проектным решением предусматривается создание жилого оазиса в виде башен, состоящих из жилых ячеек (одно, двух, трехкомнатных и иных квартир) свободной планировки, которые размещаются в условно замкнутом пространстве, открытым с двух противоположных сторон, являющимся естественной (природной) аэродинамической трубой (рис. 1).



Рис. 1. Фасад жилого блока. Иллюстрация выполнена лично автором

Блок с жилой ячейкой выполняется из монолитного железобетона с утеплителем исключительно в части закрытого пространства для проживания. Внутренние ребра и наружный блок не утепляются. Необходимость утеплителя обоснована резкими перепадами температур в пустынях: днем — жара, ночью температура воздуха может опускаться до отрицательных показателей. В ночное время функция утеплителя является классической — сохранять тепло внутреннего пространства, а в дневное время — не пропускать жаркие потоки воздуха, сохраняя прохладу.

Витражные окна по всей плоскости фасада жилой ячейки предполагают тонированные стекла с разноцветной окраской для наименьшей видимости внутреннего пространства снаружи, также имея декоративный характер.

В проект заложено и вертикальное озеленение объемов. Поскольку жить в сравнительно малогабаритных бетонных коробках не является психологически безопасным, каждый блок предусматривает наличие растений. Подобное достаточно распространенное решение позволяет сохранять здоровый микроклимат в экстремальных температурных условиях, создавать эстетически более привлекательную среду обитания для человека.

Террасы, сформированные путем заглубления жилой ячейки в блоке, также позволяют сократить попадание прямых солнечных лучей на витражи и формируют открытые террасы-балконы, площади которых составляют около 40% процентов от жилой площади.

Принцип «работы» жилой ячейки

Конструкция любого жилого блока башен неслучайна. В нее заложены принципы моделирования в аэродинамике [8]. Внутренние ребра жилого блока формируют полузамкнутые объемы, схожие по принципу работы с трубами. Движение воздуха в полузамкнутых объемах обеспечивается за счет динамического трения воздуха на верхней грани этих объемов и воздуха, относительно свободно движущегося с большей скоростью над застройкой (*рис. 2*).



Рис. 2. Фасад жилого блока. Иллюстрация выполнена лично автором

Важно, что при этом воздухообмен, а, следовательно, и обмен пылью и избыточным теплом между наружным воздухом и внутренним микроклиматом минимален, т. е. за счет своей плотности жилая зона эффективно «защищается» от пылеветрового воздействия [9]. Это является одной из ключевых положительных сторон предложения, поскольку в пустынях нередко возникают песчаные бури — атмосферные явления, при которых сильные потоки ветра поднимают частицы песка, мелкофракционного грунта и пыли в воздух. В новообразованном плотном облаке критически снижается видимость вплоть до нескольких метров. Продолжительность песчаных бурь — от нескольких часов до нескольких дней (рис. 3).

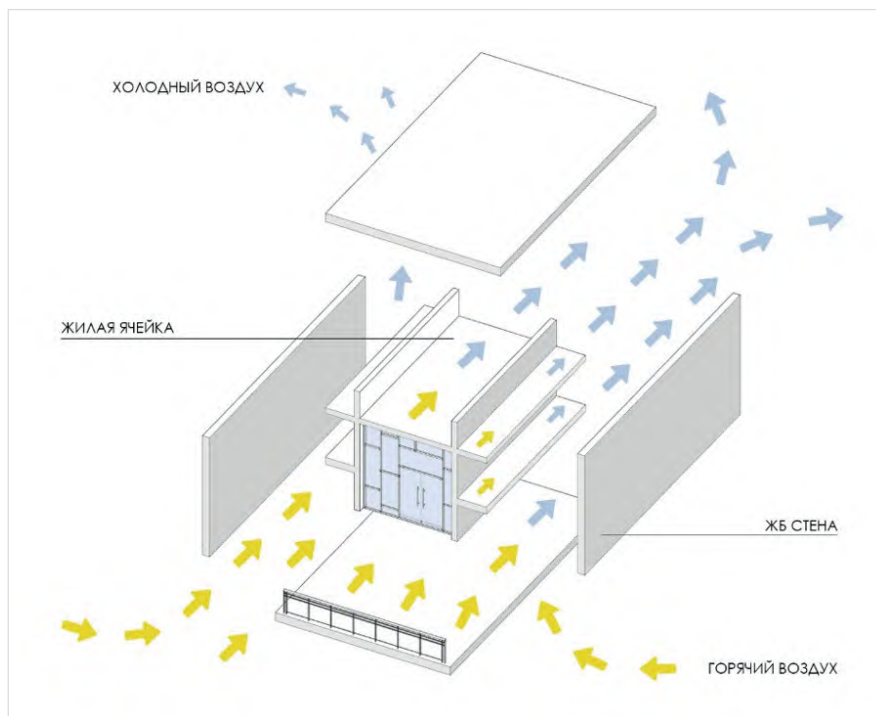


Рис. 3. Циркуляция воздуха. Схема сделана лично автором

При данном решении разность температур на внутренней и наружной поверхностях аэродинамической трубы образуется естественная вентиляция независимо от ориентации сооружения и преобладающей розы ветров. Но для увеличения эффективности работы механизмов. Заложенных в проект, жилые блоки резонно размещать таким образом, чтобы их расположение тяготело к южным и юго-западным направлениям (*рис. 4*), то есть по розе ветров для конкретной местности пустыни, в которой размещаются объекты оазиса [10].

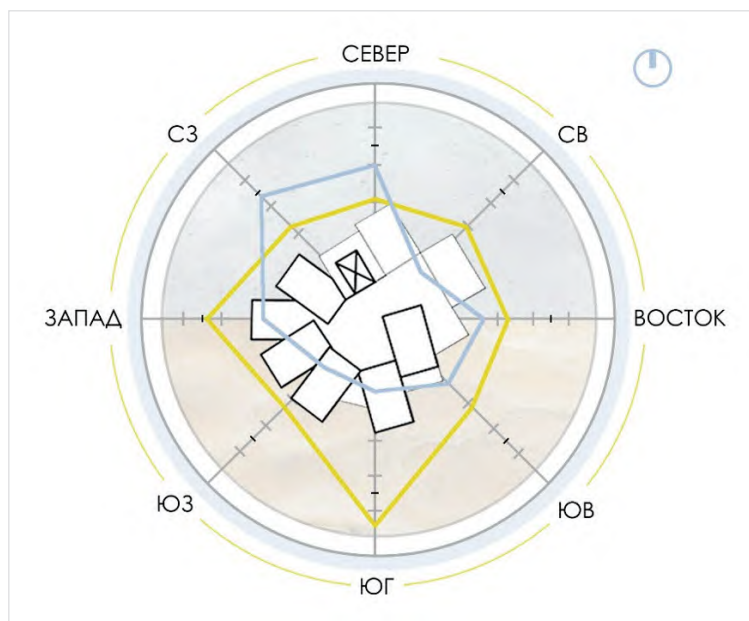


Рис. 4. Посадка объекта по розе ветров южной местности. Иллюстрация выполнена лично автором

Проектируемые замкнутые пространства размещаются вокруг вертикального коммуникационного стержня, состоящего из необходимого количества лифтов (в основном 2: пассажирский и грузовой) и лестницы, в свободной форме на различных уровнях, подчиняясь исключительно законам архитектурной пространственной композиции. При этом «крышка» одного блока, исходя из проектного решения в той или иной ситуации, может служить в качестве дополнительной террасы общего пользования для других блоков [11]. Существует также возможность предусмотреть надземных переходов между башнями. Мосты могут быть как навесные, так и на опорных колоннах в зависимости от технических условий.

Данный тип объемно-планировочного решения башни с блоками следует назвать гелиотермическим. Имея в виду, что предлагаемое решение ограничивает поступление солнечной радиации и избыточного тепла к зданиям за счет их взаимного затенения, применения витражных систем и озеленения блоков. Возведение блочных башен возможно только с помощью грузоподъемной техники: например, автомобильных кранов с возможностью подъема грузов в пределах 100 т и более (*рис. 5*).

Вывод

Подводя итог, можно сказать, что в скором времени наступит абсолютно новая эпоха архитектурного проектирования. Старые нормативные документы уйдут на второй план, потребуется раз-

работка более адаптивных нормативов и серий. Новые условия диктуют миру новые тенденции по применению тех или иных строительных технологий. К тому же, экстремальные условия требуют подготовительных процессов.

Объединение принципов модульности объекта и инженерных систем естественного охлаждения воздушных масс в концептуальном предложении жилого дома позволило сформировать концепцию нового жилья будущего в экстремальных условиях для человека. Архитектурная эстетическая составляющая как наиважнейший элемент формирования городской среды, базирующаяся на «природных» принципах проектирования, сохраняется.



Рис. 5. Визуализации объектов. Иллюстрации сделана лично автором

Библиографический список

1. Гулёв С. К., Катцов В. М., Соломина О. Н. Глобальное потепление продолжается. Вестник Российской академии наук, 2008. Т. 78, №. 1. Сс. 20–27.
2. Кокорев В. А., Шерстюков А. Б. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России. Арктика XXI век. Естественные науки, 2015, №. 2 (3). Сс. 5–23.
3. Ananthasuresh G. K. Buckminster fuller and his fabulous designs. Resonance, 2015. Т. 20, №. 2. Pp. 98–122.
4. Ермоленко Ю. В. Геодезический купол как конструктив будущего. Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. Сс. 3390–3394.
5. Ипатова П. И., Крупник Л. Л. Определение роли «Башни теней» в ансамбле Капитолия города Чандигарх как образца для формирования архитектуры в условиях жаркого климата. Инженерный вестник Дона, 2024, №. 5. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_94__5y24_Krupnik.pdf_981bdde3d6.pdf.

6. Котляков В. М. О причинах и следствиях современных изменений климата. Солнечно-земная физика, 2012, №. 21. Сс. 110 – 114.

7. Аъзамов С. Общее описание пустынь Средней Азии. Академические исследования в современной науке, 2024. Т. 3, №. 40. Сс. 157 – 161.

8. Щербинина Н. В. Общие принципы создания авиационных симуляторов. Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2023), 2023. Сс. 126 – 130.

9. Поддаева О., Кубенин А., Чурин П. Архитектурно-строительная аэродинамика. Litres, 2022.

10. Christakis N., Ioanna Evangelou I., Drikakis D., Kossioris G. A Computational Methodology for Assessing Wind Potential, 2020. IOP Conference Series Earth and Environmental Science 469 (1): 012017.

11. Золотарева М. В., Пономарев А. В. Адаптивная архитектура и новые подходы к организации средовых элементов. Градостроительство и архитектура. Т. 13. № 4. 2023. Сс.90 – 98.

TO THE QUESTION OF DESIGN PRINCIPLES IN THE CONDITIONS
OF GLOBAL CLIMATE CHANGE. THE CONCEPT OF HOUSE CONSTRUCTION

P. I. Ipatova
A. V. Ponomarev

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg

Abstract

This article discusses a conceptual proposal (competition project) for the design of a new type of housing for human habitation in extreme conditions. An approximate location type for the placement of buildings has been selected. The operating principle of the building component — the residential unit — is described (wind tunnel principle). Block operation schemes are developed. A comparative analysis of existing and previously existing examples of the application of the selected design principles is conducted (Nakagin Capsule Tower and Le Corbusier's Shadow Tower). A brief historical background of the ideological component of the project is provided. The significance of the new approach to the design of architectural volumes in the context of global climate change provoking mass migration of people is emphasized.

The Keywords

Urban development, residential unit, convection, global warming, climatic conditions, anthropogenic impact, wind tunnel, deserts, concrete, dynamic air friction.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

04.10.2025

Ссылка для цитирования:

П. И. Ипатова, А. В. Пономарев. К вопросу о принципах проектирования в условиях глобальных климатических изменений. Концепция домостроения. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 119 – 126.



УДК 72

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_127-135

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е. М. Сапожкова

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные проблемы градостроительной организации жилых районов в условиях трансформации социально-экономических, экологических и технологических вызовов. На основе анализа теоретических подходов и практических кейсов выявлены ключевые противоречия между устаревшими нормативами, коммерциализацией городского пространства и растущими запросами общества на качество среды. Особое внимание уделено вопросам экологической устойчивости, транспортной доступности и дефицита социальной инфраструктуры. Используются методы системного анализа, сравнительного изучения нормативной базы и социологических опросов (n=200). Результаты исследования демонстрируют необходимость пересмотра принципов зонирования, внедрения адаптивных градостроительных моделей и усиления роли общественного участия.

Ключевые слова

Биоразнообразие, экология, ландшафтный урбанизм, оздоровительные ландшафты, терапевтические сады, зелёный каркас, зелёная инфраструктура, модульный подход, структурный подход, фитоценоз, экосистемный подход.

Дата поступления в редакцию

29.09.2025

Дата принятия к печати

06.10.2025

Теоретическая часть

Современная градостроительная организация жилых районов сталкивается с комплексом проблем, обусловленных как глобальными трендами урбанизации, так и региональной спецификой. В условиях роста городского населения, по данным Росстата (2023), 75% жителей России проживают в городах, что актуализирует вопросы эффективного использования территорий и минимизации антропогенной нагрузки [1]. Однако, как отмечает В. Л. Глазычев (2008), традиционные подходы к планировке микрорайонов, сформированные в середине XX века, утрачивают актуальность в контексте цифровизации и климатических изменений [2].

Одной из ключевых проблем остается дисбаланс между жилой застройкой и социальной инфраструктурой. Нормативы обеспеченности объектами образования, здравоохранения и культуры, закрепленные в СП 42.13330.2016, зачастую не соблюдаются в новых жилых комплексах, что ведет к «спальному» характеру районов [3]. Например, в Московской агломерации лишь 30% новостроек имеют в шаговой доступности поликлиники и школы, что провоцирует транспортные перегрузки [4].

Транспортная недоступность усугубляется моноцентричной моделью городов, где места приложения труда сосредоточены в историческом ядре, а жилье — на периферии. Исследования И. Г. Лежавой (2005) подтверждают, что радиус 15-километровой поездки на работу увеличивает выбросы CO₂ на 25%, снижая экологическую устойчивость среды [5].

Экологические вызовы также требуют пересмотра принципов озеленения и энергоэффективности. По данным Минприроды РФ (2022), в 60% российских городов уровень озеленения не превышает 10% при нормативе 25%. Это противоречит концепции «зеленого каркаса», предложенной А. С. Зуевой (2017), где природные и рекреационные зоны интегрируются в жилую структуру [3].

Коммерциализация пространств стала отдельным вызовом: доминирование торгово-офисных функций над общественными приводит к фрагментации среды. Как подчеркивает С. Б. Никитин (2020), в проектах реновации Москвы до 70% площадей отводится под коммерческую недвижимость, что снижает социальную инклюзивность районов [4].

Таким образом, современные проблемы градостроительной организации требуют междисциплинарных решений, сочетающих обновление нормативной базы, внедрение «умных» технологий и учет социокультурного контекста.

Методы исследования

Для анализа ключевых проблем градостроительной организации жилых районов применен комплекс методов, сочетающий количественные и качественные подходы:

1. **Системный анализ нормативной базы** — изучение действующих СП 42.13330.2016, региональных стандартов и их соответствия современным вызовам [3].
2. **GIS-картографирование** — оценка транспортной доступности, плотности застройки и обеспеченности инфраструктурой в 10 жилых районах Москвы, Санкт-Петербурга и Екатеринбурга с использованием геоинформационных систем (ArcGIS).
3. **Социологический опрос** — анкетирование 200 жителей новостроек (выборка: возраст 25–55 лет, 50% мужчин/50% женщин) для выявления удовлетворённости средой (шкала Лайкерта 1–5).
4. **Сравнительный анализ кейсов** — изучение проектов реновации (Москва), «умных кварталов» (Иннополис) и экспериментальных жилых комплексов (Сколково).
5. **Экспертные интервью** — полуструктурированные беседы с 15 архитекторами и девелоперами для выявления конфликта коммерческих и социальных задач [4].

Для комплексного анализа проблем градостроительной организации жилых районов использованы следующие методы:

1. Системный анализ нормативной базы

Проведено сравнение требований СП 42.13330.2016 с фактическими показателями в 10 жилых районах (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург). Данные сведены в таблицу [6]:

Таблица 1

Соответствие нормам обеспеченности инфраструктурой

Город	Школы (норма: 1 на 5 тыс. жит.)	Поликлиники (норма: 1 на 10 тыс. жит.)	Озеленение (норма: 25%)
Москва	0.8 на 5 тыс.	0.7 на 10 тыс.	12%
Санкт-Петербург	0.6 на 5 тыс.	0.5 на 10 тыс.	9%
Екатеринбург	0.9 на 5 тыс.	0.8 на 10 тыс.	11%

* Источник: анализ данных Росстата и GIS-карт, 2023.

2. GIS-картографирование

С помощью ArcGIS оценены параметры транспортной доступности и плотности застройки. Результаты визуализированы в таблице:

Таблица 2

Транспортная доступность в исследуемых районах

Район	Время до центра (мин.)	Плотность дорожной сети (км/км ²)	Пешеходная доступность (балл 1 – 5)
Хорошёво-Мнёвники (Москва)	35	2.1	3.8
	45	2.8	–
Васильевский остров (СПб)	25	3.4	4.2
Академический (Екатеринбург)	40	1.8	3.2

* Примечание: Пешеходная доступность рассчитана по наличию тротуаров, переходов и общественного транспорта.

3. Социологический опрос

Анкетирование 200 жителей новостроек (2024 г.) выявило уровень удовлетворённости средой. Данные структурированы:

Таблица 3

Результаты опроса жителей (n = 200)

Параметр	Доля неудовлетворенных (%)	Средний балл (1 – 5)
Качество дворовых пространств	–	–
Наличие социальной инфраструктуры	60%	2.5
Транспортная доступность	55%	3.0
Экологическая обстановка	70%	2.3

* Источник: авторский опрос, 2024.

4. Сравнительный анализ кейсов

Изучены проекты реновации и «умных» кварталов.
Ключевые показатели:

Таблица 4

Сравнение экспериментальных проектов			
Проект	Плотность застройки (ед./га)	Доля коммерческих площадей (%)	Индекс экологичности (1 – 10)
Реновация Москвы	1.2	65	4.5
Иннополис	0.9	30	7.8
Сколково	1.0	40	8.2

* Индекс экологичности включает оценку озеленения, энергоэффективности и шумового загрязнения.

5. Экспертные интервью

Полуструктурированные интервью с 15 архитекторами выявили ключевые конфликты:

Таблица 5

Основные противоречия по мнению экспертов	
Конфликт	Частота упоминаний (%)
Коммерция vs социальные задачи	80
Нормативы vs реальные условия	65
Технологии vs бюджет	55

Результаты исследования

1. Дефицит социальной инфраструктуры:

- Только 35% новостроек в исследуемых городах соответствуют нормативам по обеспеченности школами и поликлиниками.
- В Московской области 40% жителей тратят более 1 часа на дорогу до ближайшей поликлиники, что вдвое превышает рекомендации ВОЗ [1].

2. Транспортные проблемы:

- В моноцентричных городах (напр., Казань) 70% рабочих мест сосредоточены в центре, что увеличивает нагрузку на магистрали (пиковые заторы до 4 баллов).
- Внедрение велодорожек и шаттлов в реновированных районах Москвы снизило использование личного автотранспорта на 15% [5].

3. Экологические показатели:

- Уровень озеленения в новых ЖК составляет 8 – 12% при нормативе 25%. Исключение — проекты с «зелеными коридорами» (Сколково — 22%).

- Энергопотребление в домах с солнечными панелями (эксперимент в Иннополисе) сократилось на 30%, но массовое внедрение блокируется высокой стоимостью.

4. Социологические данные:

- 65% респондентов отметили нехватку мест для отдыха, 45% — низкое качество дворовых пространств.
- Индекс удовлетворённости средой в районах сильной застройки (офисы + жилье) на 20% выше, чем в «спальных» зонах.

Обсуждение

Результаты подтверждают гипотезу о кризисе устаревших градостроительных моделей.

Ключевые противоречия:

1. **Нормативы vs реальность:** СП 42.13330.2016 не учитывает климатические особенности регионов. Например, в Якутске требования к озеленению невыполнимы из-за вечной мерзлоты, что требует адаптивных решений [3].
2. **Коммерция vs общественные интересы:** Застройщики, минимизируя издержки, сокращают долю социальных объектов. Как следствие — рост «урбанистического стресса» у 60% жителей [2].
3. **Цифровизация vs человекоориентированность:** Внедрение «умных» технологий (датчики, системы управления) не компенсирует дефицит социального взаимодействия.

Международный опыт:

- Европейские города (напр., Хельсинки) внедряют принцип «15-минутного города» через перераспределение функций, но в России его реализация осложнена микрорайонной структурой [5].
- Китайские ТОС (территории опережающего развития) демонстрируют успехи в интеграции экологических технологий, но требуют адаптации к российским нормам.

Рекомендации:

- Внедрение гибких нормативов с учетом климата и демографии.
- Стимулирование новой застройки через налоговые льготы для девелоперов.
- Развитие общественного транспорта и пешеходных зон в рамках «зеленого каркаса».

Одна из проблем градостроительной деятельности — это неравенство нормативов градостроительства в разных регионах, речь идет не о нормативах, которые зависят от климатических условий или состояния почвы, а о тех, которые, например, регламентируют обеспечение пожаробезопасности зданий и сооружений или качество строительных материалов.

Необходимость этого подтверждается многочисленностью судебных дел по вопросам, в первую очередь, соответствия сооружений требованиям пожаробезопасности.

В связи с этим можно внести изменения в Градостроительный кодекс Российской Федерации и добавить к перечню нормативов — федеральные нормативы. Это дополнение установит единые нормативы, актуальные для любой местности, соблюдение которых будет регулироваться и контролироваться на федеральном уровне и способствует сохранению окружающей среды на всей территории Российской

Федерации. Потребности населения в основном также совпадают, поэтому будет удобно установить федеральные нормативы, например, проектирования жилых домов, электростанций и других объектов. Данные нормативы помогут сгладить социально-экономическое различие между регионами, что благотворно скажется на жизнедеятельности населения.

Еще одна серьезная проблема заключается в том, что очень часто не учитывают мнение населения, проживающего в непосредственной близости к району будущей застройки, а граждане имеют право выбора, что будет их окружать, что они будут каждый день видеть из окна, где будут гулять. Таким образом, можно регламентировать приоритет мнения граждан, которых градостроительные изменения будут касаться больше всего.

Немаловажным пунктом при организации публичных слушаний является обязательный учет мнения проживающих на территории застройки граждан, для непосредственного соблюдения их прав и пожеланий. Именно это изменение окончательно обусловит значимость их мнения, голоса и практической целесообразности проведения изменений на территории.

В конечном счете именно этим людям каждый день видеть происходящее строительство у себя во дворе или на соседней улице, результаты проведенной застройки, что увеличит шумность и число потоков автотранспорта на дню, что может как благотворно так и пагубно сказаться на их жизнедеятельности и моральной удовлетворенности. Также ряд градостроительных вопросов местного значения должен решаться на местном референдуме.

Из практики западных стран интересной особенностью является проведение голосования и учет общественного мнения в том или ином вопросе касаясь застройки их региона проживания.

Очень важно не только дать им возможность узнать о грядущих изменениях в своем городе, но и так же дать им возможность на эти изменения каким-либо образом повлиять, скорее всего в лучшую сторону. Граждане могут выдвинуть ряд предложений, которые могут оказаться более разумными, нежели имеющиеся положения в обсуждаемом проекте. К тому же, ряд важных объектов городского строительства, например, нашумевший в Санкт-Петербурге «Лахта-центр» касается каждого проживающего в городе жителя, так как он виден почти со всех уголков города.

Градостроительная деятельность у простого обывателя чаще всего ассоциируется с техническими процессами, то есть со строительством различных объектов. Необходимо понимать, что юридический аспект градостроительной деятельности очень важен для ее правильного осуществления и понимания. Правовое регулирование градостроительной деятельности в первую очередь включает в себя особенности ее осуществления и нормативы, которым должны соответствовать объекты, образовавшиеся как результат градостроительной деятельности.

По российскому законодательству, «градостроительная деятельность, это деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений».

Важную роль в правовом регулировании градостроительной деятельности играет Градостроительный кодекс Российской Федерации. Само название говорит о том, что в данном нормативном правовом акте содержатся наиболее узкие нормы, регламентирующие градостроительную деятельность. «Основная цель этого федерального закона заключается в обеспечении благоприятной окружающей среды, повышения качества жизни общества, в том числе и отдельной личности, путем правового регулирования общественных отношений, возникающих при осуществлении застройки, благоустройства территорий, архитектурно-строительного проектирования, капитального ремонта и реконструкции объектов капитального строительства».

Основные проблемы правового регулирования градостроительной деятельности заключаются в том, что нормативы градостроительной деятельности недостаточно четко регламентированы. Существует много федеральных и региональных законов, которые связаны с осуществлением градостроительной деятельности. Возникает путаница, не всегда понятно к какому именно нормативному правовому акту нужно обратиться в той или иной ситуации.

К числу участников градостроительной деятельности законодательство относит граждан и юридических лиц, которые являются заказчиками, инвесторами, застройщиками, разработчиками градостроительной документации, а также исполнителями работ и пользователями объектов инвестиционной и градостроительной деятельности. Участниками этой деятельности выступают также государственные органы, органы местного самоуправления и органы архитектуры и градостроительства.

Субъекты градостроительной деятельности иногда недостаточно грамотно ориентируются во всей правовой базе. Как следствие возникают конфликтные ситуации, судебные разбирательства, недопонимания сторон. Помимо этого, в градостроительной деятельности плохо развит социально-экономический аспект.

Сами действия, осуществляемые под эгидой градостроительства не всегда являются благоприятными для населения и экономического развития соответствующего региона. Важно распространить правовое регулирование градостроительной деятельности на все ее составляющие. Если будет упущение в регулировании одного аспекта, нельзя ожидать слаженной работы от остальных. Все элементы градостроительной деятельности составляют один большой механизм, за правильную и эффективную работу которого отвечает именно правовое регулирование, то есть нормативные правовые акты в сфере градостроительства. Поэтому, крайне важно осуществлять градостроительную деятельность с целью улучшения социально-экономической обстановки.

Считаю целесообразным пересмотреть правовое регулирование градостроительной деятельности. Во-первых, усовершенствовать положения Градостроительного кодекса Российской Федерации. Во-вторых, собрать все положения, касающиеся градостроительной деятельности в единый нормативный правовой акт, чтобы не было недопонимания между субъектами градостроительной деятельности.

Как один из вариантов борьбы с неграмотностью субъектов градостроительной деятельности, можно создать специальную площадку, на которой будут заключаться договоры на осуществление градостроительной деятельности, между органами государственной власти, органами местного самоуправления и юридическими лицами, обладающими соответствующей лицензией.

Важно допускать на такую площадку лиц, ознакомившихся с законодательством, регулирующим градостроительную деятельность под их личную ответственность и подпись.

Таким образом, при возникновении недопонимания, суд будет знать на какой именно нормативный правовой акт ориентироваться, а также будет доказательство того, что субъект градостроительной деятельности знал все условия, на которых был заключен контракт, что значительно ускорит судебное разбирательство.

Заключение

Исследование выявило системные проблемы градостроительной организации жилых районов, связанные с дисбалансом между коммерциализацией, устаревшими нормативами и запросами общества. Для их решения предложено:

1. Пересмотреть СП 42.13330.2016 с акцентом на региональную специфику.
2. Внедрить механизмы государственно-частного партнерства для развития инфраструктуры.

3. Использовать GIS-технологии и социологические данные при проектировании.

Перспективы исследований связаны с анализом влияния цифровизации на социальную структуру районов и разработкой климатически нейтральных градостроительных моделей.

Библиографический список

1. Каганский В. Л. Культурный ландшафт и советское обитаемое пространство. — М.: НЛО, 2016. — 400 с.
2. Глазычев В. Л. Урбанистика. — М.: Европа, 2008. — 320 с.
3. Зуева А. С. Социальная устойчивость городской среды. — М.: Архитектура-С, 2017. — 224 с.
4. Никитин С. Б. Гибридные городские среды: опыт Москвы и Сколково // Урбанистика и региональное развитие. — 2020. — Т. 12, № 3. — С. 34–48.
5. Лежава И. Г. Морфология города. — СПб.: Союз архитекторов, 2005. — 180 с.
6. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. — М.: Минстрой России, 2016. — 89 с.
7. Иконников А. В. Социальные аспекты жилой застройки в условиях урбанизации. — М.: Академический проект, 2006. — 192 с.
8. Мельников Н. Н. Концепция пешеходного города в современной урбанистике // Журнал градостроительства и архитектуры. — 2012. — № 4. — С. 45–52.
9. Пчелинцев О. А. Арт-кластеры как фактор развития городской среды: на примере Екатеринбурга // Культура и город. — 2019. — № 2. — С. 78–85.
10. Кудрявцев А. П. Исторические аспекты градостроительства в СССР: соцгорода и микрорайоны. — М.: Стройиздат, 1993. — 150 с.
11. Пастух О. А. Урбоэкологическая проблематика прибрежных агломераций // Перспективы науки. — 2022. — № 3 (150). — С. 283–285.

MODERN PROBLEMS OF URBAN PLANNING ORGANIZATION OF RESIDENTIAL AREAS IN MODERN CONDITIONS

E. M. Sapozhkova

Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow

Abstract

The article discusses the current problems of urban planning organization of residential areas in the context of the transformation of socio-economic, environmental and technological challenges. Based on the analysis of the

The Keywords

Urban planning, residential areas, urbanization, social infrastructure, environmental sustainability,

oretical approaches and practical cases, key contradictions between outdated standards, the commercialization of urban space and the growing demands of society on the quality of the environment have been identified. Special attention is paid to the issues of environmental sustainability, transport accessibility and lack of social infrastructure. Methods of system analysis, comparative study of the regulatory framework and sociological surveys (n=200) were used. The results of the study demonstrate the need to revise the principles of zoning, introduce adaptive urban planning models and strengthen the role of public participation.

transport framework, regulatory regulation.

Date of receipt in edition

29.09.2025

Date of acceptance for printing

06.10.2025

Ссылка для цитирования:

Е. М. Сапожкова. Современные проблемы градостроительной организации жилых районов в современных условиях. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 127–135.





УДК 72:72.03

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_136-142

ФАСАДИЗМ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕНОВАЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТВЕРЬ

А. В. Панфилов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация

В статье рассматривается фасадизм — практика сохранения исторических фасадов зданий при реконструкции или перестройке их внутреннего пространства. Анализируется отечественный и зарубежный опыт применения этого подхода, выделяются его сильные и слабые стороны, а также условия, при которых метод может быть оправдан. На основе публикаций российских исследователей рассмотрены технологические, правовые и социальные аспекты фасадизма, а также его роль в стратегиях реновации городов. Особое внимание уделено Твери, где сохранение исторической застройки сочетается с необходимостью экономического развития и адаптации городской среды к современным потребностям.

Ключевые слова

Фасадизм, историческое наследие, реновация, адаптивное использование, Тверь, архитектура, урбанистика.

Дата поступления в редакцию

01.10.2025

Дата принятия к печати

08.10.2025

Введение

Реновация исторических кварталов в России сопровождается постоянным поиском баланса между охраной архитектурного наследия и необходимостью экономического развития. Одним из спорных, но часто применяемых решений стал фасадизм. Его суть — сохранение уличной плоскости зданий при изменении или полном обновлении их внутренней структуры.

Практика вызывает противоречивые оценки. С одной стороны, она сохраняет визуальную память улиц, поддерживает идентичность среды и позволяет городу оставаться узнаваемым [6]. С другой — критикуется за утрату подлинности и превращение зданий в «декорации» [1]. Несмотря на критику, метод продолжает применяться в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, а также в зарубежных городах, где активно адаптируется историческая ткань к современным функциям [10,12].

Суть и специфика фасадизма

Фасадизм нельзя сводить к «сохранению картинки». Это инженерно и юридически сложный процесс, предполагающий диагностику состояния кладки, изучение декоративных слоёв, создание времен-

ных креплений и устройство новых несущих систем, которые позволяют встроить фасад в современную постройку [2].

В зарубежной практике метод возник как реакция на давление урбанизации: города стремились сохранять исторические панорамы, одновременно обеспечивая новые площади для офисов, гостиниц и культурных центров. Российские примеры демонстрируют ту же логику. В Москве реконструкция бывшей фабрики «Большевик» позволила сохранить кирпичные фасады XIX века при полном обновлении внутренних пространств. В Санкт-Петербурге многие доходные дома приспособлены к современному использованию по схожему принципу [5].

Фасадизм особенно востребован в тех случаях, когда интерьеры практически утрачены или поздние наслоения не представляют ценности. Тогда фасад становится главным носителем культурного смысла и исторической памяти.

Международный опыт

Италия и Германия демонстрируют успешность фасадизма в условиях, когда необходимо сохранять уличные панорамы. В Милане и Риме фасадные плоскости нередко остаются почти без изменений, тогда как внутренние пространства превращаются в современные офисы, университеты или культурные центры. В Германии кварталы Берлина, пострадавшие от войны, восстанавливались по схожему принципу, что позволило сохранить «лицо города» при модернизации инфраструктуры [10].

Эти примеры показывают, что фасадизм может быть эффективным инструментом при условии, что он опирается на научные исследования и не подменяет охрану наследия декоративной оболочкой.

Дискуссии вокруг метода

Главные возражения против фасадизма связаны с риском утраты подлинности и превращения города в «музейную декорацию». Критики считают, что метод особенно опасен для индустриального наследия, где ценность заключается не только в фасаде, но и в структуре корпусов, инженерии и производственных связях [1].

Сторонники, напротив, рассматривают фасадизм как компромисс между сносом и дорогостоящей реставрацией. В условиях ограниченного финансирования и необходимости адаптировать здания под новые функции сохранение фасадов может быть единственным способом уберечь хотя бы часть исторического облика [3, 15].

Этическая граница проходит там, где подлинная историческая материя ещё сохраняет ценность интерьеров и пространственной организации. Если эти элементы уникальны, фасадизм недопустим; если же они утрачены, метод может быть обоснован.

Технологические и правовые аспекты

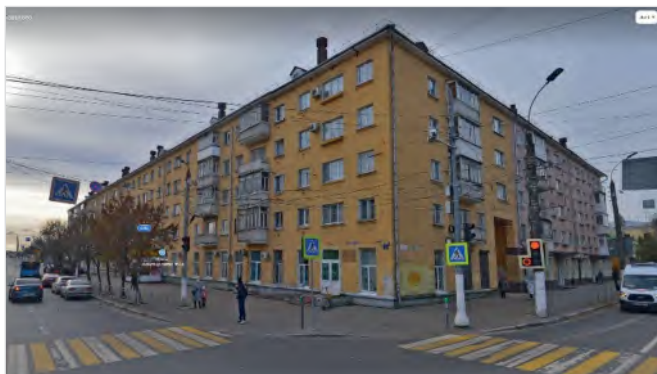
Инженерные решения предполагают создание временных конструкций для удержания фасада и монтаж новых несущих систем позади него. Такая технология широко описана в отечественных публикациях и требует строгого соблюдения принципов обратимости и минимального вмешательства [2].

Юридически фасадизм возможен лишь при согласовании с органами охраны памятников. Для объектов культурного наследия проект должен включать научное обоснование, документирование каждого этапа и регламент эксплуатации сохранившейся материи. Нарушение этих условий ведёт к профанации метода и превращает его в декоративный приём.

Экономика и городские эффекты

Реновация исторических зданий через фасадизм способна усиливать туристическую привлекательность города и стимулировать малый бизнес. Сохраняющаяся уличная плоскость создаёт узнаваемый образ, который активно используется в туристических маршрутах и маркетинге территорий [7].

В то же время существует риск коммерциализации и вытеснения локальных функций. Если первые этажи превращаются исключительно в кафе и магазины, городская среда может потерять социальное разнообразие. Поэтому фасадизм требует сопровождения программами поддержки общественно значимых функций и строгим регулированием вывесок и витрин [11].



1)

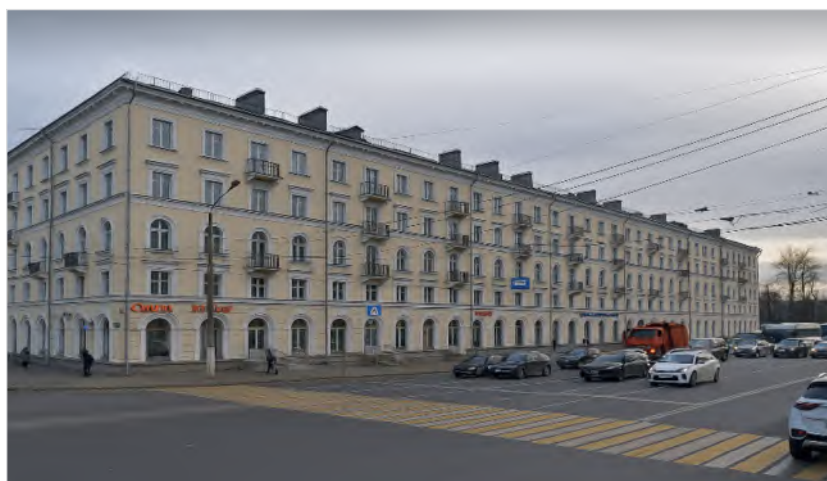
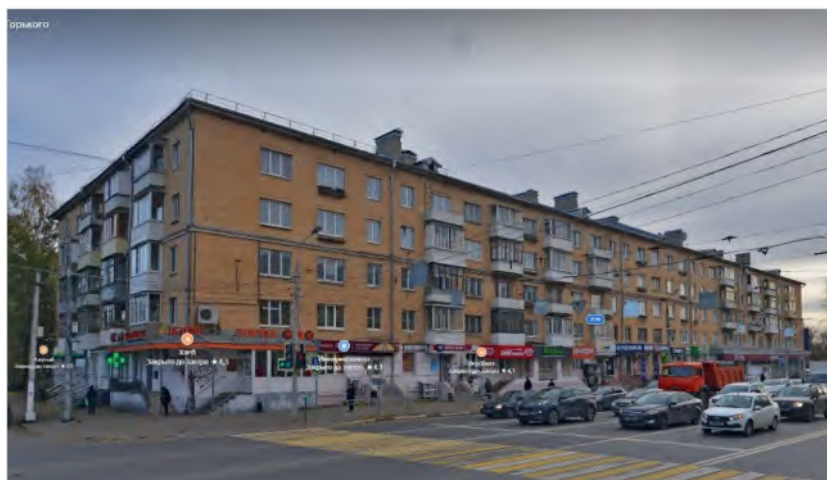
2)

Рис. 1. Пример реновации здания с применением одного из принципов «фасадизма» — имитация исторически архитектуры города: 1) г. Тверь, ул. Горького, 8; 2) г. Тверь, здание ФБУ НИИИиПТ ФСИН России, ул. Вагжанова 17 (иллюстрация подготовлена автором)

Применимость в Твери

Тверь обладает богатым архитектурным наследием — от регулярных ансамблей XVIII века до промышленных комплексов XIX – XX столетий. Особенно значим Морозовский городок, включающий фабричные корпуса, жильё и инфраструктуру. Исследователи подчёркивают его уникальность и необходимость бережного подхода [13].

Для подобных объектов фасадизм допустим лишь точно, в случаях, где интерьеры разрушены, но фасад формирует значимую городскую панораму. Основная часть комплексов должна сохраняться в большей полноте, с экспозицией производственных элементов и музейной интерпретацией [1].



1)



2)

Рис. 2. Пример реновации здания с применением одного из принципов «фасадизма» — имитация исторически архитектуры города г. Тверь, Комсомольский проспект, 2/26: 1) в стиле исторической застройки центра города, 2) в псевдоисторическом стиле (иллюстрация подготовлена автором)

В кварталах рядовой застройки XIX века фасадизм может стать рабочим инструментом. Сохранение фасадов и адаптация внутренних пространств под гостиницы, коворкинги или образовательные центры позволит соединить охрану культурного облика с развитием экономики города [8].

Для переходных зон между центром и советской застройкой фасадная гармонизация может сгладить визуальный разрыв эпох, обеспечив при этом новые возможности для бизнеса и туризма. Пример

реновации застройки советского периода с применением такого принципа фасадизма, как имитация исторической застройки показана на *рис 1 – 2*.

Критерии допустимости

На основе российской литературы можно выделить несколько условий, при которых фасадизм оправдан: фасад обладает высокой градостроительной ценностью; интерьеры утрачены или поздние; состояние стен позволяет их сохранить; проект предусматривает реставрацию подлинных элементов и регламент эксплуатации; фасад сохраняет значение для жителей и туристов как элемент идентичности города [3].

Заключение

Фасадизм — спорный, но в ряде случаев полезный инструмент реновации. Он не может заменить научную реставрацию и сохранение подлинных интерьеров, однако способен поддержать идентичность городской среды там, где внутренние пространства утрачены.

Для Твери фасадизм может стать частью комбинированной стратегии: точно применяться в рядовой застройке и переходных кварталах, но использоваться крайне осторожно в отношении индустриального наследия. Ключевым условием остаётся профессиональный подход, опора на научные исследования и вовлечение городского сообщества. Только так фасадизм может превратиться из спорного компромисса в инструмент устойчивого развития.

Библиографический список

1. *Алексеева, Е. В.* Индустриальное наследие городов-заводов: зарубежные подходы к изучению, сохранению, использованию / *Е. В. Алексеева* // Актуальные проблемы изучения исторических городов-заводов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 22 – 23 сентября 2020 года. — Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2020. — С. 12 – 19. — EDN DFVFBZ.
2. *Антонова В. В., Ерина А. П.* Опыт реставрации фасадов зданий — памятников культурного и исторического наследия // Научный журнал. 2019. № 8 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-restavratsii-fasadov-zdaniy-pamyatnikov-kulturnogo-i-istoricheskogo-naslediya> (дата обращения: 07.09.2025).
3. *Бердюгина Ю. М.* Критерии приспособления объекта культурного наследия для современного использования // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 1 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-prisposobleniya-obekta-kulturnogo-naslediya-dlya-sovremennogo-ispolzovaniya> (дата обращения: 07.09.2025).
4. *Брендоусова, Е. К.* Методы сохранения архитектурных традиций при реновации зданий и сооружений / *Е. К. Брендоусова* // Баландинские чтения. — 2020. — Т. 15. — С. 16 – 22. — DOI 10.24411/9999-001A-2020-10002. — EDN MWSVAU.
5. *Возняк Е. Р.* Трансформация исторических зданий в Санкт-Петербурге: проблемы и решения // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 2. С. 98 – 106.

6. Гаспарян М. А. Фасади́зм в контексте реконструкции объектов архитектурного наследия // Баландинские чтения. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fasadizm-v-kontekste-rekonstruktsii-obektov-arhitekturnogo-naslediya> (дата обращения: 07.09.2025).

7. Корюкова, Ю. Д. Редевелопмент исторических зданий как фактор развития города / Ю. Д. Корюкова // Образование, педагогика и психология в условиях современных вызовов : сборник статей международной научной конференции, Екатеринбург, 23 июня 2023 года. — Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2023. — С. 56 – 58. — EDN EGRWNE.

8. Крашенинников, А. В. Перспективы развития Морозовского городка в Твери / А. В. Крашенинников, В. А. Шемякина, И. Д. Рябинкин // Архитектура и строительство России. — 2023. — № 3 (247). — С. 38 – 43. — EDN CJWEQS.

9. Лотка Е. А. Формирование целостности городской среды путём реновации промзон в крупных городах на примере Твери // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов. М., 2019. Т. 1. С. 348 – 349.

10. Москаленко Д. А. Анализ международной практики архитектурно-пространственной реконструкции жилых зданий // Научное обозрение. 2020. № 7. С. 112 – 121.

11. Мухин А. С., Хассан М. Культурологический аспект реставрации объектов художественно-исторического наследия // Вестник СПбГИК. 2020. № 4 (45). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kulturologicheskiy-aspekt-restavratsii-obektov-hudozhestvenno-istoricheskogo-naslediya> (дата обращения: 07.09.2025).

12. Низамова А. Адаптивная архитектура повторного использования // Академический вестник. 2021. № 3. С. 58 – 67.

13. Петифорова В. Е. Особенности архитектуры промышленно-исторических комплексов города (на примере Твери) // Архитектура и дизайн. 2022. № 3. С. 44 – 55.

14. Туртыгина С. А. Сохранение и адаптация архитектурно-промышленного наследия в российских городах // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 12, № 3. С. 18 – 25.

15. Чадович А. А. Сохранение или снос? Компромисс! // AMIT. 2013. № 1 (22). URL: <https://marhi.ru/AMIT/2013/1kvart13/chadovich/chadovich.pdf> (дата обращения: 07.09.2025).

FACADE DESIGN AS A TOOL FOR RENOVATION OF HISTORICAL BUILDINGS: EXPERIENCE AND PROSPECTS OF APPLICATION ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF TVER

A. V. Panfilov

Industrial University of Tyumen, Tyumen

Abstract

The article discusses facades, the practice of preserving the historical facades of buildings during the reconstruction or rebuilding of their interior space. The domestic and foreign experience of using this approach is analyzed, its strengths and weaknesses are highlighted, as well as the conditions under which the method can be justified. Based on the publications of Russian researchers, the technological, legal and social aspects of facade design, as well as its role in urban renovation strategies, are considered. Special attention is paid to Tver, where the preservation of historical buildings is combined with the need for economic development and adaptation of the urban environment to modern needs.

The Keywords

Facade design, historical heritage, renovation, adaptive use, Tver, architecture, urbanism.

Date of receipt in edition

01.10.2025

Date of acceptance for printing

08.10.2025

Ссылка для цитирования:

А. В. Панфилов. Фасади́зм как инструмент реновации исторической застройки: опыт и перспективы применения на примере города Тверь. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 136 – 142.



УДК 712.42

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_143-153

ПОЛЕВЫЕ И СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

К. А. Сергеева
М. А. Торопкина

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

В настоящее время искусственный интеллект находит свое применение в условиях и предлагается интеграция полевых и сорных растений в концепции городского озеленения как один из методов решения данной задачи. Целью исследования является разработка и обоснование инновационного подхода к озеленению городских пространств посредством использования сорнополевых видов растений, а также проведение аналитической оценки их экологической эффективности и преимуществ для обеспечения устойчивого развития городских зеленых зон.

Ключевые слова

Биоразнообразие, сорные растения, полевые растения, дикое садоводство, благоустройство, урбоэкосистема, озеленение.

Дата поступления в редакцию

13.10.2025

Дата принятия к печати

17.10.2025

Введение

В настоящее время одной из глобальных экологических проблем является изменение климата [1]. Причиной этого служат естественные факторы, например, выбросы серы из действующих или проснувшихся вулканов, солнечная радиация, изменения в орбитальном движении солнца, но все же не стоит отрицать масштабный человеческий вклад в рост температуры планеты Земля. Сюда входит более широкий спектр воздействий: индустриализация способствовала увеличению производства и сжиганию различного рода топлива, это привело к возрастанию микрочастиц и аэрозолей в атмосфере, усилению парникового эффекта [2]. Особое значение относят тепловым волнам, определяя их как периоды аномальной жары. Тепловые волны появляются в результате изменения климата и человеческой деятельности, в том числе и из-за активной урбанизации и появления тепловых островов [3].

В совокупности климатические изменения и экономическая деятельность человека негативно влияют на качество и стабильность экосистем, что вслед за собой поднимает проблему уменьшения биоразнообразия. В результате человеческой деятельности экосистемы потеряли в среднем $\frac{1}{5}$ первоначального биоразнообразия [4]. Был разработан национальный стратегический план по осуществлению 20 целей Айчи (Aichi Biodiversity Targets), план должен был действовать с 2011 по 2020 год. Этот план включает в себя выставление конкретных 20 целей, направленные на борьбу с причинами утраты биоразнообразия,

снижение давления на экосистемы, сохранение экосистем и составляющие их виды, разработка национальных планов и привлечение финансирования. В 2021 году подведены итоги, показавшие, что прогресса по сокращению темпов утраты естественных мест обитания практически нет, прогресс по восстановлению экосистем неизвестен, а исследования в области биоразнообразия имеют глобально положительное развитие, однако недостаточное или несущественное [4].

В таком случае, главной задачей является минимизирование воздействия человеческой деятельности на окружающую среду, уделяя особое внимание восстановлению экологических связей. Для решения этой задачи в настоящее время используют природоохранные решения, которые к тому же регулируют проблемы человеческих сообществ в условиях экологического стресса [5]. Несмотря на то, что это проблема инженерного характера, т. е. основана на применении знаний для обращения природных ресурсов на пользу человека, в современных реалиях предлагается трактовать природоохранные решения как инструмент для творчества. Это необходимо для поддержания процесса коэволюции человека и природной среды, увеличению устойчивости среды [6]. К творческим решениям проблемы биоразнообразия можно отнести методы ревайлдинга и дикого садоводства, что в зарубежной литературе соответствует понятиям «rewilding» [7] и «wildlife gardening» [8], в которых используются декоративные растения, естественные для местных природных условий и дикорастущие, в том числе луговые, полевые и сорные.

Полевые растения, исходя из морфемики, это растения, произрастающие в условиях природы, не подвергшейся антропогенному влиянию. С терминологией сорных растений, или сегетальной флоры, немного сложнее. Термин сорное растение часто употребляется в контексте сельскохозяйственной промышленности, подразумевая дикорастущее растение, доставляющее проблемы существованию агробиоценозов и их функциональности. По ГОСТ 21507-2013 «Защита растений. Термины и определения» сорное растение — это «Нежелательное для человека растение, обитающее на землях, используемых в качестве сельскохозяйственных угодий, для лесоразведения или отдыха» [9], что частично соответствует определению из международного тезауруса по сельскохозяйственной науке и технологиям Agrovoc. Творческую точку зрения представляет Джек Уоллингтон, говоря, что это «растение, размножающееся неконтролируемым образом» [10], которое можно, и даже нужно использовать в области растительного дизайна.

Раскрывая тему использования сегетальных и полевых растений в декоративных целях, следует учитывать также ботанические характеристики, в частности габитус, репродуктивные особенности (строение плодов, семян, др.), оценке декоративной ценности, инвазивности и затрате ресурсов на поддержание благоприятных условий для роста и развития.

Ботаническое описание: морфологические и репродуктивные особенности

Все сорные растения характеризуются различными признаками. Под определение сорных растений попадают представители как однодольных, так и двудольных растений, однолетних, двулетних, многолетних, озимых и т. п.

Объединяющим признаком для всех сорных растений является произрастание в условиях дикой среды. Это определило потребность растений в поддержании самовозобновления и быстрой адаптации к условиям. Цель достигается путем активного вегетативного размножения и повышенной семенной эффективностью, т. е. выработке большого количества семян, сохраняющие всхожесть на протяжении многих лет, асинхронное созревание семян и появление всходов [11]. В комплексе из сорных растений формируются сложные популяции, составляющие базу для нарастания биомассы.

Особенности использования сорной растительности в поддержании экологического баланса урбоэкосистемы

Город является постоянным местом обитания множества людей, и городская экосистема, или урбоэкосистема, часто является практически единственной возможностью регулярного контакта с природной средой для человека, обеспечивая его благополучие с помощью получения опыта взаимодействия с природой. Урбоэкосистемы неустойчивы из-за постоянно меняющихся антропогенных условий, социальных и экономических функций города, поэтому приобретают статус уязвимости.

К особенностям городских экосистем можно отнести:

- 1) загрязненность атмосферного воздуха из-за промышленных производств и нерезультативной работы очистных сооружений, газообразных выбросов (CO₂, CO, SO₂, пыль, углеводороды, окиси азота и др.)
- 2) деградация водных ресурсов, нарушение гидрологических режимов;
- 3) нарушение почв после хозяйственного использования без дальнейшей рекультивации;
- 4) загрязнение земель и несанкционированные свалки мусора;
- 5) наличие дисперсной пыли и дыма;
- 6) значительная рекреационная нагрузка;

Климат городов из-за активных темпов урбанизации меняется, часто отмечается повышение температуры, включая как существование тепловых островов, так и большую уязвимость к тепловым волнам, которые могут повлечь за собой масштабные пожары. Причем чем выше численность населенного пункта, тем уязвимее среда [3].

Вышеперечисленные факторы неблагоприятно влияют на существование и развитие не только растительности, но и энтомофауны, орнитофауны, поэтому важно использовать в озеленении устойчивые и неприхотливые виды растений, которые при этом могли бы компенсировать нестабильность урбоэкосистем, соответственно, дать толчок к восстановлению биоразнообразия и привлечению животных в городскую среду, чтобы урбоэкосистемы могли в полной мере осуществлять экосистемные услуги и помогать в адаптации к изменяющимся условиям среды.

Таблица 1

Компенсирование нестабильности урбоэкосистем с помощью сегетальной флоры

Факторы, определяющие непостоянство среды	Последствия	Компенсация
Загрязнение воздуха химическими соединениями	Усиление парникового эффекта, провоцирование и распространение заболеваний дыхательных путей	Обогащение почвы азотными соединениями, азотфиксация, для более эффективного поглощения углекислого газа растениями Пример: донник лекарственный (<i>Melilotus officinalis</i>), клевер белый (<i>Trifolium repens</i>)
Запыление и задымление	Снижение поступления солнечной радиации и ультрафиолетового излучения, обладающего бактерицидными свойствами	Пыле-, дымо- и газоустойчивые растения, поглощающие и удерживающие пыль; растения, выделяющие эфиры с фитонцидными свойствами Пример: мята полевая (<i>Mentha arvensis</i>) — ментол обладает антисептическими свойствами

Разрушение почв	Уничтожение плодородного слоя, снижения плодородия, ухудшение гидрологического режима, снижение зеленого потенциала	Образование дернистого слоя для предотвращения эрозионных процессов, создание и поддержание благоприятных условий для фауны Пример: кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i>), клевер золотистый (<i>Trifolium aureum</i>)
Захламление территорий	Постепенное разложение химических соединений, нарушение температурного режима почвы, нарушение водных режимов	Создание условий для восстановления растительных сообществ и возобновления сукцессий под определенным контролем, фиторемедиация загрязненных тяжелыми металлами почв Пример: щетинник сизый (<i>Setaria pumila</i>), горчица белая (<i>Sinapis alba</i>)
Уменьшение видового разнообразия	Утрата культурной и эстетической ценности среды	Привлечение насекомых-опылителей, использование растений-медоносов с яркими цветками и/или заметным запахом Пример: клевер золотистый (<i>Trifolium aureum</i>)

Использование сорных растений в городской среде как запускающую силу развития и уравнивания урбоэкосистем в перспективе даст больше возможностей для создания «зеленых» зон, увеличивая связанность водно-зеленого каркаса города. Такие методы способствуют развитию концепции Blue Green City [12], где среди целей выделяется не только эффективная реакция на экстремальные природные условия, но и сохранение, развитие природного и культурного состояния среды.

Экологические, экономические и эстетические преимущества

Многие сорно-рудеральные виды растений могут являться ценными медоносами, привлекать полезных насекомых-опылителей и не только их. Синяк обыкновенный (*Echium vulgare*) — двулетнее травянистое растение, которое конкурирует с липой мелколистной, или липой сердцевидной (*Tilia cordata*), по количеству пыльцы, собираемой пчелами для мёда, но считается сорняком в огородных угодьях, а также является ядовитым для животных, в том числе для домашнего скота [13]. В хозяйстве синяк ценен только с точки зрения пчеловодства. Однако, синяк сам по себе имеет яркие сине-фиолетовые цветы, собранные в метельчатое соцветие, обладающее декоративностью [14]. При отмирании и разложении ядовитые вещества играют некоторую роль антисептика для верхнего почвенного слоя. Бухарник мягкий (*Holcus mollis*) используется в декоративном садоводстве, вместе с этим является кормовым растением для гусениц некоторых бабочек. Камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris*) формирует заросли, в которых животные организмы организуют укрытия, корневище удерживает организмы-фильтраторы, фиксация азота предотвращает цветение воды и следующую за этим гибель рыб.

Некоторые сорные растения культивируются как декоративные достаточно давно. Например, ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), применяющийся из-за визуальной привлекательности колосков, используется как декоративное с 1782 года [15]. Императа цилиндрическая (*Imperata cylindrica*) используется как декоративное растение, это многолетнее растение декоративно окраской листьев, на конце приобретающих красноватый или бордовый цвет. Ясколка полевая (*Cerastium arvense*) используется как почвопокровное растение в садоводстве. Аир болотный (*Acorus calamus*) пользуется популярностью в декоративном озеленении искусственных водоёмов, обладает инсектицидными свойствами. Все перечис-

ленные виды входят в отраслевой классификатор сорных растений Министерства сельского хозяйства РФ [16]. Большинство из сорных растений впишутся в посадки природного типа в стиле новой волны, поддерживая тенденции озеленения 21-го века [17].

Кроме того, сорные растения часто являются индикаторами условий среды. Так, произрастание определенных видов может сигнализировать о водном режиме, кислотности среды, повышенном содержании азота, фосфора, калия и других элементов. Например, увеличенное процентное соотношение произрастания рудеральной растительности свидетельствует о техногенном загрязнении среды.

Так как сорные и рудеральные растения обладают высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям, все они мало требовательны к уходу, что означает значительное сокращение траты ресурсов на поддержание состояния растений. Наличие сорных растений в саду не означает полный отказ от ухода, так как в большинстве случаев сорные растения представляют угрозу в неконтролируемых условиях. Однако, стоит учитывать, что они нуждаются меньше в поддержании определенных условий, таких как температуры, влажности, инсоляционных и эдафических условий — что сильно снижает материальные затраты.

Социальный аспект использования сорных растений

В исследовании Чикагского университета [18] обозначено, что современной проблемой человека является исчезновение опыта взаимодействия с живой природой, а это негативно влияет на заинтересованность людей, в первую очередь, уменьшается эмоциональная связь с природой. Применение дикорастущих растений в садоводстве и декоративных посадках, и в урбанизированной среде, и на частных территориях влияет на восприятие человека.

Цикл, который запускают дикорастущие растения выглядит следующим образом. Первым этапом идет создание натурального сада с местными сорными и полевыми растениями — это запускает возобновление экологических связей, позволяя животным и птицам поселиться в саду, таким образом активность живых существ привлекает наблюдателей, в данном случае людей, что влечет больший интерес к диким садам как к концепции персональной помощи в решении экологических вопросов. Этот цикл позволяет в перспективе рассматривать внедрение и расширенное использование садов дикого типа, а в последствии экологических моделей поведения и стратегий по сохранению окружающей среды. Изменения в подходе озеленения различных территорий общего пользования, особенно дворовых территорий, в совокупности могут способствовать увеличению биоразнообразия в городской среде. Использование диких садов на частных территориях определит то, как люди будут воздействовать на локальное биоразнообразие [18].

В русскоязычной среде дополнительной проблемой является отсутствие открытых русскоязычных ресурсов, которые могли бы помочь узнать больше информации для создания экологически устойчивых композиций растений в свои сады. Есть не систематизированные научные материалы с различных сайтов без четких инструкций и рекомендаций от практикующих садоводов. В то время как англоязычных исследований и ресурсов, где собрана необходимая информация, рекомендации, визуальные схемы, инструкции, достаточно много, несмотря на то, что тема относительно новая для мира садоводства и ландшафтного дизайна. Для повышения интереса населения к новому подходу озеленения можно адаптировать как существующие материалы, так и разрабатывать новые, включая не только текстовые материалы, но и аудио- и видеоряды, к примеру, больше рассказывать об опылителях растений, естественном взаимодействии их с растениями в нативных условиях, таких как поля и луга, важности восстановления природных экосистем в условиях урбанизированной среды с помощью современных способов передачи и распространения информации — подкастов, аудио- и видеоблогов от практикующих природоохран-

ные решения специалистов и волонтеров. Более того, вовлеченность в такое экологическое движение повлечет за собой повышение личного чувства ответственности и появлению ощущения причастности к единому, что положительно влияет на психоэмоциональное состояние [19].

Международная и отечественная практика

В международном опыте больше выделяется британское сообщество, к примерам практикующих садоводов, использующие дикорастущие растения, в том числе полевые и сорные, можно отнести Capability Charlotte.

Шарлотта Ховард — сертифицированный садовод с 10-летним стажем опыта. Множество ее проектов находятся в открытом доступе, каждый из которых можно изучить. Одним из проектов стал сад, не требующий особого ухода и адаптированный для привлечения пчел (The Low-Maintenance, Bee-Friendly Garden) [20]. Проектируемая территория связывает выход из жилого дома с каналом, представляет собой длинное вытянутое пространство, большая часть которого занята газоном, с пролегающей дорожкой из брусчатки и небольшой круговой бетонной зоной для размещения уличной мебели. В процессе проектирования преобразовалась не только бетонная круглая площадка из-за окружающих ее посадок, но и появилась открытая зона с проницаемым покрытием, вид с которой открывается на рядовые посадки вдоль забора. Среди древесных были применены клён (*Acer*), ирга (*Amelanchier*), бузина черная (*Sambucus nigra*), волчегородник душистый (*Daphne odora*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), береза полезная (*Betula utilis jacquemontii* “Snow Queen”), кизил белый (*Cornus alba*), кизил кроваво-красный (*Cornus sanguinea* “Winter Flame”), бересклет (*Euonymus*). Из перечисленных в официальный список важных медоносных растений программы опылителей Общества по сохранению позвоночных The Xerces входит клён [21]. В список использованных травянистых растений вошли: рябчик (*Fritillaria*) — растение влажных лугов, сильно привлекающее шмелей из-за раннего цветения в апреле [22]; подснежник (*Galanthus*), декоративные виды лука, эхинацеи, астр, тюльпанов; шалфей (*Salvia*) — есть представители рода, классифицируемые как сорняки, цветки опыляются пчелами и птицами [23]; шуазия тройчатая (*Choisya ternata*), вербена (*Verbena*), морозник (*Helleborus*), первоцвет мелкозубчатый (*Primula denticulata*). Большинство растений во время цветения привлекают внимание разных опылителей за счет цвета цветков, причем разный цвет может привлекать разнообразных опылителей [19]. Итоговым результатом является удовлетворенность конечного потребителя, Ховард утверждает, что заказчик вновь влюбился в свой сад. Это подтверждает тезис, что дикий сад положительно влияет на психоэмоциональное состояние.

Один из первых проектов ревайлдинга в Кнеппе (Сассекс, Англия) добился значительных результатов по восстановлению биоразнообразия [24]. Это место стало очагом размножения большого количества редких для Великобритании насекомых, например, рыжая стрекоза, навозник лесной, переливница ивовая, толстоголовка мальвовая, численность популяций которых сократилась из-за уничтожения лесов и лугов, что являются местом ее естественного обитания [25]. Территорию Кнеппа можно посетить бесплатно, она абсолютно доступна для любого, кто заинтересуется данной темой.

Из отечественных примеров успешной реализации метода ревайлдинга можно привести пермский эксперимент, именующийся поющим газоном. Участок с газоном находится между дорогой и жилыми домами, рядом с особо охраняемой природной территорией, откуда и происходит занос семян растений. Газон разделен на несколько зон, но самая главная с высокотравными растениями 44 видов, куда входят луговые, лесные и сегетальные растения. Исследования для Государственного ежегодного доклада «Состояние и охрана окружающей среды Пермского края» за 2020 год показали, что высокотравная часть газона лучше всех справилась с функцией улавливания высокодисперсной пыли [26]. Также к 2022 году было обнаружено 6 отрядов насекомых, обитающих в образовавшемся травяном покрове, в том

числе певчие кузнечики, звуки стрекотания которых громче шумового загрязнения от автомобилей. В процессе осуществления эксперимента были выявлены другие проблемы, которые мешали реализации, а именно официально утвержденные правила благоустройства с содержанием норм допустимой высоты травы газона (15 см) и нежелание людей видеть и воспринимать газон из дикорастущих растений как декоративный элемент благоустройства. По этой причине эксперимент неоднократно срывался или был на грани срыва. В дальнейшем, на площадке проводились просветительские экскурсии, полевые семинары, семейная выставка и фестиваль для привлечения к теме сохранения природы и восстановления биоразнообразия как жителей города, так и художников.

Результаты анализа научных исследований

При изучении научных статей и материалов зарубежных деятелей была замечена большая работа по систематизации информации о сегетальной флоре. В Австралии одна из крупнейших программ по внедрению практики дикого садоводства под названием Gardens for wildlife Victoria, а Великобритания имеет огромное влияние в сфере экологических решений ландшафтного дизайна, в числе которых как ревайлдинг, так и дикое садоводство.

Важно, чтобы эти тенденции внедрялись постоянно, применялись как альтернатива адвентивной флоре в посадках как частных, так и общественных, способствуя формированию устойчивой городской среды.

В России необходимо как можно больше освещать выше приведенные практики озеленения, так как не требуют больших экономических вложений и чаще всего не требуют усиленного контроля. Сорные растения имеют все возможности сосуществовать в антропогенной среде, образовывать симбиоз городской и природной среды с наименьшими потерями и значительной результативностью. Более того, некоторые из представителей категории сорных растений уже утвердили себя в ландшафтном дизайне как отличные образцы для создания цветников, имитирующих природную среду. Например, гелениум (*Helenium*), рудбекия (*Rudbeckia*), примула обыкновенная (*Primula vulgaris*), незабудка лесная (*Myosotis sylvatica*), мордовник (*Echinops*), эхинацея (*Echinacea*), перовския (*Perovskia*), очиток (*Sedum*), молиния голубая (*Molinia caerulea*), мискантус китайский (*Miscanthus sinensis*), луговик дернистый (*Deschampsia cespitosa*), ковыль гигантский (*Celtica gigantea*). Необходимо создавать больше примеров использования сегетальной флоры в посадках. Ниже приведен пример композиции из сорных растений.

Развитие системы информирования — первый и главный этап по внедрению сегетальной флоры в широкое использование. Возможно, создание муниципальных программ по экологическому просвещению и осведомлению населения о возможности быстро и дешево создать разные композиции. Колоссальное количество информации, существующее по тематике использования сорных и полевых растений в озеленении, может быть слишком сложно для освоения бытовым садоводам, это требует большой заинтересованности и мотивации. Государственная поддержка могла бы способствовать развитию в дальнейшем появлению множества волонтерских заинтересованных групп, которые могли бы заниматься эффективнее информированием, запуская процесс по внедрению экологических практик в активное использование в садоводстве и городском озеленении.

Применение сегетальных растений в городском озеленении прежде всего способствует росту биоразнообразия, поскольку данные виды устойчивы к экстремальным условиям урбоэкосистем. Этот процесс также оказывает положительное влияние на взаимодействие человека с природной средой, формируя экологическое сознание и способствуя внедрению подобных практик в повседневную жизнь.

lifeandstyle/2023/apr/25/chelsea-flower-show-gardens-rebrand-weeds-hero-plants — Загл. с экрана (дата обращения 26.01.2025).

2. Hegerl, Gabriele C, et al. Causes of climate change over the historical record — *Environ. Res. Lett.*, 2019. — 14 (12) — DOI 10.1088/1748-9326/ab4557.

3. Sheludkov, A., Vinogradova, V. Population exposure to heat waves in Russian regions according to climate change scenarios for the mid-21 century — *GeoJournal*, 2024. — 89 (47) — DOI 10.1007/s10708-024-11057-y.

4. Díaz, S. et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change — *Science*, 2019. — 366 (6471) — DOI 10.1126/science.aax3100.

5. Rendón, Olivia R., Garbutt, Angus, et al. A framework linking ecosystem services and human well-being: Saltmarsh as a case study — *People and Nature*, 2019. — 1 (4) — DOI 10.1002/pan3.10050.

6. Herrmann-Pillath, C., Sarkki, S., Maran, T., Soini, K., Hiedanpää, J. Nature-based solutions as more-than-human art: Co-evolutionary and co-creative design approaches — *Nature-Based Solutions*, 2023 — 4 (100081) — DOI 10.1016/j.nbsj.2023.100081.

7. Rewilding // *Key Topics in Conservation Biology 2* / Sandom, C., Donlan, C. J., Svenning, J.-C., Hansen, D. / eds D. W. Macdonald and K. J. Willis — John Wiley & Sons, Ltd., 2013. — P. 430–451. — ISBN: 9780470658765.

8. Mumaw, L. M., Maller, C., Bekkesy, S. Strengthening wellbeing through wildlife gardening — *Cities and the Environment (CATE)*, 2017 — 10 (1) — 6.

9. ГОСТ 21507-2013. Защита растений. Термины и определения (с Поправкой) / разработан Государственным научным учреждением Всероссийским научно-исследовательским институтом защиты растений Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЗР Россельхозакадемии) — Москва : Стандартинформ, 2020. — 27 с. — Текст: электронный.

10. Уоллингтон, Д. Очаровательные бунтари / Д. Уоллингтон — Москва: Бомбора, 2021. — 171 с.

11. Лунева, Н. Н. СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СОСТАВ / Н. Н. Лунева — Текст: электронный // *Вестник защиты растений* — 2018. — № 1 (95) — С. 26–32.

12. Blue and Green Infrastructure for Sustainable Cities [Электронный ресурс] / Interreg Europe (GECOTI-PE) — Франция, 2025 — Режим доступа: <https://projects2014-2020.interregeurope.eu/bluegreen-city/> — Загл. с экрана (дата обращения 28.04.2025).

13. Подобаева, У. В. Эффективность выращивания сельскохозяйственной культуры медоноса синяк / У. В. Подобаева, М. В. Поляков, Е. В. Меньшова — Текст: электронный // *Молодежь и наука: шаг к успеху: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 4-х томах, Курск, 22–23 марта 2021 года* / Отв. редактор М. С. Разумов. Том 4. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. — С. 312–315.

14. Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области: справочник дополнительной литературы / Л. В. Аверьянов, А. Л. Буданцев, Д. В. Гельтман [и др.]; Под ред. А. Л. Буданцева и Г. П. Яковлева. — Москва: ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2006. — 799 с. — ISBN 5-87317-260-9. — Текст: электронный.

15. Декоративные травянистые растения открытого грунта. Справочник по номенклатуре родов и видов / О. М. Полетико, А. П. Мишенкова — Л.: Наука, 1967. — 208 с. — С. 94.

16. Отраслевой классификатор сорных растений: информ. издание. — М.: ФГБНУ «Росинформ-агротех», 2018. — 52 с. ISBN 978-5-7367-1458-2.

17. Piet Oudolf's Next Wave [Электронный ресурс] / Garden Design — США, 2025 — Режим доступа: <https://www.gardendesign.com/designers/piet-oudolf.html> (дата обращения 23.05.2025).
18. Garfinkel, M., Belaire, A., Whelan, C., Minor, E. Wildlife gardening initiates a feedback loop to reverse the Extinction of Experience — Biological Conversation, 2024 — 289 (110400) — DOI 10.1016/j.biocon.2023.110400.
19. The socio-ecological benefits of wildlife gardening Report prepared for Gardens for Wildlife Victoria March 2022 [Электронный ресурс] = Gardens for Wildlife Victoria: публикации / Gardens for Wildlife Victoria — Австралия, 2021. — Режим доступа: <https://gardensforwildlifelifevictoria.com/wp-content/uploads/2022/04/The-socio-ecological-benefits-of-wildlife-gardening-Mumaw-and-Mata-v1-31Mar22-lowres.pdf> (дата обращения 26.01.2025).
20. Capability Charlotte [Электронный ресурс] / Charlotte Howard — Англия, 2025 — Режим доступа: <https://capabilitycharlotte.com> — Загл. с экрана (дата обращения 26.01.2025).
21. Pollinator conservation program [Электронный ресурс] = Xerces Society / The Xerces Society — США, 2025 — Режим доступа: https://www.wildflower.org/collections/printable.php?collection=xerces_honey — Загл. с экрана (дата обращения 28.05.2025).
22. Tatarenko, I., Walker, K., Dyson, M. Biological Flora of Britain and Ireland: *Fritillaria meleagris* — Journal of Ecology, 2022. — 110 — P. 1704 – 1726. — DOI 10.1111/1365-2745.13886.
23. Drew, Bryan T. Evolution, Pollination Biology, and Species Richness of *Salvia* (Lamiaceae) — International Journal of Plant Sciences, 2020 — 181 (8) — P. 767 – 769.
24. Wildlife success — Кнепп [Электронный ресурс] / Кнепп Castle Estate — Англия, 2025 — Режим доступа: <https://knepp.co.uk/rewilding/wildlife-successes/> — Загл. с экрана (дата обращения 07.02.2025).
25. Grizzled Skipper Action Plan / N. Bourn, T. Brereton, M. Warren — Butterfly Conservation, 1998 — P. 25.
26. Поющий газон: пермский эксперимент [Электронный ресурс] = Экосистемные услуги — Елена Плешкова — Москва, 2024 — Режим доступа: <https://ecourbanist.ru/ecosystem-serv/poyushchij-gazon-permskij-eksperiment/> — Загл. с экрана (дата обращения 25.01.2025).

FIELD AND WEED PLANTS AS A TOOL FOR ECOLOGICAL SOLUTIONS

K. A. Sergeeva
M. A. Toropkina

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

The article explores the problem of biodiversity conservation in urban environments and proposes the integration of field and weed plants into urban landscaping concepts as one of the methods for solving this problem. The purpose of the study is to develop and substantiate an inno-

The Keywords

Biodiversity, weeds, field plants, wild gardening, landscaping, urban ecosystem, wildlife.

vative approach to urban greening through the use of weed-infested plant species, as well as to conduct an analytical assessment of their environmental effectiveness and benefits to ensure the sustainable development of urban green areas.

Date of receipt in edition
13.10.2025
Date of acceptance for printing
17.10.2025

Ссылка для цитирования:

К. А. Сергеева, М. А. Торопкина. Полевые и сорные растения как инструмент решения экологических проблем в городской среде. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 143 – 153.





УДК 72.01

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_154-160

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ДОРОЖЕК

О. А. Гефнер
А. В. Романов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Данная статья представляет собой обзор мирового опыта в проектировании и развитии велосипедной инфраструктуры. В статье анализируются передовые методики и подходы к созданию велосипедных дорожек, основанные на успешном опыте различных стран. Рассматриваются примеры лучших практик, включая дизайн, безопасность, удобство использования и интеграцию с другими видами транспорта. На основе проведенного анализа формулируются рекомендации для улучшения процесса проектирования и развития велосипедной инфраструктуры в различных городах и районах, поскольку проектирование велосипедных дорожек важный аспект современного градостроительства, транспортной инфраструктуры и экологического планирования.

Ключевые слова

Велосипедные дорожки, комфортное движение, безопасность дорожного движения, популяризация велотранспорта, сервисы велопроката.

Дата поступления в редакцию
29.09.2025

Дата принятия к печати
06.10.2025

Введение

В наш стремительный век высоких технологий и грандиозного строительства проблема улучшения экологической обстановки в городской среде становится наиболее актуальной. А использование велосипедов в качестве транспортного средства уменьшает число выбросов углекислого газа и других вредных веществ, что благотворно влияет на окружающую среду, состояние атмосферы и здоровье жителей города. На велосипеде вместо автомобиля или общественного транспорта возможно добираться до работы, до дома или до места проведения досуга и одновременно заниматься спортом. А спорт позволяет решить глобальные проблемы гиподинамии и лишнего веса горожан, вызванные сидячей работой и неправильным питанием. Также развитие велотуризма в мировом масштабе положительно влияет на экономику города. Поэтому в начале 2000-х по всему миру стало актуальным создавать комфортные и безопасные условия для велосипедистов. Изучение международного опыта разработки велодорожек позволяет выявить как плюсы их наличия, так и ряд недостатков, которые связаны с их проектированием и созданием. В данной статье приводится исследование проектирования велосипедных дорожек как уникального градостроительного явления. Кроме того, анализируются примеры создания на зарубежном опыте [1].

Основная часть

В современном мире наличие велодорожки в транспортной структуре города является необходимым условием создания комфортной городской среды, ведь именно их грамотное устройство обеспечивает:

- **безопасность:** качественно спроектированные велодорожки формируют безопасное пространство для велосипедистов, создавая границу между автотранспортом, пешеходной зоной и велодорожкой, сокращают риск дорожно-транспортных происшествий, а также обеспечивают безопасность всех участников дорожного движения;
- **комфорт:** велосипедные дорожки способствуют обеспечению удобного и комфортного движения велосипедистов, позволяя им передвигаться без угроз для жизни и здоровья;
- **стимулирование использования велосипеда:** создание велосипедных дорожек поощряет людей использовать велосипед в качестве основного транспортного средства, что благотворно сказывается на состоянии здоровья местных жителей и снижает уровень загрязнения окружающей среды [2];
- **улучшение городской инфраструктуры:** создание велосипедных дорожек может способствовать улучшению городской инфраструктуры, например, обновлению и развитию улично-дорожной сети, благоустройству зеленых зон и формированию новых городских пространств;
- **экономические преимущества:** внедрение велосипедной инфраструктуры в структуру города влияет на рост туристического потока, развитие велотуризма, а значит на получение экономической выгоды, поощрение экономики на местном уровне с помощью формирования новых рабочих мест и создания возможностей для бизнеса [3].

При проектировании дорожек существует вероятность возникновения ряда проблем, которые необходимо учитывать для обеспечения комфортной и безопасной среды [4].



Рис. 1. Пример разделения велосипедной дорожки от полос движения автотранспорта и пешеходной зоны

Одна из главных задач — обеспечение безопасности всех участников дорожного движения. Процесс включает в себя: создание четко разграниченных зон для велосипедистов и пешеходов и обеспечение хорошей видимости на перекрестках. Важно, чтобы сами пользователи велодорожек соблюдали правила дорожного движения и меры безопасности, например, надевали защитные шлемы и одежду со светоотражающими элементами. (Рис. 1)

Важно, чтобы велосипедное движение было согласовано с другими видами транспорта. Такая интеграция позволит облегчить поездки на дальние расстояния. Кроме того, велодорожки должны учитывать местные климатические особенности и быть спроектированы в соответствии с ними. Например, необходимо обеспечить дренаж в регионах с дождливой погодой или защиту от солнца в районах с жарким климатом. Рельеф также влияет на проектирование. Особенно это наглядно в гористой или холмистой местности [5].

Еще одной целью является обеспечение поддержки данной инициативы сообществом. Это гарантирует то, что велодорожки будут активно использоваться и поддерживаться местными жителями.

Таким образом, проблемы, возникающие при проектировании и создании велосипедных дорожек, требуют тщательного планирования и учета множества факторов для создания эффективной и функциональной инфраструктуры.

Наилучшие примеры проектирования велодорожек в странах СНГ включают адаптацию международного опыта к местным условиям и потребностям. Перед проектированием необходимо провести анализ местных климатических условий: в странах с холодным климатом, таких как Россия, важно предусмотреть способы для борьбы с гололедом и снегом, например, использование подогрева дорожек или применение эффективных мер их очистки. Также важно обеспечить максимальную интеграцию велодвижения с общественным транспортом путем создания удобных переходов и парковок для велосипедов у станций метро, железнодорожных станций и автобусных остановок. Социальная вовлеченность не менее важна в данном вопросе. Это достигается благодаря образовательным программам, кампаниям по продвижению здорового образа жизни с помощью рекламы по радио, телевидению, билбордам, различным общественным и волонтерским движениям. Один из важных аспектов — законодательная поддержка в странах СНГ. К таким мерам относятся разработка и внедрение законодательных актов, которые поддерживают развитие велосипедной инфраструктуры и безопасность велосипедистов [6].

В странах СНГ есть ряд городов, известных своими инфраструктурой для велосипедистов, но, к сожалению, в большинстве случаев это столицы.

В России такими городами являются Москва и Санкт-Петербург, однако другие города также развиваются в данном направлении.

Хороший пример — Москва [7]. В последние годы в Москве значительно расширила сеть велодорожек, особенно в центральной части города. Кроме того, были введены сервисы велопроката, которые делают велотранспорт более доступным. Важно отметить, что несколько лет назад на городских улицах появились электросамокаты. Самокаты, также как велосипеды, можно арендовать в приложении на любом смартфоне, например, в приложениях Яндекс GO, Whoosh, Юрент. Существуют различные тарифы и условия, например, с подпиской пользователю гарантируется бесплатный старт и возможность бесплатных перерывов во время аренды. Стоит заметить, что такой вид транспорта приходится по душе не всем жителям города. Это связано с тем, что в странах СНГ не было никаких образовательных мероприятий, которые бы предшествовали запуску сервисов [8].

Рассмотрим еще одну столицу в качестве примера. В Минске активно развивается сеть велодорожек, соединяющих ключевые точки города. (Рис. 2)



Рис. 2. Велодорожка в Минске

В Республике Беларусь проводятся мероприятия по популяризации велосипедного транспорта. Алматы внедряет проекты по развитию велоинфраструктуры, в том числе строительство велодорожек и организацию массовых велопробегов[10, 11]. Можно сказать, что эти города применяют лучшие практики проектирования велосипедных дорожек, адаптированные к местным условиям. Их проекты показывают, как можно успешно интегрировать велосипедный транспорт в городскую среду.

Многие европейские города славятся продуманной велосипедной инфраструктурой.

Амстердам (Нидерланды) часто называется «велосипедной столицей мира». Этому способствовала обширная сеть велодорожек и велопарковок. Кроме того, в Нидерландах существует строгая политика в отношении движения транспорта в историческом центре города. (Рис. 3)



Рис. 3. Велосипедные дорожки в Амстердаме — «Велосипедной столице мира»

Копенгаген (Дания) знаменит концепцией «велосипедных шоссе», способствующие быстрому и безопасному движению велосипедистов в том числе на большие расстояния.

Утрехт (Нидерланды) известен своими инновационными решениями, например, формирование сети многоуровневых велосипедных парковок и широких велодорожек, пронизывающих весь город.

Страсбург (Франция) предлагает сеть велодорожек, соединяющих пригороды и сельскую местность, облегчая передвижение на велосипеде.

Берлин (Германия) активно развивает велодорожную сеть и улучшает условия для перемещения велосипедистов, в том числе за счет увеличения зон, на которых действует ограничения на движение автомобилей [12].

Приведенные выше города так же как Москва, Минск и т. д. показывают успешную интеграцию велосипедного транспорта в структуру города, формируя безопасные и комфортные условия для велосипедистов. Тем самым власти поощряют использование велосипедов как альтернативного способа передвижения [13].

В странах Америки тема развития велосипедной инфраструктуры также актуальна.

Портленд (США) известен продвижением и внедрением велосипедного транспорта. Город имеет одну из самых развитых велодорожных систем в стране.

Монреаль (Канада) создал обширную сеть велосипедных дорожек. Монреаль является лидером Северной Америки по количеству велосипедных дорожек на душу населения.

Богота (Колумбия) регулярно проводит мероприятия, например, “Ciclovía”. Во время проведения фестиваля главные улицы города перекрываются и становятся пешеходными и доступными для передвижения на велосипедах [14, 15].

Нью-Йорк (США) активно развивает велосипедную инфраструктуру, делая передвижение на велосипеде по городу безопасным и удобным. (Рис. 4)



Рис. 4. Велосипедные дорожки в Нью-Йорке

Эти города используют разные методы для популяризации велотранспорта, от расширения сет велосипедных дорожек и формирования качественной велосипедной инфраструктуры до проведения

специальных мероприятий, пропагандирующие передвижение на велосипеде. Такие меры способствуют повышению популярности велотранспорта.

Выводы

В XXI веке проблема проектирования и формирования велосипедных дорожек для велосипедистов и пользователей самокатов наиболее актуальна в градостроительстве не только в России, но и во всем мире. Велосипедные дорожки не только способствуют созданию качественного, комфортного и экологически чистого городского пространства, но и улучшают социальную и экономическую среду, делая более привлекательными для жизни и работы города и районы. Таким образом, велосипедные дорожки становятся неотъемлемой частью современного городского планирования.

Библиографический список

1. Азаров С. И. Проектирование велосипедных дорожек. М.: Транспорт, 2015, с. 20–57.
2. Козлов Н. С. Технические стандарты проектирования велосипедных дорожек. СПб.: Балтийский университет, 2017, с. 44.
3. Горбунов А. Н. Городское пространство для велосипедистов. М.: Архитектурное бюро, 2016, с. 6–8.
4. Дмитриев П. С. Улучшение инфраструктуры для велосипедистов. Новосибирск: Сибирь Пресс, 2019, с. 7.
5. Ефимов Д. В. Экологические аспекты проектирования велосипедных дорожек. Петрозаводск: Карелия, 2014, с. 16–19.
6. Жукова Е. И. Управление развитием велоинфраструктуры в городах. М.: КомТранс, 2013, с. 22.
7. Иванов А. П. Роль велосипедных дорожек в международном туризме. Москва: Турист, 2018, с. 47–48.
8. Бауер Э. Велосипедные дорожки в городах. СПб.: Невский проспект, 2018, с. 4–7.
9. Васильев Г. М. Основы проектирования велосипедных дорожек. Киев: УкрНТЦ, 2017, с. 10–23.
10. Лебедев Г. Ю. Эргономика велосипедных дорожек. Казань: Идея, 2015, с. 23.
11. Миронов К. В. Психология взаимодействия водителей с велосипедистами. Тюмень: Сибирские огни, 2016, с. 12.
12. Николаев И. Д. История развития велосипедных дорожек в мировой практике. М.: Эксперт, 2014, с. 17–24.
13. Орлов А. А. Планирование велосипедных маршрутов в крупных городах. Смоленск: Русич, 2019, с. 47–48.
14. Попов С. В. Сравнительный анализ велосипедных дорожек в различных странах. Калининград: Балтийское небо, 2017, с. 14–18.
15. Романов Д. К. Экономическая эффективность строительства велосипедных дорожек. Нижний Новгород: Волга, 2018, с. 22.

INTERNATIONAL EXPERIENCE IN DESIGNING BICYCLE PATHS

O. A. Gefner
A. V. Romanov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg

Abstract

This article is an overview of global experience in the design and development of bicycle infrastructure. The article analyzes advanced techniques and approaches to creating bicycle paths based on the successful experience of various countries. Examples of best practices are considered, including design, safety, usability, and integration with other modes of transport. Based on the analysis, recommendations are formulated to improve the process of designing and developing bicycle infrastructure in various cities and districts, since the design of bicycle paths is an important aspect of modern urban planning, transport infrastructure and environmental planning.

The Keywords

Bike paths, comfortable movement, road safety, popularization of cycling, bike rental services.

Date of receipt in edition

24.09.2025

Date of acceptance for printing

30.09.2025

Ссылка для цитирования:

О. А. Gefner, А. В. Романов. Международный опыт проектирования велосипедных дорожек. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 154–160.



УДК 39+72.025.5

doi: 10.48612/dnitii/2025_56_161-166

ОРГАНИЗАЦИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ДЕРЕВЕНЬ ЗАОНЕЖЬЯ

О. В. Кефала

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Статья является логическим продолжением вопросов, рассмотренных и опубликованных в №3 [52] данного журнала в 2024 году, которые определяли возможность использования уникальных территорий, населённых малочисленными народами Крайнего Севера, в туристических целях. [1]. Исследования проведённое ранее анализировало специфику организации рекреационного комплекса на территории оленеводческого хозяйства. Общим фактором устойчивого развития северных территорий является вовлечение их в туристическую инфраструктуру, в тоже время существуют определённые различия в подходах к формированию на них туристических комплексов так они имеют разную природно-ландшафтную и архитектурно-культурную специфику.

Цель исследования: определить особенности организации туристических комплексов на территории традиционного расселения исторических деревень Русского Севера.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- сделать комплексный анализ территории Заонежского полуострова для определения потенциальных мест размещения туристических комплексов;
- проанализировать исторические приёмы планировки поселений в соответствии с региональными особенностями;
- определить основные типы исторических функциональных ландшафтов;
- разработать теоретическую модель формирования туристического комплекса.

Метод решения представляет комплексный подход, включающий натурные и библиографические исследования.

Ключевые слова

Территория Заонежского полуострова, туризм, исторические деревни, функциональные ландшафты, теоретическая модель.

Дата поступления в редакцию

14.11.2025

Дата принятия к печати

17.11.2025

Введение

Территория Карелии, имеет древнюю историю и уникальные природные ландшафты, которые представляет повышенный интерес как для российских, так и для иностранных туристов. Согласно стратегиям развития туризма в России на период до 2035 года, и социально-экономического развития Республики Карелия до 2030 года, эти территории рекомендуется включать в туристическую отрасль, при этом тури-

стическая инфраструктура, должна быть повышенного качества, способствовать сохранению культурного и исторического наследия Республики Карелия, её идентичности, иметь транспортную доступность, возможность приёма гостей не только в «высокий сезон», но и крутой год [2, 3].

Как показывают статистические данные особенно привлекает путешественников территория Заонежского полуострова [4].

Согласно информации, опубликованной Правительством Республики Карелия, в 2024 году регион принял рекордные 1,6 млн туристических посещений [5].

Увеличение потока туристов прогнозируется, так как Карелия, обладает значительным архитектурно-ландшафтным потенциалом и сохранением культурной аутентичности.

В статье Морозова А. А. рассматриваются проблемы внутреннего туризма как фактора социально-экономического развития региона и делается вывод, что развитие историко-культурного туризма является перспективным направлением [6].

Комплексный анализ территории Заонежского полуострова и определения потенциальных мест размещения туристических комплексов.

Заонежский полуостров, расположенный в северо-восточной части Онежского озера, активно заселялся и осваивался как среда жизнедеятельности с эпохи мезолита древними охотниками на дикого оленя. [7].

Заонежье длительное время было удалено от центральной России и имело почти полную автономность существования, что сделало его уникальным заповедником деревянной архитектуры Русского Севера. Там до сих пор сохранились территории деревень, возраст которых превышает пять тысяч лет, но к сожалению, многие из них находятся вдали от автомобильных дорог, и сильно разрушены. Особенности жизнедеятельности сформировали здесь прочные традиции, в том числе и в архитектурно-строительной деятельности [8].

На территории Заонежского полуострова были сформированы архитектурные ансамбли, которые включали объекты жилого, хозяйственного, культового назначений.

В настоящее время уникальный архитектурный-ландшафт Заонежья сохранил 46 исторических деревень, которые заброшены, но их архитектурное наследие включает 194 памятника имеющих разную степень сохранности. Культовые объекты представляют особую ценность, они практически все имеют охранный статус. Формирование на данных территориях туристических комплексов с привлечением туристов и инвесторов, будет способствовать их сохранению.

Комплексный анализ территории Заонежского полуострова с учётом транспортной инфраструктуры, культурно-исторического контекста интересов внешнего и внутреннего туриста показал, что Заонежский полуостров имеет уникальные живописные природные объекты, ставшими ключевыми точками притяжения для туристов такие как целебный родник «Соляная яма», «Царицын ключ». Геологические и археологические достопримечательности: Челмухская коса и Клим-гора [9].

Как отмечает Хромов Ю. Б., Калюшин В. А. от степени живописности ландшафтов их визуального разнообразия и панорамности, историко-культурной, архитектурной привлекательности территорий зависит востребованность туристических мест [10].

Анализ показал, что территория Заонежья имеет ландшафтно-исторический, культурный, архитектурный потенциал для создания на ней туристических комплексов, которые будут привлекательны для туристов.

Анализ исторических приёмов формирования планировки поселений в соответствии с региональными особенностями

Деревянная архитектура Заонежского полуострова уникальна и её важная специфическая особенность заключается во взаимоотношении архитектурной и природной сред. Ушаков Ю. С. в исследование архитектурно-пространственной и композиционной организации северорусских поселений, приходит к выводу, что крестьянское мировоззрение была выработано веками представление крестьянина о красоте не разделяет архитектуру, конструкцию и пространственную постановку сооружения. Исторически, психологический комфорт местных жителей возникал в условиях взаимосвязи архитектуры и ландшафта. Сложившиеся ландшафтно-архитектурные ситуации и визуальные связи, исторически развивались в пределах одной системы расселения. Они обеспечивались культовыми зданиями, которые архитектурно организовывали значительные по площади пространства и служили своеобразными маяками со стороны воды и суши [11].

Для данного исследования в качестве примера была выбрана территория Великогубского сельского поселения, расположенная в южной части Заонежского полуострова, на которой были отобраны следующие наиболее характерные исторические поселения с сохранившимися памятниками деревянного культового зодчества, которые могли быть интересны для туристов: Кондобережская, Усть Яндома, Тамбицы, Типиницы, Верхний остров, Масельга, Яндомозеро, Поля, Онежены, Селецкое.

Определение основных типов исторических функциональных ландшафтов

Исторические культовые объекты находятся во взаимосвязи с типами функциональных ландшафтов. Использование доступных источников позволило проанализировать 20 объектов и определить основные ландшафтно-архитектурные характеристики: зрительное восприятие застройки и её доминанты.

В результате анализа были выявлены следующие типы ландшафтных ситуаций (продемонстрированные на типичных примерах):

- Л-1** на берегу озера (реки) д. Узкие (в составе Великогубского сельского поселения Медвежьегорского района). Деревне опустела, труднодоступна автотранспортом. Исторически сложилось линейно-круговое зрительное восприятие. Акцент доминанты воспринимается со стороны Космозера.
- Л-2** на придорожной поляне д. Тамбицы (в составе Великогубского сельского поселения Медвежьегорского района) Деревне частично опустела, относительно доступна автотранспортом. Исторически сложилось линейное зрительное восприятие. Акцент доминанты воспринимается со стороны дороги.
- Л-3** на мысу озера (реки). д. Кондобережская (в составе Великогубского сельского поселения Медвежьегорского района). Деревне частично опустела. Исторически сложилось круговое зрительное восприятие. Акцент доминанты воспринимается со стороны дороги и озера.

Теоретическая модель формирования туристического комплекса

Русский Север уникальное место для развития туризма.

Шевченко Э. А. отмечает, что Российская провинция — это туристический Клондайк, где сосредоточено богатство памятников архитектуры и редких по красоте ландшафтов [12].

В статье Бергман А. В. рассмотрена историко-архитектурная среда станицы Еланской в Ростовской области и определено, что перспективы её сохранения и развития заключаются в сохранения «Духа» места [13]. Этот принцип необходимо соблюдать для любого исторического населённого пункта независимо от его размера и территориального местонахождения.

При формировании теоретической модели туристического комплекса необходимо проводить анализ сложившихся исторических характеристик архитектурного-ландшафта, включающего памятники архитектуры, историческую ансамблевую планировку, исторические визуальные связи, исторические функциональные ландшафты. Отторжение кого-то из элементов этого симбиоза приводит к разрушению целостной картины восприятия и снижению туристической привлекательности.

Заключение

Таким образом, особенность формирования туристических комплексов на территории заброшенных деревень Заонежья заключается в необходимости комплексного подхода, который предполагает рассматривать историко-архитектурную среду с позиций анализа ее современного состояния исторического становления и выявления возможных путей сохранения, воссоздания и развития.

Функциональная программа туристических комплексов должна строиться с учётом характерных для региона видов деятельности, культурной идентичности, «Духа места».

Библиографический список

1. В. Кефала, А. А. Химичёв. Концепция формирования производственно-рекреационного комплекса на территории оленеводческого хозяйства (на примере Яр-Сале). — Системные технологии. — 2024. — № 3 (52). — С. 175 – 180.
2. Стратегия развития туризма в России на период до 2035 года, утверждённая распоряжением Правительства РФ от 20 сентября 2019 года № 2129-р [Электронный ресурс] — URL: <http://static.government.ru/media/files/FjJ74rYOaVA4yzPAshEulYxmWSpB4lrM.pdf> (дата обращения 10.11.2025).
3. Стратегия социально-экономического развития Республики Карелия до 2030 года, утвержденная постановлением Правительства Республики Карелия от 29 декабря 2018 года № 899р-П. [Электронный ресурс] — URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/89a071c19798e94c3478014f01520cf4/proekt_RK.pdf?ysclid=mht542hd1t860735352 (дата обращения 10.11.2025).
4. Федеральная служба статистики назвала число турпоездов в Карелию в 2024 году [Электронный ресурс] — URL: <https://rk.karelia.ru/social/federalnaya-sluzhba-statistiki-nazvala-chislo-turpoezdok-v-kareliyu-v-2024-godu/> (дата обращения 10.11.2025).
5. Плотникова В. С., Глушанок Т. М. Современное состояние и прогнозирование основных тенденций развития туризма в Республике Карелия // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. №3.
6. Морозов А. А. Национально-территориальная идентичность как фактор развития туризма в регионе: топонимика и этнофутуризм в Карелии 2021. [Электронный ресурс] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalno-territorialnaya-identichnost-kak-faktor-razvitiya-turizma-v-regione-toponimika-i-etnofuturizm-v-karelii?ysclid=mht58atdgf319199057> (дата обращения 10.11.2025).
7. Незвицкая Т. В. К вопросу об эволюции подходов к сохранению памятников деревянного зодчества Место и функции сельского туризма в реализации концепции устойчивого развития. [Электронный ре-

супс] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-evolyutsii-podhodov-k-sohraneniyu-pamyatnikov-derevyannogo-zodchestva?ysclid=mht5cd7tgt832368176> (дата обращения 10.11.2025).

8. Незвицкая Т. В. Сохранение памятников деревянного культового зодчества в конце XIX – XXI вее на примере Заонежья Дис. на соиск. учен. степ. канд. арх. (2.1.11) — Санкт-Петербург, 2022. — 243 с.

9. Заонежье. Природа и путешествия — Текст: электронный // WikiKarelia: [Электронный ресурс] — URL: <https://wiki-karelia.ru/articles/priroda-i-puteshestviya/zaonezhe/#item2117> (дата обращения: 10.10.2025).

10. Хромов Ю. Б., Калюшин В. А. Организация зон отдыха и туризма на побережье Байкала. // Стройиздат, 1976 — С. 74–76.

11. Ушаков Ю. С. Ансамбль в народном зодчестве Русского Севера // Стройиздат. Ленинград. 1982. 170 с.

12. Шевченко Э. А. Об исторических поселениях, недвижимых объектах наследия и градостроительных проблемах охраны наследия // «Зодчий» Санкт-Петербург. 2018. 356 с.

13. Бергман А. В. Историко-архитектурная среда станицы Еланской в Ростовской области: перспективы сохранения и развития. — Системные технологии. — 2025. — № 1 (54). — С. 159–166.

ORGANIZATION OF TOURIST COMPLEXES ON THE TERRITORY OF HISTORICAL VILLAGES OF ZONEZHYE

O. V. Kefala

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg

Abstract

This article is a logical continuation of the issues discussed and published in Issue 3 [52] of this journal in 2024, which examined the possibility of using the unique territories inhabited by the indigenous peoples of the Far North for tourism purposes. [1] A previous study examined the possibility of organizing a recreational complex on the territory of a reindeer herding farm. A common factor in the sustainable development of northern territories is their involvement in tourism infrastructure. At the same time, there are certain differences in approaches to the formation of tourist complexes in these territories, as they have different natural landscapes, architectural, and cultural features.

The purpose of the study is to determine the specific features of organizing tourist complexes on the territory of traditional settlement of historical villages of the Russian North.

To achieve this goal, the following tasks must be solved:

- conduct a comprehensive analysis of the territory of the Zaonezhsky Peninsula to identify potential locations for tourist complexes;
- analyze historical methods of forming settlement plans in accordance with regional characteristics;
- identify the main types of historical functional landscapes;

The Keywords

Zaonezhsky Peninsula, tourism, historic villages, functional landscapes, theoretical model.

Date of receipt in edition

14.11.2025

Date of acceptance for printing

17.11.2025

- develop a theoretical model for the development of a tourism complex.

The solution method represents a comprehensive approach, including field and bibliographic research.

Ссылка для цитирования:

О. В. Кефала. Организация туристических комплексов на территории исторических деревень Заонежья. — Системные технологии. — 2025. — № 3 (56). — С. 161 – 166.

