

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Строительный факультет

СТРОИТЕЛЬСТВО И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
НАУКА И ПРАКТИКА

Материалы
Международной научно-технической конференции,
посвященной 105-летию строительного факультета БНТУ
22 - 23 мая 2025 г

Минск БНТУ 2026

Составители: Минич В.Ю., Ковшар С.Н.

Рецензент: Гречухин Владимир Александрович, зав. кафедрой
«Мосты и тоннели» БНТУ, к.т.н. доцент.

Издание включает

материалы международной научно-технической конференции,
посвященной 105-летию строительного факультета БНТУ.

Целью Международной научно-технической конференции: «Строительство и строительные технологии: наука и практика» является позиционирование БНТУ как платформы интеграции научных взглядов и производственного опыта по приоритетным направлениям развития строительного комплекса Республики Беларусь, науки и образования, обеспечивающих реализацию государственной политики инновационного развития.

Задачами данной конференции является:

- информационная поддержка научных исследований и разработок;
- содействие обмену опытом между учеными и специалистами строительной сферы, отраслевых институтов и вузов;
- организация открытой научной полемики, способствующей повышению качества научных исследований;
- содействие в продвижении научных разработок и более активном их внедрении;
- обсуждение актуальных вопросов развития строительного комплекса;
- привлечение молодых ученых и специалистов, студентов и аспирантов к научным исследованиям в сфере развития информационных технологий в строительстве.

© Белорусский национальный технический университет, 2026



Харитончик Сергей Васильевич

ректор БНТУ, председатель Международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию строительного факультета
«Строительство и строительные технологии: наука и практика»

«2025 год в Республике Беларусь объявлен Годом благоустройства. Этот год дает старт пятилетке качества и предусматривает комплекс мероприятий, направленных на создание и поддержание удобной, безопасной, современной и эстетически организованной среды жизнедеятельности людей. БНТУ всесторонне поддерживает данную инициативу, и поэтому в этом году совместно с нашими заказчиками кадров организует международную научно-практическую конференцию «Строительство и строительные технологии: наука и практика» с целью интеграции научных взглядов и производственного опыта по приоритетным направлениям развития отраслей народного хозяйства, науки и образования, обеспечивающих реализацию государственной политики инновационного развития.

Также 2025 год является юбилейным годом для Белорусского национального технического университета и строительного факультета, которые в декабре отпразднуют свое 105-летие.

Мы рады приветствовать на конференции представителей проектных и строительных организаций, с которыми у БНТУ сложились давние партнерские связи. Дальнейшее укрепление этих связей позволит обеспечить практико-ориентированность высшего образования, что важно для подготовки специалиста, который может сразу после студенческой скамьи активно влиться в работу и решать производственные задачи.»

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	
Каширипур М.М., Барсукова Д.Д.	8
ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СТРОИТЕЛЬСТВО ДОМОВ ИЗ ОТХОДОВ	
Каширипур М.М., Гордейчик Д.Н.	11
НАНОТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО	
Каширипур М.М., Казакевич В.А.	14
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: РЕВОЛЮЦИЯ В ИНДУСТРИИ	
Каширипур М.М., Коровкина А.В.	18
СЛОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Каширипур М.М., Кулевнич В.В.	20
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ	
Каширипур М.М., Николук В.А.	24
СТРОИТЕЛЬСТВО ДОМОВ НА 3D ПРИНТЕРЕ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	
Каширипур М.М., Русак В.С.	27
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Каширипур М.М., Цыбульская К.С.	31
МАШИНОЧИТАЕМЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ В BIM: АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА	
А. Г. Климович	33
ОПТИМИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ НА РАННИХ ЭТАПАХ	
КОНЬКОВ В.В.	36
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОГРАММ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО РАСЧЁТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Медведев Л. Ю., Дятко И.	40
СТРОИТЕЛЬСТВО СОЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КРЫШАХ СОВЕТСКИХ ВЫСОТОК	
Медведев Л. Ю.	43
ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ТЕХНОЛОГИЯМИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ	

Николукин А.Н., Печникова Е.А., Лисовский В.А.....	46
ПЛАН УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЕКТА КАК ИНСТРУМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
Пикус Д.М., Бушуева Е.В.....	49
ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ МЛАДШИХ КУРСОВ	
САДОВСКИЙ Ю.И., ШУБЕРТ И.М., ТЕЛЕШ Е.А.....	57
ПРЕДМЕТНЫЕ ОЛИМПИАДЫ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	
Садовский Ю.И., Щербина О.Н., Садовская Е.А.....	60
РОЛЬ РУЧНОГО ЧЕРТЕЖА В РАЗВИТИИ ИНТУИЦИИ И СПОСОБНОСТИ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	
Сазанчук Э.П., Дембицкая В.Ю.	64
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ: ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ	
Саноцкая Е. С.....	66
ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	
Судорева Г.Д.	70
ЭЛЕКТРОДОМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ОСОБЕННОСТИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА И ВЛИЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	
Хмель Е.В., Бирюкова А.А.	74
ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ПРЕПОДАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН СТУДЕНТАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ БНТУ	
Шуберт И.М., Садовский Ю.И., Телеш Е.А.....	77
THE MAIN ROLES OF BIM TECHNOLOGY IN REDUCING THE OVERALL COSTS OF CONSTRUCTION PROJECTS	
M.M.Kashiripoor, A.Y. Almaliki.....	84
APPLICATION OF RAMIE FABRIC IN INTERIOR DESIGN	
Fuqin Zhang, Xianpeng Wang, A.B.Мазаник.....	89

СЕКЦИЯ 2: СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Богущ Л.И., Бондарь В.В.....	95
ОБ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ» ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 7-07-0732-01	

«СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СОРУЖЕНИЙ» ПРОФИЛИЗАЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»	
Бондарь В.В., Рак Н.А., Шилов А.Е.	99
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ	
Бусел И.А.	102
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ	
Згировский А.И.	105
УСИЛЕНИЕ ДОЩАТОКЛЕЕННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕФЕКТАМИ В ВИДЕ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН	
Згировский А.И., Минчукова М.Е.	114
НОРМИРОВАНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ШВАМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	
Малахов Р. А.	123
СРАВНЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО МОНТАЖУ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА	134
Мордич И.И., Шевко В.В.	134
ПРОБЛЕМАТИКА ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	
Руденков А.В.	136
ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ОТМОСТКИ КЛЕПАНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ	
Строганова А.Д.	139
ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ	
Хотько А.А., Даниленко И.В., Делендик С.Н.	143
К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ МАСЛОЭКСТРАКЦИОННЫХ ЗАВОДОВ	
Шевко В.В.	152
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТНПА РБ	
Шилов А.Е., Гриб П.И.	154

СЕКЦИЯ 3: СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

О НАУЧНОЙ ШКОЛЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА	
Батяновский Э. И.	158
РАСЧЕТ КОМПОНЕНТОВ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПЛОТНЕНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ СУХОЙ СМЕСИ	
Брисюк Д.В., Овсяник В.Р., Батяновский Э.И., Зеленковская Ж.Л.	161
МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С АМОРФНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ	
Бугук Е.С., Гуриненко Н.С.	164
КОМБИНИРОВАННЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ БЕТОНА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	
Ван Цзылун, Снежков Д.Ю.	166
НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОНА В ОКРЕСТНОСТИ ПУСТОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ	
Вербицкая О.Л.	168
ИННОВАЦИОННЫЙ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Галузо О. Г., Вершеня Е. Г.	171
О РЕГИСТРАЦИИ ЭХО-ИМПУЛЬСА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ	
Крисковец А.Г., Снежков Д.Ю.	173
ВОЗМОЖНОСТЬ ЭКОНОМИИ ЦЕМЕНТА В БЕТОНЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА	
Осипюк Т.А., Федорович П.Л.	176
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ	
Повидайко В.Г.	178
ВЛИЯНИЕ ДОЗИРОВКИ ПОРОШКА АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ	
Селех И.О., Гуриненко Н.С., ...	180
ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ ТЕЛА СВАИ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ЭНЕРГИИ ЗОНДИРУЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСА	
Ян Чжици, Сюэ Яояо.	183
ENHANCEMENT OF CONCRETE DURABILITY WITH WATERBORNE ACRYLIC RESIN: A COMPREHENSIVE REVIEW	
Yu Zhou, Pei Zeng, Shaochun Li, Xianpeng Wang, Kovshar S.N., Tsyganov A.R.	185

Секция 1: Инновационные технологии в строительстве

УДК 69.04

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Каширипур М.М.¹, Барсукова Д.Д.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Статья рассматривает применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в современной строительной отрасли. Анализируются возможности использования ИИ для оптимизации ключевых этапов — от проектирования до завершения проектов. Особое внимание уделено таким направлениям, как машинное обучение, компьютерное зрение и обработка больших данных, которые помогают автоматизировать процессы, повысить качество строительства и снизить издержки. В тексте приводятся реальные кейсы успешного внедрения ИИ на строительных объектах, а также исследуются перспективы дальнейшего развития этой технологии в сфере строительства.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, строительная индустрия, современные технологии, строительство, строительная деятельность.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: MAIN DIRECTION AND DEVELOPMENT PROSPECTS

KashiripooR M.M.¹, Barsukova D.D.²

¹ Postdoc. of Architecture, Associate Professor,

Department of "Building Materials and construction Technology"

² student of civil engineering faculty

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The article examines the use of artificial intelligence (AI) technologies in the modern construction industry. Analyzed the possibilities of using AI to optimize key stages - from design to completion of projects. Particular attention is paid to such areas as machine learning, computer vision and big data processing, which help automate processes, improve construction quality and reduce costs. The text provides real cases of successful implementation of AI at construction sites, and also examines the prospects for further development of this technology in the construction industry.

Keywords: Artificial intelligence, construction industry, modern technologies, construction, construction activities.

Введение. Современные технологии стремительно меняют облик многих отраслей экономики, и строительство — одна из тех сфер, где влияние инноваций особенно заметно. Сегодня искусственный интеллект (ИИ) играет ключевую роль в оптимизации процессов проектирования, возведения зданий и управления строительными проектами [1]. Это позволяет значи-

тельно повысить эффективность работы, сократить затраты и минимизировать риски.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Искусственный интеллект активно трансформирует строительную отрасль, повышая эффективность, безопасность и снижая затраты. Вот ключевые направления и перспективы его развития:

Применение ИИ в проектировании. Одним из наиболее очевидных применений ИИ является автоматизация процесса проектирования. Современные системы автоматизированного проектирования (CAD), такие как Autodesk Revit и Bentley MicroStation, уже давно используют элементы искусственного интеллекта для ускорения и упрощения работы инженеров и архитекторов. Однако последние достижения в области машинного обучения позволяют выйти далеко за рамки простого черчения.

Например, программы на основе ИИ способны анализировать большие объемы данных, учитывать нормативные требования, климатические условия и даже предпочтения заказчика, чтобы предложить оптимальные решения. Такие системы могут автоматически создавать варианты проектов, выбирая наилучшие материалы, конструкции и планировки, исходя из заданных критериев эффективности и устойчивости.

Кроме того, ИИ помогает архитекторам визуализировать проекты еще до начала строительства [2]. С помощью технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) заказчики могут буквально прогуляться по будущему зданию, оценить его внешний вид и функциональность. Это не только улучшает взаимодействие между заказчиком и исполнителем, но и снижает вероятность ошибок на этапе реализации проекта.

Управление строительством с использованием ИИ. Управление строительными процессами — сложная задача, включающая координацию множества участников, контроль сроков и затрат, а также обеспечение безопасности на стройплощадке. Здесь ИИ тоже находит широкое применение [3].

Одной из перспективных технологий являются дроны с искусственным интеллектом. Они используются для мониторинга состояния строительных объектов, позволяя отслеживать прогресс работ в режиме реального времени. Дроны могут снимать видео и фотографии, анализировать данные и передавать их в центральную систему управления проектом. Это помогает оперативно выявлять отклонения от плана, оценивать качество выполненных работ и принимать корректирующие меры.

Также ИИ активно используется для прогнозирования рисков и планирования ресурсов. Машинное обучение позволяет анализировать исторические данные по аналогичным проектам, предсказывать возможные задержки, сбои в поставках материалов или проблемы с рабочей силой. Это

делает управление проектами более гибким и устойчивым к непредвиденным обстоятельствам.

Оптимизация производства строительных материалов. Производство строительных материалов — еще одна область, где ИИ оказывает значительное влияние. Например, использование машинного обучения для анализа состава бетона позволяет улучшить его прочность и долговечность. Специальные алгоритмы анализируют химические свойства компонентов, температуру окружающей среды и другие факторы, чтобы подобрать идеальную рецептуру смеси. Кроме того, ИИ применяется для автоматизации производственных линий. Роботы и интеллектуальные системы контроля качества помогают снизить количество брака, ускорить производство и уменьшить энергозатраты. Это особенно важно в условиях растущего спроса на экологически чистые и энергоэффективные здания.

Перспективы развития. Будущее строительства неразрывно связано с развитием искусственного интеллекта. Уже сегодня мы видим, как ИИ трансформирует традиционные подходы к работе в этой отрасли. Но впереди нас ждут еще более впечатляющие изменения.

Во-первых, ожидается дальнейшее развитие автономных строительных роботов. Эти машины смогут самостоятельно выполнять сложные операции, такие как кладка кирпича, сварка металлоконструкций или установка панелей. Это позволит существенно сократить сроки строительства и повысить безопасность рабочих.

Во-вторых, интеграция ИИ с технологиями интернета вещей (IoT) открывает новые возможности для мониторинга и обслуживания зданий после завершения строительства. Умные дома будут собирать данные о состоянии инженерных систем, температуре, влажности и других параметрах, передавая их в централизованные системы управления. Это поможет предотвратить аварии, продлить срок службы оборудования и обеспечить комфорт жильцов.

Наконец, стоит отметить, что внедрение ИИ требует значительных инвестиций в инфраструктуру и обучение персонала [4]. Но эти вложения окупаются многократно, поскольку повышают конкурентоспособность компаний, снижают затраты и улучшают качество конечного продукта.

ВЫВОДЫ

В настоящем времени искусственный интеллект становится неотъемлемой частью современного строительного процесса. От проектирования до эксплуатации зданий — ИИ предлагает множество решений, позволяющих сделать строительство быстрее, дешевле и эффективнее. Безусловно, переход на новый технологический уровень потребует времени и усилий, но результаты обещают быть впечатляющими. Строительство будущего — это строительство с искусственным интеллектом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каширипур М.М., Николук В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024;26(1):163-178 <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178>.
2. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
3. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24
4. Каширипур М. М. город метавселенной: определение и направление развития для градостроительства и архитектуры. Вестник Брестского государственного технического университета, (3(132), 2–10. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-2-10>

УДК 69.04

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СТРОИТЕЛЬСТВО ДОМОВ ИЗ ОТХОДОВ

Каширипур М.М.¹, Гордейчик Д.Н.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. *Современные экологические проблемы и рост стоимости строительных материалов стимулируют развитие технологий возведения зданий из переработанных отходов. Этот подход не только снижает нагрузку на окружающую среду, но и делает жилье более доступным.*

Ключевые слова: *вторичное сырье, отходы материалов, мусор, повторное использование отходов, технология строительства.*

Введение. Современный мир сталкивается с двумя глобальными вызовами: нехваткой доступного жилья и увеличением объёмов отходов. По мере роста населения планеты и урбанизации эти проблемы становятся всё более острыми. Однако современные технологии и инновационные подходы к строительству предлагают необычное, но перспективное решение — возведение домов из переработанных отходов [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Использование вторсырья в строительстве не только снижает затраты на материалы, но и способствует уменьшению экологического следа, со-

здавая замкнутый цикл потребления ресурсов. Такой подход идеально вписывается в концепцию устойчивого развития и «зелёного» строительства.

Какие отходы можно использовать в строительстве?

- **Пластик** — переработанный пластик используется для изготовления строительных блоков, изоляции, кровельных покрытий. Пластиковые кирпичи обладают высокой прочностью и водостойкостью.

- **Стекло** — дроблёное стекло добавляется в бетон, создавая прочный и визуально привлекательный строительный материал.

- **Металл** — остатки металлических конструкций, алюминиевые банки, проволока могут быть переплавлены или использованы повторно в несущих элементах.

- **Резина** — переработанные автомобильные шины применяются для создания звукоизоляции, упрочнённых полов и дорожных покрытий.

- **Строительный мусор** — кирпич, бетон, гипсокартон с уже разобранных объектов перерабатываются в новые стройматериалы.

Особый интерес вызывают **инновационные технологии**, позволяющие соединять различные виды отходов в комбинированные панели или блоки, обладающие высокой теплоизоляцией и устойчивостью [2].

Примеры успешных проектов

1. Дом из пластиковых бутылок в Колумбии

Один из самых известных проектов — строительство домов из пластиковых бутылок, наполненных песком. Эти «экокирпичи» выдерживают вес зданий в один-два этажа, имеют отличную теплоизоляцию и устойчивы к землетрясениям. В Колумбии построено более 50 таких домов (Рис.1).



Рис.1. Пример дом из пластиковых бутылок в Колумбии

2. Earthship — автономные дома

В США и Европе набирают популярность дома Earthship, возводимые из автомобильных шин, банок, стеклянных бутылок и глины. Эти дома полностью автономны: используют солнечную энергию, имеют системы сбора воды и переработки отходов (Рис.2).



Рис.2. Пример дом Earthship в США

Проблемы и вызовы

Несмотря на значительный прогресс, использование отходов в строительстве сталкивается с рядом сложностей:

- **Нормативные ограничения** — не все строительные нормы допускают использование вторсырья, особенно в жилых домах.
- **Отсутствие инфраструктуры переработки** — особенно остро эта проблема стоит в развивающихся странах.
- **Необходимость тестирования** — чтобы использовать новые материалы, требуется их сертификация и проверка на безопасность.

Перспективы и будущее

Строительство из отходов — это не просто тренд, а важный шаг к устойчивому будущему [3]. Государства и частные компании инвестируют в исследования, открывают заводы по переработке, создают международные стандарты «зелёного» строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инновации в строительстве открывают перед человечеством уникальные возможности. Использование отходов в качестве строительных материалов не только решает экологические проблемы, но и делает жильё доступнее, устойчивее и адаптивнее к климатическим изменениям. Это пример того, как устойчивые технологии могут формировать лучшее будущее — экологичное, справедливое и инновационное.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
2. Каширипур, М. М. Инновации в строительстве: строительство домов из отходов = Innovations in construction: construction of houses from waste / М. М. Каширипур, И. В. Кухарева // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] :

сборник материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й международной научно-технической конференции БНТУ "Наука – образованию, производству и экономике" и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4-5 мая 2022 г. / редкол.: О. С. Голубова [и др.] ; сост. Н. А. Пашкевич. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 100-103.

3. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24

УДК 69.04

НАНОТЕХНОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО

Каширипур М.М.¹, Казакевич В.А.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Статья посвящена применению нанотехнологий в современной строительной отрасли, раскрывая их потенциал для создания инновационных материалов и повышения эффективности строительных процессов. Авторы рассматривают ключевые направления, такие как разработка нанобетона с улучшенными механическими свойствами, самоочищающихся покрытий на основе диоксида титана, а также теплоизоляционных материалов, таких как аэрогель. Особое внимание уделено умным стеклам с нанопокрывом, способным адаптироваться к внешним условиям, и антибактериальным покрытиям, повышающим гигиеничность зданий.

Ключевые слова: нанотехнологии, строительство, наноматериалы, энергоэффективность, умные здания, экологическая устойчивость.

Введение. Современное строительство стремительно развивается благодаря внедрению инновационных технологий. Одним из наиболее перспективных направлений является использование нанотехнологий, которые позволяют создавать материалы с улучшенными свойствами, повышать энергоэффективность зданий и увеличивать их долговечность. Нанотехнологии открывают новые горизонты в проектировании и строительстве, делая его более экологичным и экономичным. Нанотехнологии представляют собой область науки и техники, занимающуюся манипуляцией с материалами на наноуровне, то есть на уровне атомов и молекул [1]. Эти технологии находят применение в различных сферах, включая медицину, электронику и энергетику. Однако одной из самых перспективных областей применения нанотехнологий является строительство. В данной

статье мы рассмотрим, как нанотехнологии могут изменить подход к строительству, улучшить качество материалов и повысить эффективность строительных процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Нанотехнологии активно внедряются в строительную отрасль, предлагая решения для повышения прочности, энергоэффективности, долговечности и экологичности материалов. Их применение охватывает как новые разработки, так и модернизацию традиционных технологий.

Основные направления применения нанотехнологий являются: нанобетон и самоочищающиеся покрытия, теплоизоляционные наноматериалы, умные стекла с нанопокрывом, антибактериальные и антикоррозийные покрытия.

Перспективы нанотехнологий в строительстве

Обзор многочисленной литературы показывает следующие перспективы развития нанотехнологий в строительстве:

1. Самовосстанавливающиеся материалы

Ученые разрабатывают материалы, способные автоматически "залечивать" трещины. Например, в бетон добавляют микрокапсулы с полимерами или бактерии, которые активируются при повреждении и заполняют пустоты, восстанавливая структуру материала [2, 3].

2. Энергогенерирующие строительные материалы

Интеграция «нанофотоэлементов» в фасады и кровли зданий позволит превращать их в источники возобновляемой энергии. Уже сегодня существуют прозрачные солнечные панели на основе квантовых точек, которые можно встраивать в окна.

3. 3D-печать с наноматериалами

Развитие «3D-печати» в сочетании с нанотехнологиями открывает возможность создания сложных строительных конструкций с заданными свойствами. Например, использование нанокompозитов в 3D-принтерах позволяет печатать легкие, но сверхпрочные элементы зданий.

снизить количество брака, ускорить производство и уменьшить энергозатраты. Это особенно важно в условиях растущего спроса на экологически чистые и энергоэффективные здания.

Наноматериалы: Преимущества и возможности

Одним из ключевых аспектов применения нанотехнологий в строительстве является разработка новых наноматериалов. Эти материалы обладают уникальными свойствами, которые значительно превосходят традиционные строительные материалы. Например, нанокompозиты могут быть более прочными и легкими, чем обычные бетонные или стальные конструкции. Это позволяет уменьшить вес зданий и снизить затраты на их фундамент [4, 5].

Кроме того, наноматериалы могут обладать улучшенными теплоизоляционными свойствами. Использование таких материалов позволяет зна-

чительно сократить расходы на отопление и кондиционирование воздуха, что делает здания более энергоэффективными. Например, наноизоляторы могут обеспечить лучшую защиту от теплопотерь по сравнению с традиционными изоляционными материалами.

Устойчивость и долговечность. Нанотехнологии также способствуют повышению устойчивости строительных материалов к внешним воздействиям. Например, добавление наноразмерных частиц в бетон может значительно увеличить его устойчивость к коррозии и воздействию химических веществ. Это особенно важно для зданий, расположенных в агрессивных климатических условиях или вблизи промышленных зон.

Кроме того, использование наноматериалов может увеличить срок службы конструкций. Например, специальные покрытия на основе наночастиц могут защищать поверхности от ультрафиолетового излучения и механических повреждений. Это снижает необходимость в частом ремонте и замене материалов, что в свою очередь уменьшает затраты на обслуживание зданий.

Умные здания и автоматизация. Нанотехнологии также открывают новые горизонты для создания "умных" зданий. С помощью наноразмерных сенсоров можно создать системы мониторинга состояния конструкций в реальном времени [6]. Эти сенсоры способны отслеживать изменения температуры, влажности и других параметров, что позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы и предотвращать аварии.

Кроме того, интеграция нанотехнологий с другими современными технологиями, такими как Интернет вещей (IoT), может привести к созданию более эффективных систем управления зданиями. Например, системы автоматического регулирования температуры могут адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды благодаря данным от наноразмерных датчиков.

Экологические аспекты. Применение нанотехнологий в строительстве также имеет положительное влияние на экологическую устойчивость отрасли. Использование более легких и прочных материалов позволяет сократить количество ресурсов, необходимых для строительства. Это снижает углеродный след строительства и уменьшает воздействие на окружающую среду [7].

Кроме того, многие наноматериалы разрабатываются с учетом принципов устойчивого развития. Например, существуют биodeградируемые наноразмерные покрытия для защиты древесины от гниения или вредителей. Такие решения способствуют снижению использования токсичных химикатов в строительстве.

ВЫВОДЫ

Нанотехнологии кардинально меняют строительную отрасль, предлагая новые решения для повышения прочности, энергоэффективности и экологичности зданий. В ближайшие годы можно ожидать появления "ум-

ных" городов, где строительные материалы будут обладать функциями самовосстановления, энергогенерации и адаптации к окружающей среде.

Внедрение нанотехнологий не только улучшит качество строительства, но и сделает его более устойчивым и экономически выгодным.

Несмотря на все преимущества, внедрение нанотехнологий в строительство требует дальнейших исследований и разработок. Необходимо учитывать не только технические аспекты, но и экономические факторы, а также вопросы безопасности для здоровья человека и окружающей среды. Тем не менее будущее строительства с использованием нанотехнологий выглядит многообещающим и способно изменить облик городов по всему миру.

Таким образом, нанотехнологии – это не просто будущее строительства, а его настоящее, которое уже сегодня трансформирует подходы к проектированию и возведению зданий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Короткевич А.В., Лещинский Н.В. Применение наноматериалов в современном строительстве // Вестник Белорусского национального технического университета. Серия "Строительство и архитектура". – 2023. – № 3(215). – С. 45–52.
2. Морозов Д.В., Жукова Л.В. Перспективы внедрения нанотехнологий в дорожном строительстве Беларуси // Вестник БНТУ. Серия "Транспортные коммуникации". – 2024. – № 1(112). – С. 62–68.
3. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
4. Кравцова А.П. Экономическая эффективность использования наноматериалов в строительстве // Строительная наука и техника. – 2023. – № 2(45). – С. 28–34.
5. Петрушкевич В.Р., Сидоренко Е.А. Нанотехнологии в производстве строительных композитов // Наука и техника. – 2022. – № 12. – С. 34–40.
6. Каширипор М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24
7. Гурский П.И. Наноматериалы для энергоэффективного строительства // Архитектура и строительство. – 2023. – № 4(287). – С. 18–25.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: РЕВОЛЮЦИЯ В ИНДУСТРИИ

Каширипор М.М.¹, Коровкина А.В.²

¹Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

²Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Статья рассматривает аспекты и влияние искусственного интеллекта (ИИ) в строительной отрасли, который оптимизирует процессы на всех этапах — от подготовки документации до автоматизации работ. Применение ИИ, включая предиктивную аналитику, моделирование и роботов, значительно снижает затраты, повышает безопасность и улучшает качество проектов. Инновационные решения и технологии ИИ способны комплексно преобразовать работу строительных компаний, делая процессы более эффективными и безопасными.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, современное строительство, автоматизация в строительстве, строительная деятельность.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: REVOLUTIONISING THE INDUSTRY

Kashiripoor M.M.¹, Korovkina A.V.²

¹Postdoc. of Architecture, Associate Professor,

Department of "Building Materials and construction Technology"

²Student of civil engineering faculty

Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The article examines the aspects and impact of artificial intelligence (AI) in the construction industry, which optimizes processes at all stages, from documentation preparation to work automation. The application of AI, including predictive analytics, modeling and robots, significantly reduces costs, increases safety and improves the quality of projects. Innovative solutions and AI technologies can comprehensively transform the work of construction companies, making processes more efficient and safer.

Keywords: Artificial Intelligence, modern construction, automation in construction, construction activities.

Введение. Сегодня искусственный интеллект (ИИ) стал важнейшим инструментом, способствующим оптимизации процессов во множестве отраслей, среди которых сельское хозяйство, промышленность, медицина, искусство и, безусловно, строительство.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Строительная отрасль стоит на пороге цифровой трансформации, где искусственный интеллект (ИИ) становится ключевым драйвером эффективности, безопасности и инноваций. К 2030–2040 годам ИИ полностью изменит подход к проектированию, строительству и эксплуатации зданий.

Внедрение ИИ в строительные процессы. Применение ИИ в строительстве начинается с подготовки документации для получения разрешений, что зачастую вызывает трудности у застройщиков. ИИ ускоряет процесс, упрощая подготовку заявок, как демонстрирует приложение Buildsmart AI [1]. Технологии ИИ также автоматизируют закупки материалов, анализируя потребности и сокращая затраты, и помогают выбирать площадки с соблюдением норм безопасности. Внедрение ИИ улучшает рутинные задачи и повышает продуктивность, а дроны создают точные 3D-модели, снижая вероятность ошибок.

Инновационные приложения и системы ИИ в строительстве. Многочисленные компании разрабатывают приложения, способные изменить строительную отрасль. Например, Katerra создала платформу на основе ИИ для управления проектами, что снижает затраты на материалы на 10-15%. Российская группа компаний «Самолёт» использует роботов с ИИ для сканирования местности, создавая 3D-модели за 12 минут вместо 72 часов, требуемых человеку. Британская nPlan применяет ИИ для анализа данных прошлых проектов, прогнозируя качественные проблемы. Система Builddots использует 360-градусные камеры на касках работников для сбора данных, которые нейросеть анализирует и сообщает менеджерам о ходе работ.

Роботизированные системы в строительстве. Работающие на основе ИИ, роботы такие как SAM (Semi-Automated Mason) способны укладывать до 3000 кирпичей за смену, что значительно превосходит возможности традиционных рабочих и приводит к сокращению сроков выполнения проектов. Роботизированная система Hadrian X, разработанная компанией Fastbrick Robotics, автоматизирует процесс кладки кирпичей с высокой степенью точности, что не только ускоряет работу, но и снижает затраты.

Перспективы искусственного интеллекта в строительстве. Специалисты ожидают, что автоматизация в строительстве улучшит качество и снизит затраты. В будущем возможны автономные строительные площадки с ИИ, контролирующим все этапы проекта. Например, система Smartvid.io анализирует видео с камер для выявления опасностей [3], а компания Built Robotics разрабатывает автономные экскаваторы и бульдозеры, ускоряющие процессы и уменьшающие риски для работников [4].

Однако внедрение ИИ связано с рисками: неисправности и кибератаки могут требовать вмешательства человека, что снижает автономность. Нехватка квалифицированных специалистов и вопросы конфиденциальности данных также являются проблемами. Автоматизация может уменьшить рабочую силу, но ИИ может способствовать обучению сотрудников через индивидуализированные планы повышения квалификации.

ВЫВОДЫ

С внедрением искусственного интеллекта будущее строительной отрасли выглядит многообещающе. Ожидается, что ИИ сыграет ключевую роль в развитии «умных городов», где здания и инфраструктура будут вза-

имосвязаны, что повысит качество жизни и устойчивость городских сред. Такие экосистемы смогут оптимизировать энергопотребление, автоматически регулируя освещение и отопление по условиям присутствия людей и погоды.

Искусственный интеллект — это не просто очередной технологический тренд, а мощный инструмент, меняющий подход к строительству на всех этапах — от проектирования до эксплуатации. Его применение открывает новые горизонты эффективности, устойчивости и безопасности. Именно поэтому можно уверенно утверждать: ИИ — это настоящая революция в строительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каширипур М.М., Николук В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024;26(1):163-178 <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178>.
2. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
3. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24
4. Каширипур М. М. город метавселенной: определение и направление развития для градостроительства и архитектуры. Вестник Брестского государственного технического университета, (3(132), 2–10. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-2-10>

УДК 69.04

СЛОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Каширипур М.М.¹, Кулевнич В.В.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Внедрение искусственного интеллекта в строительную отрасль — это сложный, но перспективный процесс. Преодоление существующих барьеров требует совместных усилий от бизнеса, государства и научного сообщества. В статье рассматриваются основные направления применения искусственного интеллекта (ИИ) в строительстве и обсуждаются сложности внедрения ИИ в строительство в настоящее время.

Ключевые слова: искусственный интеллект, строительство, проектирование, автоматизация, безопасность, энергосбережение.

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) — это современные компьютерные технологии, которые помогают людям анализировать данные, принимать решения и автоматизировать процессы. Искусственный интеллект (ИИ) становится неотъемлемой частью многих отраслей, и строительство не является исключением. В последние годы Искусственный Интеллект (ИИ) начали активно внедряться в строительный сектор, что позволяет значительно повысить эффективность, безопасность и качество строительных процессов [1]. В строительстве ИИ может использоваться для проектирования, планирования, контроля качества, безопасности и управления строительными машинами. Несмотря на все преимущества, внедрение ИИ в строительную отрасль происходит медленно и сталкивается с рядом трудностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Что такое ИИ в строительстве? Это когда компьютеры или программы помогают людям на стройке: планируют работы, следят за безопасностью, управляют техникой, считают расходы, прогнозируют сроки и т.д. [2] Основные направления применения искусственного интеллекта в строительстве является: проектирование и планирование, управление строительными процессами, безопасность на стройплощадках, обслуживание и эксплуатация зданий.

Сложность внедрения ИИ в строительство

Основные сложности внедрения ИИ а строительство является:

1. Каждая стройка уникальна: в отличие от заводов, где процессы повторяются, каждая стройка имеет свои особенности: разное место, климат, материалы, рабочая сила [3]. Это усложняет работу ИИ, ведь его нужно обучать заново для каждого объекта.

2. Недостаток данных: ИИ работает на основе анализа больших объёмов данных. На стройках часто всё ведётся вручную или в устаревших программах. Не хватает цифровой информации, которую можно было бы использовать для обучения ИИ.

3. Малое количество специалистов: чтобы ИИ заработал, нужны специалисты, которые понимают и строительство, и технологии. Таких людей пока мало. Рабочим и инженерам также нужно учиться новым цифровым инструментам.

4. Высокая стоимость: разработка и внедрение ИИ-систем требует больших вложений: нужно оборудование, программное обеспечение, обучение персонала. Не все компании могут себе это позволить.

5. Отсутствие чётких правил: если ИИ допустит ошибку и произойдёт авария, непонятно, кто будет отвечать: человек, использовавший систему, или её разработчик. Это юридически не урегулировано.

Внедрение искусственного интеллекта в строительную отрасль открывает огромные возможности, но сталкивается с рядом серьёзных сложностей.

Вот основные из них:

1. Технологические барьеры

- Нехватка качественных данных:
 - Разрозненные источники информации
 - Низкое качество исторических данных
 - Отсутствие стандартизированных форматов
- Ограничения существующих алгоритмов:
 - Сложность обработки неструктурированных данных (чертежи, фотоотчеты)
 - Проблемы адаптации ИИ-моделей к уникальным строительным объектам.

2. Организационные сложности

- Сопротивление персонала:
 - Неготовность сотрудников работать с новыми технологиями
 - Страх автоматизации и потери рабочих мест
 - Консерватизм отрасли
- Управленческие проблемы:
 - Отсутствие digital-стратегии у многих компаний
 - Слабая координация между подрядчиками и заказчиками
 - Недостаток квалифицированных кадров для внедрения ИИ.

3. Экономические факторы

- Высокие первоначальные инвестиции:
 - Затраты на оборудование и ПО
 - Необходимость модернизации ИТ-инфраструктуры
 - Дорогостоящее обучение персонала
- Неочевидность быстрой окупаемости:
 - Длительный срок внедрения
 - Сложность количественной оценки эффективности.

4. Нормативно-правовые ограничения

- Отсутствие регулирования:
 - Неясный правовой статус решений, принятых ИИ
 - Проблемы сертификации автоматизированных систем
 - Вопросы ответственности за ошибки алгоритмов
- Проблемы безопасности данных:
 - Уязвимость кибербезопасности
 - Конфиденциальность персональных данных.

5. Отраслевая специфика

- Высокая вариативность условий:
 - Уникальность каждого строительного проекта
 - Зависимость от погодных и геологических факторов
- Физические ограничения:
 - Сложности интеграции с существующим оборудованием
 - Проблемы работы в экстремальных условиях стройплощадок.

Пути преодоления сложностей

1. Поэтапное внедрение - начинать с пилотных проектов
2. Государственная поддержка - субсидии и налоговые льготы
3. Партнерства с tech-компаниями - совместные R&D проекты
4. Подготовка кадров - программы переобучения строителей
5. Разработка отраслевых стандартов - унификация данных и процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в строительную отрасль трансформирует все этапы — от проектирования до эксплуатации объектов, создавая основу для умных, безопасных и устойчивых городов будущего.

ИИ переопределяет строительную отрасль, делая её быстрее, безопаснее и экологичнее [4]. Однако ключ к успеху — не слепое внедрение технологий, а их гармоничная интеграция с человеческим потенциалом. Будущее принадлежит компаниям, которые видят в ИИ не замену, а партнёра, расширяющего границы возможного.

Несмотря на существенные сложности, внедрение ИИ в строительство неизбежно. Компании, которые смогут преодолеть эти барьеры, получат значительное конкурентное преимущество в ближайшие 5-10 лет. Ключ к успеху - системный подход и поэтапная цифровая трансформация.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каширипур М.М., Николук В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024;26(1):163-178 <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178>.
2. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
3. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроитель-

ство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24

4. Каширипур М. М. город метавселенной: определение и направление развития для градостроительства и архитектуры. Вестник Брестского государственного технического университета, (3(132), 2–10. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-2-10>

УДК 69.04

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Каширипур М.М.¹, Николюк В.А.²

¹ канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² магистрант строительного факультета

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Ежедневный прогресс строительной индустрии в применении и внедрении современных технологий в свою среду позволяет улучшить качество ведения строительного бизнеса. В данной статье рассматриваются актуальные принципы применения технологии искусственного интеллекта в современных реалиях ведения строительной деятельности. Использование описанной технологии в строительной индустрии позволяет ускорить обширное количество процессов и способствует более качественному выполнению поставленных задач.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, строительный бизнес, строительная индустрия, современные технологии, строительство, прогресс, строительная деятельность.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Annotation. The daily progress of the construction industry in the application and implementation of modern technologies into its environment makes it possible to improve the quality of running construction businesses. This article examines current principles for applying artificial intelligence technology in the modern realities of construction activities. The use of the described technology in the construction industry helps accelerate a wide range of processes and contributes to higher-quality task completion.

Keywords: Artificial intelligence, construction business, construction industry, modern technologies, construction, progress, construction activities.

Введение. Ежедневное развитие и внедрение инновационных технологий в строительную индустрию позволяет наладить большое количество процессов, затраты на которые, как физические, так и финансовые, зачастую приводят к значительным потерям со стороны компании. Посредством внедрения технологии искусственного интеллекта в строительную индустрию появилась возможность упростить и ускорить различные виды

работ. При этом повысилось их конечное качество, что заставило научно-исследовательский мир взглянуть на среду инновационных технологий с другой стороны. Благодаря вкладу частных энтузиастов, учёных и специалистов в развитие технологии искусственного интеллекта в строительной сфере, появляется возможность выделить наиболее актуальные и востребованные интеграции рассматриваемой инновации с уже зарекомендовавшими себя технологиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Согласно опубликованным научно-исследовательским статьям Каширипура М.М. и Николюка В.А. определённые строительные сферы связаны с одним из направлений искусственного интеллекта – видеоаналитический метод [1]. Учитывая данную информацию, возникает мнение, что рассматриваемая технология имеет узкую направленность в строительной индустрии, но согласно трудам Колчина В.Н.: Строительная отрасль имеет широкие возможности для применения машинного обучения и искусственного интеллекта [2]. Изучив экспертное мнение, связанное с непосредственным применением и внедрением рассматриваемой технологии в строительную отрасль, Ильин А.В. и Владимиров Н.В. утверждают: искусственный интеллект можно применить на уровне проектирования, на уровне строительства, на уровне мониторинга безопасности, на уровне визуализации решений [3]. Согласно изученной информации, внедрение и эксплуатация искусственного интеллекта в строительной сфере способствует улучшению экономических показателей компаний, фирм, организаций, применяющих данную технологию на практике. Помимо экономически выгодных условий эксплуатации, искусственный интеллект способен улучшить качество соблюдения техники безопасности работниками на строительной площадке, тем самым сократив высокие показатели производственных травм [4]. Таким образом, складывается логический вывод, что искусственный интеллект способен занять практически любую из направленностей строительной отрасли за счет своего потенциала, что в свою очередь подтверждается мнением Гурбанова Ы., Бяшимова П., Эркаевой А., Атаева Д.: Использование искусственного интеллекта в строительстве имеет огромный потенциал и может значительно улучшить процессы проектирования, строительства и управления объектами [5, 6].

ВЫВОДЫ

Согласно изученным научно-исследовательским трудам экспертов и частных энтузиастов, следует вывод, что искусственный интеллект находится на первоначальной стадии развития. Несмотря на это, данная технология успела зарекомендовать себя с положительной стороны, демонстрирую высококачественное выполнение поставленных задач с улучшением временных показателей, что в совокупности приводит к положительному росту финансовой части строительного бизнеса. Помимо экономически выгодных условий для компаний, фирм, организаций, технология искус-

ственного интеллекта способствует контролю соблюдения техники безопасности, тем самым влияя на уменьшение количества производственных травм на строительных площадках. Подытожив, следует упомянуть экспертное мнение, суть которого заключается в том, что у рассматриваемой инновации имеется огромный потенциал, грамотное использование и применение которого поспособствует развитию строительной индустрии и приведёт человечество к новому этапу промышленной революции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каширипур М.М., Николюк В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024;26(1):163-178 <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178>.
2. Колчин В. Н. СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА» В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // Инновации и инвестиции. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve> (дата обращения: 20.03.2025).
3. А В. Ильин, Н В. Владимиров ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // Вестник магистратуры. 2022. №4-2 (127). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve> (дата обращения: 21.03.2025).
4. Колчин В. Н. СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА» В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // Инновации и инвестиции. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-primeneniya-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve> (дата обращения: 23.03.2025).
5. Гурбанов Ы., Бяшимов П., Эркаева А., Атаев Д. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // Символ науки. 2024. №4-1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-stroitelstve-1> (дата обращения: 25.03.2025).
6. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 2) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №3. - С. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОМОВ НА 3Д ПРИНТЕРЕ: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Каширипур М.М.¹, Русак В.С.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Статья рассматривает инновации в строительстве с использованием 3D-принтеров, подчеркивая их преимущества, такие как снижение затрат, ускорение процесса возведения зданий и экологичность. Описывается принцип работы 3D-принтеров, их роль в проектировании и строительстве домов, а также проблемы, с которыми сталкивается эта технология, включая трудности с масштабируемостью и регуляторные барьеры. В заключение, рассматриваются перспективы развития 3D-печати в строительной отрасли и ее потенциальное влияние на будущее жилищного строительства.

Ключевые слова: 3Д печать, строительная индустрия, современные технологии, строительство, строительная деятельность.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: MAIN DIRECTION AND DEVELOPMENT PROSPECTS

KashiripooR M.M.¹, Rusak V.S.²

¹ Postdoc. of Architecture, Associate Professor,

Department of "Building Materials and construction Technology"

² student of civil engineering faculty

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The article examines innovations in construction using 3D printers, emphasizing their advantages, such as cost reduction, acceleration of the construction process, and environmental friendliness. It describes how 3D printers work, their role in the design and construction of homes, as well as the challenges this technology faces, including difficulties with scalability and regulatory barriers. In conclusion, the prospects for the development of 3D printing in the construction industry and its potential impact on the future of housing construction are considered.

Keywords: 3D printing, construction industry, modern technologies, construction, construction activity.

Введение. С развитием технологий и науки человечество становится свидетелем значительных преобразований в различных отраслях. Строительство не стало исключением: инновации в этой сфере позволяют создавать более безопасные, экономичные и экологичные здания. Одной из таких инноваций является использование 3D-принтеров для возведения домов. Эта технология обещает революционизировать строительный процесс, делая его быстрее, дешевле и более доступным. В этой статье рассмотрим, как

3D-принтинг применяется в строительстве, его преимущества и перспективы развития.

Принцип работы 3D-принтера в строительстве

Принцип работы 3D-принтера в строительстве основывается на аддитивном методе, который заключается в послойном нанесении материала для формирования объекта [1]. В отличие от традиционных методов строительства, при которых материалы вырезаются или удаляются из основного объекта, 3D-печать позволяет создавать конструкции с минимальными отходами. Это достигается за счет точного нанесения материала слой за слоем [2, 3].

Для печати зданий используются различные материалы, включая бетон, специальные смеси с добавками, а также другие инженирированные материалы, которые могут быть адаптированы к особенностям конкретных условий и задач. Важно, что принтеры могут использовать материал с высокой прочностью, что делает готовые здания долговечными и устойчивыми к внешним воздействиям.

Преимущества строительства с использованием 3D-принтеров:

1. **Снижение затрат:** одним из основных преимуществ использования 3D-принтеров является значительное снижение стоимости строительства. Традиционные строительные методы требуют большой рабочей силы, использования специализированной техники и множества материалов, что приводит к высокой стоимости строительства. 3D-принтинг, в свою очередь, требует минимальных затрат на рабочую силу, поскольку процесс автоматизирован. Это позволяет значительно сократить не только время, но и расходы на возведение зданий.

2. **Скорость строительства:** в традиционном строительстве возведение дома занимает несколько месяцев, а иногда и лет. В случае с 3D-принтерами процесс значительно ускоряется. Принтеры могут напечатать стены дома за несколько дней, что позволяет сократить время на строительство в несколько раз. Например, в 2017 году в Дубае был напечатан дом за 17 дней, что является рекордом в области строительных инноваций.

3. **Экологичность:** 3D-печать является экологически более чистым методом строительства по сравнению с традиционными методами. Процесс печати минимизирует отходы, а используемые материалы могут быть переработаны. Кроме того, благодаря точности нанесения слоев, можно использовать меньше ресурсов для достижения требуемой прочности и надежности конструкции.

4. **Персонализация и гибкость дизайна:** с помощью 3D-принтера можно легко создавать уникальные архитектурные решения, которые были бы труднодоступны с помощью традиционных методов строительства. Процесс позволяет проектировать здания с высоко детализированными и нестандартными формами, что дает архитекторам широкие возможности для реализации своих идей. Возможность легко вносить изменения в проект

и адаптировать его под нужды заказчика открывает новые горизонты в строительной отрасли.

5. **Минимизация человеческих ошибок:** поскольку процесс автоматизирован, человеческие ошибки, такие как неточности при расчете или при строительстве, становятся менее вероятными. Это повышает качество и надежность конечного продукта. Кроме того, принтеры могут работать в экстремальных условиях, таких как пустыни или в местах с ограниченным доступом к традиционным строительным ресурсам, что делает эту технологию особенно привлекательной для строительства в отдаленных регионах.

Проблемы и вызовы использования 3D-принтеров в строительстве

Несмотря на множество преимуществ, технология 3D-печати в строительстве сталкивается с рядом проблем и вызовов, которые необходимо преодолеть для ее широкого внедрения.

1. **Проблемы с масштабируемостью:** хотя технологии 3D-печати быстро развиваются, большинство принтеров на сегодняшний день могут создавать только небольшие или средние по размеру объекты. Печать больших многоквартирных домов или целых жилых комплексов требует разработки новых, более мощных и высокоскоростных устройств. Поэтому пока речь идет лишь о строительстве отдельных домов или малых объектов.

2. **Материалы и их доступность:** для печати зданий необходимы специальные строительные материалы, которые должны быть не только прочными, но и экологичными. В настоящее время разработка таких материалов находится на стадии активных исследований. Стоимость новых смесей и их доступность также является важным фактором, влияющим на коммерческую привлекательность технологии.

3. **Юридические и регуляторные вопросы:** технология 3D-принтинга в строительстве сталкивается с юридическими и регуляторными барьерами. В большинстве стран пока не существует четко разработанных стандартов для таких объектов. Законодательство часто отстает от технических новшеств, что делает процесс сертификации и получения разрешений на строительство с использованием 3D-принтеров сложным.

4. **Проблемы с трудовой занятостью:** хотя 3D-принтинг снижает стоимость строительства, он также может снизить потребность в рабочей силе, что, в свою очередь, может повлиять на традиционную строительную индустрию. Это вызовет необходимость переподготовки работников и создания новых рабочих мест в сфере разработки и эксплуатации 3D-принтеров.

Перспективы и будущее 3D-печати в строительстве

Будущее строительства с использованием 3D-принтеров выглядит многообещающе. Уже сегодня технологические гиганты и стартапы работают над улучшением и масштабированием принтеров, что позволяет с каждым годом увеличивать скорость и точность строительства [4]. В ближайшие десятилетия можно ожидать, что 3D-печать станет неотъемлемой частью

строительства, особенно в таких областях, как быстрое возведение жилья, строительство в труднодоступных регионах и создание экологически чистых и энергоэффективных зданий.

В частности, перспектива использования 3D-принтеров в строительстве для создания домов в развивающихся странах или на территориях, пострадавших от стихийных бедствий, кажется особенно актуальной [4]. В этих условиях быстрая постройка доступных и устойчивых домов может сыграть ключевую роль в улучшении жизни людей.

Заключение

Использование 3D-принтеров в строительстве домов представляет собой одно из самых захватывающих и перспективных направлений в современной строительной индустрии. Хотя технология еще не достигла стадии массового применения, она уже показывает значительные преимущества по сравнению с традиционными методами. С развитием технологий и материалов, а также с решением ряда текущих проблем, связанных с масштабируемостью, экологичностью и регуляцией, строительство с использованием 3D-принтеров, вероятно, станет основным методом возведения зданий в будущем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
2. Каширипур М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения технологий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24
3. Каширипур М. М. город метавселенной: определение и направление развития для градостроительства и архитектуры. Вестник Брестского государственного технического университета, (3(132), 2–10. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-2-10>
4. Каширипур, М. М. Новые тенденции и инновации в строительстве: строительство с помощью 3D принтера = New trends and innovations in construction: building with a 3D printer / М. М. Каширипур, С. Б. Гарагозов // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] : сборник материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й международной научно-технической конференции БНТУ "Наука – образованию, производству и экономике" и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4-5 мая 2022 г. / редкол.: О. С. Голубова [и др.] ; сост. Н. А. Пашкевич. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 94-99.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Каширипор М.М.¹, Цыбульская К.С.²

¹ Канд. архитектуры, постдокторский исследователь, доцент.

² Студент Строительного Факультета

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматриваются направления применения искусственного интеллекта (ИИ) в строительстве: проектирование, автоматизация процессов, безопасность, энергосбережение. Выявлены преимущества и проблемы внедрения ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, строительство, проектирование, автоматизация, безопасность, энергосбережение.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: MAIN DIRECTION AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Kashiripoor M.M.¹, Tsybulskaya K.S.²

¹ Postdoc. of Architecture, Associate Professor,

Department of "Building Materials and construction Technology"

² student of civil engineering faculty

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The article discusses the applications of artificial intelligence (AI) in construction, focusing on design, process automation, safety, and energy saving. The advantages and challenges of AI implementation are identified.

Keywords: artificial intelligence, construction, design, automation, safety, energy saving.

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) в последние годы активно внедряется в различные отрасли, включая строительство. Его применение в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий открывает новые возможности для повышения эффективности, безопасности и качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Искусственный интеллект (ИИ) активно внедряется в строительную отрасль, оптимизируя процессы, повышая безопасность и снижая затраты. Вот ключевые направления применения ИИ в строительстве:

Применение ИИ в проектировании. ИИ помогает автоматизировать рутинные процессы проектирования, такие как расчёты и анализ материалов. Программы на базе ИИ могут моделировать поведение строительных материалов в различных условиях, что минимизирует ошибки и повышает точность расчётов. Это также способствует созданию "умных" зданий, которые автоматически регулируют параметры, такие как температура и освещённость [1].

Автоматизация строительства. ИИ улучшает процессы на строительных площадках, включая использование дронов для аэрофотосъемки и мониторинга прогресса. Роботы и 3D-принтеры помогают ускорить строительство, повышая точность и снижая затраты. Применение этих технологий позволяет строить быстрее и с меньшими затратами, что важно для крупных и сложных объектов.

Управление строительными проектами. Для эффективного управления проектами ИИ может анализировать данные о выполнении аналогичных проектов, предсказывая риски и перерасходы бюджета [2]. Системы ИИ помогают автоматизировать распределение ресурсов и следить за прогрессом строительства в реальном времени, что сокращает временные затраты и снижает вероятность ошибок.

Обеспечение безопасности. Безопасность на строительных площадках также улучшилась с внедрением ИИ. Камеры и сенсоры могут отслеживать соблюдение стандартов безопасности, сигнализировать о нарушениях, например, отсутствии средств защиты. ИИ анализирует потенциальные риски и предсказывает возможные аварийные ситуации, что позволяет уменьшить количество несчастных случаев [3].

Энергоэффективность и устойчивое строительство. ИИ активно используется для оптимизации энергопотребления в зданиях. Системы, управляемые ИИ, контролируют отопление, вентиляцию и освещение, снижая эксплуатационные расходы и способствуя более экологичному строительству.

Проблемы внедрения ИИ

Основными проблемами внедрения ИИ являются высокая стоимость технологий и потребность в обучении специалистов. Малые и средние компании не всегда могут позволить себе такие вложения. Также требуется адаптация существующих процессов и стандартов под новые технологии [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИИ в строительстве позволяет значительно повысить эффективность, безопасность и качество работы. Однако для массового внедрения требуется значительное инвестирование в технологии и обучение специалистов. В будущем роль ИИ в строительной отрасли будет только расти.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каширипор М.М., Николюк В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024;26(1):163-178 <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178>.
2. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // Urban construction and architecture. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
3. Каширипор М.М. Технологии четвертой волны в строительстве и архитектуре: от идеи до реализации (часть 3: примеры применения техно-

логий четвертой волны в строительстве и архитектуре) // Градостроительство и архитектура. - 2024. - Т. 14. - №4. - С. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24

4. Каширипур М. М. город метавселенной: определение и направление развития для градостроительства и архитектуры. Вестник Брестского государственного технического университета, (3(132), 2–10. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-2-10>

УДК 69:004

МАШИНОЧИТАЕМЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ В BIM: АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

А. Г. Климович

ВIM-менеджер ООО «ПассатПроект»

Аннотация. Статья посвящена проблеме перевода текстовых строительных нормативов в машиночитаемый формат для интеграции с BIM-технологиями. Особое внимание уделяется критическому анализу неудачного опыта РФ по внедрению национального классификатора, где ключевой проблемой стала чрезмерная сложность системы кодирования, ведущая к субъективным ошибкам специалистов. Автор предлагает поэтапный подход: разработку упрощённого и логичного классификатора элементов и атрибутов, а затем использование современных LLM (Large Language Models) для автоматизации перевода норм в цифровые правила. Основной вывод: без универсальной классификации строительной информации автоматизация экспертизы BIM-моделей невозможна.

Ключевые слова: BIM, машиночитаемые нормативы, классификатор, LLM, автоматическая экспертиза.

Введение. Цифровизация строительной отрасли в рамках внедрения BIM-технологий требует перевода нормативных документов в машиночитаемый формат. Это позволяет автоматизировать экспертизу проектной документации, сократить сроки реализации инвестиционных проектов и повысить качество строительства

Однако опыт России показывает, что создание единой системы классификации строительной информации (КСИ) сопряжено с рядом проблем: сложность структуры, низкая интеграция с международными стандартами и технические ограничения XML-формата.

Республика Беларусь имеет возможность избежать этих ошибок, внедрив упрощённый классификатор, гармонизированный с ISO 19650, и используя LLM для автоматизации процессов.

Классификатор строительной информации (КСИ) в России: структура и цели

КСИ, разработанный под эгидой Минстроя России, представляет собой информационный ресурс, объединяющий 21 классификационную таблицу и более 22 000 элементов. Он разделён на четыре блока:

1. Результат — целевые параметры объектов капитального строительства (ОКС), включая зоны, помещения и функциональные системы.
2. Процесс — этапы жизненного цикла ОКС (проектирование, строительство, эксплуатация).
3. Ресурс — информация о строительных материалах, трудовых и вспомогательных ресурсах.
4. Характеристики — параметры, применимые ко всем группам данных

КСИ стал основой для формирования государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД РФ). Его ключевая цель — обеспечение интероперабельности данных между BIM-моделями и другими информационными системами через стандартизованную разметку нормативных документов в формате XML. Например, требования СанПиН, размеченные элементами КСИ, позволяют автоматически проверять соответствие проектных решений санитарным нормам.

Проблемы КСИ в России: опыт и ошибки

Несмотря на амбициозные цели, внедрение КСИ столкнулось с рядом вызовов:

1. Сложность системы кодирования.
КСИ требует высокой квалификации специалистов для корректной разметки нормативных документов. Субъективные интерпретации приводят к ошибкам, например, некорректному сопоставлению требований с элементами ИМ. По данным ФАУ «ФЦС», только в 2023 году было внесено более 1800 исправлений в классификатор
2. Недостаточная интеграция с международными стандартами.
Хотя КСИ частично гармонизирован с общероссийскими классификаторами (например, ОКС), он остаётся изолированным от международных систем, таких как ISO 12006-3. Это затрудняет обмен данными с зарубежными партнёрами
3. Технические ограничения XML-формата.
Машиночитаемые документы, созданные на основе КСИ, часто содержат избыточные теги, что усложняет их обработку системами автоматического анализа. Например, разметка требований из СанПиН включает до 10 уровней вложенности, что снижает производительность программного обеспечения
4. Низкая вовлечённость экспертов.
Апробация КСИ проводилась в формате видеоконференций с ограниченным кругом участников, что не позволило в полной мере учесть мнения представителей отрасли.

Автоматизация экспертизы: механизмы и преимущества

Перевод нормативных документов в машиночитаемый формат открывает возможность автоматизированной экспертизы проектных решений. Процесс работает следующим образом:

1. Требования нормативных документов (например, СанПиН или СНиП) размечаются элементами классификатора и сохраняются в XML-формате.
2. BIM-модель загружается в систему, где атрибуты её элементов (например, расстояние до детской площадки) автоматически сопоставляются с нормативными параметрами.
3. Алгоритм проверяет соответствие и выдаёт отчёт с выявленными несоответствиями

Этот подход демонстрирует значительные преимущества:

- Сокращение времени экспертизы на 40–60% за счёт исключения ручной проверки.
- Повышение точности за счёт устранения субъективных интерпретаций норм.
- Интеграция с системами управления проектами (ИСУП), что позволяет оперативно корректировать решения на основе результатов экспертизы

Например, в России при тестировании XML-документов на основе КСИ удалось автоматически проверить 85% требований СанПиН, связанных с планировкой жилых зданий. Однако 15% случаев потребовали ручного вмешательства из-за некорректной разметки элементов КСИ.

Дополнительные преимущества машиночитаемых норм

Помимо автоматизации экспертизы, перевод норм в цифровой формат обеспечивает:

1. Улучшение межсистемной интеграции.
Машиночитаемые документы позволяют объединить BIM, ERP-системы и государственные информационные платформы (например, ГИСОГД РФ), создавая единую экосистему данных
2. Повышение прозрачности и контроля.
Цифровые нормы обеспечивают полную трассируемость требований от проекта до эксплуатации, что снижает риски коррупции и ошибок проектирования.
3. Поддержку устойчивого развития.
Автоматизированный анализ энергоэффективности и экологичности решений становится возможен благодаря параметризации требований (например, нормативов по CO₂-эмиссиям)
4. Снижение затрат на проектирование.
По оценкам экспертов, внедрение SMART-стандартов может сократить расходы на этапе проектирования на 15–20% за счёт раннего выявления конфликтов и оптимизации ресурсов.

Рекомендации для Республики Беларусь: построение эффективной системы классификации

На основе анализа ошибок России предложены следующие меры для Беларуси:

1. Упрощение структуры классификатора.

Вместо многоуровневых таблиц КСИ рекомендуется использовать плоскую структуру с минимальной вложенностью. Например, можно разделить элементы по категориям: «Здание», «Коммуникации», «Технологии». Это снизит вероятность субъективных ошибок при кодировании

2. Интеграция с международными стандартами.

Для обеспечения интероперабельности необходимо адаптировать классификатор под ISO 19650 и IFC-формат, широко применяемый в мире. Это упростит обмен данными с международными подрядчиками

3. Автоматизация разметки с помощью LLM.

Современные языковые модели могут значительно ускорить перевод текстовых норм в машиночитаемый формат. Обучив модель на уже размеченных документах КСИ, можно достичь точности разметки до 90%, минимизируя ручную работу

4. Открытая платформа для апробации.

Создание открытой платформы, где специалисты смогут тестировать классификатор, предлагать изменения и получать обратную связь в реальном времени. Это повысит качество системы за счёт коллективного участия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Машиночитаемые нормы становятся основой цифровой трансформации строительной отрасли. Однако их успешное внедрение напрямую зависит от качества классификатора строительной информации. Ошибки РФ в создании КСИ (сложная структура, отсутствие гармонизации) служат важным уроком для Республики Беларусь. Только через разработку упрощённого, международно-совместимого классификатора и использование технологий LLM для автоматизации разметки можно достичь полной цифровизации норм и автоматизации экспертизы.

УДК 69.001

ОПТИМИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ НА РАННИХ ЭТАПАХ

Коньков В.В., кандидат технических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной статье на основе анализа мировой инженерной практики в части воздействия комплекса факторов жизненного цикла зданий формулируется задача создания методологии оптимизации последующих стадий функционирования зданий от проектирования и возведения до эксплуатации и завершения его существования с

последующей утилизацией. Предлагаются пути решения этой задачи с использованием комбинированного подхода или комплексного анализа нескольких критериев.

Ключевые слова. Жизненный цикл здания, ранние этапы жизненного цикла, интеллектуализация зданий, стоимость владения зданиями, комбинированный подход.

Жизненный цикл здания – это поступательный процесс от появления идеи о целесообразности и необходимости строительства этого здания до его проектирования и возведения, эксплуатации и последующей утилизации. При этом анализ существующей мировой и отечественной инженерной практики показывает, что затраты на эксплуатацию здания более чем в 10 раз превышают затраты на его строительство. Т.е. особую значимость приобретает такой параметр, как «стоимость владения зданием».

В этой связи особую значимость приобретает работа на ранних этапах жизненного цикла, на которых предопределяется инженерная и экономическая эффективность реализации последующих этапов [1,2]. В частности, на этих этапах могут быть приняты оптимальные концептуальные решения по инженерному оборудованию объекта. В результате становится возможной поступательная оптимизация различных этапов развития объекта во времени, в том числе за счет применения систем интеллектуализации зданий [3] и в целом системы «Умный город» [4].

Ранние этапы планирования играют решающую роль для определения будущих характеристик здания на протяжении всего жизненного цикла — здесь потенциал оптимизации по-прежнему очень велик при очень низких затратах. На последних этапах планирования возможность изменений существенно уменьшается с одновременным увеличением затрат. Однако строительная отрасль сталкивается с проблемой, которая присуща и другим отраслям производства при принятии ответственных решений: на ранних этапах планирования не хватает информации, данных и инструментов. Поэтому инвесторы, проектировщики, подрядчики и специалисты по планированию все чаще нуждаются в инструментах планирования для принятия решений, которые позволили бы моделировать и оптимизировать затраты всех видов ресурсов на разных стадиях жизненного цикла уже на ранних этапах планирования.

В данной статье проведена попытка анализа имеющейся мировой и отечественной практики в области различных подходов к расчету стоимости жизненного цикла и выявлении их пригодности на ранних этапах реализации проекта. В частности, в начальный период исследований накапливается массив информации по эксплуатируемым зданиям, зданиям, подготовленным к выводу из эксплуатации, а также демонтируемым, с последующей утилизацией полученных вторичных ресурсов для повторного использования как в строительстве, так и в других отраслях экономики.

При этом анализ следует начинать с одного, наиболее распространенного типа зданий с примерно одинаковыми размерами и функциональным назначением, со сходными объемно-планировочными и конструктивными

решениями и природными условиями. Это позволит более точно выявить влияние факторов и решений, реализуемых на ранних этапах осуществления проекта, на сроки и стоимость предпроектной стадии, включая согласования с собственником участка, с контрольными и надзорными органами.

Полученные закономерности затем могут быть пошагово распространены на другие типы зданий после анализа их жизненных циклов и проведения углубленного анализа получаемых результатов с учетом решений, принятых на ранних стадиях.

Должно быть также учтено расположение анализируемых зданий (Минск, столичный регион, областные и районные центры, сельская местность). При этом учитывается стоимость владения зданием, развитость транспортных коммуникаций и инженерных сетей, социальной инфраструктуры (например, расположение торгового объекта не на пути движения людей от станции метрополитена к жилому массиву, а на некотором удалении, может существенно снизить эффективность и прибыльность его функционирования на протяжении жизненного цикла). На привлекательность объекта также существенно влияет его расположение вблизи рекреационных зон.

На стадиях возведения, эксплуатации и ремонта здания, а также на стадии его сноса и утилизации потребляется энергия и ресурсы, в том числе трудовые, а также финансовые средства на протяжении всего жизненного цикла, определяя экономический и экологический эффект. Вопрос доступности строительства и стоимости владения зданием приобретает все большее значение в контексте устойчивого развития. Таким образом, акцент при планировании постепенно смещается с принятия решений, основанных исключительно на стоимости строительства, на стоимость жизненного цикла.

Ранние этапы планирования (программный подход и прединвестиционная стадия) играют решающую роль для будущих характеристик здания на протяжении всего жизненного цикла — здесь потенциал оптимизации практически не ограничен при низких затратах [5]. Ранние этапы реализации проекта определяют до 80% эксплуатационных расходов здания, учитывая и экологическую составляющую. На последующих этапах планирования возможность изменения быстро уменьшается с одновременным увеличением затрат. Эксплуатационные расходы многократно превышают затраты на строительство и зависят от качества возведения, интенсивности использования и типа здания, а также от предполагаемой продолжительности эксплуатации. Комплексный подход к планированию на ранних стадиях, включающий расчет ожидаемых организационных и экономических параметров жизненного цикла с последующей их оптимизацией, позволит существенно снизить эксплуатационные затраты.

ВЫВОДЫ

1. Прогнозирование затрат на всех стадиях реализации проекта - это многовариантная задача с большим числом влияющих факторов и сложным взаимодействием между ними. Это не позволяет на данном этапе создать всеобъемлющую методику ее решения для всего спектра строительных объектов и возводящих их строительных организаций.

2. В то же время эта задача все равно должна решаться, т.к. современный потребитель строительной продукции (зданий и сооружений различного назначения), все чаще проявляет интерес не столько к стоимости возведения объектов, сколько к стоимости владения ими на протяжении всего их жизненного цикла.

3. Наиболее целесообразным на данном этапе представляется накопление массива данных по сопоставимой стоимости всех стадий реализации однотипных проектов отдельными заказчиками в т.ч. девелоперскими фирмами.

4. Из-за большого влияния факторов с высокой степенью неопределенности (изменение цен на строительные материалы и изделия, используемые при ремонте и техническом обслуживании зданий, изменение стоимости тепловой и электрической энергии, региональные особенности) необходимо оценивать дополнительные аспекты, такие как социальные и экологические воздействия, с использованием комбинированного подхода или комплексного анализа нескольких критериев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Floegl, H., Specific life-cycle cost indicators and design recommendations for life-cycle cost optimized buildings, *Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems* – Strauss, Frangopol & Bergmeister (Eds), Taylor & Francis Group, London, 2013.

2. Bogenstätter, U., Prediction and optimization of life-cycle costs in early design, *Building Research & Information*, Vol. 28, Issue 5-6, pp 376-386, 2000.

3. Коньков В.В. Интеллектуализация зданий и сооружений // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2014. - № 3. – С. 32-36.

4. Концепция «Умный город»: научно-практические аспекты: монография / О.С.Голубова, В.П.Грахов, Е.В.Грахова [и др.]; под общ. ред. А.В.Губерта. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, 2021. – 224 с.

5. Hofer, G., Herzog, B. and Grim M., Calculationg life cycle costs in the early design phase to encourage energy efficient and sustainable buildings, *Energy Efficiency First: The Foundation of a Low-Carbon Society*, ECEEE 2011 Summer Study, 2011.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОГРАММ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО РАСЧЁТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Медведев Леонтий Юрьевич, магистр, ассистент
кафедры «Геотехника и строительная механика» строительного факультета
Белорусского национального технического университета.
Дятко Илья, специалист по 3D печати

Целью данной статьи является предложение варианта нового способа проектирования несущих строительных конструкций зданий и сооружений, более упрощённого, по сравнению со стандартными способами, но в основном применимом для экспериментального строительства.

Ключевые слова. Несущие элементы, строительство, железобетон, АБС пластик, акрилонитрилбутадиенстирол, моделирование, расчёт, НДС, 3D печать, конструкции, здания, сооружения.

Современные технологии позволяют произвести печать пластмассовой детали за минуты, часы, дни, в зависимости от геометрических характеристик модели, свойств материала и возможностей 3D принтера. В 3D печати наиболее распространён АБС пластик (акрилонитрилбутадиенстирол).

Естественной особенностью 3D печати являются поддержки, которые при стандартных настройках образуются при наклоне плоскости модели более 45° , а в связи с их «молниеносной» встройкой в модель вверх от поверхности закрепления - это наилучший вариант образования «опор» будущей конструкции (рисунок 1). Угол плоскостей под которыми будут образованы поддержки можно менять.

Таким образом создав модель объёмных элементов в любой доступной программе по 3D моделированию (рисунок 2), и получив файл модели в формате *.stl, *.stp, *.step, *.obj (форматы могут различаться в зависимости от необходимого для конкретного 3D принтера) образовать поддержки конструкции здания/сооружения. То есть, имея объёмную модель перекрытий здания/сооружения в программе по 3D печати можно получить варианты несущих конструкций для данных перекрытий, естественно оптимизировав их в соответствии с необходимой конфигурацией и расходом материалов (рисунок 3).

После того как совместная модель «поддержки-объёмные элементы конструкции здания/сооружения» получена, её можно экспортировать в один из верифицированных программных комплексов по расчёту напряжённо-деформируемого состояния, например MIDAS GTS NX, и произвести расчёт. А ввиду того, что пластмасса и железобетон рассчитываются по линейно-упругой, либо упругопластической моделям, то, в теории, к

ним можно применить одинаковые допущения, используя лишь поправочные коэффициенты пересчёта с пластика на железобетон и обратно.

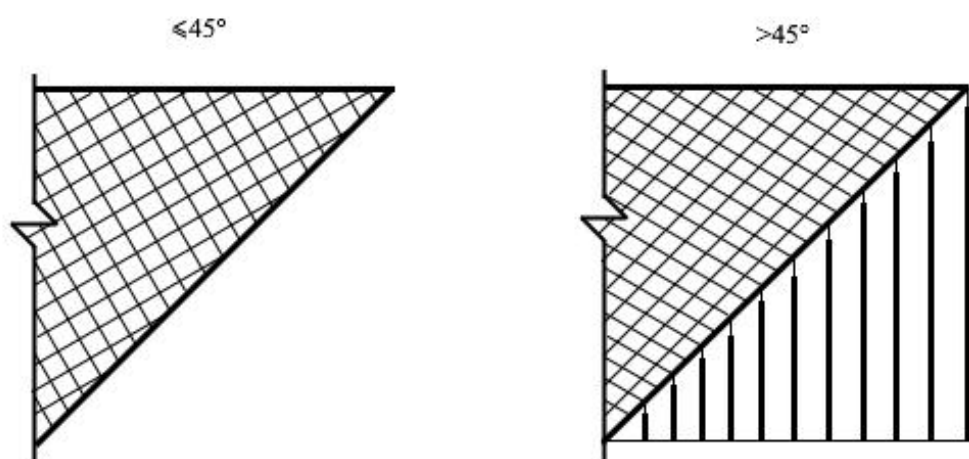


Рис. 1. Наглядное изображение углов при которых образуются поддержки.

При подготовке к печати объёмной модели существуют следующие виды поддержек:

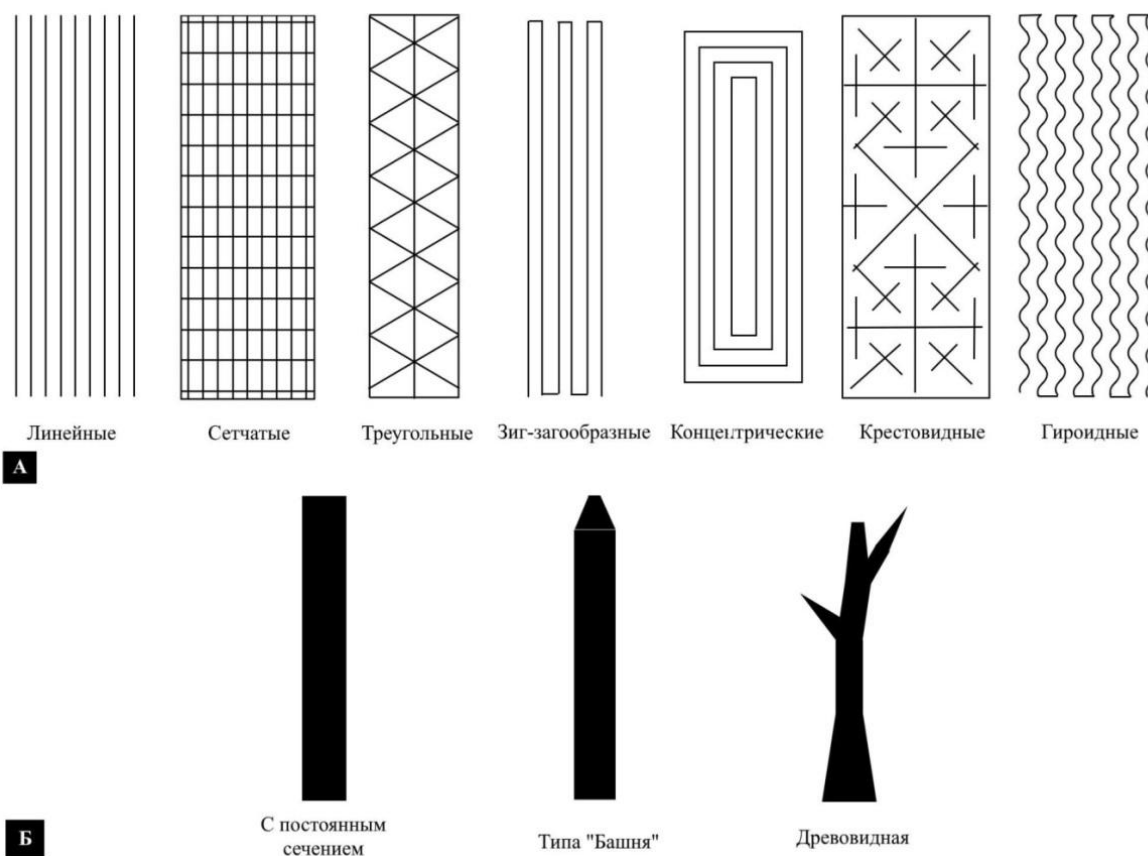


Рис.2. Виды поддержек: А - по виду в плане;
Б - по виду в продольном разрезе.

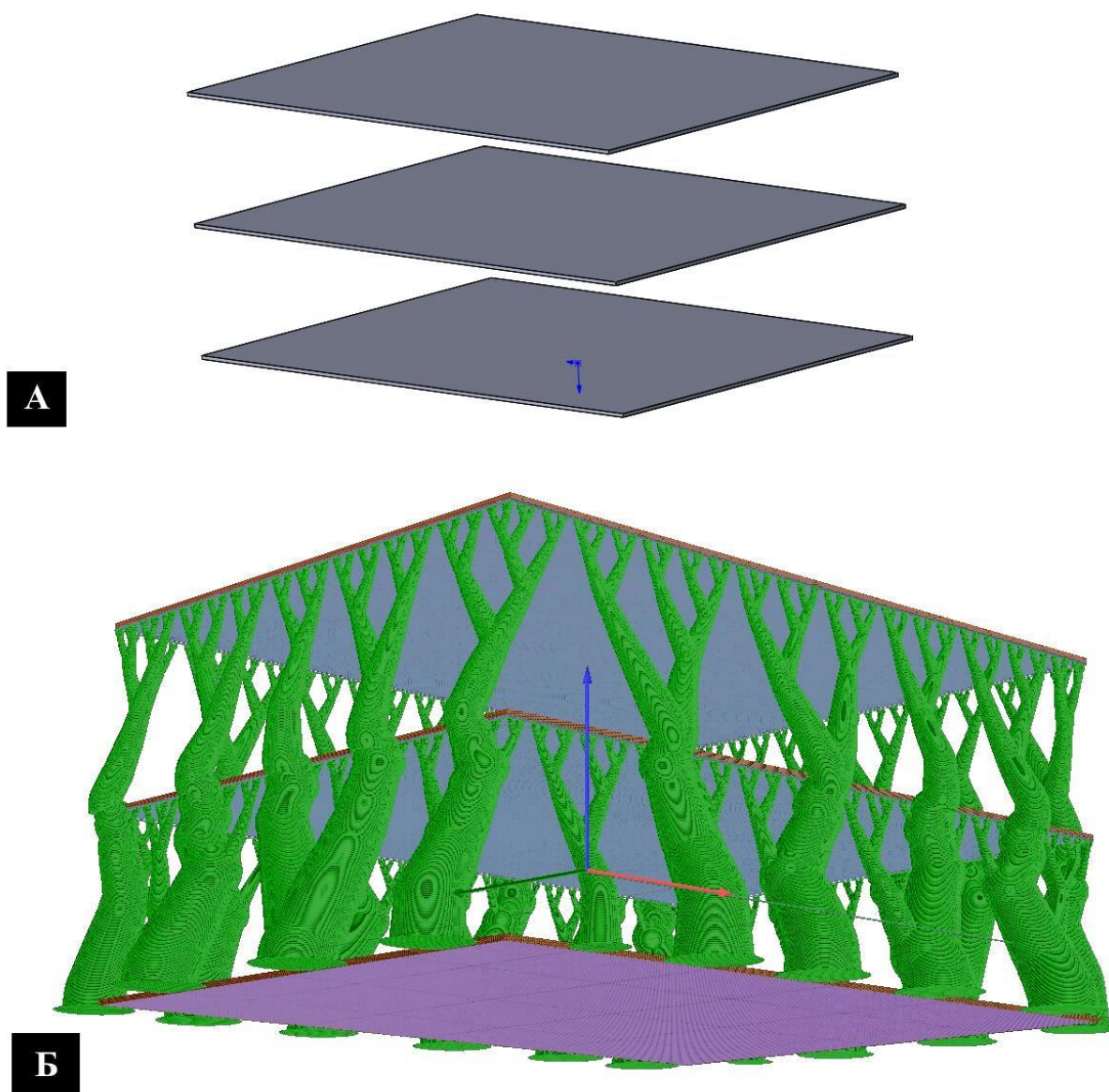


Рис. 3. Модели:
 А - объёмная перекрытий, подготовленная для экспорта на печать;
 Б - совместная «поддержки-объёмные элементы конструкции здания/сооружения».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. MIR 3D. 3D печать без границ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: mir3d.by/cat/plastik-dlya-fdm-3d-pechat/abs – Дата доступа: 26.04.2025.
2. Цветной мир. Продажа 3D оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: cvetmir3d.ru/blog/news/3d-pechat-s-podderzhkami-kak-nastroit-dlya-uspeshnogo-rezultata/ – Дата доступа: 26.04.2025.

СТРОИТЕЛЬСТВО СОЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КРЫШАХ СОВЕТСКИХ ВЫСОТОК

Медведев Леонтий Юрьевич, магистр, ассистент
кафедры «Геотехника и строительная механика» строительного факультета
Белорусского национального технического университета.

Целью данной статьи является предложение строительства социальных объектов на крышах зданий, построенных в СССР, проекты которых изначально предусматривали похожее строительство.

Ключевые слова. Строительство, стекло, моделирование, конструкции, здания, сооружения, витамин D, солнечные ванны, бассейн, растения, зелёная крыша, здоровье.

В Беларуси количество солнечных дней варьируется от 20 до 35 в году, в связи с этим, у большинства жителей республики наблюдается D-гиповитаминоз (у 73,7 % женщин и 61,7 % мужчин - по данным исследований), а это значит, что есть необходимость в принятии естественных солнечных ванн во время не летних периодов года.

Как ни странно во времена советского союза были примеры, когда в летнее время на крышах советских высоток организовывались сады на крышах, и принятие солнечных ванн. Таким примером могут послужить высотки напротив Национальной библиотеки Республики Беларусь, спроектированных заслуженным архитектором БССР, академиком Белорусской академии архитектуры Сыроевым Георгием Васильевичем в 70е года прошлого века.

Для данного проекта можно использовать кварцевое стекло, которое практически не имеет светопоглощения, что наиболее подходит для внешнего периметра социального объекта. Таким образом солнечный свет будет почти полностью проходить не задерживаясь стекломатериалом.

Используя нейросеть Leonardo.ai по созданию изображений, используя данные «промты» на английском языке: View from a rectangular filled swimming pool, lined with blue tiles, around which there are white sun loungers, behind which grow beautiful European summer plants, the entire room is covered with a rectangular thin dome of transparent glass, through which clouds and bright sun are visible, которые в переводе означает «Вид из прямоугольного наполненного бассейна, облицованного голубой плиткой около которого стоят белые шезлонги, за которыми растут красивые европейские летние растения, всё помещение накрыто прямоугольным тонким куполом из прозрачного стекла, через которого видны облака и яркое солнце» было создано изображение почти полностью удовлетворяющее задуманному социальному объекту (рисунок 1).

На рисунках 2 и 3 представлена концепция зданий с визуализированными социальными объектами на крышах зданий, смоделированные с использованием программы 3D моделирования Blender.



Рис. 1. Общая концепция социального объекта

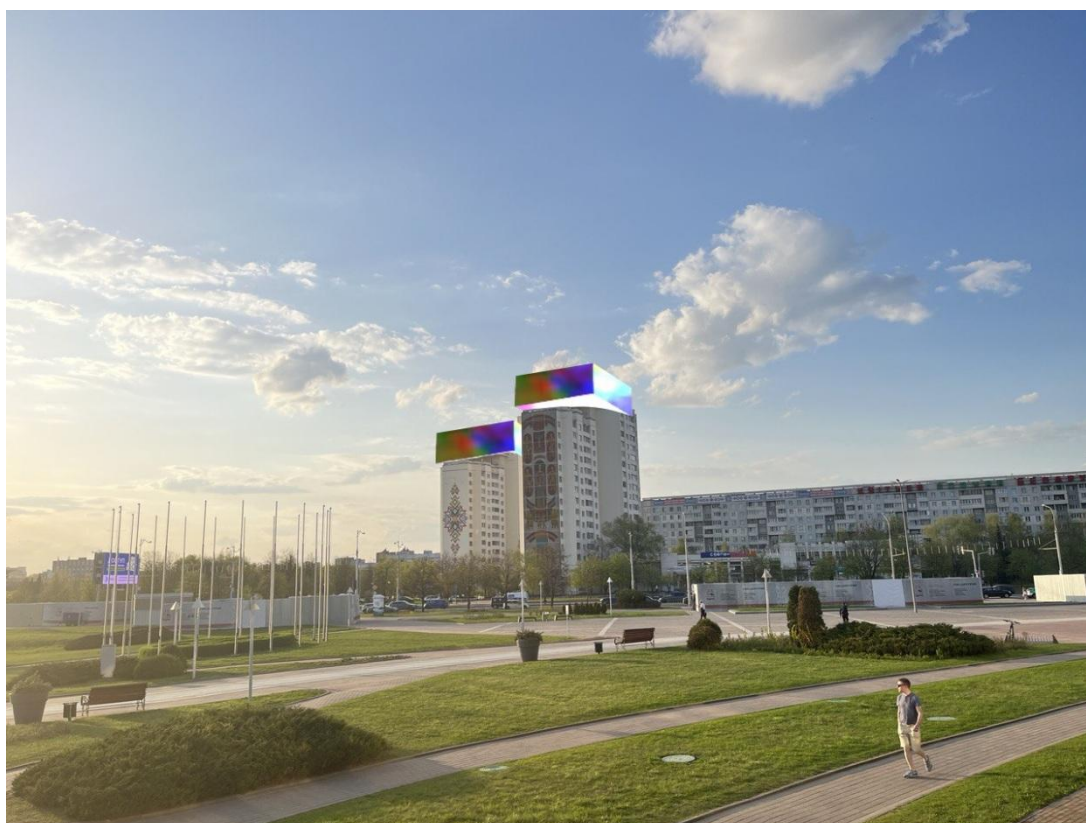


Рис. 2. Общий вид зданий на проспекте

*будет отличаться ввиду прозрачности стекла, и его меньшей толщины, и нюансов конструкции



Рис. 3. Общий вид итоговых зданий на проспекте

*будет отличаться ввиду прозрачности стекла, и его меньшей толщины, и нюансов конструкции

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР «ГОРИЗОНТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: horizont-med.by/novosti/vrach-jendokrinolog-o-deficite-vitamina-d-u-detej-i-vzroslyh – Дата доступа: 30.04.2025;
2. beurer здоровье и благополучие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://beurer-belarus.by/reviews/akademiya-zdorovya-beurer/v-belarusi-slishkom-malo-solnechnykh-dney-kak-s-etim-borotsya-s-pomoshchyu-neobychnogo-svetilnika> – Дата доступа: 30.04.2025.
3. Стекольная компания «Приоргласс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: priorglass.ru/stat-i/kvartsevoe-steklo-svoystva-primenenie-i-osobennosti/ – Дата доступа: 30.04.2025.

ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ТЕХНОЛОГИЯМИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Николюкин А.Н., канд. техн. наук, старший преподаватель

Печникова Е.А., студент

Лисовский В.А., магистрант

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

Аннотация: Рассмотрена интеграция машинного обучения (ML) с технологиями информационного моделирования зданий. Подчёркнута роль ML как основы интеллектуальных систем, обеспечивающих динамическое управление строительными объектами на всех этапах жизненного цикла. Представлены конкретные примеры и сценарии использования интегрированных цифровых платформ, позволяющих оптимизировать эксплуатацию и повысить безопасность строительных объектов. Анализируются перспективы и проблемы внедрения таких систем в российской строительной практике.

Ключевые слова: машинное обучение, информационное моделирование зданий, Интернет вещей, цифровой двойник, интеллектуальные системы, строительная отрасль

Интеллектуальные системы на базе машинного обучения (ML) находят всё более широкое применение в строительной отрасли, где формируется обширная цифровая экосистема. Она объединяет технологии информационного моделирования объектов (ТИМ), устройства Интернета вещей (IoT) и концепцию цифровых двойников. Суть этого подхода в том, чтобы иметь не просто статическую цифровую копию проектируемого или эксплуатируемого объекта, а динамическую модель, непрерывно пополняемую оперативными данными от сенсоров, строительных машин, специализированных платформ. При таком сценарии машинное обучение перестаёт быть отдельной расчётной методикой — оно становится “мозгом” системы, автоматически выявляющим закономерности, прогнозирующим отказы и оптимизирующим эксплуатацию сооружения на всех стадиях его жизненного цикла.

В архитектурно-проектной сфере ML тесно переплетается с ТИМ. Традиционная ЦЗМ отражает геометрию, физические свойства, планировочные и конструктивные решения. Однако её возможности значительно возрастают, когда к ней подключаются самообучающиеся алгоритмы, способные анализировать фактическую информацию, поступающую при строительстве (проверка соответствия проекта и реального исполнения) и при эксплуатации (оценка поведения конструкций, изменение прочностных характеристик). Если к ЦМЗ, наполненной исходными данными о материалах и узлах, добавить регулярные измерения из полевых датчиков, а затем “скормить” всё это ML-модулю, мы получаем динамичный инструмент для планирования ремонтных мероприятий, корректировок проекта, поиска узких мест, и даже для генерации архитектурных вариантов или поисковой оптимизации.

Значимую роль здесь играют решения Интернета вещей (IoT), где множество сенсоров — от ускорений и вибраций до влажности и температуры — расставлены на ключевых элементах строящегося или уже эксплуатируемого здания. Все эти датчики выдают колоссальные массивы данных. Задача ML-алгоритмов — обрабатывать эти потоки в реальном времени, выявляя паттерны и аномалии (нетипичная вибрация, резкое изменение температурного режима или, к примеру, смещение опорной конструкции). Такой подход позволяет проактивно предотвращать аварийные ситуации, давая сигнал службам эксплуатации о возникновении критических отклонений. Кроме того, операторам проще оптимизировать расход ресурсов (энергии, воды, различных материалов), так как самообучающаяся система подсказывает оптимальные режимы, исходя из текущей нагрузки и условий.

Цифровой двойник рассматривается как наиболее развитая форма ТИМ-модели. Он непрерывно обновляется фактическими данными о состоянии здания и его окружения, следит за многими параметрами, умеет “учиться” на реальном опыте эксплуатации, то есть совершенствует свою прогнозную точность. Таким образом, если в систему встроен ML-модуль, то цифровой двойник начинает работать не только как статическое описательное средство, но и как предиктивный инструмент, формирующий сценарии поведения сооружения в различных условиях. Например, в сейсмоопасных районах цифровой двойник собирает исторические сведения о локальных толчках, микротрещинах, косвенных симптомах усталости материалов, и машинное обучение на базе этих данных выводит предсказания о вероятности дальнейшего роста повреждений или необходимости усиления конструкций. Аналогично при эксплуатации в климатических зонах с резкими перепадами температур система ML обучается на многолетних метеонаблюдениях и, вкупе с данными о микроклимате внутри здания, даёт рекомендации по управлению вентиляцией, отоплением или увлажнением, обеспечивая оптимальные условия для комфортной эксплуатации и экономии ресурсов.

Интеграция ML, BIM и IoT создаёт единый цифровой контур, где автоматизированные рекомендации становятся нормой работы эксплуатации: оператор может увидеть на визуальной модели зону, где, по прогнозу алгоритма, в ближайшие месяцы может начаться коррозия или трещинообразование, и оперативно принять меры по ремонту. В строительном процессе IoT-устройства на спецтехнике или в материалах (умные датчики в бетоне) передают текущие показания — машина обучения сопоставляет фактические параметры с проектными и сигнализирует о несовпадениях (например, о несоответствии фактической прочности бетонной смеси). Благодаря цифровому двойнику такие сигналы легко отображаются на трёхмерной модели каркаса, указывая проблемные узлы.

Практика показывает, что подобная связка не только снижает риск аварий и повышает качество строительного процесса, но и даёт экономический эффект: более точный учёт ресурсов, своевременный ремонт вместо капитальных затрат на устранение последствий, снижение количества брака и переделок. Тем не менее, реализация этой схемы сопряжена с рядом вызовов: необходимо обеспечить надежную ИТ-инфраструктуру (серверы, каналы связи, системы кибербезопасности для IoT), необходимы общие стандарты для обмена данными между разнородными подсистемами, также требуется квалифицированный персонал, умеющий адекватно интерпретировать результаты ML-модулей и своевременно “учить” их новыми данными. Кроме того, возникает вопрос правового регулирования и распределения ответственности: если цифровой двойник и машина обучения рекомендует, то или иное проектное решение или вид ремонта, кто несёт юридическую ответственность за возможные ошибки (как обсуждалось в юридических аспектах)?

Несмотря на сложности, динамика в отрасли показывает, что интеграция ML с технологиями ТИМ, IoT и цифровых двойников постепенно перестаёт быть экспериментом и становится рабочим инструментом строительных компаний, девелоперов и управляющих организаций. Системы, способные адаптироваться под реальные условия, повышают безопасность, сокращают затратность и обеспечивают “прозрачность” всей информации по объекту в течение всего его жизненного цикла. В перспективе дальнейшее развитие этой интеграции выведет российское строительство на новый уровень цифровой зрелости, когда машина-алгоритм наряду с профессиональными инженерами станет полноценным участником управленческих и инженерных решений.

Библиографический список

1. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks //Machine learning. - 1995. - Т. 20. - №. 3. - С. 273-297.
2. Schapire R. E. The strength of weak learnability //Machine learning. - 1990. - Т. 5. - №. 2. - С. 197-227.
3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory //Neural computation. - 1997. - Т. 9. - №. 8. - С. 1735-1780.
4. Glorot X., Bordes A., Bengio Y. Deep Sparse Rectifier Neural Networks, in: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, 2011: pp. 315–323.
5. Николенко С. Глубокое обучение. / С. Николенко, А. Кадурын, Е. Архангельская. СПб: Питер, 2020. – 480 с.
6. A shallow convolutional neural network for accurate handwritten digits classification / V. Golovko, M. Egor, A. Brich, A. Sachenko // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 673. – P. 77-85. – DOI 10.1007/978-3-319-54220-1_8. – EDN YWXVTF.

7. Колесниченко, О. Ю. Data Science (наука о данных) в становлении информационного общества: учебное пособие / О. Ю. Колесниченко. – М.: Прометей, 2021. – 52 с.

8. Колчин В.Н. Специфика применения технологии искусственного интеллекта в строительстве // Инновации и инвестиции. 2022. № 3. С. 250-253.

9. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 4. С. 136-139.

УДК 69:658.5:006.3/8

ББК 32

ПЛАН УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЕКТА КАК ИНСТРУМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Пикус Д.М.¹, Бушуева Е.В.²

¹ канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью»

² магистрант специальности 7-06 -0732- 01 "Строительство"
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В статье рассматриваются основные принципы и подходы к обеспечению качества в строительной деятельности Республики Беларусь в контексте действующего законодательства и подчёркивается, что ключевым направлением государственной политики является внедрение проектного управления и развитие системы управления качеством в рамках реализации инвестиционных проектов.

Основное внимание уделено плану управления качеством проекта как составной части общего плана управления проектом. Раскрыта его структура, цели и функции, а также основные процессы: планирование, обеспечение и контроль качества.

Подчёркивается, что наличие эффективного плана управления качеством позволяет минимизировать затраты, повысить качество строительных работ и удовлетворённость заказчика.

Ключевые слова: строительство, качество, управление проектом, план управления проектом, план управления качеством проекта.

PROJECT QUALITY MANAGEMENT PLAN AS A TOOL OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN CONSTRUCTION

Pikus D.M.¹, Bushueva E.V.²

¹ PhD in Technical, associate professor, Associate Professor of the Department of Economics, Organization of Construction and Real Estate Management

² Master's student 7-06 -0732-01 "Construction"
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Project management consists of using appropriate methods, tools, techniques and competencies in the implementation of a project.

Project quality management includes processes and actions that define the policy, goals and areas of responsibility in the field of quality in order to meet the needs for which the project was undertaken.

The project management plan is a management tool used by the project manager and his team to remove uncertainties at the stage of formalizing the investment plan and coordinating an action plan for making key decisions related to achieving the target parameters of the project (timeframe, budget, quality).

The purpose of the project quality management plan is to ensure that the project is implemented in accordance with the specified quality requirements, minimizing the risks and costs of correcting defects.

Key words: construction, construction quality, project management, project quality management, project management plan, project quality management plan.

ВВЕДЕНИЕ

Нормативными правовыми актами всех уровней для строительного комплекса Республики Беларусь ставится следующая задача – повышение качества строительства и систематическое развитие системы управления качеством в строительстве.

В соответствии с Кодексом Республики Беларусь «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» от 17 июля 2023 г. № 289-З одним из принципов осуществления данных видов деятельности является «обеспечение качества разработки проектной документации и выполнения работ в строительной деятельности; а к направлениям государственной политики в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в том числе относятся: повышение эффективности строительной деятельности; нормирование в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности; техническое нормирование и стандартизация, оценка соответствия техническим требованиям в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности; госстройэкспертиза; государственный строительный надзор» [7, с.9; 7, с.17].

Таким образом, в Республике Беларусь качеству и контролю качества в строительстве уделяется большое внимание, о чем свидетельствует функционирование системы управления качеством в строительстве, которая требует постоянного совершенствования и развития, так как действующие ТНПА и НПА не охватывают все вопросы качества строительства в связи с развитием с развитием новых технологий, материалов и методов строительства [1, с. 139-152].

Система управления качеством в строительстве в Республике Беларусь была рассмотрена в [1, с. 139-152], в свою очередь качество как объект управления было рассмотрено в [2, с. 252-259].

Сегодня архитектурную и строительную деятельность в РБ необходимо осуществлять в форме инвестиционных проектов [4, с. 1], что является причиной поэтапного изменения структур и принципов управления в стро-

ительных организациях и внедрения в них проектных структур и проектного управления. Управление качеством проекта, в соответствующих нормативных документах РБ [3, 4, 5], является одной из областей знаний и подразумевает в том числе разработку план управления качеством проекта в составе общего плана управления проектом.

Рассмотрим более подробно понятия и подходы к управлению инвестиционными проектами в строительстве, в том числе в Республике Беларусь, в части управления качеством проекта и разработки плана управления качеством проекта в составе общего плана управления проектом.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сегодня под управлением проектом понимают осуществление деятельности по планированию, делегированию, мониторингу и контролю всех аспектов проекта, а также мотивирование всех участников проекта для достижения его целей в рамках оговоренных сроков, стоимости, качества, объема работ, выгод и рисков, а под планом управления проектом - документированный и согласованный заинтересованными сторонами проекта план, содержащий основные требования к проекту, состав и сроки получения его результатов с изложением методов достижения целей и результатов проекта [3, с. 3-4].

Для каждого проекта определены пять фаз управления проектом. Фазы управления проектом представлены на рисунке 1.

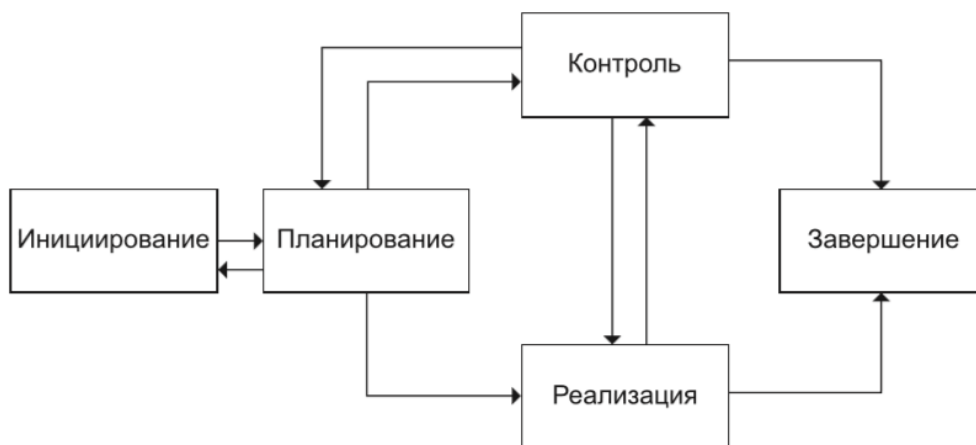


Рис. 1. Взаимосвязи между фазами управления проектом.
Источник: [3, с. 6].

Фаза контроля применяется для отслеживания, анализа и регулирования процесса реализации проекта, а также для оценки эффективности его выполнения, выявления областей, в которых требуется применение корректирующих и предупреждающих действий, формирования запросов на изменения в проект для обеспечения достижения целей проекта [3, с. 6].

Классификация процессов управления проектом в соответствии с основными областями знаний представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Области знаний по управлению проектом.

Источник: [3, с. 10].

Управление проектом заключается в использовании соответствующих методов, инструментов, приемов и компетенций при реализации проекта [3, с. 10]. Управление качеством проекта включает процессы и действия, которые определяют политику, цели и сферы ответственности в области качества с целью удовлетворения проекта тем потребностям, для которых он был предпринят [3, с. 9].

План управления проектом разрабатывается в целях определения правил управления конкретным проектом, требований, необходимых для его успешного завершения и достижения запланированных результатов применительно к специфике проекта, применяемой схеме управления и методам контроля хода его реализации [6, с. 5].

План управления проектом разрабатывается руководителем проекта с учетом принятой заказчиком схемы управления инвестиционным проектом и включает:

- титульный лист;
- резюме;
- реестр заинтересованных сторон проекта;
- организационную структуру управления проектом;
- план управления содержанием проекта;
- план-график реализации проекта;
- план затрат (бюджет) проекта;
- план обеспечения ресурсами;
- **план управления качеством проекта;**
- план управления рисками проекта;
- план управления поставками проекта;

- план контроля реализации проекта (заинтересованными сторонами проекта);
- план управления взаимодействием (коммуникациями) в проекте;
- план управления изменениями проекта;
- иные особенности проекта и специальные требования к его реализации [3, с. 54].

Входными данными для разработки плана управления проектом (выходные данные) являются: устав проекта (приказ), вспомогательные планы, опыт, полученный на предыдущих проектах, бизнес-план, утвержденные изменения [3, с. 17].

В раздел “План управления качеством проекта” включают: требования к показателям контроля и мероприятиям по подтверждению их качества; специальные и дополнительные требования к обеспечению качества проекта [3, с. 57]. Примеры форм для составления плана управления качеством проекта представлены на рисунке 3.

Таблица Д.6 — Перечень показателей контроля и мероприятия по подтверждению качества

Наименование результата	Контрольный список	Мероприятия по подтверждению качества	Даты мероприятий по подтверждению качества	Корректирующие действия	Исправление дефектов
1	2	3	4	5	6
<i>Примечания</i> 1 В графе 1 указывают основные результаты этапов работ. 2 В графе 2 указывают список параметров качества для проверки. 3 В графе 3 указывают мероприятия по подтверждению качества. 4 В графе 4 указывают даты мероприятий по подтверждению качества. 5 В графе 5 указывают возможные корректирующие действия. 6 В графе 6 указывают методы и средства исправления дефектов.					

Таблица Д.7 — Специальные требования к обеспечению качества проекта

Требования к обеспечению качества	Мероприятия по обеспечению требований	Область применения
1	2	3
<i>Примечание</i> — В настоящей таблице указывают (при необходимости) специальные требования по выбору применяемых стандартов и использованию программного обеспечения, требования к персоналу и организации контроля качества на строительной площадке, организации мониторинга качества проекта и аспектам управления качественными параметрами проекта.		

Рис. 3. Примеры форм плана управления качеством проекта.
Источник: [3, с. 57].

Известно, что план управления качеством проекта сегодня является ключевым инструментом системы управления качеством в строительстве. Он описывает, как будет достигаться требуемое качество проекта на всех его этапах, от планирования до завершения и эксплуатации. План управления качеством проекта интегрируется в общую систему управления качеством в организации, обеспечивая согласованность подходов и стандартов.

Целью плана управления качеством проекта выделяется обеспечение выполнения проекта в соответствии с заданными требованиями к качеству, минимизируя риски и затраты на исправление дефектов.

К основным компонентам плана управления качеством проекта относят:

1. Определение требований к качеству: требования заказчика; нормативные требования; внутренние стандарты компании; метрики качества.
2. Планирование обеспечения качества: процессы контроля качества; ответственные лица; ресурсы; график контроля качества.
3. Управление несоответствиями: процедуры выявления и регистрации несоответствий; корректирующие действия; предупреждающие действия.
4. Управление изменениями: процедура согласования изменений; оценка воздействия изменений на качество.
5. Верификация и валидация.
6. Документирование: регистрация результатов контроля качества; отчетность по качеству.

Управление качеством проекта включает в себя следующие процессы: планирование качества; обеспечения качества; контроль качества [3, с. 31-33]. Краткое описание названных процессов представлено на рисунке 4.

ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА	ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА	КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
предназначено для определения требований стандартов качества, применимых к проекту и его результатам, а также определения способов выполнения этих требований, основываясь на целях проекта. Входными данными при планировании качества при разработке плана управления качеством проекта (выходные данные) являются: планы проекта, требования к качеству, политика в области качества, утвержденные изменения.	представляет собой проверку соблюдения требований к качеству результатов проекта. Данный процесс включает в себя все инструменты, процедуры, методы и ресурсы, необходимые для обеспечения соответствия этим требованиям.	предназначен для определения того, достигнуты ли результаты проекта, соблюдены ли требования стандартов качества. Входными данными контроля качества проекта являются: данные о ходе проекта, результаты измерений, план управления качеством проекта; а выходными данными – результаты измерений, верифицированные результаты, отчеты о проверках (аудитах), запросы на изменения, корректирующие действия.

Рис. 4. Процессы управления качеством проекта.

Источник: [3, с. 31-33].

Таким образом, план управления качеством проекта является неотъемлемой частью системы управления качеством в строительстве и должен соответствовать общей политике в области качества в организации, использовать принятые стандарты и процедуры, а также обеспечивать интеграцию с другими системами управления (управлением рисками, управлением изменениями).

Наличие эффективного плана управления качеством проекта позволяет: снизить затраты на исправление дефектов; повысить качество работ и конечного продукта; сократить сроки строительства; повысить удовлетво-

ренность заказчика и репутацию организации. Однако для повышения эффективности, данный план необходимо постоянно пересматривать и корректировать в соответствии с изменениями в проекте с активным участием всех участников проекта и контролем за его исполнением.

На основании проведенного исследования выявлены эффективность наличия, структура и место плана управления качеством проекта в системе управления качеством в строительстве в Республике Беларусь, а также процедуры его создания и ведения, которые в свою очередь описаны в соответствующем нормативном документе.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа, можно сделать вывод, что эффективная система управления качеством в строительстве Республики Беларусь требует постоянного совершенствования и адаптации к современным условиям. Важным элементом данной системы является разработка и внедрение планов управления качеством проектов, которые обеспечивают высокое качество выполнения работ на всех этапах строительства. Стандарты и процедуры, закрепленные в нормативно-правовых актах, играют ключевую роль в обеспечении качества, однако для их успешной реализации необходимо постоянное обновление и интеграция новых технологий, материалов и методов. Таким образом, эффективное управление качеством в строительстве является неотъемлемой частью стратегии повышения конкурентоспособности и устойчивости строительной отрасли в Республике Беларусь, что требует не только соблюдения действующих нормативных требований, но и гибкости в адаптации к быстро меняющимся условиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикус, Д. М. Система управления качеством в строительстве / Д. М. Пикус, Е. В. Бушуева // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития [Электронный ресурс]: сб. материалов студенч. науч.-техн. конф. в рамках 22-й Междунар. науч.-техн. конф. БНТУ и 80-й студенч.науч.-техн. конф. БНТУ, 25–26 апр. 2024 г. / редкол.: О. С. Голубова [и др.]; сост.: О. С. Голубова, Н. А. Пашкевич. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 139–152.
2. Пикус Д. М. Качество как объект управления / Д. М. Пикус, Е. В. Бушуева // Инженерный бизнес [Электронный ресурс]: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 21-й Междунар. науч.- техн. конф. БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике», 22–24 нояб. 2023 г. / редкол.: О. С. Голубова [и др.]; сост. О. С. Голубова. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 252–259.
3. СТБ 2529-2018. Управление инвестиционными проектами. Основные положения. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2018. – 18 с.

4. СП 1.02.01-2023. Состав и порядок разработки предпроектной (предынвестиционной) документации. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2023. – 34 с.

5. СТБ ISO 21500-2015. Руководство по менеджменту проекта. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 30 с.

6. ТКП 45-1.02-298-2014. Предпроектная (предынвестиционная) документация. Состав, порядок разработки и утверждения. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2014. – 22 с.

7. Кодекс Республики Беларусь «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности»: от 17 июля 2023 г. No 289-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2023. – 19 июля. – No 2/2821. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12300289>. – Дата обращения: 20.04.2025.

REFERENCES

1. Pikus, D. M. Sistema upravleniya kachestvom v stroitel'stve / D. M. Pikus, E. V. Bushueva // Inzhiniring i ehkonomika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Ehlektronnyj resurs]: sb. materialov studench. nauch.-tekhn. konf. v ramkakh 22-j Mezhdunar. nauch. -tekhn. konf. BNTU i 80-j studench. nauch.-tekhn. konf. BNTU, 25–26 apr. 2024 g. / redkol.: O. S. Golubova [i dr.]; sost.: O. S. Golubova, N. A. Pashkevich. – Minsk:BNTU, 2024. – S. 139–152.

2. Pikus, D. M. Kachestvo kak ob"ekt upravleniya / D. M. Pikus, E. V. Bushueva // Inzhenernyj biznes [Ehlektronnyj resurs]: sb. materialov IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 21-j Mezhdunar. nauch.- tekhn. konf. BNTU «Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu i ehkonomikE», 22–24 noyab. 2023 g. / redkol.: O. S. Golubova [i dr.] ; sost. O. S. Golubova. – Minsk: BNTU, 2024. – S. 252–259.

3. STB 2529-2018. Upravlenie investitsionnymi proektami. Osnovnye polozheniya. – Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus', 2018. – 18 s.

4. SP 1.02.01-2023. Sostav i porjadok razrabotki predproektnoj (predynvesticionnoj) dokumentacii. – Minsk: Ministrojarkhitektury RB, 2023. – 34 s.

5. STB ISO 21500-2015. Rukovodstvo po menedzhmentu proekta. – Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus', 2015. – 30 s.

6. ТКР 45-1.02-298-2014. Predproektnaya (predynvesticionnaya) dokumentaciya. Sostav, porjadok razrabotki i utverzhdeniya. – Minsk: Ministrojarkhitektury RB, 2014. – 22 s.

7. Kodeks Respubliki Belarus' «Ob arkhitekturnoj, gradostroitel'noj i stroitel'noj deyatel'nostI»: ot 17 iyulya 2023 g. No 289-Z // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – 2023. – 19 iyulya. – No 2/2821. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12300289>. – Data obrashcheniya: 20.04.2025.

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ МЛАДШИХ КУРСОВ

Садовский Ю.И., к.т.н., доцент, Шуберт И.М., к.т.н., доцент, Телеш Е.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация: рассмотрены особенности графической подготовки студентов младших курсов строительных специальностей БНТУ, предложены изменения к учебным планам, направленные на внедрение элементов 3-D проектирования.

Ключевые слова: компьютерная графика, 3D-проектирование, электронная модель.

Графическая подготовка студентов строительных специальностей на младших курсах обеспечивается комплексной дисциплиной «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», которая занимает три первые семестра учебы. В существующих учебных планах она начинается с начертательной геометрии как теоретической базы построения изображений и занимает первый семестр. Начертательная геометрия является теоретическим фундаментом практического выполнения технических чертежей, обеспечивая их выразительность и точность. Далее изучаются разделы, объединяемые общим названием «Инженерная графика». Основной целью инженерной графики является изучение правил построения и оформления чертежей как графических конструкторских документов, содержащих изображения инженерного объекта (детали, сборочной единицы, изделия, здания, сооружения и т. п.), а также данные, необходимые для его изготовления, сборки, монтажа, строительства, контроля и т.д. Учитывая сложность и многообразие правил оформления чертежей, они изучаются последовательно в соответствии с классификацией чертежей по отраслям: сначала проекционное черчение (изучение общих правил оформления чертежей в соответствии с системой ЕСКД), затем машиностроительное и строительное черчение в соответствии с системой стандартов СПДС. Проекционное черчение и элементы машиностроительного черчения занимают второй семестр, а строительное черчение – третий семестр параллельно с изучением компьютерной графики на основе системы Autodesk AutoCAD. Часть строительных чертежей при этом выполняется вручную, а выполнение двух заданий – чертежи железобетонных конструкций и чертежи одноэтажного промышленного здания – в системе AutoCAD. По опыту авторов данной статьи не все студенты успевают выполнить компьютерную часть заданий строительного черчения, приходится разрешать им заканчивать эти задания в ручном режиме. Замечено, что автоматизация построения чертежа снижает у студентов глубину знаний ручной технологии построе-

ния чертежа. Студенты, хорошо владеющие компьютерным черчением, как правило, хуже владеют карандашом. Поэтому очень важно найти оптимальное соотношение ручной и компьютерной графики, которое для каждого студента является индивидуальным.

В настоящее время речь идет не просто о компьютерных технологиях в графике, которые давно завоевали прочное положение и на практике вытеснили ручные методы. Речь о подходе, который направлен на построение реалистичных компьютерных 3D-моделей и получения чертежей изделия на их основе. Действует ГОСТ 2.052–2021 “Электронная модель изделия”, регламентирующий подготовку технологической документации на основе компьютерной 3D-модели, по которому в состав документации чертежи могут не входить. Трехмерное проектирование является также очень актуальным в свете появления систем информационного моделирования типа Autodesk Revit, полностью основанных на 3D-технологиях.

Безусловно, автоматизированное проектирование, основанное на создании трехмерной модели, является наиболее рациональным. Весь вопрос только в том, как и в какой мере можно приобщить к нему студентов младших курсов – вчерашних школьников и что для этого нужно сделать.

Периодически можно слышать, что выполнение чертежей в ручном режиме устарело и должно быть реализовано на компьютере. Использование автоматизированного проектирования – правильная цель и к ней надо стремиться в рамках всего учебного процесса на междисциплинарном уровне. Как известно, обеспечение CAD-систем образует совокупность компонентов: техническое, математическое, программное (общесистемное и прикладное), информационное, лингвистическое, методическое, организационное, эргономическое и правовое [1]. Студент должен знать как минимум техническое и программное обеспечения, т.е. владеть основами работы в системе AutoCAD, которая является главным инструментарием, а также предметную область дисциплины (начертательную геометрию и инженерную графику).

Студенты младших курсов не имеют навыков начального черчения в AutoCAD – в школе его не изучают. За все годы педагогической деятельности у авторов данной статьи были буквально считанные студенты, которые имели начальные знания в этой области.

К сожалению, не во всех школах изучают и черчение. Поэтому, прежде чем приступить к компьютерной графике (хотя это надо делать как можно раньше), необходимо знать основы начертательной геометрии и инженерной графики. Известны попытки перевести изучение инженерной графики на трехмерные компьютерные технологии [2], однако дальше единичного опыта они не ушли. Таким образом, раньше второго семестра начать работу с AutoCAD нереально.

К сожалению, все учебные планы строительных специальностей компьютерную графику в минимальном объеме 17 часов предусматривают

только в 3 семестре, за это время в лучшем случае можно рассмотреть только основы двухмерного проектирования, которое миновать нельзя. Несмотря на появление технологии BIM-моделирования и ее активное продвижение на строительном рынке, отказаться от технологий 2D-моделирования невозможно, поскольку инструменты 2D-проектирования необходимы для формирования трехмерных моделей.

Вместе с тем, переход на второй уровень – на 3D-проектирование нужен далеко не всем студентам, некоторые его просто не потянут. Реально трехмерная графика нужна в первую очередь тем, кто в дальнейшем планирует заниматься проектной и научной деятельностью. При тщательном и точном трехмерном компьютерном моделировании чертежи могут быть получены в автоматическом режиме, однако, для того надо обладать высокой квалификацией работы в 3D-проектировании. 3D-проектирование на порядок сложнее и освоить его могут не все. По самым оптимистичным оценкам авторов данной статьи среди студентов младших курсов на это способно не более 30 % студентов.

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля» БНТУ методически готова к проведению занятий по трехмерной графике [3], мешает отсутствие часов и недостаточная подготовленность самих студентов.

Для того, чтобы все таки приблизить студентов к современным реалиям, необходима интенсификация их работы с системами автоматизированного проектирования начиная с самых младших курсов. Было бы уместно раздел «Компьютерная графика» начать во втором семестре, сделав акцент на основах двухмерного проектирования на основе системы AutoCAD. Далее этот раздел продолжить в третьем семестре (возможно, факультативно) в рамках уже трехмерного проектирования. Здесь надо бы давать и начала информационного моделирования на основе Autodesk Revit для постепенного вхождения студентов в эту очень нужную, но сложную область проектирования.

Для решения задачи общетехнологического развития студентов наиболее значимым является междисциплинарный уровень. Он позволяет выйти на теоретическое обоснование и взаимосвязь всех его блоков, на межпредметные связи с содержанием других учебных дисциплин.

Использование информационных технологий в учебном процессе позволяет это осуществить. Результатом на выходе должен быть полноценный творческий специалист, адаптированный к изменениям нашего времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23501.101-87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. – Москва, 1988.- 11 с.
2. Инженерная 3D-компьютерная графика/ А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под редакцией А.Л. Хейфеца. Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 593 с.

3. Садовский Ю.И. Трехмерная компьютерная графика в системе AUTOCAD: учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей / Ю. И. Садовский, И. М. Шуберт, Е.А. Телеш. – Минск: БНТУ, 2024. – 64 с.

УДК 378.02

ПРЕДМЕТНЫЕ ОЛИМПИАДЫ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Садовский Ю.И., к.т.н., доцент, Щербина О.Н., Садовская Е.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

***Аннотация.** Дисциплина «Начертательная геометрия и инженерная графика» несмотря на изменения в технологиях проектирования остается неотъемлемой частью базового инженерного образования, благодаря которой у студентов формируются фундаментальные знания и способность пространственно мыслить. В данной статье рассматриваются особенности предметных олимпиад по начертательной геометрии как одного из направлений формирования профессиональных компетенций, анализируется их место в графической подготовке студентов младших курсов строительных специальностей БНТУ.*

***Ключевые слова:** компетентный подход, предметные олимпиады, графическая подготовка.*

Одной из наиболее актуальных проблем высшего образования на современном этапе развития является сочетание потребностей инновационной экономики в подготовке конкурентоспособных специалистов и потребностей личностного развития студентов.

В настоящее время учреждения высшего образования работают на основе стандартов первой ступени высшего образования третьего поколения, в основе которых лежит компетентностный подход [1,2]. Ключевым понятием выступает понятие компетентности как интегративное свойство личности, обусловленное совокупностью качеств личности студента – знаний, умений, навыков, опыта, способностей, ценностно-смысловых ориентаций, которые обеспечивают его готовность не только к работе по специальности. Выдвигаемые требования к формированию компетенций у студентов перед университетами ставят задачу организации такого учебного процесса, в которой студент будет получать не только профессиональную подготовку, а также заниматься саморазвитием, активной учебно-познавательной деятельностью, раскрывать свои способности.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе инновационных форм проведения заня-

тий в сочетании с внеаудиторной работой с целью развития профессиональных навыков обучающихся.

Графическая подготовка специалистов строительного профиля и использование информационных технологий на всех этапах проектирования играют важную роль в профессиональной деятельности - от степени овладения ими зависит ее эффективность и успешность, а также конкурентоспособность специалиста строительного профиля на рынке труда. Роль и место графическо-геометрических дисциплин в процессе подготовки инженерных кадров определяются новыми профессионально-техническими задачами, стоящими перед специалистом в сфере его деятельности.

Существует целый ряд активных форм и методов для активизации учебно-познавательной деятельности студентов. Активными методами обучения считаются: учебные деловые игры, семинары, метод анализа конкретных ситуаций, метод проектов, олимпиады и др. [3].

Олимпиада - состязание, требующее от участников демонстрации знаний и навыков в области одной или нескольких изучаемых дисциплин. Она выступает как активный метод обучения, если контролируется и гарантируется самостоятельность подготовки и участия в нем студентов. Олимпиады способствуют лучшей организации учебного процесса за счет раскрытия способностей студентов, развития стремления к обладанию знаниями, усилению обратной связи между преподавателями и учащимися, наконец, повышению квалификации преподавателей и обмену опытом между кафедрами, отдельными преподавателями, развития общения между ними.

Олимпиада по учебной дисциплине – это определение совокупности способностей, проявляющейся во владении содержанием образования в части конкретной учебной дисциплины. В этом случае объектом оценивания в рамках олимпиады становится уровень освоенности содержания образования.

Участие в олимпиадном деятельности предполагает не только наличие предметных знаний, но и умение их применить на практике. Специфика олимпиадных заданий – их нестандартность и сложность. Авторы работы [4] считают, что имеет смысл тут выделить три важнейших направления - компетентность мышления, компетентность взаимодействия с другими людьми и компетентность взаимодействия с собой.

Компетентность мышления включает в себя умение адаптироваться к незнакомой обстановке и мобилизовать все доступные интеллектуальные ресурсы.

Компетентность взаимодействия с другими людьми и компетентность взаимодействия с собой могут относиться как к поведению участников во время проведения олимпиады, так и к сфере подготовки к ней.

Участие в олимпиадах способствует развитию общих ((УК-4 – умение работать в команде, УК -5 - быть способным к саморазвитию и совер-

шенствованию в профессиональной деятельности, УК-6 - проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности) и профессиональных (БПК-1- применять знания естественнонаучных учебных дисциплин для решения прикладных инженерно-строительных задач, БПК- 4 - осуществлять графические построения на плоскости и в пространстве для решения профессиональных задач) компетенций будущего специалиста строительного профиля [5].

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля» БНТУ в течение многих лет проводит олимпиады по начертательной геометрии среди студентов строительных факультетов. В ней принимают участие студенты первого курса, изучающие курс начертательной геометрии. Олимпиада проводится в начале декабря после изучения студентами базовых разделов - построения изображений по методу Монжа, методов решения позиционных задач и способов преобразования чертежа. Время проведения выбрано таким образом, чтобы можно было выявить наиболее успешных студентов и поощрить их сдачей экзамена в приближающуюся зимнюю сессию автоматом.

Основой любой олимпиады являются задачи повышенной сложности по изучаемым темам, для решения которых не подходит шаблонное мышление, применяемое в большинстве случаев при выполнении индивидуальных задач в течение семестра. Наблюдательность преподавателей позволяет выявить креативно мыслящих студентов на стадии ознакомления их с предметом «Начертательная геометрия», которого нет в школьной программе, но для освоения, которого как раз необходима хорошая среднеобразовательная база. Так же необходимыми являются и врожденные способности к усвоению технических дисциплин, плюс образное мышление и наличие инженерной мысли, без которых не представляется возможным повести анализ предложенных на олимпиаде задач и, на который, по хорошему, должна отводиться не малая часть выделенного на соревновании времени. Это сродни мышлению шахматистов, когда проводится разбор всех вариантов решения и предпочтение отдается самому рациональному из них, воплощение которого достигается минимальными средствами чертежа в короткий временной срок.

При подготовке студентов к олимпиадным соревнованиям, на них как на первопроходцах испытываются и изучаются методы педагогического мастерства, такие как «мозговой штурм», метод фокус-групп и ли блиц-вопрос. После отработки на подготовленных студентах их можно внедрять в работу и с остальными учащимися.

Мыслящие молодые люди – находка для преподавателя, когда общение происходит на понятном для обеих сторон языке, что подогревает желание нести доброе-вечное.

Конкурсы и олимпиады являются важным инструментом мотивации студентов повышать свой уровень знаний, что несомненно оказывает зна-

чительное влияние на карьеру выпускника и его конкурентоспособность на рынке труда. Финансовая экономия университетов в последние годы практически исключила возможность проведения олимпиад в традиционном виде (очное участие). На сегодняшний день зарождается практика проведения олимпиад в онлайн формате. Онлайн-олимпиады по черчению требуют особого подхода к организации и проведению, поскольку работа учащихся должна включать графические задания, выполнение чертежей и пространственное мышление. Результатом решения задания является графический материал (чертеж), который должен быть выполнен всеми участниками в одинаковых условиях. К проблемам технического характера можно отнести следующие: отсутствие необходимого либо равноценного оборудования и программного обеспечения, нестабильность интернет-соединения (особенно актуально для корпоративных интернет-сетей), несовершенство антивирусных систем (автоматическая защита некоторых компьютеров воспринимает олимпиаду как подозрительную активность, ограничивая доступ к файлам или сетевым ресурсам), проблемы с загрузкой больших файлов, безопасность данных участников.

Существует множество инструментов и платформ, позволяющих организовывать интерактивные мероприятия, конкурсы и викторины онлайн. Однако подавляющее большинство позволяют проводить конкурсы в формате анкет, тестов и являются продуктами не отечественного производства. Для проведения олимпиады по начертательной геометрии и контроля честности можно использовать следующие методы: использование технических средств мониторинга: использование системы видеонаблюдения, запись экрана, проверка активности окна программы; ограничение доступа к внешним ресурсам: закрытые сети, ограничение браузера; введение временных ограничений; проверка уникальности работ: возможна только экспертным (ручным) методом; дополнительные меры безопасности: идентификация личности, сбор предварительных сведений о подготовке, методах и материалах, которыми пользовались участники ранее, что облегчает последующую проверку на наличие нарушений; возможность удаленной защиты работы: обоснование решения, пояснения деталей и порядка решения.

Становится очевидным, что для организации онлайн-олимпиады компетенций работников кафедры недостаточно. Необходима техническая поддержка университета и профильных IT-специалистов.

Несмотря на ограничения и сложности проведения онлайн-олимпиад по графическим дисциплинам их внедрение, развитие и популяризация представляет собой перспективное и актуальное направление в развитии инженерных компетенций, в подготовке высококвалифицированных специалистов для технологического прогресса и экономического роста страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Равен, Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация / Дж. Равен; пер. с англ. В.И. Белопольского. – М.: Когито-центр, 2002. – 396 с.
2. Ермолович М.М. Компетентностный подход: исторический аспект становления в высшем образовании // Региональная физическая география в новом столетии, вып.10, Мн., - 2017.
3. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход: методическое пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 207 с.
4. Универсальные компетентности и новая грамотность: от лозунгов к реальности / под ред. М. С. Добряковой, И. Д. Фрумина, М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. — 472 с.
5. Образовательный стандарт высшего образования I ступени (ОСВО 1-70 02 01-2021) для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» - <https://www.edustandart.by/bazadannykh/obrazovatelnye-standarty/item/637>.

УДК 69.04

РОЛЬ РУЧНОГО ЧЕРТЕЖА В РАЗВИТИИ ИНТУИЦИИ И СПОСОБНОСТИ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Сазанчук Э.П.¹, Дембицкая В.Ю.²

¹ Студент Факультета Транспортных Коммуникаций
Белорусский национальный технический университет

² Ассистент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика»
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Введение. В эпоху цифровых технологий важность черчения часто остается в тени современных программ и инструментов. Однако этот навык остается фундаментальным для развития интуиции и способности решать задачи, особенно в областях, связанных с пространственным мышлением.

Когнитивные преимущества ручного черчения

Ручное черчение задействует множество когнитивных процессов, которые играют ключевую роль в формировании интуиции. Когда человек чертит, он не просто копирует изображение, а активно взаимодействует с объектом, анализируя и синтезируя информацию. Это развивает память, внимание и критическое мышление.

1. Наблюдение и анализ – черчение требует внимательного изучения форм, пропорций и взаимосвязей между объектами. Этот процесс развива-

ет способность замечать детали и понимать пространственные отношения, что важно для интуитивного мышления. Например, архитектор, делая набросок здания, анализирует, как его элементы взаимодействуют в пространстве, что углубляет понимание принципов проектирования.

2. Синтез информации – создавая чертеж, человек объединяет знания из разных областей: геометрии, физики, эстетики. Такой синтез помогает формировать целостное восприятие объектов и подходить к решению задач с разных сторон.

Развитие пространственного мышления

Пространственное мышление — это способность визуализировать и мысленно преобразовывать объекты в трехмерном пространстве. Этот навык важен в инженерии, архитектуре, дизайне и искусстве. Ручное черчение способствует его развитию через:

1. Визуализацию – человек учится представлять объекты с разных ракурсов. Например, изображая геометрические фигуры под различными углами, можно лучше понять их свойства.

2. Эксперименты с формами – в процессе черчения можно менять композицию, пропорции и расположение элементов. Это помогает понять, как изменения влияют на общее восприятие, что полезно при поиске решений сложных задач.

3. Создание ментальных моделей – черчение помогает формировать внутренние образы объектов, которые позволяют прогнозировать результаты. Например, инженеры делают чертежи, чтобы визуализировать сложные системы и заранее обнаружить возможные проблемы.

Развитие креативности

Креативность — важная часть решения задач, а ручное черчение стимулирует нестандартное мышление. Оно позволяет свободно исследовать идеи, выражать эмоции и находить неожиданные решения.

1. Свобода экспериментов – В отличие от цифровых инструментов, ручное черчение не ограничивает жесткими рамками, поощряя спонтанность. Это может привести к неожиданным открытиям.

2. Выражение идей и эмоций – чертеж помогает визуализировать сложные концепции и передавать их другим. Например, художники через абстрактные изображения могут выражать глубокие идеи.

3. Итеративный процесс – Постоянная доработка и исправление чертежа учат воспринимать ошибки как часть обучения, развивая гибкость мышления и устойчивость к трудностям.

Черчение дает азы технической грамотности, что важно для цивилизованного существования в нашем технологически ускоренно развивающемся мире. Пространственное, конструктивно-пространственное, образно-пространственное проектное мышление формируется у учащихся при изучении черчения начертательной геометрии, построении чертежей. Знание начальных основ технического черчения дает человеку возможность

точного технического изображения предметов, деталей и т.д. с указанием линейных характеристик (длина, ширина, высота), чистота поверхности (чистота обработки материала), материала изделия и буквенных знаков [1].

Заключение

Ручной чертёж играет ключевую роль в развитии интуиции и пространственного мышления, помогая эффективно решать задачи. Оно тренирует наблюдательность, анализ и синтез информации, а также стимулирует креативность. Несмотря на распространение цифровых технологий, важно сохранять этот навык, так как он формирует глубокое понимание мира и способность находить нестандартные решения. Поддержка практики ручного черчения может стать основой для развития инновационного мышления в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие пространственного мышления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-nauka.kz/razvitii-prostranstvennogo-myshleniya/?ysclid=mibwk5isuk649862144> – Дата доступа: 20.03.2025.

УДК 331

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ: ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Саноцкая Е. С., СФ БНТУ, г. Минск

Резюме: введение в организационно-экономический механизм, основные компоненты организационно-экономического механизма, понятие «организационно-экономический механизм», различия между понятиями «организационный механизм» и «экономический механизм»

Ключевые слова: механизм, организационно-экономический механизм, организационный механизм, экономический механизм

Введение в организационно-экономический механизм

Организационно-экономический механизм (ОЭМ) представляет собой систему, объединяющую организационные, экономические и правовые аспекты управления на различных уровнях. ОЭМ обеспечивает взаимодействие между различными элементами управления и играет ключевую роль в эффективном функционировании организаций и предприятий. В условиях современного рынка, где конкуренция возрастает, а условия деятельности становятся все более динамичными, понимание принципов и элементов данного механизма становится необходимым для достижения успеха.

Основной целью организационно-экономического механизма является создание оптимальных условий для управления ресурсами и обеспечением высоких результатов деятельности. Эффективное использование ОЭМ поз-

воляет не только повысить производительность, но и снизить затраты, что, в свою очередь, способствует увеличению конкурентоспособности на рынке.

Основные компоненты организационно-экономического механизма

Организационно-экономический механизм включает в себя несколько ключевых компонентов, каждый из которых играет свою уникальную роль в обеспечении эффективности управления.

1. Организационные структуры

Организационные структуры определяют, как распределяются задачи, полномочия и ответственность внутри организации. Важно, чтобы структура была гибкой и могла адаптироваться к изменениям во внешней среде, что поможет организации быстро реагировать на новые вызовы. Например, вертикальная структура управления может обеспечивать четкость в иерархии и быстрые решения, в то время как горизонтальная структура способна стимулировать инновации и кросс-продвижение идей между отделами.

2. Экономические инструменты

Экономические инструменты — это методы и механизмы, используемые для достижения поставленных целей, включая планирование, финансовый анализ, управление активами и экономическое прогнозирование. Применение этих инструментов помогает обеспечить рациональное использование ресурсов, повышает эффективность производства и минимизирует затраты.

Точные финансовые расчеты и планирование позволяют организациям избежать неожиданностей в процессе функционирования, что особенно важно в условиях экономической нестабильности.

3. Правовая основа

Правовая база организационно-экономического механизма включает все законы и нормы, регламентирующие деятельность организаций. Соблюдение правовых норм не только обеспечивает легитимность деятельности, но и способствует созданию здоровой конкурентной среды. Знание всех актуальных законодательных актов позволяет избежать правовых рисков и обеспечивать стабильность бизнеса.

Принципы функционирования организационно-экономического механизма

Для успешного функционирования организационно-экономического механизма необходимо следование определенным принципам. Эти принципы служат основой для разработки стратегий управления и принятия решений.

1. Интеграция внутренних ресурсов. Эффективный ОЭМ должен обеспечивать интеграцию всех доступных ресурсов внутри организации. Это означает, что необходимо гармонизировать различные функции — от бухгалтерского учета до маркетинга — для достижения единых целей. Интеграция помогает избежать дублирования усилий и оптимизировать рабочие процессы.

2. Адаптивность. Состояние внешней среды, включая экономические, социальные и технологические факторы, постоянно меняется. ОЭМ должен быть способным адаптироваться к этим изменениям. Организация должна быть готова к изменению своих стратегий и инструментов управления в ответ на новые вызовы.

3. Ориентированность на результаты. Все действия в рамках организационно-экономического механизма должны быть ориентированы на достижение конкретных результатов. Это подразумевает четкое формулирование целей и задач, а также последовательную работу по их достижению. Оценка результатов и внедрение мероприятий по их улучшению должны быть одними из конечных целей управления.

Роль информационных технологий в организационно-экономическом механизме

Современные информационные технологии играют важнейшую роль в функционировании организационно-экономического механизма. Они не только позволяют оптимизировать процессы, но и обеспечивают более высокую степень контроля и прозрачности на всех уровнях управления.

1. Автоматизация процессов. Автоматизация рутинных процессов позволяет организациям сократить время и ресурсы, необходимые для выполнения стандартных операций. Это дает возможность сосредоточиться на более важных аспектах деятельности, таких как стратегическое планирование и развитие.

Использование программного обеспечения для управления проектами, бухгалтерского учета и клиентских взаимодействий значительно повышает эффективность работы.

2. Анализ данных. Современные технологии позволяют собирать и анализировать огромные объемы данных. Это открывает новые возможности для принятия обоснованных решений и улучшения стратегий. Анализ данных помогает организациям предсказать потребительские тренды, выявить слабые места в процессах и принять меры для их устранения.

3. Коммуникация и сотрудничество. Информационные технологии также улучшают внутреннюю и внешнюю коммуникацию. Современные инструменты обмена информацией обеспечивают более быстрое сотрудничество между различными подразделениями и партнерами, что критически важно для организации, работающей на международном уровне.

Проблемы и вызовы в организационно-экономическом механизме

Несмотря на все преимущества, применение организационно-экономического механизма связано с рядом проблем и вызовов, которые организации необходимо преодолевать.

1. Сопротивление изменениям. Одной из главных проблем является сопротивление изменений. Часто сотрудники не хотят менять привычный порядок работы, что может замедлить внедрение новых технологий и под-

ходов. Для борьбы с этим явлением необходимо проводить обучение и консультирование сотрудников, а также показывать выгоды от изменений.

2. Нехватка квалифицированных кадров. Квалифицированные кадры играют ключевую роль в успешности ОЭМ. Нехватка специалистов высокой квалификации может стать серьезным препятствием для развития и выполнения поставленных задач. Решением этой проблемы может стать программа профессионального развития и сотрудничество с образовательными учреждениями.

3. Финансовые ограничения. Сложности с финансированием могут ограничивать возможности реализации эффективных организационно-экономических механизмов. Необходимость в постоянных инвестициях, особенно на этапе внедрения новых технологий, часто становится серьезным препятствием. Организации должны тщательно планировать свой бюджет и искать альтернативные источники финансирования.

Будущее организационно-экономического механизма

С учетом динамики современной экономики и быстрого развития технологий, организационно-экономический механизм продолжит развиваться. Внедрение новых моделей управления, таких как "умные" производства и цифровая трансформация, станет неотъемлемой частью эффективного функционирования предприятий.

1. Устойчивое развитие. Современные организации все чаще ориентируются на принципы устойчивого развития, что значительно влияет на организационно-экономический механизм. Устойчивое управление подразумевает использование ресурсов с минимальным воздействием на окружающую среду и повышение социальной ответственности. Это становится важным элементом как для внутренней политики, так и для репутации компании.

2. Цифровизация. Цифровизация процессов станет важным аспектом будущего ОЭМ. Использование биг-дата, искусственного интеллекта и автоматизации позволит значительно улучшить качество управленческих решений и повысить общую эффективность организации.

3. Глобализация. Глобализация также накладывает свои отпечатки на организационно-экономический механизм. Конкуренция на мировом рынке требует от организаций адаптации и пересмотра своих стратегий, что, в свою очередь, влияет на все элементы механизма.

Заключение

Организационно-экономический механизм представляет собой важнейший элемент управления, который влияет на эффективность организации в современных условиях. Понимание его компонентов и принципов функционирования становится основой для успешного бизнеса. В условиях постоянных изменений организациям необходимо гибко реагировать на новые вызовы, адаптируя свои стратегии и принципы управления. Это тре-

бует не только качественного подхода к планированию, но и открытости для инноваций и изменений.

Сосредоточение на результатах и устойчивом развитии, а также внедрение цифровых технологий станет залогом успеха в будущем. Тщательный анализ, правильная оценка и эффективное использование всех составляющих организационно-экономического механизма позволят организациям не только выжить, но и преуспеть в условиях возрастающей конкурентной среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боев, В. Р. Совершенствовать экономический механизм развития АПК / В. Р. Боев // АПК: экономика, управление. – 1993. – № 3. – С. 61–64.
2. Гриценко, М. Совершенствование организационно-экономического механизма хозяйствования / М. Гриценко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 1997. – № 7. – С. 7–8.
3. Кульман, А. А. Экономические механизмы / А. А. Кульман; пер. с фр. ; под общ. редакцией Н. И. Хрустальной.–М. : Прогресс; Универс., 1993. – 92 с. 4. Чаленко А.Ю. О неопределенности термина «механизм» в экономических исследованиях // Капитал страны. – 2010. – 25 марта. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/176697>
4. Удальцова Н. Л. Организационно-экономический механизм функционирования отрасли национальной экономики // Экономика и управление. - 2012. – с. 94-98
5. Чаленко А.Ю. О неопределенности термина «механизм» в экономических исследованиях // Капитал страны. – 2010. – 25 марта. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/176697>

УДК 69:004.9 (721.01:004.9)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Г.Д. Судорева

ст. преподаватель кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью»

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Цифровизация строительной отрасли требует внедрения информационных моделей объекта недвижимости на всех стадиях его жизненного цикла. При этом информационная модель становится ценным активом, в котором содержится вся информация по объекту. Данная модель начинает создаваться уже на стадии предпроектной проработки идеи строительства объекта, а затем трансформируется

ся путем добавления новой информации по результатам работ на каждой последующей стадии жизненного цикла объекта.

Ключевые слова: информационная модель объекта, жизненный цикл объекта, трансформация BIM-модели, система тэгов.

Цифровая трансформация экономики Республики Беларусь требует внедрения инновационных подходов во всех ее отраслях. На законодательном уровне в 2012 году были определены основные направления этой трансформации в рамках отраслевой программы по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла здания. [1]

В 2014 году законодательно был закреплён перечень объектов первого и второго класса сложности, при проектировании которых в обязательном порядке должна применяться технология BIM. [2, 3]

В 2019 году в области строительства одним из направлений развития строительной отрасли принимается внедрение и развитие технологии информационного моделирования. [4]

В 2023 году в рамках дальнейшей цифровизации строительной и других отраслей экономики выделены офисы цифровизации, определен порядок взаимодействия и стратегический вектор цифровизации. [5]

На государственном уровне постепенно идет внедрение технологии информационного моделирования на всех стадиях жизненного цикла объекта недвижимости.

Терминология этапов жизненного цикла объекта недвижимости также трансформировалась. В 2014 году с введением в действие ТКП 45-1.02-298-2014 [6] появилось понятие инвестиционного проекта в строительстве и были выделены его предынвестиционная, состоящая из четырех этапов, и инвестиционная, включающая проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию и регистрацию, стадии. В 2018 году с изменением законодательства ТКП 45-1.02-298-2014*[7] было переиздано с изменениями.

Однако эти стадии касались только процесса создания объекта недвижимости, а эксплуатация регулировалась отдельно ТКП 45-1.04-305-216 [8], измененному и дополненному в 2020 году [9].

По окончании срока эксплуатации объекта недвижимости у владельца или эксплуатанта возникает необходимость в принятии решения о его дальнейшем использовании. Для объективной оценки дальнейших вариантов использования помимо информации о ситуации на рынке недвижимости требуется собрать информацию о состоянии объекта. В результате совокупного анализа этих данных выбирают вариант дальнейшего использования объекта и далее разрабатывают проект капитального ремонта, реконструкции, модернизации или снова объекта недвижимости. При этом реализация каждого варианта оформляется как новый инвестиционный проект в строительстве с соблюдением необходимой стадийности.

Сбор информации об объекте начинается уже на стадии его предпроектной проработки, а варианты хранения этой информации могут быть различными. Самым удобным является технология информационного моделирования. Она помогает создать полное информационное описание объекта, и обычно ассоциируются с проектированием в контексте инвестиционной стадии инвестиционного проекта в строительстве. Другое название этого информационного описания - BIM-модель.

При создании этой модели наполнение информацией происходит постепенно с выполнением детальных проработок каждой части или системы будущего объекта, поэтому по мере «увеличения» модели растет и объем информации.

Основными критериями на стадии предпроектной проработки инвестиционного проекта в строительстве являются эксплуатационные характеристики объекта, которые напрямую влияют выгоды владения будущим объектом на протяжении всего жизненного цикла. Эти критерии совместно с законодательством и планируемыми затратами заказчика являются также определяющими в рамках проектирования.

Для создания основы будущей информационной модели эксплуатационные характеристики оформляют в систему тегов. В данном применении тег – это уникальный идентификатор необходимой объекту функции, который ее полностью описывает с указанием основных параметров и взаимосвязи с другими тегами системы. Работа по созданию и использованию тегов представляет собой основную задачу информационного менеджмента [10].

Система тегов, представленная в виде реестра, связывает всю информацию об объекте на каждой стадии его жизненного цикла. В процессе проектирования теги будут основой для проектных решений, подбора конструкций, оборудования и т.д. Реестры проектной документации, оборудования и другие составляющие проекта будущего объекта будут связаны с реестром тегов.

При строительстве информационная модель объекта дополняется и корректируется с учетом фактически выполненных работ и примененных материалов, а также других данных. При этом проект уточняется, но остается связан с реестром тегов.

После сдачи объекта реестр тегов позволяет эксплуатанту легко находить любую информацию в массиве данных BIM-модели. При этом модель дополнительно наполняется информацией различных систем управления пусконаладочными работами, технического обслуживания оборудования и всех систем объекта, мониторинга состояния основных инженерных систем. Таким образом появляется большой массив, так называемых исторических данных об эксплуатации объекта.

На рисунке 1 представлена последовательная трансформация BIM-модели начиная от предпроектной стадии до эксплуатации объекта недвижимости.

После окончания срока эксплуатации объекта информационная модель позволяет значительно сократить время сбора первоначальных сведений для

принятия решения о дальнейших вариантах использования объекта. BIM-модель будет хранить большой массив статистических данных об основных параметрах эксплуатации объекта, что значительно увеличивает успешность прогнозирования будущих параметров дальнейшей эксплуатации объекта (при принятии решения владельцем об этом), а значит и прибыльности. Также информационная модель будет увеличивать стоимость объекта являясь дополнительным нематериальным активом.

В случае сноса объекта информация из BIM-модели позволит быстро разработать проект сноса, а также послужит основой для предпроектной проработки нового инвестиционного проекта по строительству нового объекта на данном земельном участке.

Таким образом, последовательное наполнение информацией BIM-модели объекта позволяет оптимизировать работу на этапах создания объекта, его эксплуатации, а также создает ценный нематериальный актив для успешной работы над вариантами последующего использования данного объекта после окончания срока его эксплуатации или его земельного участка.



Рис.1. Трансформация BIM-модели на различных этапах жизненного цикла объекта недвижимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 31.01.2012 г. №4 «Об утверждении отраслевой программы по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла здания, сооружения на 2012 -2015 годы».
2. Приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27 октября 2014 г. № 298 «О применении BIM-технологии в проектировании» (с изменениями приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 03.12.2015 №302 «О внесении изменения и дополнения в приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27 октября 2014 г. № 298»).
3. СТБ 2331-2014 «Здания и сооружения. Классификация. Основные положения».

4. Директива Президента Республики Беларусь от 4 марта 2019 г. № 8 «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли».
5. Указ Президента Республики Беларусь от 29 ноября 2023 г. № 381 «О цифровом развитии».
6. ТКП 45-1.02-298-2014 «Строительство. Предпроектная (предынвестиционная) документация. Состав, порядок разработки и утверждения», утвержден приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 14.07.2014 № 196 «Об утверждении и введении в действие технического нормативного правового акта в строительстве»
7. ТКП 45-1.02-298-2014* «Строительство. Предпроектная (предынвестиционная) документация. Состав, порядок разработки и утверждения», утвержден приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 11.04.2018 № 92 «Об утверждении и введении в действие технического нормативного правового акта в строительстве»
8. ТКП 45-1.04-305-216 «Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования», утвержден приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 30 декабря 2016 г. № 321.
9. Постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 26.12.2019 № 75 «Об утверждении и введении в действие технических нормативных правовых актов».
10. Information management в проектах BIM Кирилловым Владимиром и М. Сафонов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aUpkS0jbobQ&list=PLEixlGC9qn5YsoNGDRsMubUCmuiqm4FkD&index=7> (дата доступа 11.11.2024).

УДК 69.059: 621.039.51

ЭЛЕКТРОДОМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ОСОБЕННОСТИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА И ВЛИЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Хмель Е.В.¹, Бирюкова А.А.²,

¹канд. экон. наук, зав. кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью»

Белорусский национальный технический университет

²магистрант специальности 7-06-0732-01 «Строительство»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Современный рынок энергоресурсов и энергопотребления Республики Беларусь за последние годы значительно изменился. Самым значимым событием в энергетической и строительной отраслях страны стало введение в эксплуатацию первой атомной электростанции. Обладая дополнительным источником электрической энергии Республика Беларусь стала расширять сферы ее применения, что позволило обратить

свое внимание на строительство электродомов в которых основным источником отопления, горячего водоснабжения и приготовления пищи является электричество.

Ключевые слова: строительство, электродом, энергоэффективность, жилое здание, электрическая энергия.

Введение. Решение о строительстве на территории Республики Беларусь первой атомной электростанции оказало значительное воздействие не только на развитие энергетической отрасли, но и на строительную тоже, так как появилась возможность реализации проектов по массовому проектированию и строительству индивидуальных и многоквартирных электродомов.

Первый многоэтажный энергодом в Республике Беларусь по пилотному проекту был введен в эксплуатацию в 2019 году в городе Барановичах [1], а в 2020 году было запланировано возведение порядка 2 млн м² площади электродомов [2]. За период с 2021 по 2024 годы было введено в эксплуатацию «более 1,786 млн м² общей площади электродомов, или 89,3% от задания на пятилетку» [3]. Таким образом, можно сказать, что данное направление в строительстве получило в Республике Беларусь должное развитие, в первую очередь, благодаря поддержке на государственном уровне, своевременной разработке соответствующих нормативно-правовых и технических нормативно-правовых актов, так как применение данной технологии, относительно природно-климатических условий страны, требует разработки индивидуальных подходов для обеспечения должного уровня комфорта жильцов, формирования оптимальной стоимости строительства и затрат на последующую эксплуатацию домов данного типа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2019 году специалисты ГП «Институт жилища — НИИПТИС им. Атаева С. С.» разработали альбом типовых проектов электродомов, включающий информацию как для уже построенных объектов, так и для тех, которые находятся на стадии проектирования [4]. В этих типовых проектах были сформулированы требования к бытовым электрическим отопительным приборам и электродотлам, обозначены схемы возможных вариантов теплоснабжения: централизованное, децентрализованное и комбинированное. Данные из альбома типовых проектов носят рекомендательный характер, но содержащаяся в них информация имеет большое значение для развития нормативной базы и практики проектирования энергодомов.

В 2021 году постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 51 была утверждена Государственная программа «Строительство жилья» на 2021–2025 годы [2], которая представляет собой стратегическую инициативу, направленную на решение жилищных проблем населения, улучшение жилищных условий и развитие инфраструктуры. В программе

отдельно обозначена необходимость развития электрического жилья, адаптированного к современным стандартам комфорта и устойчивости.

В данной программе дано официальное определение понятию «электродом». Согласно этому определению, электродом рассматривается как «жилой дом, в котором используется электрическая энергия для целей отопления, горячего водоснабжения и приготовления пищи или используется для целей отопления и горячего водоснабжения тепловая энергия, полученная от электрокотельной» [2].

Стоит отметить, что в Республике Беларусь, начиная с 2000-х годов, активно развиваются и находят практическое применение вопросы в области энергоэффективного строительства, направленные на снижение энергопотребления при обеспечении должного уровня комфорта проживания в рамках Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года, одобренная 2 мая 2017 года Протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь № 10 [5], в которой рассматриваются вопросы развития энергосбережения, «зелёной» экономики и устойчивого жилищного строительства во исполнение Указа Президента Республики Беларусь от 4 сентября 2019 г. № 327 «О повышении энергоэффективности многоквартирных жилых домов» [6].

ВЫВОДЫ

Современный рынок энергоресурсов и энергопотребления Республики Беларусь за последние годы значительно изменился. **Благодаря** решению об использовании мирного атома страна получила дополнительный источник электрической энергии, который, в сочетании с государственной поддержкой на нормативно-правовом и организационно-методическом уровнях, позволил начать массовое строительство электродомов. В Республике Беларусь электродома рассматриваются не только как инструмент рационального освоения отечественного энергетического потенциала и диверсификации источников энергии, но и как важный элемент повышения качества жизни населения и реализации Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Из будущего — в настоящее / Крушевская М. - СБ Беларусь сегодня, 2021. - URL: <https://www.sb.by/articles/iz-budushchego-v-nastoyashchee.html> (дата обращения: 24.03.2025).
2. О государственной программе «Строительство жилья»: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 28 янв. 2021 г., № 51 // Сайт Министерства Архитектуры и строительства Республики Беларусь. URL: <http://mas.gov.by/uploads/files/Gosprogramma-Stroitelstvo-zhilja.pdf> (дата обращения: 10.01.2025).

3. Сколько электродомов строится в Беларуси, рассказали в Минстройархитектуры / Аргументы и факты в Беларуси, 2025. — URL: https://aif.by/social/skolko_elektrodomov_stroitsya_v_belarusi_rasskazali_v_minstroyarhitektury (дата обращения: 24.03.2025).

4. Институт жилища — НИИПТИС им. Атаева С. С. Альбом типовых проектов электродомов. — Минск: СтройИздат, 2019. — 48 с.

5. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. — Минск, 2017 // Министерство экономики Республики Беларусь URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf> (дата обращения: 24.03.2025).

6. О повышении энергоэффективности многоквартирных жилых домов: Указ Президента Респ. Беларусь от 4 сент. 2019 г. № 327 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900327&p1=1> (дата обращения: 14.04.2025).

7. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. — Минск, 2017. — URL: https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf?utm_source (дата обращения: 21.04.2025).

УДК 69.04

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ПРЕПОДАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН СТУДЕНТАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ БНТУ

Шуберт И.М., Садовский Ю.И., Телеш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Аннотация. Дисциплина «Начертательная геометрия и инженерная графика» остается неотъемлемой частью базового инженерного образования, благодаря которой у студентов формируются фундаментальные знания в области графики. В данной статье рассматриваются особенности преподавания графических дисциплин, анализируются существующие формы занятий – как стандартные, так и инновационные мультимедийные, их место в графической подготовке студентов младших курсов строительных специальностей БНТУ.

Ключевые слова: конус обучения, формы занятий, видеоуроки, графическая подготовка.

Акценты в современном процессе обучения ориентированы на сам процесс познания и способы переноса знаний в практическую деятельность. Вдумчивый студент должен уметь добывать, анализировать и использовать информацию для решения задач. Задача же преподавателя научить студента быстро адаптироваться к изменяющимся условиям, для чего необходимо сочетание традиционных и новых методов обучения. Эти методы зависят от поставленных целей и задач, а их реализация зависит от количества часов, выделенных для изучения дисциплины, от условий и средств обучения и т.д. В настоящее время в обучении применяют различные методы обучения – пассивные, активные и интерактивные, которые имеют свои достоинства и недостатки [1].

Известный американский педагог Эдгар Дейл, изучая восприятие зрительной и слуховой информации, попытался оценить влияние различных методических приемов на степень усвоения изучаемого материала. На основе своих работ он предложил конус опыта (рис.1), в котором проследил взаимосвязь между формами занятий и эффективностью запоминания информации [2], причем процентные данные были вычислены не им, а его последователями. В основе этих оценок, которые являются весьма приблизительными, лежат следующие предпосылки: человек запоминает примерно 10% от прочитанного, 20% от услышанного, 30% от увиденного, 50% от того, что услышал и увидел одновременно, 70% от того, что самостоятельно сказал или записал и 90% сделанного лично.



Рис. 1. Конус обучения

На основе этой схемы был сделан ряд выводов об эффективности некоторых форм занятий, например, что классическая лекция (то есть монолог преподавателя, не сопровождаемый слайдами или какими-либо другими иллюстрациями) — наименее эффективный метод обучения,

обеспечивающий освоение слушателями всего лишь 10% изложенной информации. Формы активного обучения, то есть вовлечения участников образовательного процесса в различные виды активной познавательной деятельности, явно позволяют надеяться на более высокие результаты. Пассивные методы ориентируются на знание и понимание материала, а интерактивные подходы задевают все уровни усвоения.

Однако критический разбор конуса обучения позволяет усомниться в категоричности некоторых выводов, которые явно основаны на анализе изучения гуманитарных дисциплин и не учитывают специфику технических.

При действующей системе обучения техническим специальностям студенты в течение семестра слушают курсы лекций, выполняют лабораторные работы, практические и расчетно-графические задания, а затем сдают зачеты или экзамены. Для графических дисциплин студентов строительных специальностей БНТУ характерны разные формы занятий, вытекающие из специфики и предметного наполнения предмета. Степень сложности этих дисциплин, уровень их понимания и запоминания студентами разный и для их успешного освоения применяются различные методики.

Метод обучения – это способ упорядоченной взаимосвязанной деятельности преподавателя и студентов, направленной на решение задач образования, воспитания и развития в процессе обучения [3]. Каждый метод складывается из отдельных элементов — методических или дидактических приёмов, например, лекция — это метод обучения, а запись материала на доске преподавателем и ведение конспекта студентом — приёмы.

В отличие от метода, приёмы внутри которого могут варьироваться, методика обучения подразумевает совокупность конкретных алгоритмов и правил. И если один метод может использоваться в разных концепциях обучения, то у методики есть определённая теоретическая основа. Методика преподавания – это совокупность способов, форм, методов и средств обучения.

Методических приемов существует много (рассказ, дискуссия, работа с учебником, лабораторный практикум, объяснение, контрольная работа, упражнение, иллюстрация, демонстрация, разнообразные виды опроса, упражнение и т.д.), однако для графических дисциплин подходят далеко не все.

Классификация методических приемов впервые была предложена Н.М. Верзилиным и В.М. Корсунской [4]. Они предложили три основные группы методических приемов — логические, организационные, технические.

Логические приемы используются при реализации всех методов обучения. Роль логических приемов особенно велика для развития у

студентов мыслительной деятельности и познавательной активности. Эти приемы воплощаются в формулировании вопросов, выявлении существенных признаков изучаемого объекта (анализ и синтез, сравнение и сопоставление, абстрагирование, обобщение и конкретизация), в логике изложения учебного материала.

Организационные приемы способствуют ориентированию внимания учащихся на восприятие и познавательную деятельность.

Технические приемы — это приемы использования различного оборудования.

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля» БНТУ ведет занятия по графическим дисциплинам у студентов 1 и 2 курсов строительных факультетов, данные по формам проведения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Формы проведения занятий графических дисциплин студентов строительных специальностей БНТУ

Название дисциплины	Формы занятий
Начертательная геометрия	Лекции, практические занятия (ПЗ), РГР, экзамен
Проекционное черчение	ПЗ, дифференцированный зачет
Строительное черчение	ПЗ, дифференцированный зачет
Компьютерная графика	Лабораторные занятия, зачет
Технический рисунок	ПЗ, зачет

Традиционный метод чтения лекций, относящийся к пассивным формам и являющийся одним из основных в вузах, считается по шкале конуса обучения недостаточно эффективным (уровень усвоения 5-10%). Однако с этим согласиться сложно.

Лекции относятся к форме занятий высокого уровня абстракции. При абстрактном мышлении человек, абстрагируясь от внешней действительности, пытается сконцентрироваться исключительно на исследовании самой идеи. Абстрактное мышление развивает творческую сторону человека. Креативность нужна людям любых профессий. Она помогает придумывать новые идеи, проекты, искать неожиданные инструменты для выполнения сложных или повседневных задач. Креативный подход улучшает общее качество жизни человека и повышает его эффективность. Абстрактное мышление является продвинутым навыком, который нужно развивать любому вдумчивому студенту.

Если взять лекции по начертательной геометрии, то они включают в себя триаду действий со стороны студента– слушание (10%), взгляд на рисунок (30%) и, самое главное, наблюдение за конкретным действием – реализацией алгоритмов решения геометрических задач лектором на доске (до 50 %). И хотя авторы статьи далеки от оценки указанного вида занятий как простой суммы указанных выше цифр, эффективность лекций по

начертательной геометрии явно выше эффективности лекций по шкале конуса опыта.

Форма лекций оправдана для первоначального ознакомления с материалом, для понимания терминов и определений, возможности донесения до студентов сразу большого количества учебного материала в концентрированной форме. Это работает эффективно, что подтверждается приемом обратной связи, суть которого заключается в том, что лектор периодически задает вопросы к аудитории студентов по ходу лекции и по возвращенным ответам контролирует ход усвоения материала лекции.

Вторая по важности и распространенности форма занятий – практические занятия по начертательной геометрии, проекционному и строительному черчению, которые сводятся к решению графических задач. Основным методическим приемом тут является эвристический метод, родоначальником которого считается Сократ, при котором преподаватель не просто подсказывает студентам ход решения, а с помощью специально выстроенной системы наводящих вопросов помогает самостоятельно его отыскать. Необходимо отметить, что такой подход хорошо работает только при условии освоения студентами минимальных базовых знаний по рассматриваемой теме - студенты должны быть подготовлены к занятию, изучив теоретический материал. Кроме того, очень помогает определенный уровень пространственного воображения и общегеометрической школьной подготовки, который есть не у всех студентов.

Вместе с тем современные компьютерные технологии способствуют активизации учебно-познавательной деятельности студентов. Интерактивность обеспечивает взаимодействие между обучаемым и средствами обучения, позволяя сделать процесс познания управляемым и высокоэффективным [5], что очень хорошо видно на лабораторных занятиях по компьютерной графике, основанных на возможностях системы AutoDESK AutoCAD.

Успешному развитию пространственных представлений, сознательному, глубокому и прочному усвоению учебного материала способствуют различные способы подачи графической информации, как средство, развивающее психолого-познавательные характеристики (наблюдательность, внимание, память, воображение, мышление) которые являются психологической основой творческого процесса.

Важнейшим элементом учебного процесса по графическим дисциплинам является выполнение графических работ, которые способствуют выработке у студентов необходимых навыков выполнения чертежей.

Одним из объединяющих требований к изучению графических дисциплин является умение строить чертеж. Главная задача в построении

чертежа состоит в определении преобразований видимой формы предмета, его элементов или частей при переносе изображения на плоскость. Успешность решения этой задачи зависит от наблюдательности. Наблюдательность в свою очередь является важнейшей характеристикой внимания. В процессе наблюдения, внимательно рассматривая предмет, явление или событие, мы получаем наиболее точный образ памяти. Отсюда следует, что при обучении принципам построения чертежа для развития детализованных и подвижных представлений, играющих ведущую роль в развитии творческих способностей, очень важна систематическая работа по выбору рационального расположения изображений, сравнению реального предмета с его чертежом, различных элементов детали, способов проектирования и т.д.

Процесс чтения уже готового чертежа предполагает решение ряда задач, требующих развитого воображения. Чтобы возникло целостное представление о форме предмета, изображенного на чертеже, необходимо произвести анализ каждого изображения, соотнести изображения одних и тех же элементов и мысленно объединить разные изображения, то есть, произвести синтез, который требует активной мыслительной деятельности.

Для более качественного решения учебно-методических задач в области восприятия графических изображений кафедрой инженерной графики строительного профиля предложено создание нового мультимедийного материала, учитывающего последние достижения в области информационно-коммуникационных технологий.

Интересным опытом стало создание видеоуроков по отдельным темам начертательной геометрии и инженерной графики, в частности по разделу «Строительное черчение».

На базе видеостудии медиацентра БНТУ разработан ряд видеоуроков по теме «Выполнение чертежей одноэтажного промышленного здания».

Видео создавалось по отдельным эпизодам длиной 5-10 минут. В реальном времени это занимало от 1,5-2 часов. Всего на создание видеоуроков по заданной теме ушло порядка 80 часов индивидуальной работы, что позволило получить более 4,5 часов уникального учебного видеоматериала.

Видеоуроки по заданной теме разделены на пять частей:

Часть 1. Общие сведения о строительных чертежах. (19:36 мин)

Часть 2. Выполнение чертежа плана одноэтажного промышленного здания. (1:49:45 мин)

Часть 3. Выполнение чертежа разреза одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами. (1:35:41 мин)

Часть 4. Выполнение чертежа фасада одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами. (30:21 мин)

Часть 5. Выполнение чертежа выносных элементов одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами. (21:11 мин).

Указанные уроки можно посмотреть в Youtube по ссылке (<https://www.youtube.com/watch?v=98liTg3U5Zw>).

В разработке находятся видеоуроки по выполнению чертежей двухэтажного жилого дома.

Разработка видеоуроков достаточно сложный и трудоемкий процесс, имеющий как организационную, так и творческую составляющую. В процессе их создания приходится делать по несколько дублей, перепроверять и совершенствовать полученную визуальную информацию.

Число просмотров уроков по выполнению чертежей промышленного здания на сегодняшний день составляет более 650, что позволяет говорить о несомненной пользе данного вида медиаконтента для вдумчивых студентов и позитивно относиться к его дальнейшей разработке.

Методов обучения существует огромное множество и среди них не бывает плохих и хороших — каждый будет более или менее действенным в разных образовательных контекстах. Нельзя сказать, что инновационные методы всегда эффективнее традиционных, а обучение на практике лучше теории — в каких-то образовательных ситуациях работа с учебником или лекция будут значительно полезнее проектной работы или ролевой игры.

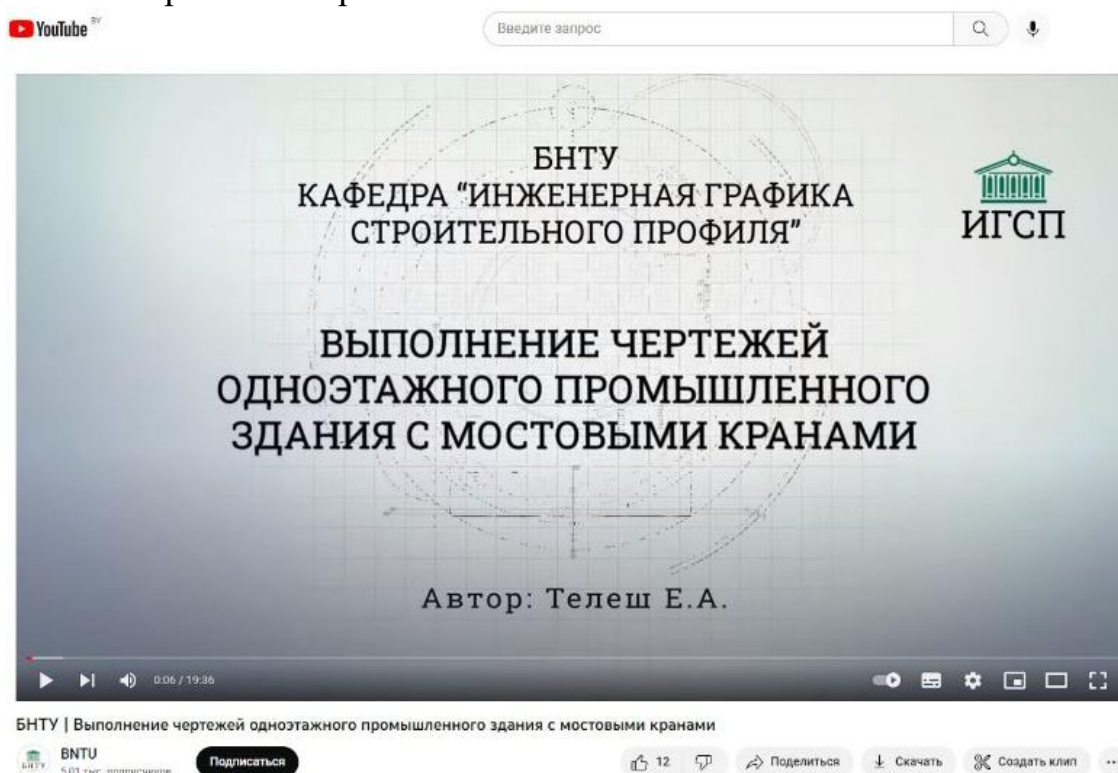


Рис. 2. Видеоурок в Youtube
ЛИТЕРАТУРА

1. Методы обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [// https://ru.wikipedia.org/wiki/Методы_обучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Методы_обучения). – Дата доступа: 1.12.2022

2. Kovalchick, Ann, Dawson, Kara - Education and Technology: An Encyclopedia. ABC-CLIO - p. 161.- 2004- ISBN 1576073513. Retrieved 21 January 2017.

3. Бабанский, Ю.К. – Оптимизация процесса обучения (Общедидактический аспект) – М., Педагогика, 1977. – 253 с.

4. Верзилин, Н.М., Корсунская, В.М. – Общая методика преподавания биологии. – М., Просвещение, 1976. – 384 с.

5. Осмоловская, И.М. – Наглядные методы обучения. – М., Академия, 2009. – 183 с.

УДК 69.05

ББК 38.6-7

THE MAIN ROLES OF BIM TECHNOLOGY IN REDUCING THE OVERALL COSTS OF CONSTRUCTION PROJECTS

M.M.Kashiripoor¹, A.Y. Almaliki²

¹ PhD of Architecture, Associate Professor, Department of «Building Materials and Construction Technology»

² PhD researcher, civil engineering faculty
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Emerging in the recent past is Building Information Modeling technology and promising to change the entire industry into cost, efficiency, and optimization of project management in the construction industry. This article outlines how the application of BIM technology in building large and complex projects can play an important role in reduction of soaring costs in construction. Computer software in BIM integrates engineering construction information and services. BIM provides scope for easier execution of projects, optimum utilization of resources, and better implementation of multidisciplinary team approach. In the study conducted, some challenges of using BIM towards cost management include standardization of software integration lacking in some countries. BIM optimizes reduction of action changes above the budget and improves the design quality. These findings shed light on the necessity of adopting BIM technologies for the economic and technical improvements within the construction industry in view of the increasing pace of urbanization and growing complexity in projects.

Keywords: construction, lean, waterfall and critical path methodology, project management methodologies

Introduction. The development of the domestic economy and the progress of science and technology have promoted the pace of urbanization and the scale of construction. In recent years, the rapid progress and speed of urbanization in my country has led to the gradual emergence of an important development trend: the management of engineering cost information [1]. This development trend aims to achieve diversification, optimization and management of engineering

construction at this stage. The rapid development of government investment projects, the real estate market and other construction engineering markets has led to an expansion in the economic scale of construction engineering in the country

For projects characterized by large-scale, complex structures and significant structural importance, it has become challenging to achieve comprehensive enhancement of economic benefits and technical indicators through conventional engineering management methodologies where In light of these developments, Building Information Modeling (BIM) technology, which integrates engineering construction information and computer technology, has emerged as a progressive solution [2]. This technology, formally known as Building Information Modeling (BIM), has emerged as a pivotal element in this transformation. This technology has emerged as an indispensable element in the evolution of the construction industry, offering a comprehensive range of applications and contributing significantly to the success of construction projects throughout their entire lifecycle. Construction companies leverage BIM technology in their management processes, thereby enhancing their own construction technology and facilitating the streamlined execution of projects [3].

The advent of Building Information Modelling (BIM) technology has precipitated a paradigm shift within the construction industry, signifying a substantial milestone [4]. The implementation of BIM technology in the construction industry of my country has yielded substantial benefits, including the reduction of time spent on cost estimation and the enhancement of efficiency. Moreover, it has led to the elimination of unbudgeted changes. Recent policy directives and the promotion of engineering technology have led to a steady standardization and normalization of BIM technology within the country [5]. A substantial corpus of theoretical studies has demonstrated that the implementation of BIM technology in cost management of engineering projects can enhance resource utilization, mitigate the issue of escalated engineering costs due to unanticipated issues during the construction process, curtail ineffective work and resource consumption, and furnish a convenient information communication platform for participants in various engineering projects [6]. Concurrently, it has been demonstrated to be an effective measure in mitigating collision problems arising from interdisciplinary collaboration, thereby averting the wastage of resources and costs concomitant with such occurrences. A review of the current application of BIM technology in the cost management of engineering projects in Iraq reveals that the construction of relevant models, the degree of standardizations, and software integration in Iraq are not sufficiently unified. Furthermore, the control of the project's preliminary cost estimation, budget estimate, and budget limit is inadequate, and the cost management advantages of BIM technology have not been fully realized [7].

Building Information Modeling (BIM) has undergone continuous development over the past few decades and has been extensively promoted and applied in both developed and developing countries worldwide. In my country, real es-

tate companies, design agencies, and professional organisations have progressively initiated the implementation of BIM technology in construction projects [8].

The integration of BIM with change control systems has emerged as a pivotal approach for the management of design changes. A change management process and control system for managing changes in detailed design projects were introduced, and the results of using BIM technology were evaluated to identify changes. By collecting data on actual projects and changes in the projects change control system, it was ultimately concluded that dynamic changes to the change control system combined with BIM technology can reduce design changes [9] built a BIM construction collaboration platform for engineering projects and studied the feasibility of BIM technology in engineering cost management.

The application of BIM technology in the architectural design industry has the potential to enhance the efficiency and scientific rigour of building structure models, thereby improving the design quality of construction projects and enhancing construction safety and efficiency.

Developed countries have been the cradle of the three industrial revolutions. The construction sectors in these countries are relatively mature, and research on controlling construction project costs has already begun. Notable research findings include value engineering theory, total cost management theory, and target cost management theory. Following the establishment of a socialist market economy in the country under discussion, a set of unified management mechanisms has gradually been established in the construction industry, with construction cost management being of particular importance for the management of construction companies [10].

RESULTS AND DISCUSSION

The BIM technology is revolutionizing the construction industry. This article describes how BIM plays a vital role in reducing costs during building, making project management efficient, and handling the challenges of large and complex projects [11]. The primary feature of BIM tells about integration and management of engineering construction information for directed decisions-making among stakeholders during the entire period of the project. Well, along with these advantages, BIM offers a complete digital projection of the project for managing architects, engineers, and contractors while minimizing errors as well as reworks. The savings in time and cost applicability are the benefits. In cost management, the BIM application has been especially useful in managing unanticipated issues at high escalation rates. Using BIM, construction organizations can pinpoint potential conflicts and inefficiency early in the design phase and make adjustments before involving resources unnecessarily. BIM also provides a centralized hub for communication channeling for project participants and ensures that all parties understand the project's objectives [12].

The adoption of BIM is not without its problems. Cost management benefits from BIM are yet to be realized maximally in Iraq, for example, because of lack of standardization and software integration. Preliminary cost estimation, budget estimates and budget limits are quite insufficient in several cases. Attempts to address the challenges will require unified efforts toward developing a common reference point for standards and propagating the integration of BIM in existing practices of construction management. The merger of BIM with change control systems signifies a desirable prospect for managing design changes and reducing their cost impact on projects. By updating the change control system dynamically with BIM data, it minimizes disturbance to the project schedule by construction companies. Generally, BIM is the solution for all problems related to cost management in construction. Besides improving utilization and fostering collaboration, BIM is considered in excellent light since it minimizes unbudgeted changes. With these, every modern construction project requires BIM, as the industry will consider and embrace it all the more so since the future lies in even more growing complexity and competition [13].

In brief-the-findings This study finds that BIM technology has a significant contribution towards cost reduction in construction projects because it enhances resources utilization, improves collaboration, and minimizes unforeseen changes. The important findings were: 1. An efficacious cost management tool: BIM involves getting potential conflicts identified early and reducing expensive rework; 2. Improved collaboration: A centralized communication system among stakeholders makes BIM; 3. Implementation challenges-Full-fledged potential of BIM is lost in some places because of lack of standardization and software integration; 4. Change Management: Through the conversion of BIM with intra-project change control systems, design changes and their costs become lower. These findings further emphasize the need for adoption of BIM technology for the efficient project management in the construction industry within cost-effective measures.

CONCLUSION

For construction management companies themselves, the use of dynamic data processing, analysis, and information exchange based on an advanced BIM technology platform can effectively address many practical management problems, such as the disruption of construction project cost control management processes and the significant decline in work process efficiency in a short period of time. This can promote the transformation and upgrading of construction companies, and implement more comprehensive, scientific, effective, and accurate construction project cost control. This paper first systematically and in-depthly discusses current problems in cost management and, based on these problems, proposes specific solutions for using new BIM technology to address these problems. It also examines and explores the specific applications of BIM technology in current cost management and other work processes in construction engineering projects in my country. The following are conclusions and insights.

REFERENCES

1. Codinhoto, R.; Kiviniemi, A. BIM for FM: A Case Support for Business Life Cycle. In Proceedings of the IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Yokohama, Japan, 7–9 July 2014. [Google Scholar] [CrossRef]
2. Jaaron, A.A.M.; Hijazi, I.H.; Musleh, K.I.Y. A Conceptual Model for Adoption of BIM in Construction Projects: ADKAR as an Integrative Model of Change Management. *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 2022, 34, 655–667. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Muller, M.F.; Esmanioto, F.; Huber, N.; Loures, E.R.; Canciglieri, O. A Systematic Literature Review of Interoperability in the Green Building Information Modeling Lifecycle. *J. Clean. Prod.* 2019, 223, 397–412. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Kashiripur, M.M. and Al-Sayyab, A.A., Proper methodology for automated monitoring during construction. *Nauka–obrazovaniju, proizvodstvu i jekonomike»: sb. materialov studencheskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii v ramkah*, 20, pp.84-88.
5. Georgiadou, M.C. An Overview of Benefits and Challenges of Building Information Modelling (BIM) Adoption in UK Residential Projects. *Constr. Innov.* 2019, 19, 298–320. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Waqar, A.; Othman, I.; Shafiq, N.; Mansoor, M.S. Applications of AI in Oil and Gas Projects towards Sustainable Development: A Systematic Literature Review. *Artif. Intell. Rev.* 2023. [Google Scholar] [CrossRef]
7. Kaewunruen, S.; Lian, Q. Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. *J. Clean. Prod.* 2019, 228, 1537–1551. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 2) // *Urban construction and architecture*. - 2024. - Vol. 14. - N. 3. - P. 178-193. doi: 10.17673/Vestnik.2024.03.22
9. Sun, Y.H.; Wang, J.; Wu, J.; Shi, W.X.; Ji, D.Z.; Wang, X.Y.; Zhao, X.Z. Constraints Hindering the Development of High-Rise Modular Buildings. *Appl. Sci.-Basel* 2020, 10, 7159. [Google Scholar] [CrossRef]
10. Kashiripoor M.M. Fourth wave technologies in construction and architecture: from idea to realization (part 3: Sample applications of the fourth wave technology in construction and architecture) // *Urban construction and architecture*. - 2024. - Vol. 14. - N. 4. - P. 171-179. doi: 10.17673/Vestnik.2024.04.24
11. Lu, W.S.; Fung, A.; Peng, Y.; Liang, C.; Rowlinson, S. Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves. *Build. Environ.* 2014, 82, 317–327. [Google Scholar] [CrossRef]

12. Bryde, D.; Broquetas, M.; Volm, J.M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *Int. J. Proj. Manag.* 2013, 31, 971–980. [Google Scholar] [CrossRef]

УДК 72.04.017

APPLICATION OF RAMIE FABRIC IN INTERIOR DESIGN

¹Fuqin Zhang, ²Xianpeng Wang, [✉]A.B.Мазаник

^{1, 2, ✉}Belarusian national technical university,
Republic of Belarus, Minsk

Abstract: With the development of economy and society and the diversification of decoration styles, people's demand for fabrics has also shifted from basic functions to spiritual levels. Therefore, people also pursue the spiritual value contained in traditional textiles when using them. In interior soft decoration design, the use of ramie fabrics can enhance the visual effect and artistic atmosphere of the space environment, and show the unique regional culture and traditional craft characteristics. Therefore, it has a high application value in interior soft decoration design. Innovative design of ramie fabrics can not only attract young customer groups and increase the popularity of ramie fabrics, but also fully explore the economic value and cultural value of ramie fabrics, so that more people will choose ramie fabrics in interior soft decoration design styles.

Keywords: *ramie; comfort; interior design; sustainability; nature.*

Introduction. Ramie fabric is a textile made from natural fibers such as hemp and ramie, using plant dyeing, weaving techniques and pattern design. Ramie fabric has the characteristics of being breathable, fast in heat dissipation and easy to wash, and can be used to make a variety of clothing and furniture, such as bedding, clothing and other household items [1].

ramie fabrics : dyeing and weaving. Dyeing is to add natural dyes to the fabric pulp for dyeing; while weaving is to use plant fibers to form corresponding patterns or designs through crocheting, sewing, etc. during weaving, and then after washing and other treatments, a textile with decorative effects is formed. For example, double-stranded hemp or ramie, which are often used in ramie fabrics, are natural plant dyes, so they can be dyed. Since ramie fabrics are woven with natural materials, they have good air permeability and heat dissipation properties, so they are suitable as decorative fabrics used in interior soft furnishings. After dyeing and weaving, ramie fabrics also have good wrinkle resistance, so they can be used to make daily necessities such as sofa covers and pillowcases [2-3].

ramie fabrics in interior decoration design, the material should be selected according to the room layout, furniture characteristics and overall style. In order to make the interior decoration design more beautiful, the color and style of the ramie fabric should be determined according to the color of the room, the design of the mixed space, and the style of the furniture. The appropriate ramie fabric

should be selected according to the main color of the room, the functional positioning, the decorative style, etc. In addition, ramie fabrics can also be integrated with furniture to create a perfect interior decoration design [4-5] .

Requirements of ramie fabrics in interior design

Design principles

Ramie fabric is used as soft furnishing in indoor space . Its characteristics are similar to those of fabric materials , but its unique mechanism and material characteristics can give people different visual effects and living experience [6] . Its specific application in interior soft furnishing design can be divided into the following four points:

Practical function: the spatial form of dividing space . In addition to the visual experience of sunshade, dimming, sound absorption, dustproof, windproof, heat preservation and shielding , the skin-friendly and soft furnishing materials processed by ramie fabric also have a certain antibacterial effect . In the Chinese design style, the flexibility and controllability of ramie fabric can be used to divide the space to create artistic conception and increase the atmosphere . At the same time, it can also embellish the space and regulate the indoor flora .

Adjust the space and relax the space: Ramie fabric plays a certain role in connecting and echoing other soft furnishings in the room . It can harmonize the colors of the furnishings in the space , soften the lines of the space , and add layers to enhance the living experience of the residents .

Setting off: Arrange the interior space and create an overall atmosphere . Continuing with the second point , the primary color ramie fabric (white, yellow) sets off the space with its own characteristics, greatly enhancing the humanistic atmosphere and connotation , and complementing the Chinese context . The ramie fabric table runner on the dining table, the ramie fabric fan wall hanging on the wall, and the ramie ceiling on the ceiling echo each other , setting off the simple and natural design style of the main body .

Unified style and overall effect: Applying ramie fabric soft furnishings over a large area in the interior environment , such as background color , TV wall , or echoing with other similar color paving , can maximize the interior decoration style and enhance the integrity of the entire space .

Cultural connotation

The use of ramie fabrics has profound cultural connotations, so in interior soft decoration design, we should pay attention to the application of its cultural connotations . By analyzing the craftsmanship and color characteristics of ramie fabrics, we can understand that ramie fabrics have many cultural connotations . First, ramie fabrics are made of hemp fibers, which can well reflect the "Five Elements" theory in Chinese traditional culture. Among them, "wood" symbolizes vigorous vitality and is a plant fiber that represents vitality and vitality. "Gold" symbolizes wealth and power . Secondly, ramie fabrics are woven by

traditional Chinese handicrafts, and its process includes: tying, weaving, dyeing, etc. [7] . In the production process, we pay attention to the design of patterns and the use of colors . Finally, ramie fabrics are made of natural plant fibers, which have the characteristics of being warm in winter and cool in summer, breathable and sweat-wicking . These characteristics all reflect the concept of "harmony between man and nature" and the idea of "harmonious coexistence" in our traditional culture [8] .



Fig. 1. Combination of ramie fabric and wooden furniture.

Aesthetic principles

The colors of the indoor environment are divided into main color, background color, and decorative color. Fabric soft decoration can be used as the main color, as well as as the background color and decorative color. For the design style that focuses on Chinese style , relatively light and elegant colors can be used. For a group of design styles that are more inclined to the Sui, Tang and Qing dynasties, bright and strong colors can be used to match the overall style of the interior with strong contrast between cold and warm.

ramie fabric interior decoration, we can simplify and arrange the traditional patterns such as flowers, bats, auspicious clouds, peonies, and longevity to form traditional Chinese fashion patterns that conform to modern aesthetics. We can also decorate the edges or backgrounds of ramie fabric decorations with patterns such as diamond patterns, lotus patterns, thunder patterns, cloud patterns, circular patterns, vortex patterns, and wave patterns, which can better reflect the artistic conception of Chinese style.

Ramie fabric painting is a traditional form of painting that uses ramie fabric as the background to depict figures , landscapes, etc. on ramie fabric . It can also be embroidered on ramie fabric , framed to form wall hangings or entrances, or inlaid with vertical screen frames to form screens or background walls .

Supporting design

ramie fabric as a soft decoration design in the space is often concentrated on the matching of the decoration style itself . For example, the table flags and cushions in the restaurant , the sofas in the living room , the TV wall and wall decorations , the lampshades , bedside and curtains in the bedroom are matched .

Under the characteristics of the new era , ramie fabrics are used to present the new Chinese-style interior design , allowing them to blend with each other and better inherit and protect national culture .

ramie fabric in interior soft decoration design should not only take into account the overall environment but also the matching of individual small scenes . For example, in Chinese design , the color of solid wood furniture is darker , so ramie fabric with a more modern design should be selected to match it . In the Zaji design style , the fresh color of ramie fabric itself is used for embellishment.

Design Practice

The design style of ramie fabrics in interior design is generally warm, soft and natural, with attention to details, color matching, and respect for natural space. Even when designing a space, the original style of the space should be maintained, the space should not be hardened, the influence of abstraction should be fully reduced, and the organic form of expression should be highlighted . Ramie fabrics also focus on artistic decoration in the space, mostly using plants, flowers, animals, landscapes, etc. as decorations, with a style close to nature, making the space warmer, more comfortable, and full of relaxation .

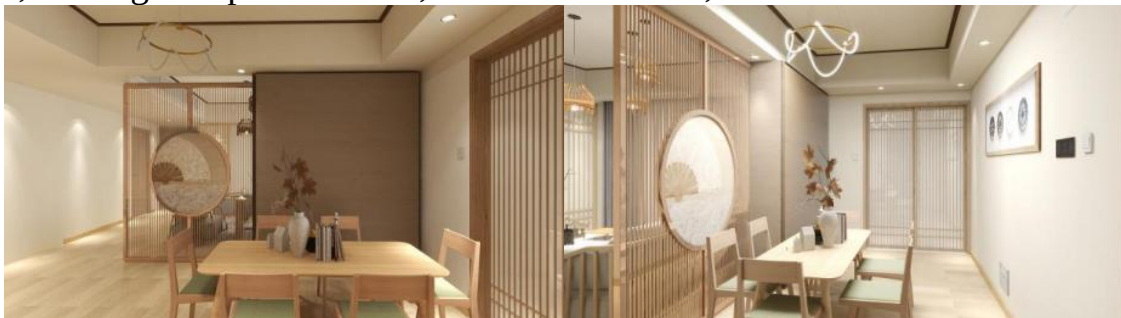


Fig. 2. Separation of space (spatial division, regionality).

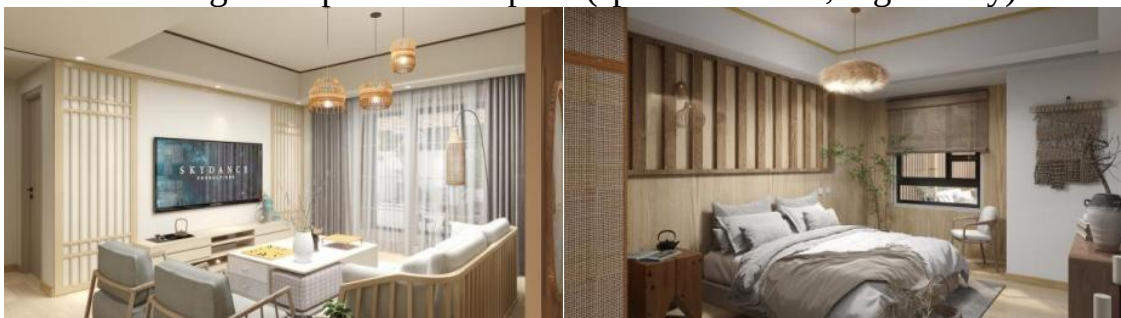


Fig. 3. Softening space (softening lines, coordinating space).



Fig. 4. Decorative space (cultural atmosphere, simple and elegant).



Fig. 5. Highlighting style (sense of history, distinctive culture).

Conclusion and Outlook

Conclusion

Ramie fabric is a traditional textile in China. There are many types of ramie fabric mats, ramie fabric pillows, ramie fabric sheets, etc. Because ramie fabric is very practical, it is widely used in interior soft decoration design. Because ramie fabric has a long history in China, it has high artistic and cultural value. Through reasonable application, it can reflect the unique national and regional characteristics and achieve the purpose of improving the effect of interior soft decoration design. At present, many interior soft decoration design institutions in China have begun to pay attention to the application of ramie fabric in interior soft decoration design, and enrich the design practice in this field through the research and exploration of ramie fabric . Because different types of living spaces have different attributes, in order to better realize the application value of ramie fabric in interior soft decoration design, it is necessary to continuously explore and study ramie fabrics that adapt to the characteristics of different living spaces and meet the needs of different residents .

Outlook

Through this article, the author has a deeper understanding of the relevant content of ramie fabrics , and also understands the development history and process standards of ramie fabrics in China as an intangible cultural heritage of China. It is also understood that the current market environment of ramie fabrics is inevitably a bit sad. Combined with my own professional application of ramie fabrics in interior soft decoration design, I hope that my article can provide inspiration for more designs, add more choices to the interior decoration style, and

also drive the development of the ramie fabric market, so that ramie fabrics can appear in the daily life of the masses as they have for thousands of years.

Here, the author calls on more designers to give intangible cultural heritage ramie fabrics a platform to shine and explore the humanistic value behind them in the design process of ramie fabric interior soft furnishings, have a broader and deeper understanding, and use more novel and unique elements without losing cultural heritage to design and create, and launch more excellent cultural and creative design products. I sincerely hope and wish that intangible cultural heritage ramie fabrics can also combine with the current market environment to seek a path of exploration of their own and carry forward our intangible cultural heritage.

References

[1] Zheng Qingyin. Research on the Development and Inheritance Status of Ramie Fabrics / Zheng Qingyin // Popular Literature and Art. - 2013. - Vol. 23, No. 02. - P. 234-235.

[2] Fan Sen, Yang Yueming. Research on Cultural and Creative Product Design Based on Folk Culture in the New Media Environment / Fan Sen, Yang Yueming // Shoe Craft and Design. - 2022. - Vol. 2, No. 11. - P. 23-25.

[3] Yu Hongmei. Research on Traditional Ramie Fabrics and Modern Production Technologies / Yu Hongmei // Shanghai: Donghua University, 2014.

[4] Wang Yue, Wang Qidi, He Yue. Protection and Inheritance of Traditional Ramie Yarn Manufacturing Technology: A Case Study of Creating a Ramie Cultural Ecology in Showa Village, Japan / Wang Yue, Wang Qidi, He Yue // Fashion Designer. - 2022. - No. 09. - P. 96-102.

[5] Wang Qin, Xiong Anya. The Concept of Implementing Ramie Fabric Culture into Interior Design / Wang Qin, Xiong Anya // Construction Economics. - 2022. - Vol. 43, No. 06. - P. 106.

[6] Han Yu. Innovative Application of Ramie Fabric in Interior Decoration / Han Yu // Beijing: Beijing Institute of Fashion Technology, 2017.

[7] Yang Lina. Brief Analysis of the Application of Longchang Regional Culture in Theme Restaurant Design / Yang Lina // Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.

[8] Sun Huilin. Application of Ramie Fabric Soft Finish in New Chinese Interior Design Style / Sun Huilin // Jiangxi Building Materials. - 2016. - No. 22. - P. 43+46.

Секция 2: Строительные конструкции зданий и сооружений

УДК 69.07

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Богущ Л.И.¹, Бондарь В.В.²

¹Филиал БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала»

²канд. техн. наук, доцент,
Белорусский национальный технический университет

Аннотация. В публикации рассматриваются некоторые вопросы технического состояния, долговечности и сроков эксплуатации строительных конструкций, зданий и сооружений, в том числе с точки зрения существующей в Республике Беларусь судебной практики. Затрагивается проблематика управленческих решений при анализе результатов обследования технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений.

Ключевые слова. Техническое состояние, долговечность, сроки эксплуатации, строительные конструкции, здание, сооружение, оценка.

В соответствии с Кодексом Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности [1] разработчик проектной документации и подрядчик обязаны обеспечить безопасность объекта в течение срока его эксплуатации (службы), а в случае, если этот срок не указан в проектной документации, – в течение 20 лет при условии соблюдения пользователем правил эксплуатации объекта.

Возведенный объект должен соответствовать требованиям безопасности для жизни и здоровья физических лиц, сохранности имущества юридических и физических лиц, экологической безопасности в течение срока его эксплуатации (службы).

Сроком эксплуатации (службы) объекта считается установленная в проектной документации продолжительность использования объекта по назначению с систематическим проведением комплекса организационно-технических мероприятий по содержанию, техническому обслуживанию и ремонту объекта, его частей в целях обеспечения их эксплуатационной надежности.

К техническому обслуживанию объекта относятся организационно-технические мероприятия (их комплекс) по поддержанию в надлежащем техническом состоянии объекта, его части в процессе их эксплуатации путем устранения незначительных неисправностей, обеспечения установленных параметров и режимов работы, наладки и регулирования инженерных систем, выполнения работ по подготовке к весенне-летнему и осенне-зимнему периодам.

К ремонту отнесены те строительно-монтажные, пусконаладочные работы и организационно-технические мероприятия и их совокупность, которые направлены на восстановление утраченных в процессе эксплуатации технических, эксплуатационных, потребительских и улучшению эстетических качеств объекта, устранению повреждений и неисправностей, предупреждению его износа, не относящихся к реконструкции, осуществляемых, в том числе, с применением новых материалов и технологий.

Техническое состояние объекта, его части, это совокупность свойств, характеризующих на момент обследования степень соответствия объекта, его части обязательным для соблюдения требованиям технических нормативных правовых актов и проектной документации.

Судебная практика показывает, что требование заказчика о безвозмездном устранении недостатков может быть предъявлено в течение всего нормативного срока эксплуатации строительного объекта, а в случае, если этот срок не установлен, – в течение 20 лет при условии соблюдения пользователем правил его эксплуатации [2].

Юридические и физические лица, работы которых влияют на соответствие объекта строительства требованиям ТНПА, должен быть готов к тому, что их можно понудить к устранению допущенных недостатков в течение всего нормативного срока службы объекта строительства. Техническое состояние объекта, его части, строительных конструкций и оценка их пригодности к эксплуатации, стоимость некачественных работ можно установить обследованием и путем проведения экспертизы.

Документом [1] регулируются отношения в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, в том числе связанные с оценкой технического состояния объектов, их частей при эксплуатации, технической оценкой пригодности строительных материалов, строительных изделий. Предусмотрена обязательная аттестация специалистов юридических лиц выполняющих работы по обследованию объектов.

Строительные нормы СН 1.04.01-2020 «Техническое состояние зданий и сооружений» [3] устанавливают основные требования к техническому состоянию зданий и сооружений, строительных конструкций и оценке их пригодности к эксплуатации, и предназначены для применения независимо от форм собственности и ведомственной принадлежности.

Согласно ГОСТ ISO 15686-7-2015 «Здания и недвижимое имущество. Планирование срока службы. Часть 7. Оценка технического состояния существующих зданий по результатам обследования» [4], к обследованию технического состояния относится комплекс работ, выполняемых с целью оценки технического состояния здания в конкретный момент времени для планирования срока его службы. По результатам обследования выполняют оценку технического состояния строительных конструкций, при необходимости посредством расчетов или испытаний проверяют предельные состояния несущей способности и эксплуатационной пригодности, делают вывод об условиях дальнейшей

эксплуатации обследованных конструкций и необходимых мероприятиях по обеспечению их надежности и долговечности или замене. По результатам обследования собственник принимает решение о необходимости, целесообразности и сроках полного или частичного ремонта зданий, их модернизации, реконструкции или сноса. Сроки устранения дефектов и повреждений устанавливает организация, выполняющая обследование, с учетом конкретной ситуации на объекте (технического состояния конструкций, класса сложности, назначения и условий эксплуатации здания).

Особенности проведения ремонта жилых помещений, жилых домов, эксплуатации жилищного фонда, выполнения работ по обследованию состояния многоквартирных, блокированных и многоквартирных жилых домов и их придомовых территорий, квартир в многоквартирных и блокированных жилых домах, общежитий устанавливаются жилищным законодательством (п. 5 ст. 15 Жилищного кодекса Республики Беларусь от 28.08.2012 г. [5] и, соответственно, Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2013 № 221 [6]).

Вероятность появления значительного ущерба в результате локального разрушения конструкции из-за постепенного износа зависит от размеров ущерба и вероятности появления неприемлемой ситуации в результате деградационного отказа. Износ объекта, его частей – процесс ухудшения показателей эксплуатационных качеств объекта, его частей с течением времени. Повреждение объекта, его частей – дефект, образующийся в результате природно-климатических, механических, химических или других воздействий. Проверку живучести существующих и реконструируемых зданий соответствующих классов по последствиям обрушения выполняют для особых расчетных ситуаций. При этом контролируют отсутствие прогрессирующего обрушения в случае разрушения отдельного элемента здания при особых воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации здания, и разрабатывают (при необходимости) соответствующие мероприятия.

Для принятия окончательных управленческих решений по результатам обследования в отдельных случаях целесообразно учитывать не только вопросы конструкционной безопасности, но и возможные экономические, экологические, социальные и другие последствия отказов и планируемых восстановительных мероприятий путем оценки соответствующих рисков, что учитывают в операциях с недвижимостью и в других случаях, предусмотренных действующим законодательством. Меры по управлению рисками рассматривают на этапе проектирования ремонта и реконструкции существующих зданий, что позволяет существенно снизить затраты на уменьшение рисков в процессе износа зданий на этапе их эксплуатации.

Необходимо учитывать, что уровень качества диагностики объектов в конкретной ситуации может существенно различаться по объективным и субъективным причинам (выполнение обследования без остановки производства, недоступность отдельных конструкций, вероятность наличия скрытых

дефектов, выборочный характер обследования, разная квалификация экспертов и т.д.).

Для безотказного пользования зданием необходимо периодически заменять (или восстанавливать) некоторые конструктивные элементы и системы инженерного оборудования (например, полы, деревянные перекрытия, системы водоснабжения и др.). Например, стальная кровля рассчитана на 15 лет службы, при условии, что каждые 3-5 лет она окрашивается. Нарушение этого правила вдвое укорачивает срок службы стальной кровли.

Периодичность проведения обследований и капитального ремонта производственных, жилых и общественных зданий, их элементов принимают по [3] в зависимости от условий эксплуатации, предусмотренного в проектной документации уровня надежности. Планируемый срок капитального ремонта указывают в эксплуатационно-техническом паспорте. Проектную документацию на ремонт, модернизацию и техническую модернизацию здания или его части выполняют в соответствии с заданием на проектирование, материалов обследования, результатов определения физического и морального износа зданий.

После выполнения капитального ремонта с частичным или полным восстановлением и защитой конструкции или увеличения ее несущей способности путем усиления за начало отсчета при оценке ее «нового» остаточного срока службы принимают дату окончания ремонта, если его выполнили сразу после обследования.

Определение сроков службы конструктивных элементов является весьма сложной задачей, поскольку результат зависит от большого количества факторов, способствующих износу. Поэтому нормативные сроки службы зданий зависят от материала основных конструкций и являются усредненными. В соответствии с внесенными изменениями от 01.04.2023 года в ТКП 52.3.01-2020 «Оценка стоимости объектов гражданских прав. Оценка стоимости капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений, машино-мест как объектов недвижимого имущества» [7], нормативный срок конструктивного элемента может определяться в соответствии с документом [3].

Библиографический список

1. Кодекс Республики Беларусь от 17.07.2023 г. № 289-З «Кодекс Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь;
2. Постановление судебной коллегии по экономическим делам Верховного Суда Республики Беларусь от 09.01.2025 по делу № 157ЭИП24118. [Электронный ресурс]. URL: https://court.gov.by/special/ru/justice_rb/praktice/acts_vs/economics/21397458d0e54b12.html (дата обращения 08.05.2025);
3. Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020. Введ. 27.10.2020. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2021. – 68 с.

4. ГОСТ ISO 15686-7-2015 Здания и недвижимое имущество. Планирование срока службы. Часть 7. Оценка технического состояния существующих зданий по результатам обследования. – Введ. 01.03.2016. – Минск. : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 36 с.

5. Жилищный кодекс Республики Беларусь от 28.08.2012 г. № 428-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь;

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2013 № 221 «Об утверждении Положения о порядке обследования состояния многоквартирных, блокированных и многоквартирных жилых домов и их придомовых территорий, квартир в многоквартирных и блокированных жилых домах, признания их не соответствующими установленным для проживания санитарным и техническим требованиям и принятия решений об их восстановлении для использования по назначению, либо о переводе в нежилые, либо о сносе непригодных для проживания жилых домов» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь;

7. Оценка стоимости объектов гражданских прав. Оценка стоимости капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений, машино-мест как объектов недвижимого имущества: ТКП 52.3.01-2020 с изм. №1 – Введ 01.05.2021. – Минск. Госкомимущество Республики Беларусь, 2020. – 133 с.

УДК 624+378.147

ОБ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ» ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 7-07-0732-01 «СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СОРУЖЕНИЙ» ПРОФИЛИЗАЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

В.В. Бондарь, кандидат технических наук, доцент;
Н.А. Рак, кандидат технических наук, доцент;
А.Е. Шилов кандидат технических наук, доцент;
Белорусский национальный технический университет

Аннотация. Приведены основные сведения о программе. дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции» для специальности 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» профилизация «Промышленное и гражданское строительство». Рассмотрены основные отличия от ранее действующей учебной программы дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции» для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство».

Ключевые слова: железобетонные и каменные конструкции, учебная программа дисциплины, технические нормативные правовые акты.

Учебная программа составлена впервые на основе образовательного стандарта ОСВО 7-07-0732-01-2023 и учебного плана специальности 7-07-

0732-01 «Строительство зданий и сооружений» профилизация «Промышленное и гражданское строительство».

Курс «Железобетонные и каменные конструкции» имеет большое значение в общей подготовке инженеров-строителей. Ни одно здание или сооружение нельзя правильно спроектировать, построить и успешно эксплуатировать без знания данной дисциплины. Железобетонные конструкции являются базой современного надземного и подземного строительства. Они применяются при возведении промышленных и гражданских зданий, различных инженерных сооружений, в энергетическом, сельскохозяйственном строительстве и др.

Цель преподавания дисциплины заключается в том, чтобы научить студентов рассчитывать и конструировать технически и экономически обоснованные железобетонные и каменные конструкции зданий и инженерных сооружений, дать студентам практические навыки по расчету железобетонных и каменных конструкций, использованию нормативно-справочной и научно-технической литературы, ознакомить с основными тенденциями развития и перспективами применения железобетонных и каменных конструкций зданий и инженерных сооружений.

Основные задачи изучения учебной дисциплины: обучение студентов навыкам и принципам расчета и конструирования железобетонных и каменных элементов зданий и сооружений, которые в процессе своей эксплуатации отвечали бы требованиям надежности, долговечности, эстетичности; ознакомление с основными тенденциями развития и перспективами применения железобетонных и каменных конструкций в промышленном и гражданском строительстве, в том числе с использованием ТИМ (BIM) технологий.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин «Теоретическая механика»; «Сопротивление материалов», «Теория упругости»; «Строительная механика»; «Строительные материалы» «Архитектура».

В результате освоения дисциплины будущий специалист должен:

знать:

физико-механические свойства строительных материалов для железобетонных и каменных конструкций;

требования действующих норм по проектированию железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений;

конструкции и конструктивные системы зданий и сооружений;

элементы конструкции и формы конструкций систем зданий и сооружений;

расчетные модели сопротивления при конструировании железобетонных и каменных элементов.

уметь:

ставить и решать задачи, связанные с проектированием зданий и сооружений, выбором их оптимального конструктивного решения;

на основании принятой конструктивной системы осуществлять расчеты с подбором сечений, назначать армирование элементов;

определять конструктивную систему железобетонного элемента, отвечающего конкретному зданию или сооружению;

пользоваться нормативной, справочной и специальной литературой (СН, СП, ТКП, СТБ, ГОСТ и др.);

читать, конструировать и разрабатывать рабочие чертежи;

самостоятельно обобщать и анализировать новейшие достижения строительной науки и практики, обновлять полученные теоретические и практические навыки.

ИМЕТЬ НАВЫК:

методами использования компьютерных технологий для построения чертежа;

методикой оценки несущей способности, жесткости и устойчивости, долговечности зданий и сооружений;

методиками расчёта железобетонных и каменных конструкций.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующей компетенции:

быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности, развивать инновационную восприимчивость и способность к инновационной деятельности

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины для очной (дневной) формы получения высшего образования отведено всего 386 часов, из них аудиторных – 204 часа. На выполнение двух курсовых проектов отведено 120 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий для очной (дневная) формы получения высшего образования приведено ниже.

Таблица 1

Очная (дневная) форма получения высшего образования						
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации	Форма промежуточной аттестации
3	6	50	18	–	Опрос	Зачет
4	7	34	–	34	КР	Защита КП, Экзамен
4	8	34		34	Опрос	Защита КП, Экзамен

Содержание учебного материала дисциплины выполнено по 11 разделам, внутри которых сформированы темы, позволяющие последовательно

раскрыть учебный материал раздела. Последовательность разделов тесно обусловлена разделением курса на семестры, увязана с выполнением лабораторных работ, курсовых проектов и контрольной работы. Сформулированы требования к курсовым проектам по дисциплине.

На основе содержания учебного материала дисциплины составлены учебно-методические карты учебной дисциплины для различных форм получения образования

В информационно методической части приведен список источников, полноценно раскрывающих курс и позволяющих успешно усвоить все вопросы программы в процессе самостоятельной работы. Сформулированы критерии оценки результатов учебной деятельности обучающихся при проведении промежуточной аттестации. Проведен примерный перечень контрольных вопросов

Программа отличается от учебной программы для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» большей направленностью на изучение современных методов расчета и конструирования. В новой программе отдельные разделы и подразделы значительно переработаны в связи с вводом в действие в Республике Беларусь новых технических нормативных правовых актов (ТНПА) по проектированию строительных конструкций.

Особое внимание в программе обращено на обучение студентов на более высоком уровне научным основам обеспечения надежности, долговечности и живучести конструкций, что позволит сформировать научно ориентированную часть выпускников вузов, в которых остро нуждается строительная отрасль Республики Беларусь.

УДК 69.07

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

И.А.Бусел

Профессор, доктор геолого-минералогических наук
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрен синергетический подход к диагностике реконструируемых объектов, учитывающий совместную работу основания, фундамента и надземной части здания. Методологические аспекты реализуются в процедуре последовательного изучения и оценки состояния обследуемого геолого-технического объекта для создания компьютерных имитационных моделей и последующей разработки проектных решений по усилению конструкций, фундаментов, упрочнению грунтов.

Ключевые слова: обследование, здания, фундаменты, основания, методология, реконструкция, геолого-технический объект, компьютерное моделирование.

Для диагностики реконструируемых зданий и сооружений предлагается синергетический подход, предполагающий применение совокупности понятий и методов в исследовании и управлении открытыми нелинейными самоорганизующимися системами и изучение связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в динамических системах благодаря обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях.

В таком контексте методологические аспекты диагностики зданий и сооружений при их реконструкции реализуются в следующей процедуре.

1. Объект исследований.
2. Системный подход.
3. Техническое обследование зданий.
4. Инженерно-геологическая диагностика грунтов оснований.
5. Разработка имитационной компьютерной модели объекта «Как есть».
6. Оценка условий и причин деформирования зданий.
7. Создание имитационной компьютерной модели объекта «Как должно быть».
8. Разработка мероприятий по укреплению оснований и усилению фундаментов и строительных конструкций.
9. Разработка системы управления проектом реконструкции здания.

1. Объект исследований

Поскольку существующие здания представляют собой реальный геолого-технический объект (ГТО) [1], состоящий в общем случае из двух подсистем: технической (здание или сооружение, включая фундамент) и геологической (массив грунтов), диагностические задачи, цели и методы исследования каждой из подсистем должны быть разными, но объединены в одну систему, благодаря их структурной общности. Поэтому для зданий следует различать техническую и инженерно-геологическую диагностику.

При вступлении элементов во взаимодействие формируются связи между ними. Для ГТО наиболее характерными являются вещественные, энергетические и информационные связи, а также их комбинации. По характеру связей различают прямые, обратные и нейтральные.

Исходя из вышеизложенного, отображение любого ГТО можно представить в форме описания отношений преобразований и отношений связей в элементах этой системы.

2. Системный подход

Диагностика реконструируемых зданий должна включать достаточно полную и комплексную оценку и анализ технического состояния конструкций с учетом реальных условий их совместной работы с основанием. Это положение в диагностике деформирования зданий является основным, поскольку оно связано с исследованием причин повреждения здания, по-

становки диагноза и назначения «терапии». При проведении таких исследований должны учитываться свойства материалов конструкций во взаимодействии с агрессивными средами и знакопеременными температурами, условия совместной работы конструкций при возникновении деформаций грунтов основания, испытывающих уменьшение несущей способности от внешних механических и физико-химических воздействий и характера эксплуатации здания [2].

3. Техническое обследование зданий

Техническая диагностика зданий выполняется в соответствии с СП 1.04.02-22 (ТКП 45-1.04-37) «Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений».

Проведение диагностирования зданий позволяет на основании собранной по определенной методике информации изучить техническое состояние здания, признаки деформирования его конструкций, установить главные причины и степень риска, выдать обоснованные рекомендации по реконструкции здания и инженерной защите территории, примыкающей к нему, от опасных инженерно-геологических процессов.

4. Инженерно-геологическая диагностика грунтов основания

Для повышения ресурсов несущей способности грунтов, выбора объемов и методов исследования, оценки состояния сферы взаимодействия, разработки наиболее эффективной технологии стабилизации и нейтрализации негативных процессов в ее пределах, определения имеющихся деформаций и деструкций в несущих элементах здания проводится инженерно-геологическая диагностика оснований с целью выявления процессов, протекающих в сфере взаимодействия геологической среды со зданием, которые вызывают развитие деформаций.

Методологической основой инженерно-геологической диагностики оснований могут служить рекомендации, изложенные в СН 1.02.01-2019 (СНБ 1.02.01-1996) «Инженерные изыскания для строительства», а также опубликованные результаты научных разработок [1].

5. Методы и средства диагностики для разработки информационной модели геолого-технического объекта «Как есть»

Для создания качественной информационной модели существующего геолого-технического объекта «Как есть» должны применяться современные методы и средства диагностики и определяться оптимальный набор обследуемых параметров зданий и сооружений по СП 1.04.02-22 и СН 1.02.01-2019.

Выбор методов и средств диагностики элементов геолого-технического объекта зависит от результатов визуального осмотра состояния здания и предварительной оценки причин его деформирования.

6. Оценка условий и причин деформирования зданий

При изучении условий причин деформации зданий можно выделить два подхода: конструктивный и инженерно-геологический [2]. Конструк-

тивный подход предполагает исследование причин деформаций основных несущих конструкций зданий как результата их взаимодействия с факторами внешней среды. Второй подход предусматривает изучение процессов и явлений, возникающих в грунтах оснований зданий под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека.

7. Создание имитационной компьютерной модели объекта «Как должно быть».

На имитационной компьютерной модели «Как есть» выявляются дефекты и намечаются мероприятия по их устранению. Создается имитационная компьютерная модель «Как должно быть», с учетом мероприятий по исключению повреждений, усилению строительных конструкций, укреплению фундаментов, упрочнению грунтов и др.

8. Разработка мероприятий по укреплению оснований и усилению фундаментов и строительных конструкций.

Разрабатываются проектные решения по усилению строительных конструкций, фундаментов и упрочнению грунтов оснований.

9. Разработка системы управления проектом реконструкции здания.

С учетом положений, изложенных в [1], разрабатывается информационная система управления проектом реконструкции здания или сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусел И. А. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Основы методологии. Минск: Издательский центр БГУ, 2015.-394 с.
2. Пашкин Е. М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. М.: Высшая школа, 1998.-255с.

УДК 628.517.2

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

А.И. Згировский

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Шумозащитные экраны вдоль автомагистралей стали устанавливать в Республике Беларусь относительно недавно. Шумозащитные или акустические экраны устанавливаются как вдоль автомобильных дорог общего пользования, так и в условиях городской застройки для защиты от шума потока как автомобильного, так и железнодорожного транспорта.

Шумозащитные экраны должны устанавливаться на минимально допустимом расстоянии от автомагистрали или железной дороги с учетом требований по безопасности движения. Материалы для проектирования

экранов-стенок должны быть долговечными и устойчивыми к воздействию атмосферных факторов. В данной статье не будем затрагивать звукопоглощающие материалы и акустические характеристики облицовки экранов. Рассмотрим опыт проектирования и эксплуатации панелей шумозащитных, установленных на подъездной автомобильной дороге, полосе разгона и торможения в районе д. Прилесье Минского района, которые сразу после возведения оказались не пригодными для дальнейшей эксплуатации.

Монтаж панелей шумозащитного ограждения производился в период с декабря 2019 года по январь 2020 года. В январе 2021 года произошло обрушение ряда панелей (рисунок 1). Часть панелей получили значительные деформации (рисунок 2).



Рис. 1. Отсутствие шумозащитных панелей в результате их обрушения



Рис. 2. Деформация шумозащитных панелей более 80 мм

Шумозащитное ограждение было запроектировано частным предприятием «Творческая мастерская архитектора Ермольчика Р.Н.» как объект: «Строительство и обслуживание спортивного комплекса для выноса объектов ДОСААФ по техническим видам спорта, подъездной автомобильной дороги, полос разгона и торможения в районе д Прилесье Минского района» – строительный проект 09-ГП/2019-2С-60-КМ» В представленном проекте было рекомендовано использовать панели шумозащитные перфорированные «Саундлюкс» толщиной 80 мм (Комплект чертежей КМ, лист 5).

Проектом была предусмотрена установка шумозащитного экрана протяженностью 380 метров вдоль существующей автодороги в направлении населенного пункта Королищевичи Минского района на расстоянии 15-30 метров от откоса карьера. Данное ограждение установлено в пределах границ выделенного участка по ранее запроектированному и существующему рельефу.

В соответствии с проектом шумозащитное ограждение состоит из опорных стоек с шагом 3 м и металлических панелей.

После обрушения панелей шумозащитного ограждения было проведено техническое обследование элементов шумозащитного ограждения. Пролет смонтированных панелей соответствовал размером, заложенному в проекте. При натурном обследовании несущих вертикальных стальных двутавровых стоек 25Б1 шумозащитного ограждения сверхнормативных отклонений от вертикали, деформаций и погнутостей не выявлено. Отдельные стойки имели отклонения в пределах 3-12 мм от вертикали. Дефектов и повреждений, снижающих их несущую способность, не обнаружено.

Номинальная длина панелей находилась в пределах 3,0 м. Ширина панелей – 1,2 м. Панели толщиной 80 мм были установлены с наполнителем из минеральной ваты.

В комплекте шумозащитного экрана (согласно 09-ГП/2018-2А-60-КМ) находились:

- несущие вертикальные элементы – стоек, выполненные из широкополочных стальных двутавров 25Б1, покрытых грунтом и эмалью;
- перфорированные панели $t=80$ мм (наполнитель минеральная вата плотностью 100 кг/м^3 , влагозащитная мембрана) передняя перфорированная оцинкованная обшивка – сталь толщиной 0,7 мм, задняя сплошная оцинкованная обшивка сталь толщиной 0,5 мм;
- сплошные панели (нижний ряд панелей) $t=80$ мм (наполнитель минеральная вата плотностью 100 кг/м^3) передняя сплошная оцинкованная обшивка – сталь толщиной 0,7 мм, задняя сплошная оцинкованная обшивка сталь толщиной 0,5 мм.

Следует отметить, то при обследовании панелей было установлено повышенное влагопоглощение минераловатного заполнителя, находившегося в составе панелей шумозащитного ограждения.

В результате обследования было установлено, что на объекте были смонтированы панели, не предусмотренные проектом. Вместо панелей «Саундлюкс-Экран» толщиной 80 мм для шумозащитного ограждения фактически были установлены панели ООО «Стройпласт» (Россия).

Исполнительная документация на строительство шумозащитного ограждения не была предоставлена. Проектная документация представлена не в полном объеме. В проектной документации например была представлена только расчетная схема стальных стоек (09-ГП/2019-2С-60-

КМ, лист 3), а горизонтальные и вертикальные нагрузки на шумозащитные панели отсутствовали.

В ходе обследования шумозащитного ограждения были выявлены следующие дефекты и повреждения:

- отсутствовали шумозащитные панели в результате их демонтажа после повреждения;
- деформации шумозащитных панелей находилась в пределах от 30 мм до 80 мм;
- механические повреждения (излом) шумозащитных панелей;
- механические повреждения (коробление обшивки) от ударных воздействий и следы надрезов стальной перфорированной обшивки шумозащитных панелей;
- полное и частичное отсутствие болтов в прижимных уголках шумозащитного экрана;
- отсутствие прижимных уголков шумозащитных панелей;
- прижимные уголки устроены не по всей высоте панелей;
- повреждения оцинкованного покрытия шумозащитных панелей в результате коррозии из-за разрушения гидроизоляции;
- глубина опирания шумозащитных панелей составляла 5-10 мм и в ряде случаев менее 5 мм (дефект монтажа);
- деформация или отсутствие верхнего защитного фартука шумозащитного экрана.

При изучении представленной документации было установлено, что поставщиком панелей «Стройпласт» выступал ООО «БЕЛМЕТАЛЛИНВЕСТ». Панели до установки их на объекте не прошли обязательную сертификацию на основании нормативных документов, действующих на территории Республики Беларусь.

В соответствии с «Правилами приемки», указанных в СТБ 1808 приемку панелей производят партиями и панели принимают по результатам периодических и приемо-сдаточных испытаний. Испытания панелей по определению разрушающей сосредоточенной и равномерно распределенной нагрузки при поперечном изгибе, величины прогиба при поперечном изгибе, прочности утеплителя при сжатии, растяжении, сдвиге, модулей упругости при растяжении, сжатии и модуля сдвига, прочности сцепления утеплителя с металлическими листами при равномерном отрыве и сдвиге проводят в процессе серийного производства не реже 1 раза в 6 мес. Такие протоколы испытаний ООО «БЕЛМЕТАЛЛИНВЕСТ» не предоставил.

В представленном сертификате соответствия №0508773, выданном в Российской Федерации приведены нормативные документы, не действующие на территории Республики Беларусь. В сертификате имеется ссылка на ТУ 25.11.23-001-28126912-2018 «Панели металлические трехслойные шумозащитные со звукопоглощающим наполнителем из минераловатной плиты. Технические условия». В открытом доступе

удалось установить, что ТУ 25.11.23-001-28126912-2018 распространяется на «Руководство по монтажу шумоизоляционных панелей Стройпласт». В сертификате №0508773 приводятся ссылки на протоколы испытаний, необходимые для обязательной сертификации. Протоколы испытаний, подтверждающие несущую способность заявленных панелей, не были представлены. Отсутствует информация об области применения шумозащитного ограждения (какую нагрузку выдерживают панели, с каким шагом необходимо располагать стальные стойки и какой толщины необходимо применять панели в зависимости ветровой нагрузки).

Проект строительства шумозащитного экрана высотой 7,2 м вдоль трассы картинга получил заключение дочернего республиканского унитарного предприятия «Госстройэкспертиза по Минской области» №2095-70/19 от 30 октября 2019 года, при этом в разделе «Конструктивные решения» отсутствует упоминание о панелях шумозащитных, тем не менее в разделе «Выводы» указано, что на основании настоящего заключения архитектурный проект рекомендуется к повторному утверждению.

Таким образом, по результатам детального обследования было установлено, что панели шумозащитные, установленные на подъездной автомобильной дороге, полос разгона и торможения в районе д. Прилесье Минского района, не пригодны для дальнейшей нормальной эксплуатации. Панели «Стройпласт», имеющие в своем составе влагозащитную мембрану, не могут быть трехслойными. Их следует рассматривать как двухслойные элементы, но в этом случае перфорированная оцинкованная обшивка должна быть профилированной, а не плоской. Есть также другие варианты фиксации или усиления перфорированной обшивки. Производители панелей не разобрались в тонкостях работы шумозащитных экранов и посчитали, что можно ссылаться на панели, несущие заводского изготовления с двухсторонней металлической обшивкой.

Несущая способность смонтированных панелей шумозащитного экрана, не обеспечена для восприятия существующих эксплуатационных нагрузок. Выявлена большая деформативность этих панелей. От интенсивного ветрового давления в панелях возникли дополнительные напряжения, что привело к механическому надлому металлических обшивок. При деформациях панелей, превышающих предельно допустимую, произошло вытягивание опорных участков панелей из гнезд крепления (полка стойки двутавра и прижимной уголок), выходу из проектного положения и обрушению.

При возникшем изменении структуры конструкции панелей шумозащитного экрана (отслоение перфорированной обшивки), а также с изменением теплотехнических характеристик наполнителя (насыщение влагой и промерзание наполнителя), деструктивные процессы в перфорированных

панелях шумозащитного экрана являются необратимыми, т.е. не обеспечивается их нормальная эксплуатация и долговечность.

С высокой степенью вероятности можно описать последовательность внутренних процессов, происходящих в перфорированных панелях шумозащитного экрана. Т.к. имели место такие деструктивные процессы как отслоение перфорированной обшивки в панелях шумозащитного экрана, панель перестает быть цельной конструкцией. Перфорированная обшивка и наполнитель начинают работать самостоятельно. Дефектные панели с отслоившимися обшивками начинают существенно деформироваться, что приводит к резкому снижению эксплуатационных свойств панелей шумозащитного экрана, утрачивается пригодность шумозащитного ограждения к дальнейшей безопасной эксплуатации.

Процесс деформации панелей при наличии искривлений, является необратимым. В последующем деформации могут сопровождаться дополнительным отслоением перфорированной обшивки от наполнителя панелей из-за нарушения сцепления между стальным листом перфорированной обшивки и материала наполнителя. Из-за нарушения сцепления между стальными листами обшивки и материалом наполнителя, панель перестает быть единой конструкцией, и таким образом, эксплуатационные качества панелей снижаются.

В различной степени дефекты могут проявляться в течение всего срока эксплуатации объекта. В результате сильной деформации панелей происходит вытягивание панелей из гнезд крепления (прижимные уголки и полки двутавровых стоек). Для устранения процесса разрушения панелей необходим ремонт стеновых панелей и мероприятия по предотвращению чрезмерных деформаций и вытягивания панелей из гнезд крепления панелей.

По результатам детального обследования шумозащитного ограждения, примененные перфорированные панели шумозащитного экрана поставки «Стройпласт» (Россия) не соответствуют СТБ 1808 – 2007 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минераловатных плит. Технические условия» (п.4.7.5) и СТБ 4.220 – 98. СПКП «Строительство. Панели легкие ограждающие с утеплителем из пенопласта и минераловатных плит. Номенклатура показателей».

При изготовлении панелей, эксплуатируемых на открытом воздухе, необходимо использовать в качестве наполнителя только гидрофобизированную минеральную (каменную) вату, благодаря чему исключается проникновение влаги в структуру наполнителя, в противном случае не будет обеспечено качество панелей, а эксплуатационные пригодность панелей будет резко снижена.

Высокое влагопоглощение в совокупности с существующими условиями эксплуатации свидетельствуют, что данный материал наполнителя с

неудовлетворительными физико-механическими характеристиками изначально не мог быть применен в конструкции шумозащитного экрана.

При насыщении влагой материала наполнителя в перфорированных панелях шумозащитного экрана, будет происходить отслоение перфорированной обшивки от влагозащитной мембраны с последующей деформацией панелей, при этом не исключается обрушение отдельных панелей.

Необходимо отметить также, что одной из причин способствующих обрушению панелей является также повышенное ветровое давление в момент, предшествующий обрушению. Обрушение панелей произошло за счет исчерпания несущей способности шумозащитных панелей. Шумозащитный экран, расположенный в районе д. Прилесье Минского района, находится в местности со значительными перепадами высот. Участок местности в пределах д. Прилесье можно отнести к типу местности – III, а участок примыкающий к д. Прилесье, где отсутствуют строения, в зоне съезда к картодрому РСТЦ ДОСААФ, к типу местности – II. По данным метеонаблюдений скоростной напор ветра в момент, предшествующий обрушению превышал среднее нормативное значение в 2,5-3 раза, что и привело к негативным последствиям.

Определить несущую способность панелей шумозащитных «Стройпласт» для восприятия эксплуатационных нагрузок в результате детального обследования было невозможно из-за отсутствия исходных данных (фактическая плотность, прочностные характеристики и модуль упругости материала наполнителя).

Среди материалов, предоставленных Заказчиком были протоколы испытаний панелей шумозащитных «Саундлюкс-Экран», хотя как было выше указано, по факту были установлены панели «Стройпласт». Испытания панелей проводил РУП «Институт БЕЛНИИС». В представленном протоколе испытаний №52Н-1 от 23 февраля 2023 г. РУП «Институт БЕЛНИИС» на панели шумозащитные «Саундлюкс-Экран» приведена разрушающая нагрузка и прогиб при поперечном изгибе при этой же нагрузке. Прогиб при оценке жесткости в соответствии с СТБ 1610 замеряется при нормативной нагрузке. В тоже время в протоколе не указано, с какой стороны прикладывалась нагрузка (со стороны перфорации или к гладкой обшивке), т.к. эти панели необходимо рассматривать как двухслойные, для которых принципиально важно с какой стороны прикладывается нагрузка.

Панели шумозащитные «Стройпласт» оказались не пригодны для дальнейшей эксплуатации. Неблагоприятное сочетание внешних нагрузок привело к отказу конструкций ограждения. Для дальнейшей безопасной эксплуатации шумозащитного ограждения были разработаны мероприятия по усилению шумозащитного ограждения.

По заданию Заказчика были проведены статические испытания нагружением панелей «Стройпласт», демонтированных из существующего

шумозащитного ограждения, с целью определения их фактической несущей способности. Испытания проводились на базе Центра научных исследований и испытаний строительных конструкций (ЦНИИСК) БНТУ. Испытания подтвердили низкую несущую способность панелей «Стройпласт», невозможность воспринимать ветровую нагрузку, соответствующую данному типу местности. Дополнительно проводились статические испытания панелей «Стройпласт», на фрагменте шумозащитного ограждения, усиленных при помощи стальных шляпных профилей. Фактическая несущая способность панелей, усиленных шляпными профилями оказалась примерно в 6 раз выше по сравнению с неусиленными.

Панели «Стройпласт» шумозащитного экрана высотой 7,2 м вдоль трассы картинга были усилены путем использования стальных шляпных профилей ПШ 90х20 мм толщиной 1,2 мм. Профили устанавливались в уровне продольных стыков панелей с двух сторон, а также по центрам панелей со 2-й по 6-ю. Первая (нижняя панель имела с двух сторон сплошную металлическую обшивку). Крепление выполнялось при помощи саморезов для сэндвич-панелей длиной 105 мм с шагом 400 мм. Общий вид шумозащитного экрана после усиления представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Общий вид шумозащитного экрана после усиления стальными шляпными профилями.



Рис. 4. Фрагменты усиления шумозащитного экрана с частичной заменой поврежденных панелей.

Поврежденные панели были извлечены и заменены на новые (см. рис. 4). Узел усиления панелей шумозащитного экрана при помощи шляпных профилей приведен на рисунке 5.

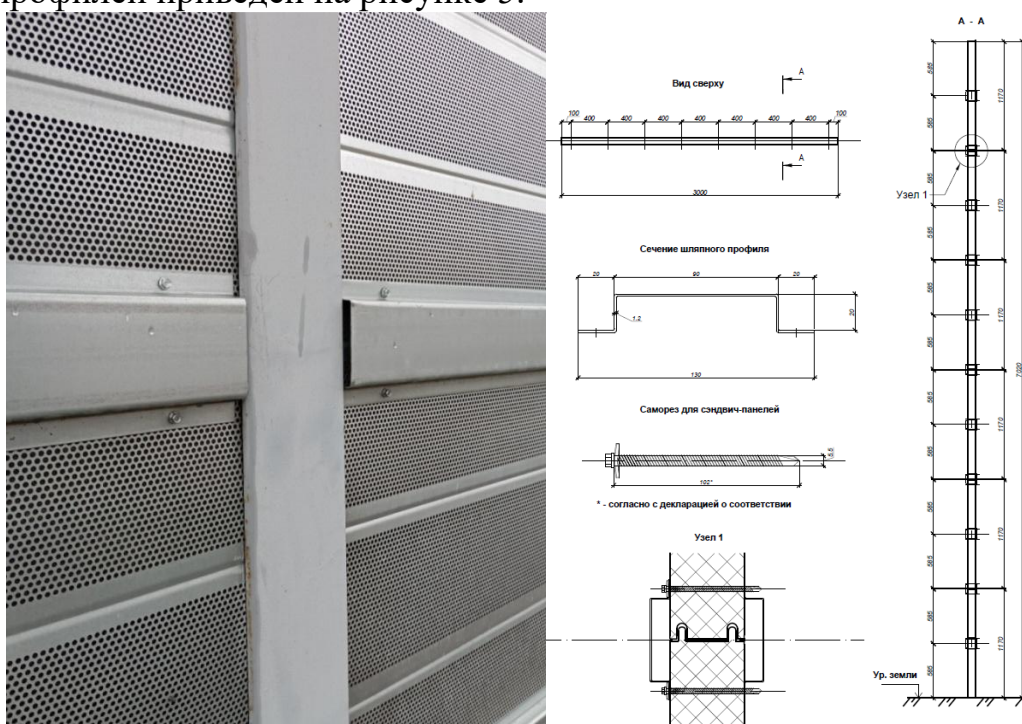


Рис. 5. Узел усиления панелей шумозащитного экрана

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 1.04.01–2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Минск: МАиС, 2020. – 73 с.
2. СП 1.04.02-2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Минск: МАиС, 2022. – 80 с.

3. ТКП EN 14509–2013. Панели изоляционные несущие заводского изготовления с двухсторонней металлической обшивкой. Технические условия – Минск: МаиС, 2013. – 128 с.
4. СН 2.01.01–2022. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: МАиС, 2022. – 65 с.
5. СТБ 1610-2006. Панели металлические с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности и жесткости.
6. СТБ 1808 – 2007 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минераловатных плит. Технические условия».

УДК 624.011.1

УСИЛЕНИЕ ДОЩАТОКЛЕЕННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕФЕКТАМИ В ВИДЕ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН

Згировский А.И., Минчукова М.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В Республике Беларусь деревянные арочные конструкции используются как в качестве покрытия складов калийных удобрений, так и при возведении спортивных сооружений. Арки являются одним из наиболее эффективных типов несущих конструкций, как с экономической, так и с эстетической точек зрения. Клеедощатые арки в большинстве случаев проектируют прямоугольного постоянного сечения по длине пролёта, независимо от формы её очертания. Опыт проектирования и эксплуатации большепролетных клееных деревянных арок в стране составляет более полувека. Необходимость строительства складов связана с необходимостью хранения калийных удобрений и последующего их экспорта, которая остается одним из основных источников валютных поступлений в страну. Увеличить производство калийных удобрений в Республике Беларусь планируется после ввода в эксплуатацию Петриковского горно-обогатительного комбината и Нежинского горно-обогатительного комбината в Любанском районе. Кроме того, началось строительство горно-обогатительного комбината в Дарасино.

В республике накоплен опыт изготовления и монтажа большепролетных клееных арок. Склады солей калийных комбинатов входят в состав основных сооружений калийных комбинатов. Особенностью этих сооружений являются большие, свободные от опор площади помещений (пролетом 45 м), в которых на полу хранится соль. Особенность эксплуатации деревянных складов является постоянное содержание в воздухе тонкой солевой пыли, возникающей при сбрасывании соли с транспортной галереи, оседающей на всех горизонтальных и наклонных плоскостях конструкций.

Без существенного нарушения целостности эксплуатируются арки стрельчатого очертания пролетом 45 м складов калийных удобрений в г. Солигорске, склеенные с гвоздевой запрессовкой. В течение более 50 лет эксплуатации отмечались только дефекты, возникшие из-за протечек кровли. Многолетний опыт применения деревянных клееных конструкций свидетельствует, что клееные конструкции являются вполне надежными в эксплуатации.

Анализ многолетнего опыта эксплуатации конструкций из клееной древесины показывает, что наиболее характерной причиной их разрушения являются продольные трещины и расслоения. Клееные конструкции довольно чутко реагируют на отклонения от рекомендованных решений на всех стадиях: проектирования, изготовления, хранения, монтажа и эксплуатации. Следствие этого – появление трещин, расслоение и обрушение конструкций

Наряду с положительным опытом изготовления, накоплен опыт эксплуатации клееных конструкций, причем в большинстве случаев положительный.

Дефекты изготовления возникают при нарушении технологического процесса производства конструкций. Для клееных деревянных конструкций характерны следующие дефекты: сушка пиломатериалов при жестких режимах (приводит к короблению досок, появлению значительных внутренних напряжений в клеевых элементах и расслоению по клеевым швам), превышение нормативных сроков хранения синтетических смол, несоблюдение правил приготовления клеев приводит к снижению прочности клеевых швов и их расслоению в процессе эксплуатации (рисунки 1 и 2).

Расслоение по клеевым швам наиболее часто встречается в сечениях с максимальной поперечной силой (например, вблизи опорных узлов), а также в местах концентрации больших внутренних напряжений. Основная причина расслоений по клеевым прослойкам является некачественное изготовление конструкций. При наличии таких дефектов безопасная эксплуатация не гарантирована.



Рис. 1. Дефект зубчатого соединения



Рис. 2. Трещины по клеевым прослойкам

Основные требования к усилению конструкций:

- обеспечение необходимой несущей способности, надежности и долговечности;
- включение в работу элементов усиления, обеспечение совместной работы с основной конструкцией;
- сохранение центрирования элементов в узлах и положения центра тяжести основного сечения.

Выбор того или иного решения зависит от технического состояния конкретной конструкции. Наиболее эффективными считаются способы усиления конструкций путем изменения статической схемы – введение затяжек, устройством дополнительных подкосов, стоек. Эти способы рекомендуется применять, при наличии свободного пространства под усиливаемой конструкцией. В случае с арками применением затяжек можно достичь уменьшения изгибающих моментов в полуарках в 1,5 – 2 раза. Однако данный способ усиления не решает проблему локальных и магистральных трещин.

Отделом металлических и деревянных конструкций филиала РУП «Институт БелНИИС» (г. Брест) было выполнено натурное освидетельствование поврежденных клееных дощатоклееных арок, смонтированных в проектом положении по теме: «Обследование клееных полуарок в осях «45-73/Б-К» на объекте «Реконструкция склада мелкозернистого концентрата № 2 на 2РУ» - шифр 107-О/09). В клееных полуарках были выявлены массовые значительные и критические дефекты; прочность арок с повреждениями при действии эксплуатационных нагрузок не была обеспечена; техническое состояние клееных полуарок соответствовало IV категории (неудовлетворительное). И как общий вывод «В связи с тем, что прочность арок со значительными и критическими повреждениями в виде трещин не обеспечена, дальнейшая эксплуатация поврежденных арок не допускается».

Для определения фактической несущей способности смонтированных клееных деревянных полуарок с выявленными повреждениями было принято решение о проведении испытаний пробным нагружением.

Испытания пробной нагрузкой проводятся в случаях, когда при обследовании не удастся установить фактические параметры или расчетную схему конструкции, когда обычными методами обследования не представляется возможным выявить фактическое техническое состояние, а проверочные расчеты не дают достаточно надежных результатов.

В свое время кафедрой «Металлические и деревянные конструкции» БНТУ было разработано усиление поврежденных полуарок при помощи углеродволоконных холстов и деревянных накладок. Углеродволоконные холсты, наклеенные по специальной технологии, располагались с определенным шагом и выполняли функцию стяжных обоев. Возле конькового и опорного узлов шаг наклейки углеродволоконных холстов уменьшался в два раза. Система деревянных накладок, расположенных под углом к оси полуарки, перекрывала все расслоившиеся клеевые швы. Эпоксидный клей наносился одновременно на участок усиления на полуарке и на деревянные накладки. Деревянные накладки с нанесенным клеем прижимались к поверхности полуарки и при помощи глухарей (саморезов), поставленных в заранее просверленные отверстия и плотно прижимаются к поверхности полуарки до появления излишков клея из-под накладки. Для повышения адгезии в эпоксидную смолу непосредственно перед склеиванием добавлялся цемент.

Для проверки принятого способа усиления, определения прочностных и деформационных характеристик усиленных полуарок были проведены экспериментальные исследования.

Для испытаний была использована полуарка из той же партии, что и смонтированные на объекте. Полуарка, которую решили подвергнуть статической нагрузке хранилась на территории предприятия, т.е. на открытом воздухе под легким навесом из шиферных листов. В этой полуарке дефекты были аналогичны установленным в проектное положение (рисунки 1 и 2).

После усиления дефектной полуарки, при её осмотре были выявлены отступления от рекомендаций и дефекты, которые, однако не повлияли на работу конструкции в целом:

- качество поверхности полуарок для приклейки деревянных накладок было неудовлетворительное. Поверхности на вертикальных гранях полуарок не имели горизонтальной поверхности;

- в отдельных местах по краям деревянных накладок выявлены зазоры до 5 мм, образовавшиеся в результате неплотного прилегания деревянных накладок к граням полуарок;

- выявлены участки непроклея углеродволоконных холстов на поверхности деревянной полуарки;

- были выявлены участки в местах приклейки деревянных накладок, на которых не произошла полная полимеризация эпоксидного клея;

– диагональные накладки были установлены с отступлением от схемы, приведенной в рекомендациях по усилению.

Усиленную дефектную полуарку испытывали в три этапа: 1) усиленную углеродволоконными холстами с шагом 2,55 м и деревянными накладками; 2) усиленную углеродволоконными холстами с шагом 5,1 м и деревянными накладками (половина стяжных хомутов из углеродволоконных холстов была выключена из работы путем разрезания в нескольких местах); 3) усиленную только деревянными накладками на боковых поверхностях (все стяжные хомуты из углеродволоконных холстов были выключены из работы за исключением приопорного и конькового участков полуарки).

По результатам натурных испытаний была предложена и реализована схема усиления арочных конструкций с использованием углеродволоконных холстов и деревянных накладок (рисунки 3 и 4).



Рис.3. Общий вид арок склада, усиленного холстами и накладками

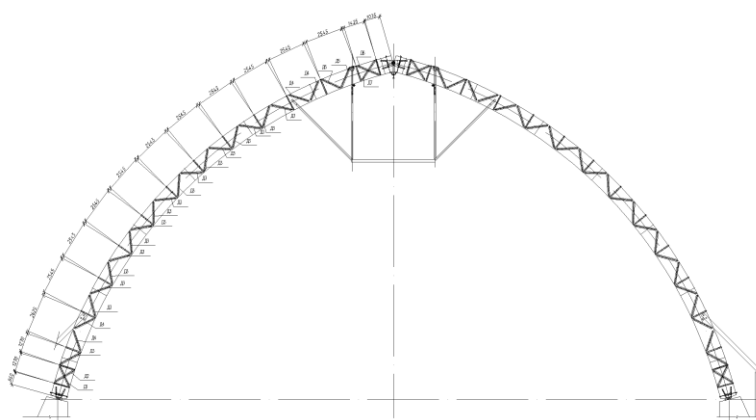


Рис. 4. Схема усиления трехшарнирной арки стрельчатого очертания.

Через несколько лет возникла необходимость усилить при реконструкции второй очереди склада мелкозернистого концентрата №2 на 2РУ в г. Солигорске Минской области. Склад представляет собой сооружение арочного типа, имеющее размеры в плане (в осях) 45,0 х 60,0 м. Основные несущие конструкции арки стрельчатого очертания и расположены с ша-

гом 3,0 м. Опираие арок на фундамент и сопряжение в коньке – шарнирное. За условную отметку $\pm 0,000$ принят уровень головки рельса кратцеркрана, что соответствует абсолютной отметке 175,050. Здание неотапливаемое.

Клеевая деревянная трехшарнирная арка пролетом 45 м состоит из двух соединенных в коньке клееных монолитных полуарок.

Согласно проекту для изготовления элементов деревянных конструкций, использовались пиломатериалы сосны или ели 1 и 2 сорта, максимальной влажностью для клееных конструкций – 12%.

Полуарка имеет циркульное очертание при радиусе кривизны ее оси 31 м. Длина клееной полуарки по дуге 33,528 м, хорда ее 31,8 м. Сечение прямоугольное с размерами сторон 300x1050 мм. Склеивание полуарок было выполнено по методу гвоздевой запрессовки. Согласно проекту, полуарка по высоте сечения склеивается из 33 слоев, каждый слой толщиной 33 мм состоит по ширине из двух досок – 125 мм и 175 мм, которые склеиваются между собой с перевязкой вертикальных швов в смежных слоях.

По качеству материала и способу продольного стыкования по высоте сечения полуарка разделена на три зоны. Доски крайних зон приравняются по качеству к элементам первой категории и стыкуются на зубчатый шип, доски средней зоны высотой рассматриваются как элементы второй категории и стыкуются впритык. Для перекрытия продольного клееного шва, верхняя и нижняя поверхности полуарок оклеены фанерой толщиной 10 мм.

Кровля выполнена с использованием профилированных листов из ПВХ типа «Ондекс», уложенных по деревянным прогонам. Пространственная неизменяемость склада обеспечивается системой связей по покрытию в торцевых блоках и в отсеках на расстоянии не более 30 м. Стойки фахверка здания запроектированы также из клееных деревянных стоек.

Здание возведено в климатическом районе с ветровым нормативным значением давления – 0,23 кПа. Вес нормативного снегового покрова для данного района строительства – 0,8 кПа.

В результате натурного освидетельствования несущих конструкций склада мелкозернистого концентрата установлено, что они находятся в неудовлетворительном состоянии.

При обследовании установлены многочисленные повреждения в виде трещин шириной от 0,5 до 5 мм развитием 0,5 – 1,5 м (локальные) до 3–11 м и более (магистральные). Глубина развития поверхностных трещин составляет от 20 мм до 150 мм. Выявлены сквозные трещины, проходящие по смежным рядам досок клееного пакета с обеих сторон полуарок. В основном трещины проходили между досками клееного пакета (разрушение по клеевой прослойке). В ряде случаев выявлены трещины, переходящие с одного ряда досок на соседний. Выявлены также трещины, проходящие по древесине.

Следует отметить, что большему повреждению подверглись полуарки, находящиеся на южной стороне, т.е. сторона, подвергавшаяся интенсивной солнечной радиации т.к. арки, стояли длительное время без смонтированного покрытия в виде настила. Количество трещин на полуарках с южной стороны достигало от 4 до 9, в тоже время на северной стороне их было от 3 до 6.

Анализ данных натурного освидетельствования несущих клееных арок склада мелкозернистого концентрата №2 на 2РУ в г. Солигорске позволил сделать следующие основные выводы – дефекты возникли при нарушении условий хранения срок на строительной площадке. Полуарки длительное время (более полугода) находились на строительной площадке без укрытия. Дефекты проявились в результате появления значительных внутренних напряжений в клеевых элементах, что привело к расслоению в основном по клеевым швам.

Было рекомендовано произвести усиление полуарок при помощи углеродволоконных холстов FibArm Tape 230/300 шириной 60 мм на эпоксидном клее. Кроме того, по просьбе заказчика отказались от использования деревянных накладок, и всё усиление выполнялось при помощи углеродволоконных лент без деревянных накладок (рисунки 5 и 6).

Работы по усилению выполнялись в следующей последовательности: производилась разметка участков усиления полуарок; до приклейки углеродволоконных холстов тщательно подготовлено основание. Поверхность, на которую наклеивались углеродволоконные холсты обезжиривалась, обеспыливалась и выравнивалась (поверхность, на которую наклеивались углеродволоконные холсты, была прострогана или профугована, и не имела перепадов по высоте). Непосредственно до приклеивания углеродволоконных холстов шириной 60 мм поверхность, на которую втирается клеевой раствор была высушена. Влажность древесины полуарок находилась в пределах 12-15%. Все работы по усилению выполнялись в закрытом помещении только при положительной температуре.

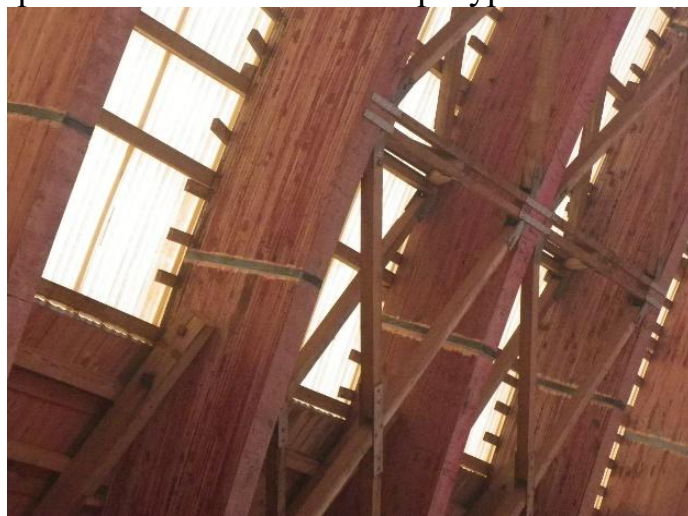


Рис. 5. Усиления арок углеродволоконными холстами без деревянных накладок



Рис. 6. Усиление приопорной зоны

Трещины на вертикальных гранях полуарок дополнительно были зашпатлеваны при помощи шпатлевки приготовленной на основе эпоксидного клея, в который добавлялись древесные опилки до получения вязкого состава.

В качестве следующего примера рассмотрим проект усиления клее-деревянных арок сезонного катка в Республиканском горнолыжном центре «Силичи». В ходе реконструкции предполагалось утеплить здания и пере-профилировать его из сезонного в круглогодичный. В этой связи увеличилось нагрузки на покрытие. Необходимость усиления несущих конструкций здания была обусловлена также длительным сроком его эксплуатации, наличием дефектов (продольные несквозные трещины в арках), а также в виде локального биологического поражения в приопорных участках.

Крытый каток представляет собой одноэтажное прямоугольное в плане здание, со встроенным блоком вспомогательных помещений. Габаритные размеры здания в плане 71.00х37.98м, максимальная высота в коньке – 11.08 м. Несущими конструкциями катка являются сборные двухшарнирные клееные деревянные арки эллиптического очертания, установленные с шагом 5 м. Жесткость здания, обеспечивается деревянными прогонами и стальными крестовыми связями, связывающими между собой деревянные арки.

В ходе реконструкции арка была рассчитана на увеличенную нагрузку, в связи с дополнительным весом принятого пирога кровли, а также с учетом изменения временных нагрузок. Были предложены два варианта: первый, методом изменения конструктивной схемы путем введения стальной затяжки на средней трети высоты (около 5 м от уровня опорного узла). Этот вариант не решал проблему расслоения арок. Второй, путем усиления самых напряженных частей арки накладками из LVL бруса. Места работы

древесины на растяжение (на длине 6 м от карнизного узла) были усилены помощи углеволоконных холстов на эпоксидной смоле (рисунок 7 и 8), расположенными радиально с шагом 1,0-1,2 м. Такой метод позволил препятствовать развитию продольных трещин.

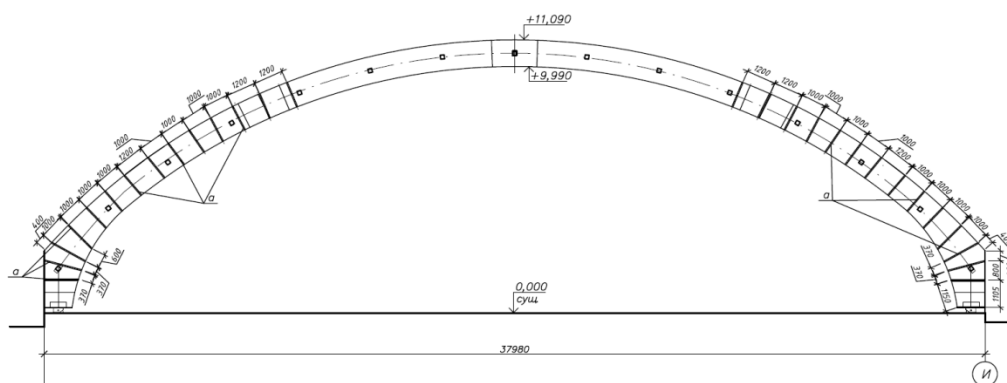


Рис. 7. Схема локального усиления углеродволоконными лентами и накладками из LVL



Рис. 8. Фрагмент усиления двухшарнирной арки

Основными преимуществами метода усиления при помощи углеродволоконных холстов являются использование композиционного материала, который является стойким к воздействию коррозии и легкость монтажа. На кафедре «Строительных конструкций» БНТУ разработана инженерная методика расчета предложенного метода усиления.

Расчеты по оценке экономической эффективности подтвердили возможность снижения себестоимости работ по усилению с использованием углеродволоконных лент в виде замкнутой обоймы.

Стоимость работ по усилению клееных арок с использованием композитных материалов составила 2-3 % от стоимости изготовления новой конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 45-5.05-146–2009. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск: РУП «Минсктипроект», 2009. – 63 с.

2. ТКП 45-5.05-275-2012 «Деревянные конструкции. Правила расчета» / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск: РУП «Минсктиппроект» 2012, 111 с.
3. Згировский А.И. Натурные испытания дощатоклееных полуарок, усиленных углеродволокном. Сборник научных статей «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров». Гродно, ГрГУ им.Я. Купалы, 2010. – С. 86-90.
4. Калугин А.В. Деревянные конструкции. Учебное пособие – М.: Изд. АСВ, 2008. – 288 с.
5. Кормаков Л.И., Валентинавичюс А.Ю. «Проектирование клееных деревянных конструкций» / Будивельник – Киев.:1983, 152 с.
6. Проектирование деревянных конструкций: учебное пособие / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под ред. Е.Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.

УДК 624.012.4

НОРМИРОВАНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ШВАМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Р. А. Малахов

Магистрант специальности 7-06-0732-01 «Строительство»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Начальник конструкторского бюро «Железобетонные конструкции» –
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск

Аннотация. Определение расстояния между деформационными швами в строительных конструкциях является важным аспектом процесса проектирования, обеспечивающим долговечность и работоспособность конструкции. Его можно рассчитать, но этот способ зачастую является наиболее трудоемким. Исходя из этого в статье производится анализ белорусских и зарубежных ТНПА на предмет требований к назначению расстояний между температурными и усадочными деформационными швами в железобетонных конструкциях зданий и сооружений. На основе результатов проведенного анализа сделаны выводы о необходимости совершенствования национальных ТНПА в исследуемой области.

Ключевые слова: деформационный шов, расстояние между швами, железобетонные конструкции, температурные деформации, деформации усадки.

Анализ ТНПА Республики Беларусь

ТКП EN 1992-1-1-2009 «Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий» указывает, что в конструкциях зданий влияние эффектов температуры и усадки может не учитываться при общем статическом расчёте, если предусмотрены сты-

ки на расстоянии d_{joint} для обеспечения свободы результирующих деформаций. Данное рекомендуемое значение составляет 30 м [1].

При этом в другом действующем документе — СП 5.03.01–2020 «Бетонные и железобетонные конструкции» какая-либо информация касательно такого учёта отсутствует [2].

В документе СНиП 2.06.08–87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений» сказано, что расстояние между постоянными швами в бетонных сооружениях на скальном основании должно быть не более 30 м. При этом для уменьшения температурно-усадочных напряжений, а также влияния неравномерных осадок основания допускается устраивать временные расширенные швы, заполняемые бетоном после выравнивания температур и стабилизации осадок. В документе имеются указания, когда допускается не учитывать температурные воздействия и усадку бетона. Так температурные воздействия допускается не учитывать в расчётах тонкостенных конструкций, если обеспечена свобода перемещений этих конструкций. Усадку бетона допускается не учитывать в расчётах: массивных конструкций; тонкостенных конструкций, находящихся под водой, контактирующих с водой или засыпанных грунтом, если были предусмотрены меры по предотвращению высыхания бетона в период строительства [3].

Документ ТКП EN 1992-3-2009 «Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 3. Конструкции, локализирующие и удерживающие жидкость» содержит информацию, что если для ограничения образования трещин невозможно предпринять эффективные и экономически целесообразные меры, то необходимо в конструкции устраивать деформационные швы. При этом исключение трещинообразования от температуры и усадки может быть достигнуто путём проектирования «для полного ограничения», когда ширину трещины и расстояния контролируют за счёт обеспечения соответствующего армирования. Другим вариантом является проектирование путём обеспечения «свободного движения», при котором образование трещин контролируют посредством расстояния между швами, при этом рекомендуется устраивать стыки конструкций на расстоянии не более 5 метров или 1,5 высоты стены, в зависимости от того, какое из этих значений больше [4].

Анализ зарубежных источников

СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции». К своду правил Российской Федерации в 2019 г. к данному документу было издано изменение № 1, которое определяет, что расстояния между постоянными температурно-усадочными швами следует устанавливать расчётом. Но также имеются указания, что допускается расчёт не производить, если при расчётной температуре наружного воздуха минус 40°C и выше расстояние между температурно-усадочными швами не превышает значений, приведённых в таблице 1 [5].

Таблица 1. Допустимые расстояния между температурно-усадочными швами без расчёта [5, таблица 10.1а]

Здания и конструкции	Наибольшие расстояния, м, между температурно-усадочными швами, допускаемые без расчёта, для конструкций, находящихся		
	Внутри отапливаемых зданий или в грунте	Внутри неотапливаемых зданий	На открытом воздухе
Бетонные:			
а) сборные	40	35	30
б) монолитные:			
при конструктивном армировании	30	25	20
в) без конструктивного армирования	20	25	10
Железобетонные			
а) сборные каркасные:			
одноэтажные	72	60	48
многоэтажные	60	50	40
б) сборно-монолитные и монолитные:			
каркасные	50	40	30
стенные	40	30	25

Как видно из данных таблицы 1, допустимые расстояния между швами в конструкциях напрямую зависят от условий эксплуатации. Это обосновывается тем, что конструкции, находящиеся в неотапливаемых зданиях или на открытом воздухе, наиболее подвержены температурным воздействиям вследствие прямого влияния температуры окружающей среды

Стоит отметить, что с целью увеличения расстояний между швами для каркасных зданий и сооружений без мостовых кранов при наличии в рассматриваемом направлении связей (диафрагм жесткости) значения, указанные в таблице 1, допускается умножать на коэффициент, определяемый по формуле:

$$\delta = \delta_t^A \delta_l^A \delta_\varphi^A \geq 1 \quad (1)$$

где δ_t^A – коэффициент, принимаемый равным:

$$- \text{ для отапливаемых зданий: } \delta_t^A = \frac{50}{\Delta t_w + \varepsilon \cdot 10^5}; \quad (2)$$

$$- \text{ для неотапливаемых зданий и сооружений: } \delta_t^A = \frac{60}{|\Delta t_c|}; \quad (3)$$

здесь Δt_w и Δt_c – расчётные значения изменения температуры, °С;

ε – относительное удлинение горизонтальных элементов от действия вертикальных нагрузок, которое допускается принимать $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-4}$ – для железобетонных элементов;

$$\delta_l = \frac{l}{9h}; \quad (4)$$

l – длина колонны между точками закрепления;

h – высота сечения колонны в рассматриваемом направлении;

$$\delta_\varphi = 0.4 + 0.01\varphi_{ext} \leq 1; \quad (5)$$

φ_{ext} – влажность наружного воздуха, %, в наиболее жаркий месяц года.

При учёте коэффициента δ расстояния между температурно-усадочными швами должны быть не более 150 м для отапливаемых зданий из сборных конструкций, 90 м – для отапливаемых зданий из сборно-монолитных и монолитных конструкций; для неотапливаемых зданий и сооружений указанные значения следует принимать равными 120 м и 72 м соответственно [5].

Таким образом, СП 63.13330.2018 даёт чёткие рекомендации по допустимым расстояниям между швами без проведения расчёта, но ещё при этом простейшими математическими расчётами, допустимыми к использованию в рамках сферы действия данного ТНПА, позволяет увеличить данное расстояние.

SP 62 (S and T): 1997 Handbook on Building Construction Practices. Стандартизированные правила застройки и строительства Индии устанавливают, что расстояние между деформационными швами должно соответствовать значениям, приведённым в таблице 2 [6]. Стоит отметить, что стандарт Индии имеет большую неопределённость касательно конструктивной схемы здания или сооружения, а также не учитывает условия окружающей среды.

Таблица 2. Рекомендуемые расстояния между деформационными швами, SP 62, India [6, таблица 13.1]

Конструкция здания	Расстояние между деформационными швами, м
Стены: а) Несущие стены с поперечными перегородками через определённые промежутки. Традиционный тип из одного кирпича толщиной и более. б) для зданий складского типа;	30 30 метров. Если это панельные стены между колоннами, то при расстоянии 9 метров и менее швы не требуются.
Навесы, балконы, парапеты	От 6 до 12
Кровли: а) Обычные плиты крыши из железобетона, защищённые слоем изоляционного материала, в бескаркасной конструкции. б) Тонкие незащищённые плиты	С промежутками от 20 до 30 метров, а также в местах изменения направления конструкций в виде букв L, T, H и V. 15
Рамы: конструкции, соединённые посредством плит, балок, колонн и т. д., разделяющие здание на независимые структурные единицы	В углах конструкций в форме букв L, H, T и C, а также с промежутками в 30 метров в длинных однородных конструкциях.

Code for design of concrete structures GB50010-2010, China. Согласно положениям данного документа максимальное расстояние между де-

формационными швами железобетонных конструкций без расчёта не должно превышать значений, указанных в таблице 3.

Таблица 3. Максимальные расстояния между деформационными швами, GB50010-2010, China [7, таблица 8.1.1]

Тип конструкций		В помещении или в грунте	На открытом воздухе
Гибкие сооружения	Заводские	100	70
Каркасная конструктивная схема	Заводские	75	50
	Монолитные	55	35
Конструкции с поперечными стенами	Заводские	65	40
	Монолитная	45	30
Конструкции подпорных стен, стен подвала и т. д.	Заводские	40	30
	Монолитная	30	20

Данный документ указывает, что максимальное расстояние между деформационными швами следует уменьшить для следующих сооружений:

1. Гибкие сооружения с высотой колонны (рассчитывается от верхней поверхности фундамента) менее 8 м;
2. Изогнутые конструкции без теплоизоляции и теплоизоляционных мероприятий на крыше;
3. Если сооружение расположено в зоне сухого климата с жаркой погодой летом и частыми ливнями, либо конструкция подвержена воздействию высокой температуры;
4. Все виды стеновых конструкций по технологии строительства скользящего типа;
5. Монолитные конструкции с большой усадкой.

Также имеются указания, которые позволяют максимальное расстояние между деформационными швами увеличить, если имеются достаточные обоснования при следующих условиях:

1. Приняты меры по уменьшению усадки бетона и колебания температуры;
2. Предусмотрены специальные меры по предварительному напряжению или усилению конструкционной стальной арматурой;
3. Используются бетоны с малой усадкой. Применяются такие методы строительства, как заливка отдельными захватками, дополнительное армирование и контрольные швы, а также усиленный контроль качества строительства.

Но при этом в документе говорится, что при увеличении расстояния между деформационными швами всё ещё следует учитывать влияние температурных колебаний и усадки бетона на конструкцию [7].

Таким образом, нормативный документ КНР по проектированию железобетонных конструкций даёт достаточно подробные указания для про-

ектировщика по нормированию расстояний между деформационными швами.

Expansion Joints in Buildings: Technical Report No. 65. Washington, DC. В 1974 г. Национальная академия наук США издала технический отчёт № 65, целью которого было предоставление практических рекомендаций по устройству деформационных швов в зданиях. В отчёте указывается, что необходимость тепловых компенсационных швов в зданиях может быть определена изначально эмпирическим путем. Максимально допустимая длина здания без использования деформационных швов может быть определена согласно рисунку 1 исходя из изменения расчётного изменения температуры. Эти кривые непосредственно применимы к зданиям каркасной конструкции с шарнирным опиранием и отапливаемыми внутренними помещениями [8].

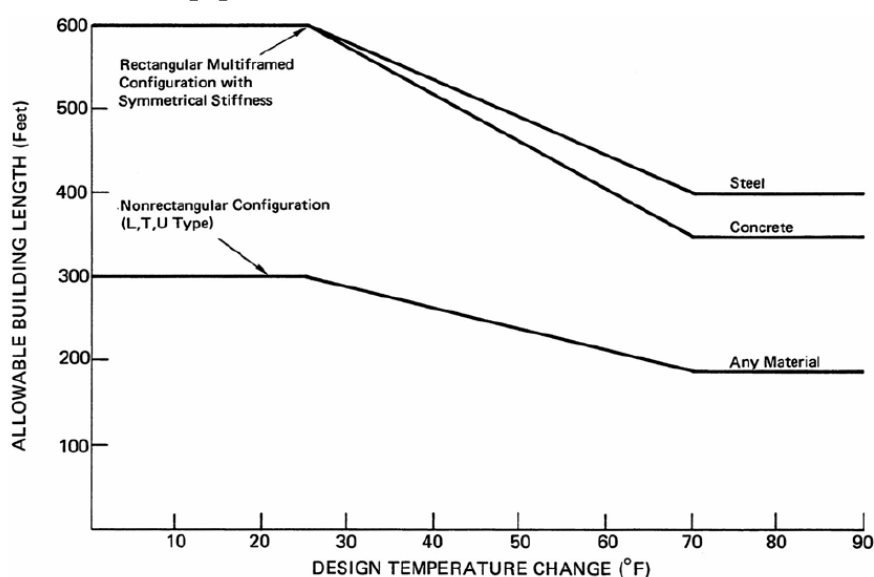


Рис.1. Максимально допустимая длина здания без использования компенсаторов (100 ft=30.48м, 20°F=-6,67°C, 50°F=10°C, 80°F=10°C, 80°F=26,7°C) [8, рисунок 1]

При этом в случае отличия условий от вышеуказанных, применяются следующие правила по работе с графиком:

- если здание будет кондиционироваться и отапливаться, допускается увеличить длину на 15 % (при условии, что система контроля окружающей среды будет работать непрерывно);
- если здание будет неотапливаемым, уменьшить допустимую длину на 33 %;
- если здание будет иметь жёсткое сопряжение колонн с фундаментами, уменьшите допустимую длину на 15 %;
- если здание будет иметь значительно большую жёсткость против поперечного смещения на одном конце в плане, допустимую длину следует уменьшить на 25 %.

В случае наличия нескольких условий поправочные коэффициенты суммируются [8].

Американский институт бетона (ACI – American Concrete Institute). Среди американских стандартов имеется ряд документов с указаниями по проектированию деформационных швов. Рассмотрим некоторые из них.

ACI 224.3R-95 «Соединения в бетонных конструкциях» посвящён проектированию различного типа швов. В отчёте отмечается, что существует множество различных требований к расстояниям между швами, так некоторые из них сведены в таблицах 4, 5. Эти правила в целом довольно консервативны и варьируются от 9 до 60 м в зависимости от типа конструкции.

Таблица 4. Расстояние между усадочными швами [9, таблица 1.1]

Источник	Расстояние, м
Merrill (1943)	6 м для стен с частыми проёмами, 7,5 м для сплошных стен
Fintel (1974)	От 4,5 до 6 м для стен и плит. Также рекомендует размещать швы при резких изменениях плана и высоты здания, чтобы учесть потенциальную концентрацию напряжений
Wood (1981)	От 6 до 9 м для стен
PCA (1982)	От 6 до 7,5 м для стен в зависимости от количества проёмов
ACI 302.1R	До 302.1R-89 рекомендовалось от 4,5 до 6 м, затем расстояние между швами должно составлять в 24–36 толщин перекрытия
ACI 350R-83	9 м в сооружениях инженерной защиты окружающей среды
ACI 350R	Расстояние между швами варьируется в зависимости от класса бетона и процента армирования
ACI 224R-92	От одной до трехкратной высоты стены в сплошных стенах

Таблица 5. Расстояние между деформационными швами [9, таблица 1.2]

Источник	Расстояние, м
Lewerenz (1907)	23 м для стен
Hunter (1953)	25 м для стен и утепленной крыши, от 9 до 12 м для неутепленной крыши
Billig (1960)	Максимальная длина здания 30 м без швов. Рекомендуется размещать при резких изменениях плана и высоты здания, чтобы учесть потенциальную концентрацию напряжений.
Wood (1981)	От 30 до 35 м для стен
Indian Standards Institution (1964)	Максимальная длина здания между швами 45 м
PCA (1982)	Максимальная длина здания 60 м без швов
ACI 350R-83	36 м в сооружениях инженерной защиты окружающей среды, частично заполненных жидкостью (при отсутствии жидкости требуются меньшие расстояния).

ACI 350.4R-04 «Рекомендации по проектированию бетонных конструкций в области инженерной защиты окружающей среды» устанавливают требования к усадочным и деформационным швам, таких конструкций как очистные сооружения, плотины, каналы и др. Документ указывает, что при необходимости устройства усадочных швов они должны располагаться через определённые промежутки не более 9 м, если не предусмотрено дополнительное усиление в соответствии с требованиями ACI 350-01. В свою очередь деформационные швы необходимо использовать в очень длинных конструкциях (не менее 45 м) или там, где происходит резкое изменения конфигурации сооружения [10].

ACI 350-06 «Требования к бетонным конструкциям в области инженерной защиты окружающей среды» устанавливает требование к минимальному проценту армирования. При этом требуемое количество усадочного и температурного армирования зависит от расстояния между деформационными швами, которые минимизируют образование трещин. Соотношение площади арматуры к общей площади бетона в таких случаях принимают согласно таблице 6. Эта таблица относится к расстоянию между деформационными швами и полными усадочными швами. При использовании соединений с частичной усадкой минимальный коэффициент армирования определяется путём умножения фактической длины между швами с частичной усадкой на 1,5. Также следует учитывать, что при использовании бетона, компенсирующего усадку, в соответствии с рекомендациями производителя коэффициент армирования принимается не менее 0,003 [11].

Документ также предъявляет конструктивные требования к армированию, так арматура для компенсации усадки и температурного расширения не должна располагаться на расстоянии более 300 мм друг от друга, а минимальный диаметр стержня – 12 мм. На любой поверхности должно быть распределено не менее 1/3 требуемой площади арматуры для компенсации усадки и температурного расширения [11].

Таблица 6. Минимальное температурно-усадочное армирование [11, таблица 7.12.2.1]

Расстояние между деформационными швами, м	Минимальное соотношение армирования, которое необходимо для компенсации усадочных деформаций и температурных воздействий	
	Grade 40 ($f_{yk}=27.6$ МПа)	Grade 60 ($f_{yk}=42$ МПа)
Менее 6.1	0,0030	0,0030
От 6.1 до 9.1	0,0040	0,0030
От 9.1 до 12.2	0,0050	0,0040
12.2 и более	0,0060 (см. примечание)	0,0050 (см. примечание)

Примечание – максимальное армирование для компенсации усадочных деформаций и температурных воздействий в конструкциях, где не предусмотрены деформационные швы.

Также для предотвращения образования температурно-усадочных трещин может использоваться предварительное напряжение армирования. Канаты должны быть подобраны так, чтобы обеспечить минимальное среднее сжимающее напряжение. Расстояние между канатами должно составлять не более 1,8 м. Если расстояние между арматурами превышает 1,6 м, то между арматурами на краях плиты, выступающих от края плиты, должно быть предусмотрено дополнительное усадочное и температурное усиление на расстояние, равное расстоянию между арматурой [11].

До 1983 года рекомендуемый минимальный процент армирования основывался на толщине стены. Затем с новыми редакциями кода ACI 350 рекомендации начали основываться на расстоянии между деформационными швами. В 2021 году вышла новая редакция кодекса ACI 350: ACI 350-20.7 и стоит отметить, что эта версия кодекса включает значительные изменения в положения о минимальном армировании, особенно для горизонтальных стержней в стенах (таблица 7). Минимальные требования к усилению научно-технических мер теперь подразделяются на три уровня ограничений: пониженный, нормальный и максимальный. Категория пониженного ограничения относится только к вертикальному армированию. Категория максимального ограничения относится к горизонтальному армированию в пределах первых 1,8 метра над горизонтальным монолитным строительным швом в стенах длиной более 6,1 метра. Категория нормального ограничения охватывает все условия, в которых не применяются ни пониженное, ни максимальное ограничение [12].

Таблица 7. Минимальное температурно-усадочное армирование [12, таблица 12.13.2.1]

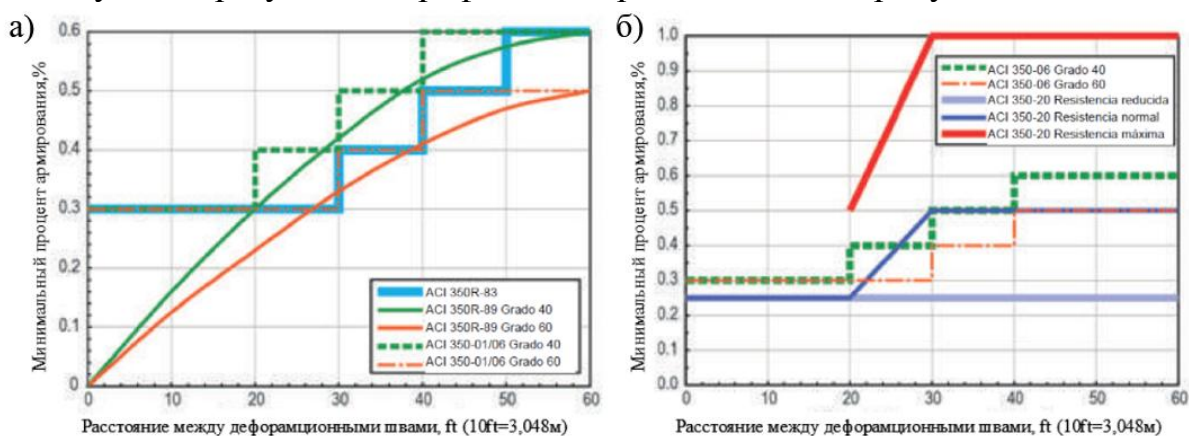
Расстояние между деформационными швами, м	Минимальное температурно-усадочное армирование. %		
	Пониженное ограничение	Нормальное ограничение	Максимальное ограничение
Менее 6.1	0,25	0,25	0.5
От 6.1 до 9.1	0,25	Интерполяция между 0.25...0.5	Интерполяция между 0.5...1,0
Более 9.1	0,25	0.5	1.0

Исходя из таблицы 7 видно, что в большинстве конструкций, спроектированных в соответствии с новой версией стандарта ACI 350, количество горизонтального армирования стен в пределах 1,8 м от основания фундамента должно составлять не менее 1 % площади сечения стены.

Так член комитета ACI Джон Джей Роллер в своем исследовании отмечает, что значительное увеличение минимально необходимого количества горизонтальной арматуры в пределах 1,8 м от горизонтальных строительных швов является прямым результатом исследований, демонстрирующих влияние ограничения основания стены. Бетонные опоры и другие

элементы фундамента обычно возводятся задолго до возведения стен, которые они поддерживают. Следовательно, к моменту бетонирования стен базовые элементы уже испытали большую часть конечной усадки при высыхании (деформации изменения объёма, связанные с усадкой). После бетонирования стены также будут подвергаться температурно-усадочным деформациям с изменением объёма. Тем не менее, базовые элементы будут налагать значительные ограничения, что часто приводит к образованию вертикальных трещин. Поэтому, чтобы сохранить ширину трещин в приемлемых пределах и, таким образом, минимизировать повреждения, важно обеспечить достаточное усиление армированием в областях, где значительные ограничения существуют [13].

Автор также сравнил требования по минимальному проценту армирования, указанные в отчётах и кодексах комитета за различные годы. Соответствующие результаты графически представлены на рисунке 2.



а – Min % армирования по ACI 350R-83, ACI 350R-89, ACI 350-01, ACI 350-06;

б – Min % армирования по ACI 350-06 и ACI 350-20

Рис. 2. Сравнение требований по минимальному % армирования для норм ACI 350 [13, рисунок 2]

Исходя из рисунка 2 видна динамика на увеличение минимального процента армирования конструкций.

Закключение

В представленной статье автором произведён анализ белорусских и зарубежных ТНПА, а также ряда тематических научных источников, исходя из которых можно сделать следующие выводы касательной требований к назначению расстояний между деформационными швами:

- в национальных ТНПА слабо отражён вопрос проектирования деформационных швов. Содержащиеся рекомендации по их рациональному размещению разработаны для ограниченного круга видов конструкций и носят, как правило, описательный характер с отсылкой к другим ТНПА, имеющим в Республике Беларусь статус документов добровольного применения;

- в зарубежных ТНПА (на примере изученных документов России, Индии, Китая, США) имеются более полные указания по назначению расстояний между швами. В отдельных документах дополнительно присутствуют указания по конструированию элементов зданий и сооружений, определению минимального процента армирования;

- также в зарубежных ТНПА прослеживается тенденция на совершенствование документов, касательно темы статьи, яркими примером чего являются изменение 1 СП 63.13330.2018, изданное в 2019 г., а также ACI 350-20.7 (2021 г.);

- исходя из проведённого анализа, необходимо совершенствование отечественных ТНПА путём издания приложений к существующим документам (с учётом применения подходов зарубежных стран), с рекомендациями по эмпирическому и аналитическому определению расстояний между деформационными швами, конструктивному армированию, конструированию элементов зданий и сооружений, что позволит повысить безопасность и надёжность проектируемых конструкций на всех стадиях их возведения и эксплуатации.

Список цитированных источников

1. ТКП EN 1992-1-1-2009* Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. - Минск, МАиС, Республики Беларусь, 2015. - 207 с.

2. Бетонные и железобетонные конструкции: СП 5.03.01-2020 / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 245 с.

3. СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.

4. ТКП EN 1992-3-2009*. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 3. Конструкции, локализирующие и удерживающие жидкость. – Мн.: МАиС Республики Беларусь, 2010. – 35 с.

5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. (с изм. 1, 2) – Москва, Минстрой России, 2019. – 123 с.

6. SP 62: 1997. Title: Handbook on Building Construction Practices (Excluding Electrical Work) Pages: 507. Year: 1997. Publisher: BIS.

7. GB 50010-2010 (2010) Code for the Design of Concrete Structures. China Standard Press, Beijing.

8. National Research Council 1974. Expansion Joints in Buildings: Technical Report No. 65. Washington, DC: The National Academies Press. Pages: 52.

9. ACI Committee 224, " Joints in Concrete Construction (ACI 224.3R-95, Reapproved 2013)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 45 pp.

10. ACI Committee 350, "Design Considerations for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350.4R-04)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 16 pp

11. ACI Committee 350, "Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-06) and Commentary", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 485 pp.

12. ACI Committee 350, "Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-20) and Commentary", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 553 pp.

13. ACI Structural Journal /ACI 350 Shrinkage and Temperature Reinforcement / John J. Roller / www.concreteinternational.com, April, 2021, 56-59pp.

УДК 69.057:624.012.3

СРАВНЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО МОНТАЖУ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА

Мордич И.И., студент гр.11201222, **Шевко В.В.**, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В статье сравниваются предельно допустимые значения контролируемых параметров качества при монтаже сборных железобетонных конструкций в действующих нормативных документах и их изменения за предыдущие годы.

Ключевые слова: установочная риска, отклонение от вертикали, фундамент, колонна, ригель, ферма.

Геометрическая точность монтажа зданий входит число основных показателей качества строительной продукции вместе с надежностью, технологичностью, экономической эффективностью.

Объектом исследования являются числовые значения предельных (допустимых) отклонений контролируемых параметров монтажа сборных железобетонных конструкций. Оцениваются допустимые отклонения от: совмещения монтажных рисков с монтажными рисками геометрических осей или осей разбивки; проектных отметок опорных поверхностей и межосевых расстояний конструктивных элементов. Для обеспечения собираемости возводимых зданий предельные отклонения в процессе монтажа назначаются с учетом допустимых отклонений при изготовлении конструктивных элементов и выполнении разбивочных (геодезических) работ. В таблице 1 представлена выборка с документов, действующих в Республике Беларусь и Российской Федерации [1,2] и в предшествующие 60 лет [3,4,5,6].

Таблица 1. Допустимые значения контролируемых параметров

Наименование параметра	Значение в мм					
	СНиП III-V.3-62	СНиП III-16-73	СНиП III-16-80	СНиП 3.03.01-87	СП 70.1330.2012	СН 1.03.01-2019
1	2	3	4	5	6	7
Несовпадение рисков осей разбивки с монтажными рисками на стаканах фундаментов и фундаментных блоков	±10	±10	13	12	12	12
Несовпадение с проектными вертикальных отметок опорных поверхностей стаканов фундаментов: -до устройства выравнивающего слоя по дну стакана -после устройства выравнивающего слоя по дну стакана	-20	-20	-20	-20 ±5	-20 ±5	-20 ±5
Отклонение от совмещения рисков геометрических осей, граней в нижнем сечении колонн с установленными рисками разбивочных или геометрических осей	±5	±5	5	8	8	8
Несовпадение с вертикалью осей колонн одноэтажных зданий при их длине Н, м: -до 4 включ. -до 4,5 -св. 4 до 8 -св. 4,5 до 15 -до 8 включ. -до 10 -с 8 до 16 -с 16 до 25 -с 25 до 40 -св. 10	±10 ±15	±10	20 25 32 40	20 25 30 40	20 25 30 40	20 25 30 40
Несовпадение с проектными расстояний в половине пролета между осями верхних поясов балок и ферм	±25	±20	±20	60	60	60

Выводы: 1. За период времени, превышающий 60 лет существенных изменений в показателях качества монтажных работ, не произошло. 2. По мнению авторов, есть основания для уменьшения допустимых отклонений показателей качества монтажа сборных железобетонных конструкций в связи с технологической модернизацией большинства заводов ЖБИ (сокращение допусков на заводское произ-

водство конструкций) и применением современных геодезических инструментов таких как тахеометры, геодезические лазеры (уменьшение допустимых отклонений разбивочных работ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений: СН 1.03.01-2019. – Взамен ТКП 45-1.03-314-2018; – Введ. 16.08.2020. - Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 124 с.
2. СП 70.13330.2012. Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – Взамен СНиП 3.03.01-87; Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2013. – 238 с.
3. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – Взамен СНиП III-16-80; Введ. 01.08.1986. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 93 с.
4. СНиП III-16-80. Правила производства и приемки работ. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. – Взамен СНиП III-16-73; Введ. 27.05.1980. – М.: Госстрой СССР, 1980. – 33 с.
5. СНиП III-16-73. Правила производства и приемки работ. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. – Взамен СНиП III-В.3-62; Введ. 01.01.1974. – М.: Госстрой СССР, 1974. – 29 с.
6. СНиП III-В.3-62. Правила производства и приемки работ. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. – Взамен СНиП III-Б.4-55; Введ. 01.06.1963. – М.: Госстрой СССР, 1968. – 18 с.

УДК 624.074

ПРОБЛЕМАТИКА ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

А.В. Руденков

Белорусский национальный технический университет,
филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,
Центр научных исследований и испытаний строительных конструкций, заведующий

Ключевые слова: натурные испытания, оценка эксплуатационной пригодности, программа испытаний, методика испытаний.

В строительной отрасли Республики Беларусь реализуется большое количество нестандартных конструктивных решений при проектировании зданий и сооружений с применением различных конструктивных схем с применением железобетонных конструкций, а также относи-

тельно “молодые” конструктивные решения с использованием легких стальных конструкций, композитных материалов и изделий на их основе и комбинации перечисленных решений. Для проверки методик и подходов при выполнении расчетов, для обеспечения необходимого уровня безопасности и надежности, а также при «недочетах», допущенных во время проектирования и строительства, возникает необходимость в проведении натурных испытаний нагружением в построечных условиях для оценки эксплуатационной пригодности и надежности.

Вопросы испытания строительных конструкций на территории Республики Беларусь регламентируют строительные нормы (СН), строительные правила (СП), межгосударственные стандарты (ГОСТ).

На этапе разработки программ по проведению натурных испытаний в ряде случаев возникают проблемы и трудности, так как в действующих ТНПА Республики Беларусь методики проведения натурных испытаний нагружением приведены только для конструкций деревянных и металлодеревянных [1] и для конструкций железобетонных и бетонных заводского изготовления [2], для остальных конструкций методики в ТНПА отсутствуют.

Следует отметить, что при необходимости проведения испытаний конструкций железобетонных и бетонных, в том числе и монолитных, в условиях строительных площадок или в условиях эксплуатируемого объекта (здания), есть указания раздела 10 [3]. Данные указания приведены в обобщенной описательной форме и не приводят методику и правила оценки результатов испытаний, что выражается в невозможности испытательных центров и лабораторий получить аккредитацию на данный вид испытаний в национальной системе аккредитации (БГЦА).

Центр научных исследований и испытаний строительных конструкций (ЦНИИСК) постоянно проводит натурные испытания строительных конструкций как на своей опытно-экспериментальной базе, так и в условиях строительных площадок, и особо остро ощущает проблему отсутствия прямых методологических указаний в ТНПА по проведению натурных испытаний большого перечня конструкций. В сложившейся ситуации, учитывая не всегда достаточный уровень проектных организаций, зачастую возникают моменты, в которых ЦНИИСК полностью или взаимодействуя с авторами проекта разрабатывает программу и методику проведения натурных испытаний нагружением конструкций, основываясь на применительном использовании действующих ТНПА.

По такому принципу было выполнено испытание фрагментов монолитного перекрытия возведенного здания на объекте «Многофункциональный комплекс на пересечении пр. Независимости и ул. К. Туровского в г. Минске» («Першы Нацыянальны гандлёвы дом»), см. рисунок 1. Необходимость проведения испытаний была вызвана

выявленными при обследовании здания «необычными» конструктивными решениями, примененными при возведении каркаса здания, уточнить и подтвердить которые не представлялось возможным.

В результате ЦНИИСК на основании схем испытаний, разработанных проектной организацией, разработал программу и методику натурных испытаний нагружением, проведены натурные испытания нагружением с последующей обработкой и анализом полученных результатов, и оформлением их в протокол.



Рис. 1. Общий вид нагруженного фрагмента перекрытия

Фонд зданий и сооружений Республики Беларусь находится в процессе непрерывного роста и эксплуатации, поэтому для обеспечения необходимого уровня безопасности и надежности во время строительства и эксплуатации возникает необходимость в оценке эксплуатационной пригодности и надежности.

Практическая реализация описанного выше методологического подхода к оценке предельных состояний конструкций при проведении натурных испытаний нагружением в построечных условиях выражается в установлении и определении критериев для порядка проведения работ и камеральной обработки полученных опытных данных, основываясь на обобщении существующих субдисциплинарных подходов (методик) и анализе опытных данных по фактически проведенным натурным испытаниям изгибаемых железобетонных элементов на многочисленных строительных объектах, проведенных ЦНИИСК.

Данный вопрос решается путем разработки рекомендаций по оценке предельных состояний эксплуатационной пригодности изгибаемых железобетонных элементов при проведении натурных испытаний нагружением в построечных условиях на основании анализа существующих подходов и практического опыта.

Список использованных источников

1. СТБ 1591-2005 Конструкции деревянные и металлодеревянные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности и жесткости. Минск 2006.
2. ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. М. 1998.
3. СП 1.04.02-2022 «Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений» Мн., 2022.

УДК 621.642.3, 69.059

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ОТМОСТКИ КЛЕПАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Строганова А.Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Проведен краткий анализ требований нормативной литературы начала XX века по проектированию вертикальных стальных резервуаров. Приводятся технические характеристики резервуара вертикального стального клёпаного, построенного в 1934 году на юге Республике Беларусь. В статье содержатся изображения, приводимые для иллюстрации текущего состояния отмостки исследуемого резервуара. В качестве результата проведенного визуального осмотра отмостки были выявлены поверхностные дефекты бетонного покрытия.

Ключевые слова: клёпанный резервуар, отмостка, дефекты, нефтепродукт, строительство.

Не смотря на отмечаемую на сегодняшний день тенденцию к перевооружению нефтебаз и резервуарных парков более прогрессивными конструкциями и технологиями сооружения резервуаров, существуют некоторые объекты нефтегазовой отрасли, для которых предпочтительнее продлить срок эксплуатации имеющихся резервуаров. Начальным этапом увеличения срока эксплуатации таких объектов является проведение технического диагностирования состояния конструкции резервуара, его элементов и материала. Простейшим методом неразрушающего контроля оптического вида является визуальный.

В виду необходимости недопустимости порыва резервуара и выхода хранимого продукта вследствие крена основания, обусловленного неравномерной осадкой по причине проникновения атмосферных осадков, остается актуальной задача поддержания такого элемента конструкции резервуара как отмостка в состоянии, способном защитить от длительного воздействия воды «уторный» узел и грунты основания.

В процессе обследования конструкций резервуаров необходимо было решить следующие задачи:

- изучить требования нормативной документации времен постройки рассматриваемого резервуара и современной;
- визуально оценить дефекты отстойки резервуара;
- дать заключение о возможности приведения состояния отстойки в соответствие требованиям действующей документации.

В 1932 г. был утвержден первый стандарт (ОСТ 5125) на стальные клёпаные вертикальные резервуары вместимостью до 10560 м³. Этот ОСТ положил начало стандартизации в нефтяном резервуаростроении и действовал до 1944 г. [1], в котором был разработан и введен в действие первый государственный стандарт на сварные резервуары ГОСТ 2486-44. Действие ГОСТ 2486-44 было отменено в 1952 году, а резервуары начали строиться по разрабатываемым типовым чертежам [2].

В качестве объекта исследования был выбран резервуар конструкции типа РВК [3, с. 6], изготовленный «полистовым» способом с соединением швов методом клёпки (см. рис. 1) непосредственно на территории нефтебазы в 1934 году и предназначен для хранения дизельного топлива.



Рис. 1. РВК-1000

а – общий вид; *б* – клёпаная стенка

Данный резервуар имеет характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики РВК-1000

Наименование	Ед. изм.	Показатель
Внутренний диаметр по нижнему поясу	мм	9813
Высота резервуара от днища до верхней полки обвязочного уголка	мм	9530
Высота уровня мёртвого остатка	мм	150
Предельная высота залива с учетом теплового расширения продукта	мм	9054
Площадь днища	м ²	75,639
Полная ёмкость цилиндрической части	м ³	718,860
Полезная ёмкость резервуара (при предельной высоте налива)	м ³	682,912

Отмостка предназначена для защиты песчаной подушки и фундамента резервуара от атмосферных осадков путем их отвода в сторону сборных коллекторов. Отмостка состоит из горизонтальной и наклонной части с необходимым уклоном для отвода воды [4, 5].

Согласно требованиям 1958 г. [6, с. 9] для резервуаров ёмкостью от 700 м³ и более бермы и откосы основания должны моститься камнем. При макropористых грунтах основания откосы резервуара должны моститься камнем по гидроизоляционному слою с покрытием отмостки слоем асфальта или бетона.

Данных о грунтах основания, марке стали, конструкции фундамента и изоляции днища нет. Однако установлено, что в 1951 году был проведен ремонт резервуара, в ходе которого отмостка была укреплена булыжником. Схематичное изображение разреза основания рассматриваемого резервуара приведено на рисунке 2, а.

Ввиду того, что нарушения сплошности бетонного покрытия отмостки рассматриваемого резервуара отмечено не было, для иллюстрации выполненного укрепления булыжником откосов песчаной подушки резервуара на рисунке 2, б представлен дефект в виде скола выполненной по аналогичной технологии отмостки резервуара вертикального стального объёмом 1000 м³, выполненного «полистовым» методом с соединением листов сварочными швами РВС-1000 в 1954 г.

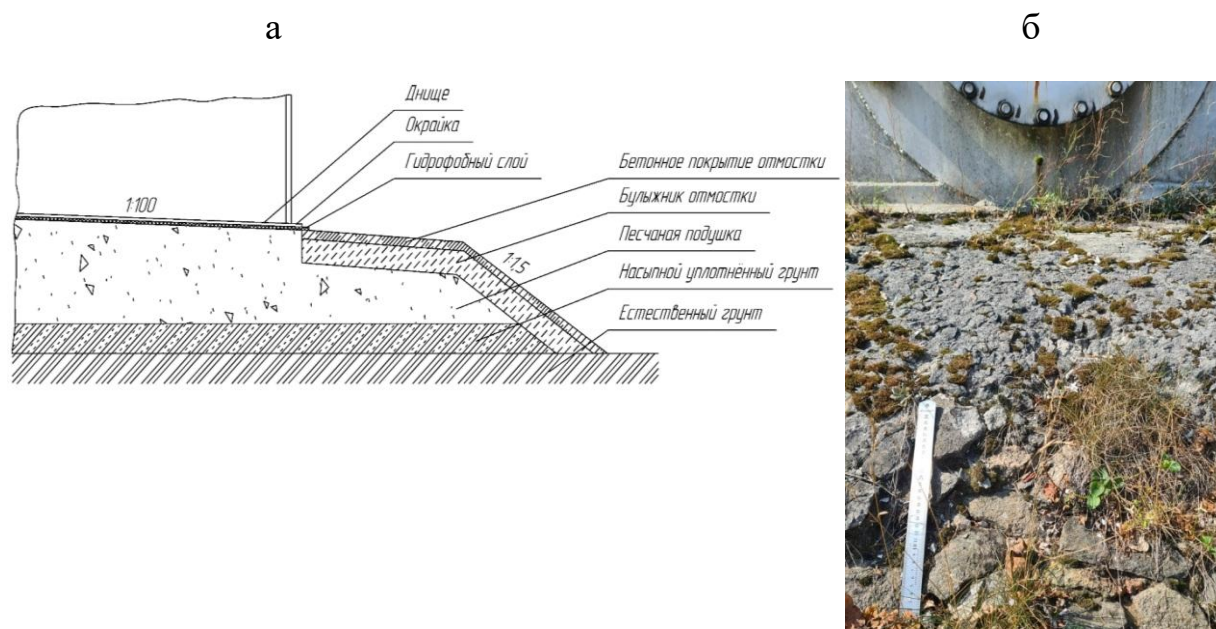


Рис. 2. Основание резервуара РВК-1000
а – схема устройства основания резервуара РВК-1000;
б – дефект отмостки РВС-1000

При осмотре отмостка вокруг резервуара должна иметь необходимый уклон, обеспечивающий отвод воды с ее поверхности; дефекты в виде

трещин, повреждени должны быть исправлены; не допускается наличие растительности и скопление воды и снега у контура резервуара [4].

Осмотр отмостки резервуара РВК-1000 проводился в дневное время суток с применением в качестве инструментов металлической линейки, рулетки, увеличительного стекла (увеличение до $\times 10$) и металлического щупа.

Визуальное обследование отмостки резервуара позволило установить, что отмостка резервуара находится в удовлетворительном состоянии.

В результате проведенного осмотра были выявлены несколько дефектов бетонного покрытия отмостки (рис. 3):

- гравелистая поверхность, появление которой возможно из-за недостаточного уплотнения бетонной смеси;
- поверхностные раковины, к одной из причин появления которых можно отнести скопления воздуха в бетонной смеси;
- эрозия бетона как следствие погодных условий.

Особо следует отметить, что трещин выявлено не было.

Немаловажным моментом является выявленное нарушение сплошности гидрофобного слоя в зоне узла сопряжения нижнего пояса и днища.



Рис. 3. Текущее состояние отмостки РВК-1000

Также при осмотре было выявлено наличие растительности на отмостке резервуара, что для объекта, находящегося в эксплуатации, квалифицировалось бы как несоответствие требованиям нормативной документации. Указанные выше дефекты и несоответствие требованиям могут послужить причиной проведения текущего ремонта резервуара, который, согласно [4] может включать в себя такой вид работ, как ремонт отмостки вокруг резервуара с восстановлением до 100% общей площади отмостки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы нефтяной и газовой промышленности : учеб. по спец. «Сооружение газонефтепроводов и газохранилищ» и «Трансп. и хранение нефти и газа» / сост.: Н. В. Бобрицкий, В. А. Юфин. М.: Недра, 1988. 199 с. : ил.

2. Щурова Е.В. Развитие и совершенствование конструктивных и технико-технологических решений по обеспечению герметичности стальных вертикальных резервуаров : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 5.6.6. / Щурова Елена Владимировна. Уфа. 2022. 24 с.

3. Правила и инструкции по технической эксплуатации металлических резервуаров и очистных сооружений : утв. Госкомнефтепродуктом СССР от 26.12.86. М.: «Недра», 1977. 464 с., ил.

4. ТКП 169/ОР (02300) Правила технической эксплуатации резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Введ. 2019-03-01. Минск : МЧС, 2019. 128 с.

5. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. Введ. 2017-03-01. М.: Стандартинформ, 2016. 98 с.

6. СН 26-58 Технические условия изготовления и монтажа стальных цилиндрических вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Введ. 1958-10-01. М.: Госстройиздат, 1958. 50 с.

УДК 691.328.43

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

А.А. Хотько, И.В. Даниленко, С.Н. Делендик

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Исследование несущей способности и трещиностойкости многопустотных железобетонных плит, усиленных стеклопластиковой арматурой.

Ключевые слова: усиление плит, стеклопластиковая арматура, преднапряжение.

STRENGTH, HARDNESS AND TENSILE RESISTANCE OF CONCRETE MULTICAVITIES PLATES, REINFORCED FIBERGLASS REINFORCEMENT

A. Khotsko, I. Danilenko, S Dzialendzik

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Study of the bearing capacity and resistance of multi-cavity concrete slabs, reinforced with conventional and stressed glass-plastic reinforcement.

Keywords: reinforcement of slabs, glass-plastic fittings, preinstallation.

Введение.

В сфере строительства каждый год внедряются новые материалы и инновации. Так, например, композитная арматура в нашей стране начала применяться относительно недавно. Сфера ее использования достаточно разнообразна, и один из вариантов применения – использование при уси-

лении железобетонных конструкций. В частности, возможно применение стеклопластиковой арматуры при усилении многопустотных железобетонных плит, которые длительное время широко используются в гражданском строительстве и при длительной эксплуатации перестают удовлетворять требованиям по несущей способности или эксплуатационной пригодности.

Экспериментальная часть. С использованием программного комплекса «БЕТА» (УО «ПГУ») нами был выполнен численный эксперимент по исследованию несущей способности и трещиностойкости железобетонной многопустотной плиты, усиленной стеклопластиковой арматурой, приклеенной в растянутой зоне конструкции. Численный эксперимент выполняли для трех разных стадий работы многопустотной плиты:

- 1) до выполнения усиления конструкции;
- 2) после ее усиления стеклопластиковой арматурой в виде двух стержней $\varnothing 6$ мм, расположенных в нижней зоне двух пусто плиты;
- 3) после ее усиления стеклопластиковой арматурой в виде двух стержней $\varnothing 12$ мм, расположенных в нижней зоне двух пустот плиты;.

В качестве базового образца была выбрана конструкция со следующими параметрами:

- ширина плиты 1190 мм,
- высота сечения плиты 220 мм,
- диаметр пустот 159 мм,
- количество пустот 6,
- расстояние между пустотами 26 мм,
- защитный слой бетона для стальной арматуры 30 мм,
- базовое рабочее армирование плиты принято 6 стержнями стальной арматуры диаметром 8 мм класса арматуры S500,
- класс бетона плиты C30/37 (рис. 1).

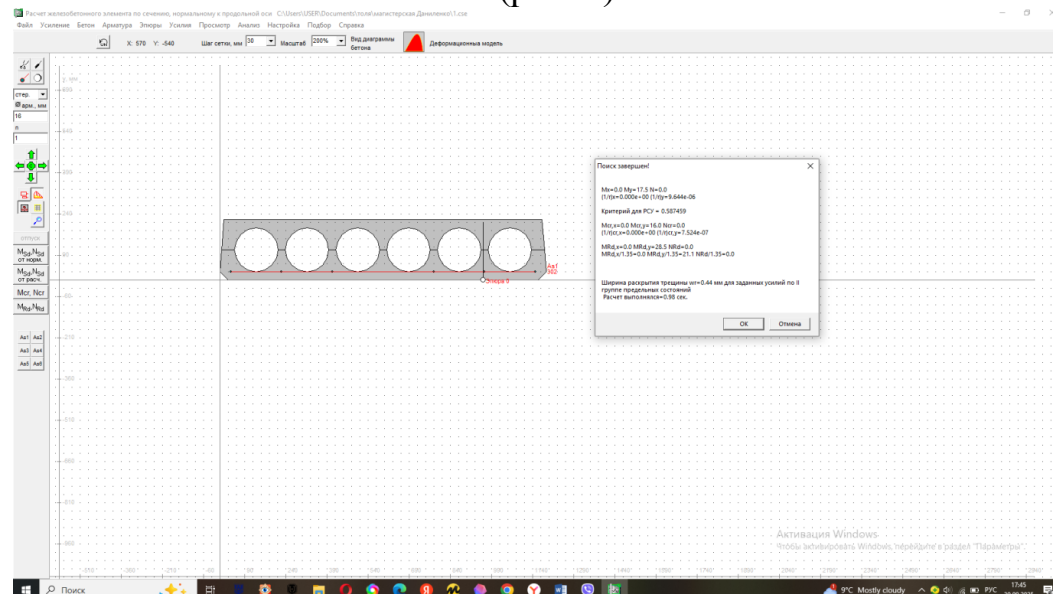


Рис. 1. Выбор параметров расчета плиты без усиления и результаты расчета

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x , кНм	MRd_y , кНм	NRd , кН
	28.51	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x , кНм	Mcr_y , кНм	Ncr , кН
	15.98	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x , кНм	MSd_y , кНм	NSd , кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

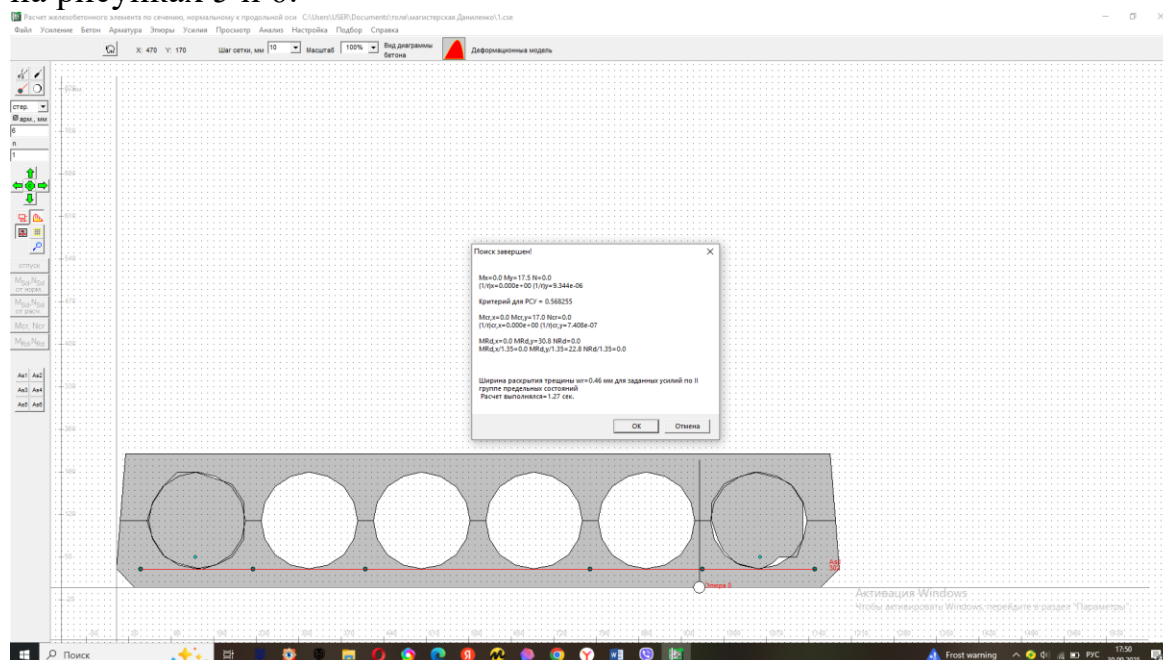
w_k , мм
0.44

II группа предельных состояний

Рис. 2. Протокол результатов испытания плиты без усиления

Далее был выполнен расчет этой плиты после ее усиления ненапрягаемой стеклопластиковой арматурой в двух вариантах - $2\varnothing 6$ и $2\varnothing 12$, с моноличиванием пустот, в которых размещается арматура усиления, бетоном класса С30/37. Для стеклопластиковой арматуры усиления были заданы следующие исходные данные, полученные по результатам испытания арматуры на растяжение: прочность арматуры (1100 МПа), значение модуля упругости (40000 МПа) и

Параметры расчета и протокол результатов испытания для первого варианта усиления представлен на рисунках 3 и 4, для второго варианта – на рисунках 5 и 6.

Рис. 3. Выбор параметров и результаты расчета плиты, усиленной $2\varnothing 6$

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x , кНм	MRd_y , кНм	NRd , кН
	30.79	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x , кНм	Mcr_y , кНм	Ncr , кН
	16.98	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x , кНм	MSd_y , кНм	NSd , кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

wk , мм
0.46

II группа предельных состояний

Рис. 4. Протокол результатов испытания плиты, усиленной 2Ø6

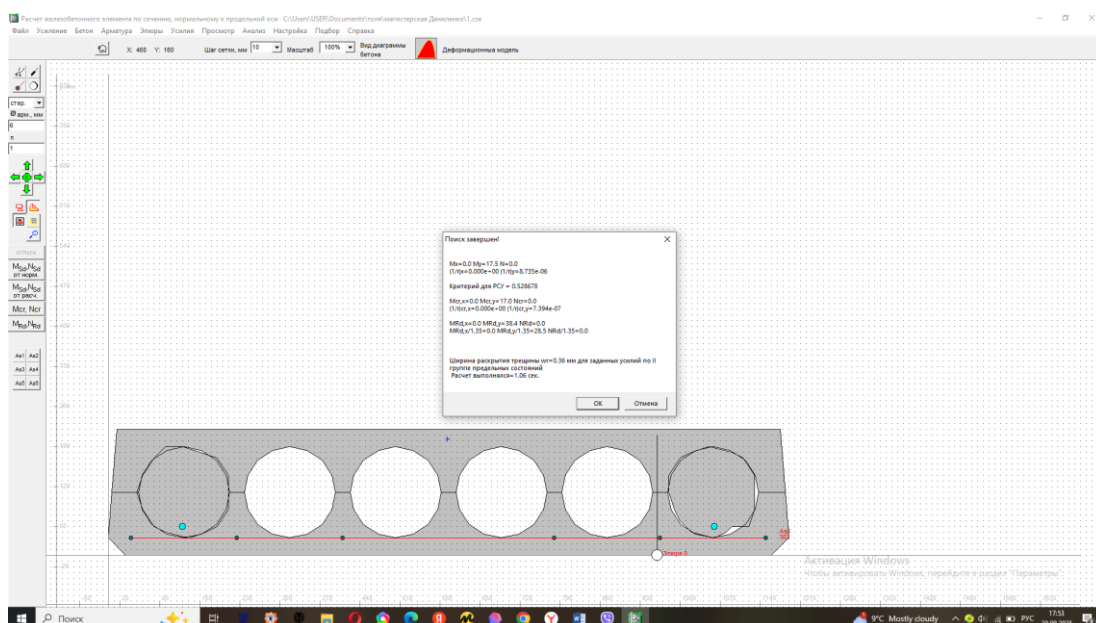


Рис. 5. Выбор параметров и результаты расчета плиты, усиленной 2Ø12

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x , кНм	MRd_y , кНм	NRd , кН
	38.43	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x , кНм	Mcr_y , кНм	Ncr , кН
	16.99	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x , кНм	MSd_y , кНм	NSd , кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

wk , мм
0.36

II группа предельных состояний

Рис. 6. Протокол результатов испытания плиты, усиленной 2Ø12

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что усиление многопустотной железобетонной плиты ненапрягаемой композитной арматурой приводит к увеличению несущей способности на 8% при применении в качестве арматуры усиления 2Ø6мм, и на 35% при применении 2Ø12мм. Однако в обоих вариантах усиления трещиностойкость повышается лишь на ≈6%, что объясняется низким значением модуля упругости композитной арматуры, который существенно ниже, чем у стальной арматуры (в среднем 40 ГПа).

Расчеты показали, что применение ненапрягаемой стеклопластиковой арматуры эффективно для повышения несущей способности конструкции, но без значительного повышения трещиностойкости. То есть применение в качестве арматуры усиления композитных стержней без предварительного напряжения неэффективно.

Возможность использования стеклопластиковой арматуры в качестве предварительно напряженной при усилении железобетонных многопустотных плит обосновывается существующими методами усиления плит напрягаемой стальной арматурой, изложенными в работах Д.Н. Лазовского [1].

Процесс выполнения такого усиления показан на рис. 7 и заключается в следующем: концы стержней фиксируются обетонированием и далее притягиваются к нижней грани пустот плиты с помощью струбцин или натяжных болтов, что и создает преднапряжение. Затем пустота с натянутой арматурой бетонируется.

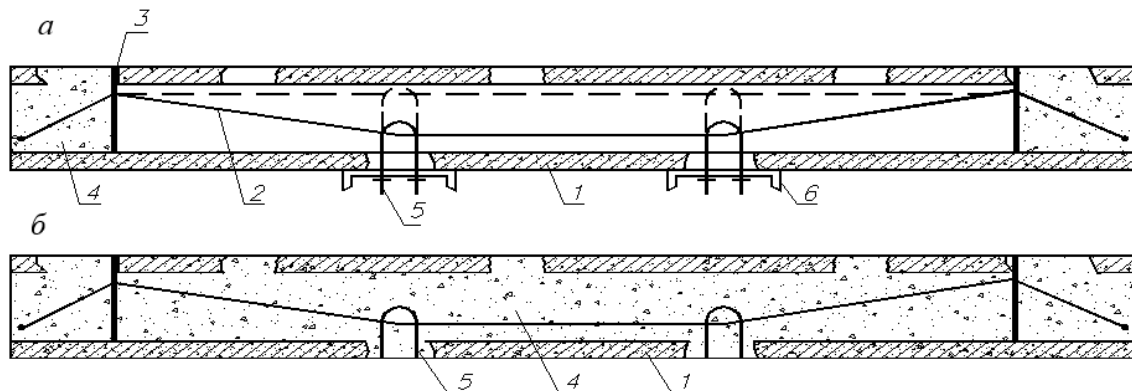


Рис. 7. Усиление сборных многопустотных плит предварительно напряженной арматурой:

- а – плиты в момент предварительного напряжения арматуры;
 б – усиленная плита, 1 – усиливаемая плита, 2 – дополнительная арматура,
 3 – временная ограничительная пластина, 4 – бетона, 5 – натяжной болт, 6 – опалубка

Аналогичный вариант усиления возможен с использованием вместо стальной арматуры композитных стержней. Описанный выше метод усиления дает возможность выполнять предварительное напряжение стеклопластиковой арматуры, что позволяет решать задачу по использованию та-

ких свойств стеклопластиковой арматуры, как высокая прочность при относительно низком модуле упругости [2].

Для того чтобы оценить целесообразность варианта усиления многопустотных железобетонных плит с использованием стеклопластиковой арматуры, напрягаемой в пустотах конструкций, необходимо рассмотреть напряженно-деформированное состояние изгибаемых элементов с комбинированным армированием в условиях, близких к реальной ситуации.

Для оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных многопустотных плит, усиленных стеклопластиковой арматурой, установленной в пустоты конструкций, выполнен численный эксперимент с использованием программного комплекса «БЕТА» (УО «ПГУ»), целью которого ставилось определить влияние количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, а также величины предварительного напряжения на несущую способность и трещиностойкость усиливаемой многопустотной плиты.

В процессе численного эксперимента моделировали усиление базового опытного образца стеклопластиковой предварительно напряженной арматурой диаметром 6 мм, которую устанавливали в двух крайних пустотах плиты. Класс бетона замоноличивания этих двух пустот принимали С30/37 (рис. 8).

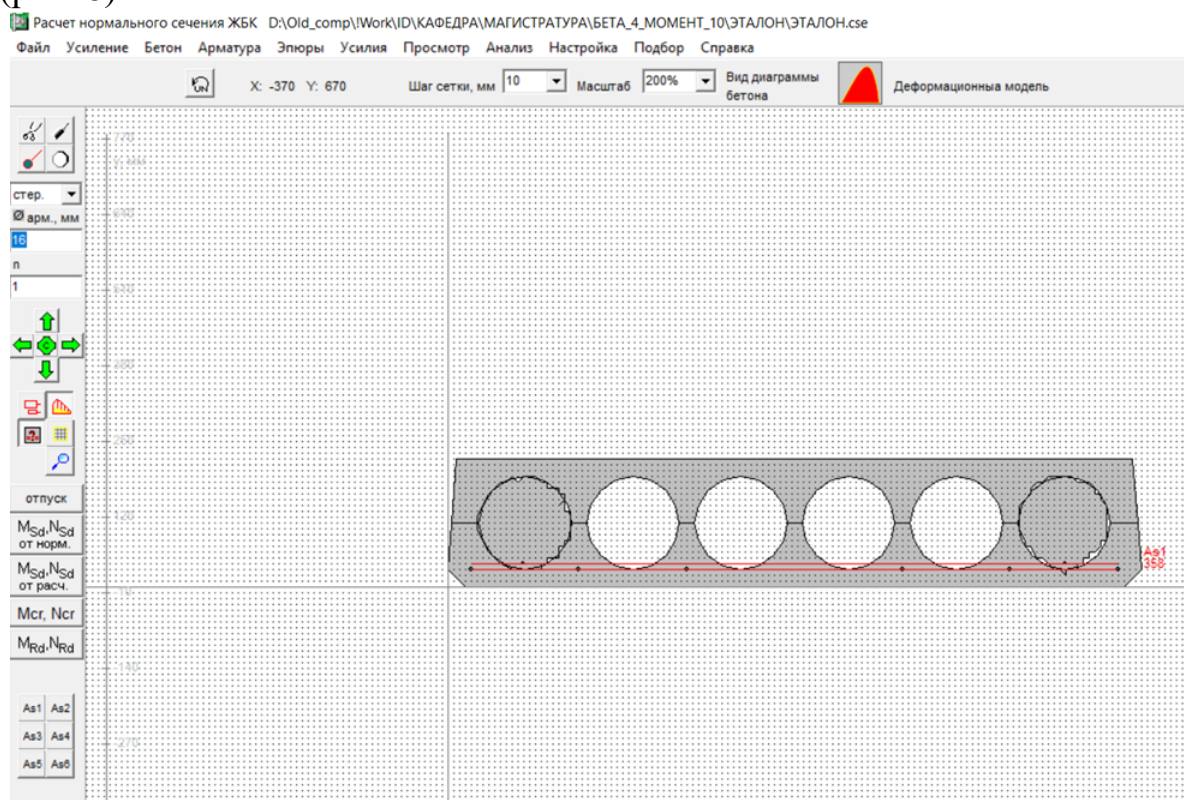


Рис. 8. Модель плиты с арматурой усиления

В процессе численного эксперимента варьировали следующими параметрами:

- количество и диаметр стеклопластиковой арматуры;
- величину предварительного напряжения арматуры усиления (рис. 9).

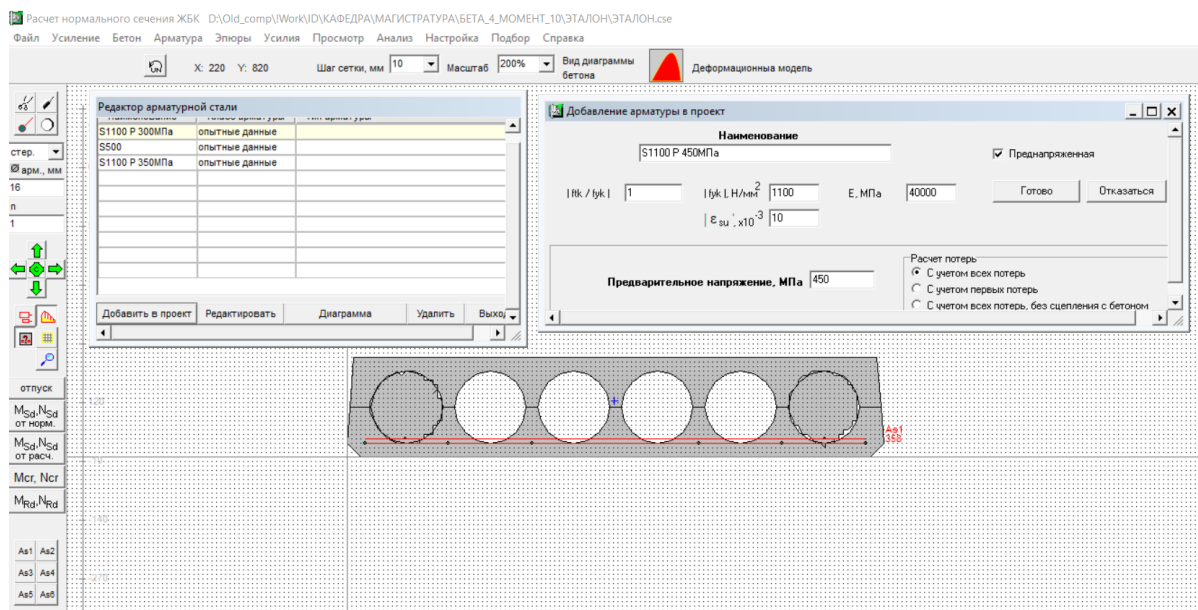


Рис. 9. Изменение характеристик материалов при выполнении расчета

В результате выполнения численного эксперимента контролировали и выполняли анализ следующих данных:

- несущая способность конструкции M_{Rd} ;
- момент образования трещин M_{crc} ;

Для анализа влияния количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, уровня ее предварительного напряжения на прочность, жесткость и трещиностойкость усиливаемой многопустотной плиты в процессе расчета принимали следующие параметры:

1. Диаметр стеклопластиковой арматуры усиления 5, 6, 8, 10, 12 и 14 мм;
2. Величина предварительного напряжения в стеклопластиковой арматуре усиления 250, 300, 350, 400, 450 и 500 МПа;

Результаты расчетов многопустотной железобетонной плиты перекрытия, представленные в виде графиков, позволяют сделать следующие выводы.

Увеличение диаметра стеклопластиковой арматуры усиления в двух пустотах с 5мм до 14 мм, при уровне ее предварительного напряжения 300МПа, позволило повысить несущую способность сечения, нормального к продольной оси с $M_{Rd} = 36.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ до $M_{Rd} = 86.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$, то есть в 2,4 раза. При этих же условиях момент трещинообразования плиты увеличился с $M_{crc} = 20.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ до $M_{crc} = 32.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$, то есть трещиностойкость увеличилась в 1,6 раза. Результаты расчетов приведены в графической форме на рисунках 10 и 11.



Рис. 10. График зависимости несущей способности плиты от диаметра композитной арматуры усиления

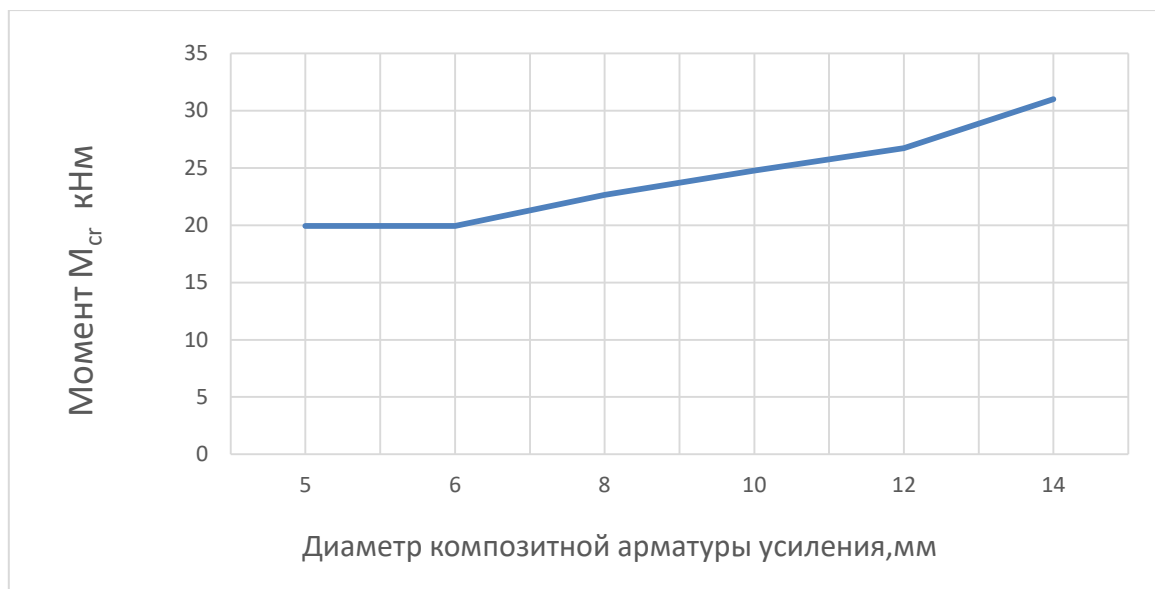


Рис. 11. График зависимости трещиностойкости плиты от диаметра композитной арматуры усиления

Влияние уровня предварительного напряжения арматуры выполняли для случая со стеклопластиковой арматурой диаметром 6мм. Величина предварительного напряжения в расчетах изменялась в пределах от 250 до 500 МПа. График зависимости трещиностойкости плиты от величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления представлен на рис. 12. Численный эксперимент показал, что увеличение величины предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления с 250МПа до 500МПа приводит к повышению трещиностойкости с $M_{crc} = 19.7 \text{ кН} \cdot \text{м}$ до $M_{crc} = 22.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$, то есть трещиностойкость увеличивается в 1,12 раза.

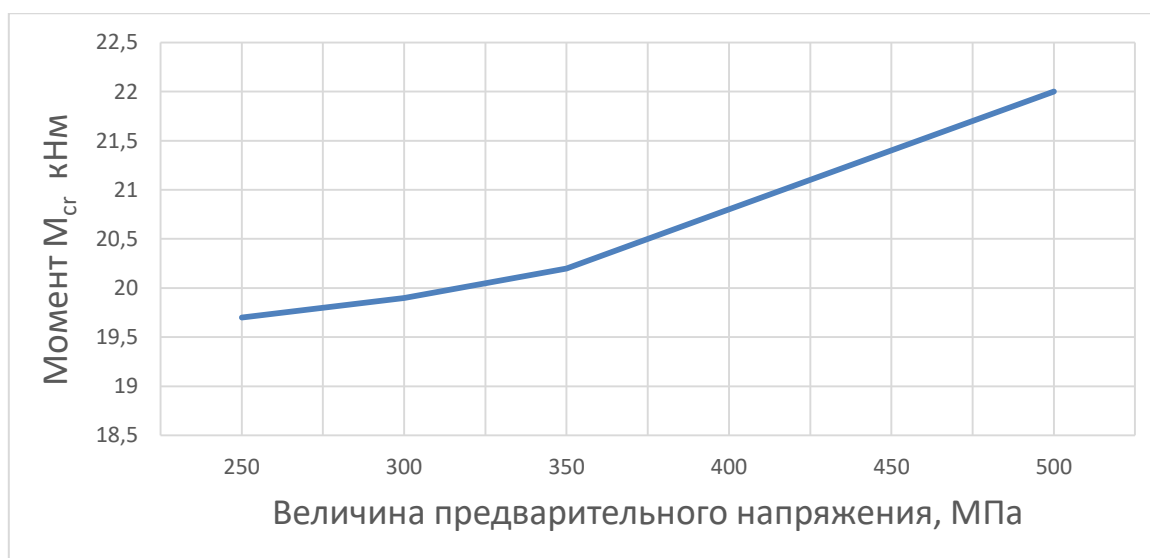


Рис. 12. График зависимости трещиностойкости плиты от величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления

Закключение. Результаты численного эксперимента показали, что применение в качестве усиления стеклопластиковой арматуры бес преднапряжения существенно увеличивает ее несущую способность и практически не повышает трещиностойкость.

При применении в качестве арматуры усиления напрягаемой стеклопластиковой арматуры при увеличении ее диаметра с 5 мм до 14 мм с позволяет повысить несущую способность в 2,4 раза и повысить трещиностойкость в 1,4 раза. Повышение уровня предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления с 250 МПа до 500 МПа приводит лишь к незначительному увеличению трещиностойкости (в 1,12 раза). Это можно объяснить сдерживающим влиянием основной стальной арматуры плиты, которая препятствует процессу полноценного обжатия бетона при предварительном напряжении стеклопластиковой арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазовский, Д. Н. Теория расчета и конструирование усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений [Электронный ресурс]: диссертация ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Д. Н. Лазовский; Белорусская государственная политехническая академия, Полоцкий государственный университет. - Минск, 1998.
2. Тур В. В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В. В. Тур, В. В. Малыха // Вестник ПГУ, Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58–65.

К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ МАСЛОЭКСТРАКЦИОННЫХ ЗАВОДОВ

Шевко В.В., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. Статья посвящена расчету температурного режима пожара промышленного здания с несущим стальным каркасом. Автор показывает, что по результатам расчета температурного режима пожара основных цехов маслоэкстракционного завода (экстракции, подготовки) возможно исключить огнезащиту несущих металлических конструкций в половине строительного объема.

Ключевые слова: температурный режим пожара, огнезащита конструкций, предел огнестойкости, удельная пожарная нагрузка.

Под температурным режимом пожара понимается распределение средней температуры среды в помещении на различных стадиях развития пожара. По результатам расчета температурного режима пожара принимается решение о необходимости огнезащиты несущих металлических конструкций. Для зданий промышленных предприятий I–III степени огнестойкости не запрещается применять незащищенными несущие стальные конструкции [1]. При условии, что в промежуток времени равный пределу огнестойкости температура на элементах конструкций не превысит 500 °С. Температура на элементах конструкций определяется по СТБ [2].

Объемно-планировочные и конструктивные решения. Основными производственными зданиями маслоэкстракционных заводов (МЭЗ) являются корпуса подготовки маслосемян и экстракции. Планировочные решения и безопасность МЭЗ рассматривались ранее в [3,4]. В качестве конструктивной схемы используется рамно-связевый стальной каркас. При проектировании, реконструкции в связи с заменой технологического оборудования, перепланировкой для принятия решения о необходимости огнезащиты несущих металлических конструкций требуется расчет температурного режима возможного пожара.

Методика, исходные данные и результаты расчета. Расчет температурного режима пожара выполнен по интегральной модели, описывающей параметрический режим пожара внутри помещений согласно с СТБ [2]. Удельная пожарная нагрузка определялась: расчетом по технологическим параметрам МЭЗ производственной мощностью по сырью 2000 тонн маслосемян (рапс, соя, лен) в сутки; принималась по максимальным значениям удельной пожарной нагрузки исходя из категории по взрывопожарной и пожарной опасности согласно ТКП [6]; принималась по таблице 1 СТБ [5] исходя из их функционального назначения. Значения удельной пожарной

нагрузки, категория по ВПО для основных помещений приведены в таблице 1.

Результаты расчета динамики возможного пожара приведенные в таблице 2 позволяют определить максимальную температуру на поверхности конструкций по каждому помещению.

Таблица 1. Удельная пожарная нагрузка и категория по ВПО

№ поз.	Наименование помещения	Категория по ВПО	Удельная пожарная нагрузка, МДж·м ⁻²
1	Отделение экстракции	А	1129
2	Отделение водной гидротации	В1	12044
3	Отделение измельчения и гранулирования	Б	156
4	Отделение очистки и подготовки	В1	5142

По результатам расчета принимается решение о необходимости огнезащиты несущих металлических конструкций.

Таблица 2. Максимальная температура и вид пожара

№ поз.	Наименование помещения	Вид пожара	Макс. температура пожара, °С	% от строительного объема цеха
1	Отделение экстракции	ПРН	212	
2	Отделение водной гидротации	ПРВ	1139	15
3	Отделение измельчения и гранулирования	ПРН	72	
4	Отделение очистки и подготовки	ПРН	634	71

Результаты расчета показывают необходимость устройства огнезащитного покрытия металлических конструкций в 15% и 71% строительного объема цехов экстракции и подготовки семян соответственно.

Литература

1. СН 2.02.05-2020. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Взамен СН 2.01.01-2019; Введ. 12.11.2020. – Мн.: МАиС РБ, 2020. – 65 с.
2. СТБ 11.05.03-2010. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования. – Взамен СТБ П 11.05.03-2006; Введ. 28.04.2010. – Мн.: МЧС РБ, 2013. – 71 с.
3. Шевко В.В. Эффективные планировочные решения производственных зданий и противопожарное нормирование // Методология безопасности среды жизнедеятельности: Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конф. – Симферополь: КФУ, 2017, -с. 82.
4. Шевко В.В. Об этажности производственных зданий // Технология строительства и реконструкции (ТСР-2015): Сборник докладов Международной научно-технической конф. – Мн: БНТУ, 2017, -с.170-173.

5. СТБ 2129-2010. Здания и сооружения. Порядок определения пожарной нагрузки. - Взамен СТ СЭВ 446; Введ. 19.10.2010.-Мн.: МАиС РБ, 2010. -26 с.

6. ТКП 474-2013. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Взамен НПБ 5-2005*; Введ. 29.01.2013. – Мн.: МЧС РБ, 2013. – 57 с.

УДК 624.01

67.03.03: Теория расчета сооружений и конструкций.

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ОЦЕНКЕ
ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ОБСЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТНПА РБ**

Шилов А.Е.,

Белорусский национальный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции имени доктора технических наук, профессора Т. М. Пецоляда»

Гриб П.И.

Белорусский национальный технический университет, филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», Центр научных исследований и испытаний строительных конструкций, инженер

В статье представлена краткая информация о рекомендациях по прогнозированию остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследований в первую очередь на основе технических нормативных правовых актах (ТНПА), действующих на территории Республики Беларусь, а также на известных классических подходах, математической статистике, определенных разработках наших российских коллег.

Ключевые слова: *остаточный срок службы, строительные конструкции, здания и сооружения, обследования, ТНПА РБ.*

В настоящее время вопросу определения (прогнозирования) остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений уделяется значительное внимание специалистов разных стран, однако эта проблема остаётся областью без четкой структурированности и формализации. Предлагается достаточно много методов и способов расчета остаточного ресурса, каждый из которых основан на определённых принципах и подходах., однако выделить из них «универсальный» и, самое главное, практически реализуемый в инженерной деятельности подход, на сегодняшний день нельзя.

Основная цель статьи – это краткая информация о наших предложениях (рекомендациях) по прогнозированию остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследований в первую очередь на основе ТНПА, действующих на территории Республики Беларусь [1], [2], [3], а также на известных классических под-

ходах, математической статистике, определенных разработках наших российских коллег [4], [5], [6].

В настоящее время в РБ, согласно Указу № 217 от 05.06.2019 Президента РБ, продолжается работа по созданию и совершенствованию национальных строительных норм и правил, которые должны обеспечить и повысить надежность не только проектируемых зданий, но и безопасность эксплуатируемых. К сожалению, в действующих на данном этапе национальных ТНПА, нет конкретных, а самое главное, практических рекомендаций по оценке остаточного безопасного срока службы строительных конструкций и самих зданий, поэтому направление нашей работы актуально и её результаты могут принести определенную пользу.

В разделе 12.1 одного из основных ТНПА РБ СН 1.04.01-2020 «Техническое состояние зданий и сооружений» [1], где приведены основные положения по обследованию конструкций, указано, что «В ряде случаев необходимо оценить остаточный срок службы здания и разработать восстановительные мероприятия с оценкой целесообразности их выполнения...». Однако «нормативной» практически выполнимой методики этой оценки пока нет.

Необходимо отметить, что автором рассматриваемого ТНПА [1] является, к большому сожалению, ныне покойный наш учитель, доктор технических наук, профессор В.Г. Казачёк, который планировал исследования в этом направлении, поэтому уже на этапе создания основного ТНПА [1] по техническому состоянию зданий и сооружений в РБ им были заложены **основные предпосылки** для решения вопроса остаточного срока службы зданий.

Предлагаемый алгоритм расчета (прогнозирования) остаточного ресурса

1,2. Анализ исходных данных.

- (1). n – количество строительных конструкций рассматриваемого типа с установленными по результатам обследований КТС.

- (2). t_i – время эксплуатации на момент выполнения обследования.

3. Определение усредненных показателей КТС (УП) для группы конструкций одного вида, согласно рекомендациям ТНПА [1], [2], [3], а именно по формуле (12.4) из [1, с. 33]:

$$\text{УП} = \sum_{i=1}^5 \text{ПД}_{\text{п}}, \quad (1)$$

4. Установление величины среднего физического износа (СФИ) согласно рекомендациям пункта 13.5 [1] в зависимости от КТС (УП) по таблице 13.1 из [1, с. 36].

5. Определение величины статистического износа ($F(t_i)$) по формуле (2)

$$F(t_i) = \frac{\text{СФИ}}{100}, \% \quad (2)$$

6. Определение величины характеристики исправности ($P(t_i)$) по формуле (3):

$$P(t_i) = 1 - F(t_i). \quad (3)$$

7. Определение квантилей (U) для каждого этапа по таблице 4.2 из [5, с. 202].

8,9. Вычисление квадратов квантилей (U_i^2) (шаг 8) и величины ($t_i \cdot U_i$) (шаг 9) для решения последующих уравнений на шаге 10.

10. На основании данных об отказах конструкции в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_i$ составляется система уравнений [5, с. 201]:

$$\begin{cases} t_1 = T_{cp} - U_1 \sigma \\ t_2 = T_{cp} - U_2 \sigma \\ t_3 = T_{cp} - U_3 \sigma \\ \dots \\ t_n = T_{cp} - U_n \sigma \end{cases} \quad (4)$$

Решением системы уравнений являются формулы [5, с. 201], по которым определяют средний срок службы конструкции (T_{cp}) и среднее квадратичное отклонение от него (σ):

$$T_{cp} = \frac{a + \sigma \cdot b}{n} \quad (5); \quad \sigma = \frac{c - \frac{a \cdot b}{n}}{\frac{b^2}{n} - d}. \quad (6)$$

Вспомогательные коэффициенты (a, b, c, d) вычисляются по формулам [5, с. 201]:

$$a = \sum_{i=1}^n t_i \quad (7); \quad b = \sum_{i=1}^n U_i \quad (8); \quad c = \sum_{i=1}^n U_i \cdot t_i \quad (9); \quad d = \sum_{i=1}^n U_i^2 \quad (10)$$

11. Определяют прогнозируемое значение остаточного срока эксплуатации по формуле (11):

$$T_{ост} = T_{cp} - t_{п}, \quad (11)$$

где $t_{п}$ – «полный» срок эксплуатации на момент обследования.

Наши предложения по оценке остаточного срока службы строительных конструкций зданий по результатам обследований построены на положениях ТНПА [1], [2], [3], действующих в РБ в настоящее время в области технической эксплуатации и обследований зданий и сооружений, математической статистики и положениях источников [5], [6]. Однако необходимо констатировать тот факт, что определение остаточного срока службы во многом зависит от опыта и классификации экспертов, при этом квалификационные требования в разных странах к специалистам, выполняющим обследования зданий и сооружений, значительно различаются, что также является одним из вопросов, требующих особого внимания. Отечественный и зарубежный опыт сертификации в области обследований

проанализирован в статье [7].

Следует отметить, что приемлемые (обоснованные) результаты по предлагаемой методике возможно получить только при наличии данных регулярных обследований. В частности, в действующих ТНПА РБ [1], [2] указано, что обследования зданий и сооружений должны выполняться не реже чем один раз в пять лет специализированными организациями. Недостаточный объем статистических данных, характеризующих надежность элементов зданий, существенно затрудняет (или делает невозможным) определение таких параметров, как безотказность и долговечность.

Неоспоримо, что чем больше будет исследований и предложений по оценке остаточного ресурса, тем раньше будет установлен «баланс» между нормативными требованиями и практической стороной их реализации, а также продолжится необходимый процесс совершенствования ТНПА, что, безусловно, позволит обеспечить безопасную эксплуатацию зданий и сооружений. При этом считаем, что расчет прогнозируемого остаточного срока службы строительных конструкций должен быть основан, прежде всего, на положениях действующих нормативных документах по рассматриваемой тематике.

Представленная нами работа посвящается светлой памяти нашего учителя, доктора технических наук, профессора Владимира Георгиевича Казачка, который при жизни планировал разработать практическую и обоснованную на уровне, как минимум, методических рекомендаций методику прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по результатам обследований.

Список использованных источников

1. СН 1.04.01-2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2021. – 73 с.
2. СП 1.04.02-2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2022. – 80 с.
3. ТКП 45-1.04-119-2008. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2009. – 46 с.
4. Галахарь А., Гаврюшин С. Об определении назначенного срока службы эксплуатируемого объекта с учетом показателя безопасной эксплуатации / Проблемы машиностроения и надежности машин – 2018. – Выпуск 4 С. 53-57.
5. Калинин В. М., Сокова С. Д. Оценка технического состояния зданий: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 268 с.
6. Рогонский В. А. [и др.]. Эксплуатационная надежность зданий. — Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1983. —280 с.
7. Казачёк В. Г., Коршун Е. Л., Шилов А. Е. Отечественная практика и зарубежный опыт нормирования в области обследования и технической эксплуатации зданий, подготовка аттестации специалистов по данным направлениям: сб. науч. ст. "Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров". – Гродно, 2010. С.- 99-102.

Секция 3: Строительные материалы и технология строительства

УДК 666.972

О НАУЧНОЙ ШКОЛЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Э. И. Батяновский

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье приведены данные о становлении и деятельности научной школы в области проблем технологии, структуры и физико-технических свойств цементного бетона и железобетона кафедры «Строительные материалы и технология строительства» БНТУ.

Ключевые слова: научная школа, создание, становление, деятельность, перспективы развития.

Научная школа в области проблем технологии, структуры и физико-технических свойств цементного бетона и железобетона основана заслуженным деятелем науки БССР, член-корреспондентом НАН Беларуси, д.т.н., профессором Ахвердовым Иосифом Николаевичем. Ее формирование связано с защитами докторских диссертаций Н.П. Блещиком, С.М. Ицковичем и Т.М. Пецольдом во второй половине 80-х годов XX века. Под их научным руководством подготовлено и защищено в общей сложности более 60 кандидатских диссертаций и получены многими сотрудниками нашего университета научные звания доцентов по общей проблематике строительного материаловедения и строительного производства. Результатом их деятельности явилось комплектование научными и преподавательскими кадрами кафедр как нашего строительного факультета, так и ряда кафедр технических вузов Беларуси.

В развитие научной школы, созданной И. Н. Ахвердовым, в начале 2000-х годов его учениками: Э. И. Батяновским, В. В. Бабицким, П. И. Юхневским, были защищены докторские диссертации по проблематике, соответствующей общему научному направлению школы. Уже под их научным руководством на настоящий момент времени защитили кандидатские диссертации 13 сотрудников нашего университета и других вузов Беларуси, включая двух граждан Республики Иран.

Продолжая традицию подготовки научных кадров научная школа планирует на ближайшую перспективу подготовку и защиту кандидатских диссертаций рядом сотрудников кафедры и научно-исследовательской лаборатории (Ю. Самуйловым, П. Федоровичем, В. Гуриновичем, Ж. Зеленковской, Г. Чекулаевым, С. Гушиным и др.), а на более отдаленную – подготовку и защиту докторских диссертаций докторантами кафедры, кан-

дидатами технических наук – С. Н. Ковшаром, М. М. Мордичем и Н. Н. Калиновской и др.

Проблематика их исследований логично сочетается с научными направлениями, развиваемыми научной школой:

- проблемы структурообразования, целенаправленного формирования свойств и обеспечения долговечности бетона и железобетона;

- разработка теоретических и практических основ новых и совершенствование традиционных направлений технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций различного назначения, включая технологии высокопрочных, особо плотных, «самоуплотняющихся» и поризованных бетонов, а так же технологию экструзионного 3D-бетонирования;

- разработка теории и практики малоэнергоемких технологий в производстве сборного железобетона и монолитном строительстве с использованием современных химических добавок для цементных бетонов плотной и пористой структуры;

- разработка научных основ и приемов практической реализации использования углеродных наноматериалов в технологии бетона, а также техногенных отходов промышленности при производстве строительных материалов, изделий и конструкций и в монолитном строительстве;

- разработка научных основ оценки, прогнозирования и практического обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности строительных изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах;

- разработка программного обеспечения технологических расчетов и процессов производства сборных изделий и возведения (устройства) монолитных конструкций с целью оперативного проектирования и осуществления производственного контроля с помощью ЭВМ;

- совершенствование методов контроля физико-технических свойств, осуществление испытаний и сертификации качества бетонов, строительных материалов, изделий и конструкций, включая конкретную тематику заданий, заявляемых предприятиями и организациями строительной отрасли.

По результатам научных исследований коллективом научной школы в последние годы опубликовано 12 монографий, получено 10 патентов на изобретения, издано 2 учебных пособия с грифом Минобразования Республики Беларусь, подготовлено 5 учебно-методических комплексов для подготовки специалистов для строительной отрасли, опубликованы десятки научных статей. Значимость научных исследований отражает востребованность их результатов строительной отраслью, что с практических позиций проявляется в объемах хоздоговорных работ (более 2,5 млн. руб. в год) и постоянном лидерстве НИИЛ бетонов и строительных материалов по этому показателю в БНТУ, а так же в признании их значимости за пределами нашей страны.

В частности, в 2025 г на международной выставке высоких технологий и инноваций в научно-технической сфере «HI-TECH 2025» (9-11 апреля

2025 г., Санкт-Петербург) в рамках проведения конкурса «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года», который учрежден Министерством науки и технологий РФ, научно-техническая разработка «Технология полного использования отсевов гранитной породы, образующихся при производстве крупного заполнителя для конструкционного тяжелого бетона» была отмечена Дипломом I степени с вручением золотой медали в номинации Лучший инновационный проект (разработка) в области производства неметаллической минеральной продукции.

В строительной отрасли Беларуси результаты научных разработок коллектива научной школы реализованы в вариантах:

- беспрогревной и малоэнергоемкой технологий производства бетонных и железобетонных изделий, обеспечивающие твердение цементного бетона без затрат тепла в летний период и удельное потребление энергии ~ 0,05...0,1 Гкал тепла при работе круглогодично, включая зимний период, используемых заводами железобетонных изделий и строительными организациями нашей Республики и Российской Федерации;

- технологии производства цемента с использованием минеральной добавки на основе молотого гранитного отсева РУПП «Гранит», по которой ОАО «Кричевцементношифер» (выпущено более 100 тыс. тонн вяжущего с удельным эффектом более 4,0 руб./т);

- программного обеспечения технологических процессов производства сборного железобетона в форме комплекса программ для ЭВМ «Технолог» на предприятиях строительной индустрии и строительных организаций;

- технологии особо прочного (100...150 МПа), высокоплотного конструкционного тяжелого бетона, характеризующегося повышенной долговечностью и отличающегося применением модифицирующей добавки углеродного наноматериала отечественного производства;

- технологического обеспечения ведения бетонных работ при устройстве монолитной фундаментной плиты с объемом уложенного за 44 часа непрерывной работы более 9000,0 тыс. м³ бетона и перекрытий аутригерных этажей (объемом ~ 1000,0 м³ бетона в каждом) строящегося высотного здания Газпрома Российской Федерации и множество других разработок, внедренных в строительное производство.

За достижения в научной и педагогической деятельности ряд сотрудников коллектива научной школы награждены: Почетной грамотой Совмина РБ, Почетными грамотами Минобразования РБ, Почетной грамотой Минстроя РБ; Почетными грамотами ВАК РБ, Почетной грамотой ГКНТ РБ, грамотами и Почетными грамотами Белорусского национального технического университета, а также удостоены званий и знаков «Почетный строитель» РБ и «Заслуженный строитель» РБ.

Резюмируя краткий очерк о деятельности научной школы следует отметить, что перспективу ее развития составляют молодые научные сотруд-

ники кафедры и лаборатории, работающие над своими магистерскими, кандидатскими и докторскими диссертациями.

УДК 666.972

РАСЧЕТ КОМПОНЕНТОВ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПЛОТНЕНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ СУХОЙ СМЕСИ.

Брисюк Д.В., Овсяник В.Р.¹, Батыновский Э.И.², Зеленковская Ж.Л.³,

¹ студенты 4 курса специальности 7-07-0732-01-2023

«Строительство зданий и сооружений»

² доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

³ старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье осуществлялся расчет компонентов сухой бетонной смеси по методике, основывающейся на подборе такого соотношения сухих компонентов, которое обеспечит максимально плотную упаковку зерен твердой фазы в отформованной сухой смеси и бетоне, а также представлены результаты испытаний образцов-кубов из цементно-песчаного раствора сухого формования и из водозатворённой смеси.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, сухая бетонная смесь, жёсткие смеси, сухое формование, степень уплотнения.

Мелкозернистый бетон не только повышает экономическую эффективность строительства, но и обеспечивает ряд других преимуществ. Происходит упрощение технологической схемы приготовления бетонной смеси, в связи с тем, что отпадает необходимость в организации складского и сортировочного оборудования для приемки, переработки и складирования щебня, уменьшается потребность в электроэнергии и трудовых затратах.

Как правило, мелкозернистый бетон имеет более высокие физико-механические характеристики в границах марки по сравнению с тяжелым бетоном, а также большую долговечность, что позволяет снизить материалоемкость конструкций и повысить их эксплуатационную надежность. Также становится возможным использование технологических приемов, вызывающих трудности при использовании тяжелых бетонов. Таким образом, стоимость изделий из мелкозернистого бетона может быть снижена на 25-50%.

Однако, производство изделий из мелкозернистого бетона сопряжено с большим расходом вяжущего, что влечёт за собой значительное удорожание изделия при относительно низких классах по прочности [1].

Расчет компонентов сухой бетонной смеси осуществлялся по следующей методике [2], основывающейся на подборе такого соотношения

сухих компонентов, которое обеспечит максимально плотную упаковку зерен твердой фазы в отформованной сухой смеси и бетоне. В ходе испытаний использовался песок $M_k=2,6$, средней плотностью в уплотнённом состоянии $\rho_n^o = 1560 \text{ кг/м}^3$, в виброуплотнённом $\rho_n^e = 1850 \text{ кг/м}^3$, плотностью зёрен $\rho_n^3 = 2640 \text{ кг/м}^3$. Портландцемент (ЦЕМ I 42,5 Н), соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020, активностью 40 МПа, плотностью 3150 кг/м^3 и КНГ $\sim 0,28$ доли ед.

Расход песка по объёму при величине коэффициента раздвижки его зёрен цементом $K_{pc}=1,16$ будет равен

$$V_n = 1 \div K_{pc} = 1 \div 1,16 = 0,86, \text{ м}^3 \quad (3.1)$$

Расход песка по массе:

$$П = V_n \cdot \rho_n^e = 0,86 \cdot 1850 = 1595, \text{ кг} \quad (3.2)$$

Абсолютный объём песка:

$$V_n^a = \frac{П}{\rho_n^3} = \frac{1595}{2680} = 0,59, \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

Расход цемента по объёму:

$$V_u = 1 - V_n^a = 1 - 0,59 = 0,41, \text{ м}^3 \quad (3.4)$$

Номинальный расход цемента по массе с учётом расчётной величины его средней плотности $\rho_u^e = 1250 \text{ кг/м}^3$ будет равен:

$$Ц = V_u \cdot \rho_u^e = 0,41 \cdot 1250 = 515, \text{ кг} \quad (3.5)$$

Тогда средняя плотность сухой смеси составит:

$$\rho_{см}^p = П + Ц = 1595 + 515 = 2110, \text{ кг/м}^3 \quad (3.6)$$

При $B/Ц = K_{nc}$ масса поглощённой воды составит:

$$B = Ц \cdot B/Ц = 515 \cdot 0,28 = 144, \text{ кг} \quad (3.7)$$

Тогда расчетная плотность образца составляет:

$$\rho_{об}^p = П + Ц + B = 1595 + 515 + 144 = 2254, \text{ кг/м}^3 \quad (3.8)$$

Итоговый состав мелкозернистой смеси:

$$Ц = 515, \text{ кг}$$

$$П = 1595, \text{ кг}$$

$$B = 144 \text{ кг (для формирования образцов из водозатворённой смеси)}$$

В ходе исследований изготавливались образцы-кубы размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ из цементно-песчаного раствора сухого формирования и из водозатворённой смеси.

Послойное уплотнение позволило достичь высокой степени уплотнения. Данные приведены в таблице 3.2

Таблица 1. Влияние способа уплотнения на плотность сухой смеси

Уплотнение	Плотность, кг/м ³
3 слоя по 10 секунд/слой	2316
3 слоя по 15 секунд/слой	2374
1 слой 100 мм, 50 секунд	2200
1 слой 70мм, 50 секунд	2280

Однако, проблема связи между слоями, довольно легко решаемая при уплотнении водозатворённого бетона, оказала отрицательный эффект при сухом формировании [3]. Даже разрыхление поверхности слоя перед укладкой последующего не обеспечивает равномерной связи, а лишь смещает зону контакта. При распалубке уже насыщенного образца трещины раскрывались, тем самым полностью нейтрализуя эффект целостности наружной оболочки. Дальнейшее воздействие на образец приводит к его разделению на три части.

Ослабленная зона контакта слоёв является наиболее лёгким путём для миграции воды в тело бетона, что ещё больше ослабляет его и препятствует сцеплению между слоями. Снятие прижимной пластины, вызывает мгновенное образование водной плёнки на границе контакта и разрушение образца. Поэтому, для дальнейших экспериментов принято уплотнение слоя 70 мм в течение 50 секунд.

Очевидно, что необходима методика, которая позволяет достигать более плотной упаковки компонентов смеси. В качестве перспективного направления планируется рассмотреть сухое формирование бетонной смеси. Данный метод обладает рядом преимуществ. Сухое формирование позволяет получать бетоны с низким водоцементным отношением, порядка 0,27-0,28. При этом оно лишено традиционных проблем уплотнения жёстких смесей, осуществляя укладку и уплотнение легко формуемой бетонной смеси непосредственно до её водонасыщения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саталкин А. В. Исследование мелкозернистых плотных и поризованных бетонов//Мелкозернистые бетоны: материалы координационного совещания.—М:НИИЖБ, 1972.
2. Батяновский Э.И. Особо плотный бетон сухого формирования. - Мн.: НПООО «Стринко», 2002. - 224 с.
3. Байков В. Н. и др. Железобетонные изделия из мелкозернистого бетона//Бетон и железобетон. —1973. — № 5.

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С АМОРФНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

Бугук Е.С.¹, Гуриненко Н.С.²

¹ магистрант специальности 7-06-0732-01 «Строительство»

² к.т.н., доцент, доцент кафедры

«Строительные материалы и технология строительства»

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье приведены данные, полученные при испытаниях образцов мелкозернистого бетона с добавкой аморфного ультрадисперсного кремнезема. Показана эффективность примененной разновидности кремнезема, вводимой в бетон в 10-кратно сниженной дозировке по сравнению с традиционным микрокремнеземом.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, ультрадисперсный кремнезем, модуль упругости, прочность.

Мелкозернистые бетоны широко применяются в строительстве. Но одной из проблем таких бетонов является отсутствие жёсткого «каменного скелета» из крупного заполнителя и, как следствие, низкий модуль упругости и повышенная деформативность материала. Мы предлагаем решить эту проблемы за счет введения в состав аморфного кремнезема в ультрадисперсном варианте. Его эффективность проявляется [1], во-первых, в роли центров кристаллизации и ускорении процесса становления кристаллогидратной структуры новообразований в объеме цементного камня, а во-вторых, во взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (особенно в законах контакта заполнителя с цементным камнем), что в совокупности будет способствовать уплотнению и упрочнению структуры бетона и приведет к повышению его прочности и модуля упругости.

В исследованиях использовали *материалы*: портландцемент (ЦЕМ I 42,5 Н), соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020, заполнители, вода затворения и добавка-суперпластификатор, удовлетворяющие требованиям действующих нормативных документов; *аморфный кремнезем (АК)* - диоксид кремния осажденный, в виде ультрадисперсного порошка SiO_2 (Ковелос 35/05Т) с площадью удельной поверхности $350 \text{ м}^2/\text{г}$ и насыпной плотностью при 20°C 55 г/л [2].

Образцы-призмы (40 x 40 x 160 мм) для исследований изготовили вибрированием со стандартными параметрами ($A \sim 0,35 \text{ мм}$, $f \sim 50 \text{ Гц}$) из цементно-песчаной смеси (примерно одинаковой консистенции, т.е. равноподвижной по «расплыву» конуса ($\sim 110...120 \text{ мм}$)) состава: Ц : П = 1 : 3, при водоцементном отношении $(\text{В/Ц})_6 = 0,28$, которые твердели до испытаний в нормально-влажностных условиях (относительная влажность воздушной среды $\phi \geq 90 \%$, температура $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$).

Определение модуля упругости произвели согласно ГОСТ 24452-2023 [3] путем постепенного нагружения образцов-призм осевой сжимающей

нагрузкой до уровня 30 % (от уровня разрушающей нагрузки) с измерением в процессе нагружения их деформаций в продольном и поперечном направлениях (рисунок 1). Прочность бетона на растяжение при изгибе, а затем на сжатие определили на образцах-аналогах по ГОСТ 310.4-81.

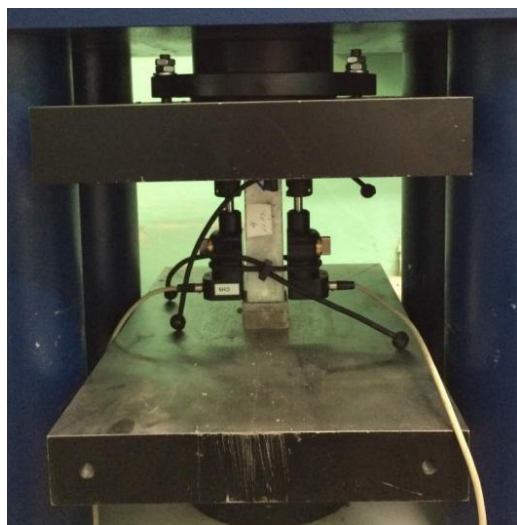


Рис.1. Определение модуля упругости

В таблице приведены результаты испытаний по оценке влияния на прочностные и деформационные характеристики исследуемого мелкозернистого бетона, из которых следует, что прочность при изгибе у образцов с ультрадисперсным кремнеземом изменилась незначительно (только обозначив тенденцию к росту), а рост прочности на сжатие к возрасту 28 суток составил до 20 % и модуля упругости до 50%, в сопоставлении с образцами бетона без него.

Таблица 1. Результаты испытаний

Вид добавки и количество компонентов, % от МЦ	Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при сжатии, МПа		Осевой модуль, ГПа	
	3 сутки	28 суток	3 сутки	28 суток	3 сутки	28 суток
0,5%Ст	7,7	7,9	29,8	42,8	20,2	32,7
0,5%Ст+1%АК	7,8	8,0	33,3	51,1	32,9	49,3

Обобщая результаты исследований можно сделать вывод о высокой эффективности ультрадисперсного кремнезема в мелкозернистом бетоне с позиций повышения его упругих и прочностных характеристик.

Библиографический список

1. Батяновский, Э. И. Бетон с полифункциональной кремнеземсодержащей добавкой / Э. И. Батяновский, Н. С. Гуриненко. – Минск : БНТУ, 2021. – 195 с.
2. Ковелос (диоксид кремния осажденный). Технические условия : ТУ 2168-002-14344269-2009. Введ. 01.12.2009. – М. : Госстандарт, 2009. – 28 с.
3. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона : ГОСТ 24452-2023. – Взамен ГОСТ 24452-80 ; введ. 01.01.2024. – М. Российский институт стандартизации, 2024. – 16 с.

КОМБИНИРОВАННЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ БЕТОНА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ван Цзылун¹, Снежков Д.Ю.².

¹ магистрант специальности 7-06-0732-01 «Строительство»

² к.т.н., доцент, доцент кафедры «Строительные материалы и технология
строительства»

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Снизить погрешность определения прочности бетона косвенными методами возможно путем их объединения. Рассматриваются варианты методик комбинирования методов. Приведены результаты построения многопараметровых градуировочных зависимостей косвенных методов испытаний бетона.

Ключевые слова: бетон, косвенные методы испытания, комбинирование методов, комплементарность, корреляция, влажность.

В основе комбинированных методов испытаний бетона лежит принцип объединения двух или более косвенных методов (массивов их данных) испытаний, обладающих свойством дополнительности (комплементарности) по отношению друг к другу [1]. Свойство дополнительности может рассматриваться в различных аспектах, например, когда объединяемые методы обладают разного знака чувствительностью к мешающим факторам. В этом случае величина оцениваемого параметра будет в меньшей степени подвержена искажению мешающими факторами и точнее соответствовать его «истинному» значению. Причем, совсем не обязательно, чтобы все из объединяемых методов были методами контроля именно искомого параметра. Главное – наличие корреляции косвенных параметров методов и искомого параметра бетона.

В таблице 1 приведены результаты обработки данных совместных испытаний 17 бетонных образцов классов по прочности $C^{30}/_{37}$ и $C^{35}/_{45}$ в возрасте от 2 недель до 1,5 месяцев методом упругого отскока и ударного импульса по СТБ 2264, и на прессе по ГОСТ 10180. Кроме использования указанных методов производилось измерение массы образцов и их влажности. Процедура построения градуировочных зависимостей для методов упругого отскока и ударного импульса на основе имеющегося массива данных не удовлетворяет требованиям СТБ 2264. Как и ожидалось, полученные зависимости (1, 2) не обеспечили нормируемых значений ни для коэффициента корреляции ($< 0,7$), ни для остаточного среднего квадратического отклонения S_T .

Включение в градуировочные зависимости показателя влажности бетона в виде его процентного значения (3, 4, 5) заметно улучшило их: коэффициент корреляции превысил минимальное пороговое значение 0,7. Показатель S_T снизился.

Таблица 1. Параметры градуировочных зависимостей

Градуировочная зависимость		S_T	r^2	r
$f_c^* = 1,12 \cdot I + 4,6$	(1)	4,66	0,30	0,55
$f_c^* = 0,83 \cdot f_{c,onix} + 11,2$	(2)	3,96	0,39	0,62
$f_c^* = 0,64 \cdot I + 4,22 \cdot W + 2,8$	(3)	3,56	0,52	0,72
$f_c^* = 0,55 \cdot f_{c,onix} + 3,77 \cdot W + 5,0$	(4)	3,62	0,55	0,74
$f_c^* = 0,366 \cdot f_{c,onix} + 0,442 \cdot I + 3,91 \cdot W + 3,05$	(5)	3,60	0,57	0,75

где r^2 – коэффициент детерминации; r – коэффициент корреляции;

I – индекс отскока; W – влажность бетона в %;

f_c^* – расчетная прочность бетона, по данным косвенного метода, МПа;

$f_{c,onix}$ – косвенный показатель прочности по прибору «Оникс-2.5», МПа;

S_T – остаточное среднее квадратическое отклонение градуировочной зависимости, МПа.

Другим вариантом комбинирования испытаний может рассматриваться методика экстраполирования оценки свойств бетона, полученной относительно точным методом, за границы применимости этого метода, используя данные другого, вспомогательного (экстраполирующего) метода, «работающего» за границами применимости первого. Например, при высушивании бетона в случае раннего распалубливания, при карбонизации его поверхностного слоя параметры упругости и прочности могут заметно отличаться от средних показателей для массива. В этом случае эффективным является объединение методов испытаний использующих различный объем вовлеченного в испытательный процесс бетона [2].

Третьим вариантом комбинирования является алгоритм преобразующий множество косвенных параметров одного или нескольких методов испытаний бетона в одно из ограниченного множества возможных значений искомого параметра бетона, например, его класс по прочности. Реализация такого алгоритма возможна на основе нейросетевой обработки данных. Рассмотренные выше два метода комбинирования являются частными случаями данного метода.

Библиографический список

1. Pucinotti, R. The use of multiple combined non destructive testing in the concrete strenght assessment: applications on laboratory specimens / R. Pucinotti // [Electronic resource], 2003. - Mode of access: http://www.ndt.net/article/hsndtct2007/files/Pucinitti_Crisci_etat.pdf. - Date of access: 02.02.2016.

2. Патент № 20585 Респ. Беларусь Способ определения прочности бетона в конструкциях методом неразрушающего контроля: МПК G 01 N 33/38/ Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович; дата публ.: 09.08.2016// Афіційны бюл./ Нац. центр інтэлект. уласнасці. – 2016.- №6 (113). - С.111-112.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОНА В ОКРЕСТНОСТИ ПУСТОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРАЖИВАНИИ

Вербицкая О. Л., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена задача определения напряженного состояния пористого бетона при его замораживании. Рассмотрен пример и определены эквивалентные напряжения в окрестности замершей воды в ячейке.

Ключевые слова: напряженное состояние, пора, заполненная льдом

Рассматривается задача определения напряженного состояния пористого бетона при его замораживании. Используется модель, состоящая из вложенных друг в друга двух цилиндров (рис. 1). Внутренний цилиндр моделирует ячейку, заполненную водой, а внешний – материал, окружающий эту ячейку.

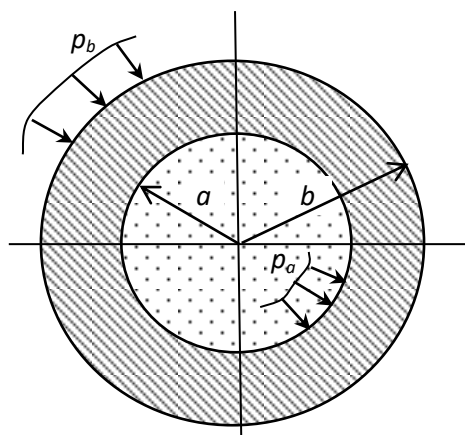


Рис. 1 Моделирование ячейки, заполненной льдом

Механические характеристики льда, образовавшегося в пустоте, зависят от температуры и солёности. Значения модуля упругости и коэффициента Пуассона льда $E_z = 3,0 - 11,0$ ГПа, $\nu_z = 0,31 - 0,36$ [1], [2].

Для решения задачи о напряженном состоянии полого цилиндра, нагруженного на внутренней и на внешней поверхностях равномерно распределенными нагрузками p_a , p_b , получены выражения для радиального и тангенциального напряжений [3] (1).

$$\sigma_\theta = \frac{p_a a^2 - p_b b^2}{b^2 - a^2} + \frac{(p_a - p_b) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2}; \quad \sigma_r = \frac{p_a a^2 - p_b b^2}{b^2 - a^2} - \frac{(p_a - p_b) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2} \quad (1)$$

где a и b – радиусы внутренней и внешней поверхности цилиндра.

В свободном состоянии превращение воды в лед приводит к увеличению объема за счет расширения льда примерно на 11%, обозначим его k_0

$$k_0 = \frac{V_0}{V_p} = 1,1, \quad (2)$$

где V_0 – объем ячейки после замерзания воды $V_0 = \pi(a + u_0)^2 l$;

V_p – объем ячейки до замерзания воды $V_p = \pi a^2 l$;

l, u_0 – длина и линейное расширение ячейки, то есть увеличение ее радиуса.

Определим радиальное перемещение точек поверхности ячейки за счет такого расширения. Подставим выражения для объемов V_0 и V_p в уравнение (2)

$$(a + u_0)^2 = a^2 \cdot k_0. \quad (3)$$

В результате решения уравнения получим значение перемещения

$$u_0^2 + 2au_0 + (1 - k_0)a^2 = 0. \quad u_0 = (\sqrt{k_0} - 1) \cdot a. \quad (4)$$

Рассмотрим цилиндрическое тело, радиуса a и не содержащее внутреннюю полость. Цилиндрическое тело загружено только по своей поверхности нагрузкой p_a , которая направлена внутрь. Радиальное перемещение и коэффициенты A и B определяются с учетом отсутствия внутренней полости:

$$u = Ar + \frac{B}{r} \quad A = \frac{-p_a \cdot a^2}{a^2} \frac{1 - \nu_z}{E_z} = -\frac{1 - \nu_z}{E_z} p_a; \quad B = 0, \quad (5)$$

Если $r = a$, то перемещение поверхности ячейки за счет расширения от замерзания воды в ней и от давления на ее поверхность выражается функцией

$$u_z(p_a) = u_0 + A \cdot a = u_0 - \frac{1 - \nu}{E_z} p_a a, \quad (6)$$

Радиальное и тангенциальное напряжения во всех точках поры, заполненной льдом, одинаковые и равные давлению на поверхность поры. То есть, лед в поре испытывает всестороннее сжатие. Учитывая, что на внешней поверхности нагрузка p_b отсутствует, коэффициенты A и B выражаются по формулам

$$A = \frac{p_a \cdot a^2}{(b^2 - a^2)} \cdot \frac{1 - \nu_b}{E_b}; \quad B = \frac{p_a \cdot a^2 b^2}{(b^2 - a^2)} \cdot \frac{1 + \nu_b}{E_b}, \quad (7)$$

Получим функцию перемещений точек бетона на его внутренней поверхности от давления между льдом поры и бетоном. Для этого принимаем $r = a$.

$$u_b(p_a) = p_a \left[\frac{a^3(1 - \nu_b)}{(b^2 - a^2)E_b} + \frac{ab^2(1 + \nu_b)}{(b^2 - a^2)E_b} \right]. \quad (8)$$

Для обеспечения совместности деформаций поры, заполненной льдом и материалом, окружающим пору, составим уравнение и найдем взаимное давление льда поры и окружающего ее бетона

$$u_z(p_a) + u_b(p_a) = 0, \quad (9)$$

Решение уравнения (9) представим в следующем виде

$$p_a = \frac{u_0}{k_1 + k_2 + k_3}, \quad (10)$$

$$k_1 = \frac{a(1-\nu_z)}{E_z}; \quad k_2 = \frac{a^3(1-\nu_b)}{(b^2 - a^2)E_b}; \quad k_3 = \frac{ab^2(1+\nu_b)}{(b^2 - a^2)E_b}.$$

Учитывая выражение для u_0 , получим

$$p_a = \frac{(\sqrt{k_0} - 1)a}{k_1 + k_2 + k_3}. \quad (11)$$

Учитывая, что $p_b = 0$, получим напряжения в окрестности поры

$$\sigma_r = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} - \frac{p_a a^2 b^2}{(b^2 - a^2)r^2}; \quad \sigma_\theta = \frac{p_a \cdot a^2}{b^2 - a^2} + \frac{p_a \cdot a^2 b^2}{(b^2 - a^2)r^2}. \quad (12)$$

Исследования показали, что в окрестности поры за счет ее расширения в результате замерзания воды появляются сжимающие радиальные и растягивающие тангенциальные напряжения.

Учитывая (12) вычислим радиальные и тангенциальные напряжения σ_r и σ_θ во всех слоях стенки ячейки. Касательные напряжения в связи с радиальной симметрией равны нулю. В качестве критерия наступления предельного состояния принимаем удельную потенциальную энергию изменения формы.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \sigma_\theta^2 + \sigma_r^2]}. \quad (13)$$

Вычислим эквивалентные напряжения в окрестности замершей воды в ячейке. Примем следующие исходные данные: модуль упругости и коэффициент Пуассона льда $E_z = 3$ ГПа, $\nu_z = 0,31$; модуль упругости и коэффициент Пуассона материала $E_b = 29$ ГПа, $\nu_b = 0,18$.

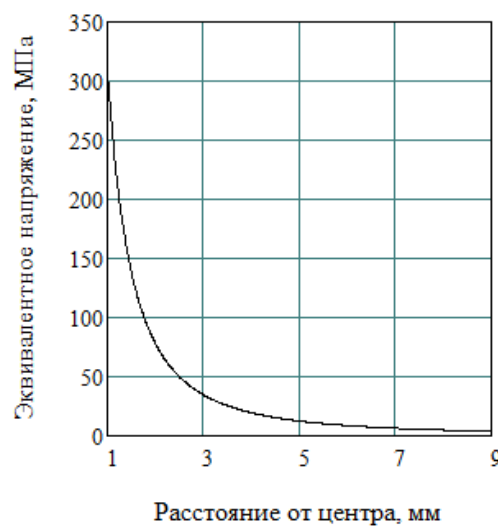


Рис.2. График эквивалентного напряжения в окрестности замершей цилиндрической полости

Библиографический список

1. Войтковский, К.Ф. Механические свойства льда / К.Ф. Войтковский. – М.: Изд-во Акад. наук СССР. –1960. – 98 с.
2. Гольдштейн, Р.В. Механика разрушения и проблемы освоения Арктики / Р.В. Гольдштейн, Н.М. Осипенко. – ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН. – №4 2015. – С14-27.
3. Вербицкая, О.Л. Напряженное состояние бетона в окрестности цилиндрической пустоты, подвергнутой внутреннему давлению / О.Л. Вербицкая // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: мат-лы Междунар. науч.-техн. конф., 26-27 окт. 2023 г. / редкол.: Е.М. Жуковский (гл. ред.) [и др.]. Минск: БНТУ, 2024. – С. 178-182.

УДК 699.82

ИННОВАЦИОННЫЙ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Галузо О. Г. – кандидат технических наук, доцент,
Вершеня Е. Г. – старший преподаватель,
Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

Аннотация. В статье приведены результаты исследования инновационных геотекстильных материалов, применяемых в строительстве. Определены физико-технические и гидротехнические характеристики дренажных материалов различной поверхностной плотности, толщины полотна и их область применения.

Ключевые слова: геотекстильный материал, прочность при растяжении, относительное удлинение, поверхностная плотность, коэффициент фильтрации.

Современные геотекстильные материалы предназначены для защиты дренажных систем от засорения, эффективно отводят влагу, предотвращают перемешивание слоев грунта и усиливают дренажные конструкции. Применяются в дренажных системах, инверсионных кровлях, дорожном строительстве, при строительстве парковок, садовых дорожек, в ландшафтном дизайне.

Геотекстильные материалы производятся в соответствии со стандартами экологической безопасности. Для изготовления полотен используются малотоксичные компоненты с пониженной горючестью. Устойчивость к коррозии и гниению делает материал безопасным для окружающей среды. Срок службы геотекстиля при правильном соблюдении транспортировки, хранения и укладки, сопоставим со сроком службы конструкций с включением полотен.

Геотекстиль главным образом служит в качестве фильтрующего холста и предотвращает попадание мелких частиц грунта в дренажный элемент [1].

В научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и

строительных материалов, филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт» определены основные физико-технические характеристики материалов рулонных полиэфирных иглопробивных дренажных «ONDUTISS Drainage 150,200,300», а также материала рулонного геотекстильного «ONDUTISS GEO» для ландшафтных работ, производства компании ООО «Ондулин – строительные материалы», Российская Федерация и материала нетканого геотекстильного термоскрепленного DuPont™ Typar® SF40 производства «DuPont de Nemours (Luxembourg) S.a.r.l.», Герцогство Люксембург, в соответствии с нормативными документами по ГОСТ [2] и СТБ [3],[4].

Результаты исследований физико-технических характеристик дренажных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-технические характеристики дренажных материалов

Показатели, единицы измерения	DuPont™ Typar® SF40	ONDUTIS S Drainage 150	ONDUTIS Drainage 200	ONDUTIS S Drainage 300	ONDUT ISS GEO
Толщина при нагрузке 2 кПа, мм	0,45	0,39	1,07	1.80	0,35
Поверхностная плотность, г/ м ²	136	150	208	320	76
Прочность при растяжении, кН/м:вдоль/поперек	8,1/9,0	5,7/4,5	8,4/7,2	10,5/8,3	1,7/1,2
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %: вдоль/поперек	93/56	60/70	60/60	80/80	80/100
Коэффициент фильтрации в направлении перпендикулярном плоскости полотна, м/ сут	22,4	183,1	160,1	133,2	2,5
Коэффициент фильтрации в плоскости полотна, м/сут	-	132,4	127,2	126,8	70

Установлено: при увеличении толщины материала с 0,35 мм до 1,80 мм поверхностная плотность увеличивается в 4,2 раз, прочность при растяжении вдоль волокон и поперек волокон соответственно в 6,2 и 6,9 раз. Коэффициент фильтрации «ONDUTISS Drainage 150,200,300» в направлении перпендикулярном плоскости полотна уменьшается в 1,4 раза и 1,04 раза в плоскости полотна при увеличении поверхностной плотности.

Анализ полученных результатов показал, что физико-технические свойства зависят от толщины и поверхностной плотности изделий. С увеличением поверхностной плотности изделий растет прочность при растяжении вдоль и поперек полотна, уменьшается коэффициент фильтрации, как в направлении перпендикулярном плоскости полотна, так и в плоскости полотна.

Исследования позволили получить физико-технические и качественные показатели новых видов полотен рулонных геотекстильных и их опти-

мальную область применения в строительстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галузо О.Г., Романов Д.В. Исследование эксплуатационных свойств мембранной гидроизоляции// Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы современного строительства» 28 мая 2020г.. – Минск: БНТУ, 2020 - С. 223-228
2. ГОСТ 25584-2023 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
3. СТБ 1104-2020 Материалы геосинтетические. Полотна геотекстильные для транспортного строительства. Технические условия.
4. СТБ EN ISO 10319-2012 Материалы геосинтетические. Испытание на растяжение. Метод широкой полосы.

УДК 69.058+693.5

О РЕГИСТРАЦИИ ЭХО-ИМПУЛЬСА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

Крисковец А.Г.¹, Снежков Д.Ю.²

¹ магистрант специальности 7-06-0732-01 «Строительство»

² к.т.н., доцент, доцент кафедры «Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается механизм потерь энергии зондирующего акустического импульса сейсмоакустического метода испытаний целостности ствола железобетонных свай. Приведены расчетные данные компенсации потерь акустического сигнала методом динамического усиления.

Ключевые слова: сваи буронабивные, сейсмоакустический метод, рефлектограмма, затухание, динамическое усиление.

Изготовление буронабивных свай подвержено рискам образования дефектов целостности ствола, которые скрыты в грунте на значительной глубине. Проверка целостности свай низкоэнергетическим ударным воздействием, составляющим основу сейсмоакустического метода [2], остается самой распространенной практикой контроля; ежегодно миллионы свай тестируются этим методом по всему миру.

Распространение зондирующего волнового импульса вдоль ствола сваи сопровождается потерей его энергии, что выражается в уменьшении амплитуды регистрируемого акустического сигнала [1]. Основной причиной ослабления зондирующего акустического сигнала при его распространении в стволе сваи является переизлучение волны в окружающий сваи грунт за счет сил трения о боковую поверхность (см. рис. 1).

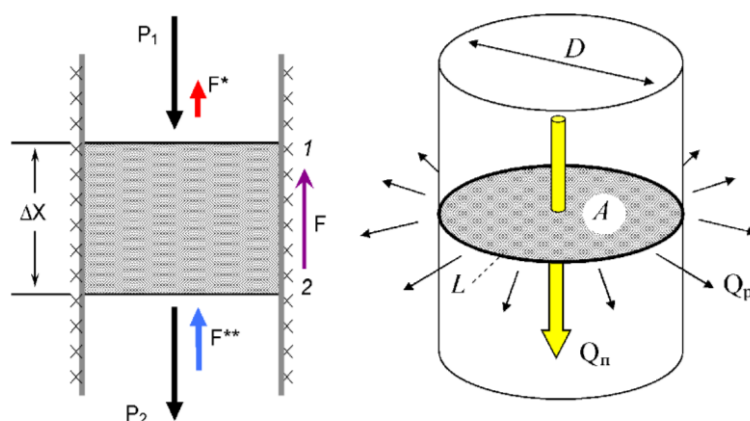


Рис. 1. Влияние трения поверхности сваи на распространение волны

Образуемая в процессе распространения продольной волны сжимающая (растягивающая) сила P_1 вызывает перемещение объемного элемента сечения ствола сваи толщиной ΔX , который находясь в контакте с грунтовой стенкой испытывает силу трения F , действующей в противоположном направлении. Силу трения F можно разложить на две составляющие: F^* - формирующая волновой отклик направленный обратно к оголовку сваи, F^{**} - составляющая, которая уменьшает сжимающее осевое усилие P_2 на F^{**} . Конечным результатом является ослабление или затухание волны по мере ее продвижения к пяте сваи. Такие же рассуждения применимы и в отношении отраженного импульса от пяты сваи, когда фронт волны движется вверх. При большом уровне потерь, отраженный от пяты сваи импульс становится слишком слабым для идентификации, а длину сваи установить становится невозможным. Очевидно, что соотношение энергии акустического импульса проходящего через сечение ствола сваи и распространяющейся вдоль ствола представленной вектором Q_n , и энергии переданной в окружающий грунт за счет сил трения с боковой поверхностью сваи Q_p , будет определяться отношением площади сечения сваи A и длиной окружности сечения L (см. рис. 1). То есть можно записать

$$\frac{Q_n}{Q_p} = k \frac{A}{L} = \frac{k}{4} \cdot D, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала сваи и грунта.

Из выражения (1) следует - максимальная глубина отражения волнового импульса от пяты сваи в одинаковых грунтах и технологии изготовления сваи определяется в первом приближении отношением диаметра сваи D к её длине L . В однородном грунте логарифмический показатель полного затухания A отражения от пяты сваи определяется уравнением [2]:

$$A_e = \ln \left(\frac{A_0}{A_L} \right) = \frac{4 \cdot L}{D} \frac{\rho_s \cdot v_s}{\rho_c \cdot c}, \text{ Нп} \quad (2)$$

где L – длина сваи; D – диаметр сваи; A_0 , A_L – соответственно амплитуда зондирующего импульса (первого импульса на рефлектограмме) и амплитуда отраженного импульса от пяты; ρ_s , ρ_c – соответственно плотность грунта и сваи; v_s – скорость сдвиговой (поперечной) волны в грунте; c – скорость продольной волны в свае.

Для сваи с типичным отношением $L/D = 25$ в грунте со скоростью сдвиговой волны 250 м/с общее затухание $A_e = 4,7$ Нп; а отношение A_0/A_L составит

$$\frac{A_0}{A_L} = \exp(4,7) = 110.$$

При обработке акустического сигнала необходимо отраженный от пяты сигнал усилить в 110 раз. Для остальных сигналов, отраженных с иной глубины ствола и поступившие в иные моменты времени, необходимо использовать дополнительное усиление K с учетом формулы (2), то есть

$$K(T) = \frac{A_0}{A(T)} = \exp\left(4,7 \cdot \frac{L(T)}{L}\right), \quad (3)$$

где T – момент времени регистрации акустического сигнала (текущее время); L – длина сваи; $L(T)$ – отметка, соответствующая появлению отраженного сигнала в момент времени T ; $A(T)$ – амплитуда сигнала с отметки $L(T)$.

Рассмотренный метод компенсации затухания акустического сигнала получил название динамического усиления, то есть, усиление, изменяющееся с течением времени. Следует иметь в виду, что формула (3) не учитывает ряд важных обстоятельств процесса затухания энергии волны, рассматривая грунтовое окружение сваи как упругую однородную среду без потерь.

В современных приборах контроля, например, приборах серии «Спектр» производства РФ данная операция может выполняться автоматически путем выравнивания на рефлектограмме амплитуд зондирующего импульса и отраженного от пяты, ориентируясь на их визуальные образы. Рассмотренная методика компенсации потерь не требует учета причин потерь энергии волны. Проведенные натурные испытания показали, что для распространенных конструктивных бетонов классов по прочности $C^{20}_{/25} \dots C^{35}_{/45}$ потери в самом бетоне ствола сваи на 1...2 порядка меньше потерь через контакт сваи с грунтом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонович С. Н., Снежков Д. Ю., Будревич Н. А. Исследование эхо-импульсного метода контроля буронабивных свай. Вестник инженерной школы ДВФУ, 2021. № 3(48) – С. 74–82.

2. ASTM D5882-16: Standard test method for low strain integrity testing of deep foundations, Philadelphia PA , P.6.

3. Paquet, J. 1968. Etude Vibratoire des Pieux en Beton, Reponse Harmonique et Impulsionnelle. Application au Controle, Annales ITBTP, Vol. 245, pp. 788-803.

УДК 666.972.69; 691.32

ВОЗМОЖНОСТЬ ЭКОНОМИИ ЦЕМЕНТА В БЕТОНЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Осипюк Т.А.¹, Федорович П.Л.²

¹Инженер, Научно-исследовательская и испытательная лаборатория бетонов и строительных материалов, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Научный сотрудник, Научно-исследовательская и испытательная лаборатория бетонов и строительных материалов, Белорусский национальный технический университет г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация Использование низкокачественного мелкого заполнителя (природного песка) вынужденная мера, которая приводит к перерасходу цемента в составе бетонной смеси удорожанию готовой продукции. В материале данной статьи приведен подход решения данной проблемы путем обогащения природного песка крупными фракциями гранитного отсева, массово образующихся при производстве щебня

Ключевые слова: бетон, мелкий заполнитель, гранулометрический состав, отсев, песок, обогащенный песок.

Заполнители в бетоне занимают значительное количество объема и влияют на его физико-механические свойства, долговечность и стоимость. Важнейшую роль в структуре бетона играет мелкий заполнитель. К нему относятся природные пески, искусственные пески и песков из отсевов дробления крупных горных пород с размером фракции до 5 мм. Для получения качественного бетона большой вклад вносят такие показатели заполнителя как: максимальная упаковка заполнителя, удельная поверхность и качество (шероховатость) поверхности зерен, а также наличие примесей.

Расход цемента в бетонной смеси может изменяться в зависимости от гранулометрии заполнителя. Так, снижение пустот между зернами заполнителя и образования «оболочек» вокруг этих зерен, уменьшает расход цемента. Поэтому уместно говорить о подборе оптимального зернового состава заполнителей, для снижения расхода цемента на заполнения пустот в бетонной смеси, т.к. известно, что площадь поверхности зерен

обратно пропорциональна их диаметру и с уменьшением размеров зерен их поверхность возрастает соответственно возрастает и расход цемента.

Необходимость использования строительной отрасли Республики Беларусь качественного мелкого заполнителя для бетонных и растворных смесей вынуждает доставлять его из других районов и областей, что значительно увеличивает стоимость конечной продукции. В связи с этим в строительстве часто используется некачественный мелко- и тонкодисперстные речные пески (модуль крупности $M_k < 1,5$ ед., а зачастую $M_k < 1,0$ ед.) или материал местных карьеров с повышенным содержанием загрязняющих примесей (преимущественно – глин), что сопровождается ухудшением качества бетона, несмотря на существенный (10...20%) перерасход вяжущего.

На основании исследования [1] проведенного в НИИЛ БиСМ БНТУ была разработана технология обогащения природных мелких песков крупными фракциями ($> 0,5$ мм) гранитного отсева.

На основании ранее опубликованных исследований [2,3,4] можно отметить взаимосвязь прочностных характеристик бетона с гранулометрическим составом многофракционного песка, откуда следует, что рациональное значение зернового состава с учетом его минимальной пустотности и удельной поверхности заполнителя способствует увеличению прочностных характеристик бетона.

Немаловажную роль тут играет качество поверхности или шероховатость крупных фракций отсева. Она способствует лучшему сцеплению цементного камня с зернами заполнителя в бетонной смеси. Так в ходе эксперимента доказано, что прочность бетона в проектном возрасте при нормально-влажностных условиях твердения с модулем крупности мелкого заполнителя $M_k \geq 2,0$ соизмерима с прочностью бетона на высококачественном (мытом) природном песке $M_k = 3,2$ при тех же условиях. Это доказывает эффективность обогащения мелкого заполнителя в бетонной смеси.

Применяя аналогично к составу по ГОСТ 30459-96 [5] (при Ц = 350 кг; $\Pi_{5-20} = 1150$ кг; мелкого заполнителя = 700 кг; В/Ц_б ~ 0,5 дол. ед. на 1 м³ бетона), являющийся «стандартизированным», обогащенный мелкий заполнитель и уменьшая при этом расход цемента при прочих равных условиях. По результатам исследований наблюдается прирост прочности бетона на обогащенном мелком заполнителе на 15 – 20 % относительно составов на природном песке, при равном содержании цемента в составах, а при снижении на 20% содержания цемента в составах на обогащенном заполнителе прочность образцов бетона соответствует уровню прочности образцов на мелком заполнителе при расходе вяжущего в 350 кг на 1 м³ бетонной смеси.

Результаты исследования показывают, что применение обогащенного мелкого заполнителя эффективно для снижения расхода цемента и од-

новременно является хорошей альтернативной в решении вопроса наличия качественного мелкого заполнителя во многих регионах страны в особенности мелкофракционных песков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федорович П.Л. эффективность нормализации гранулометрии мелкого заполнителя для бетона / П.Л. Федорович, Э.И. Ботяновский // Проблемы современного строительства. Материалы Международной научно-технической конференции – Минск, 2022, С. 239-249.
2. Смоляков А.В. Научно-технические основы технологии полного использования гранитного отсева в бетонах/ А.В. Смоляков, П.Л. Федорович, Э.И. Ботяновский // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал — Минск, 2011. – С. 35-41.
3. Федорович П.Л. Теоретические и практические основы минимизации содержания цемента в бетоне путем формирования оптимального зернового состава/ П.Л. Федорович, А.М. Корсун, Д.Л. Титков, Д.О. Гребенек // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства. Международный научно-методический семинар — Минск, 2012– С155-165.
4. Ботяновский Э.И. Эффективность “глубокой” переработки гранитного отсева РУПП «Гранит»/ Э.И. Ботяновский, А.А. Дрозд, П.Л. Федорович, А.В. Смоляков// Строительная наука и техника. Научно-технический журнал — Минск, 2012. – С. 38-43.
5. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96. – Введ. 01.07.98 – Москва – Минск. МНТКС; Министерство архитектуры и строительства РБ, 1998. – 39 с.

УДК 666.973.536.63

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Повидайко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Аннотация. В статье рассмотрена зависимость теплопроводности ячеистых материалов на минеральной и полимерной основе от плотности, влажности. Предлагается с помощью специальных добавок и микрозаполнителей снизить теплопроводность и плотность ячеистых бетонов. На основе пенополистирола изготавливать газонаполненные изделия, а изделия из пенополиуретана изготавливать на основе инертных газов.

Ключевые слова: ячеистые бетоны, теплопроводность, средняя плотность, добавки, влажность, пенополистирол, газонаполненные изделия, пенополиуретан, инертные газы.

Теплоизоляционные материалы ячеистой структуры изготавливают из сырья на минеральной основе, из полимерных и композиционных материалов. На минеральном сырье изготавливают ячеистые бетоны: газобетоны и пенобетоны. На основе извести, кварцевого песка, газообразующих добавок с использованием алюминиевой пудры, алюминиевых паст изготавливают газосиликатные изделия автоклавного твердения, а на основе портландцемента, минеральных наполнителей газообразующих и пенообразующих добавок изготавливают газобетоны и пенобетоны неавтоклавного твердения. Кроме того, изготавливают различные комбинированные материалы – пеногазосиликат и др. В силу того, что в ячеистых бетонах в качестве основных компонентов используются минеральные материалы, они имеют достаточно высокую среднюю плотность (350 – 600) кг/м³ и соответственно достаточно высокий коэффициент теплопроводности (0,9 – 0,14) Вт/м·°С по сравнению с полимерными ячеистыми теплоизоляционными материалами (пенополистиролом, пенополиуретаном) и относятся к теплоизоляционным и конструкционно-теплоизоляционным видам бетона. Обусловлено это тем, истинная плотность минерального сырья в 2,5-3,0 раза выше плотности полимерных материалов, вследствие чего средняя плотность и соответственно коэффициент теплопроводности ячеистых бетонов значительно выше средней плотности и коэффициента теплопроводности полимерных материалов ячеистой структуры (пенополиуретана, пенополистирола). Результаты испытаний образцов из ячеистых бетонов (газосиликатных) автоклавного твердения, изготовленных согласно СТБ 1570-2005, приведены в таблице. Для снижения теплопроводности ячеистых бетонов необходимо снижать их среднюю плотность. Несмотря на недостатки, ячеистые бетоны имеют также положительные свойства.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов из ячеистых бетонов.

Показатель	Марки по средней плотности			
	D350	D400	D500	D600
1. Средняя плотность газосиликатных образцов в сухом состоянии, кг/м ³	358	406	493	597
2. Коэффициент теплопроводности образцов в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	0,091	0,102	0,119	0,139

Ячеистые бетоны относятся к негорючим материалам, что позволяет им оставаться конкурентоспособными во многих областях строительства с точки зрения пожарной безопасности. Ячеистые бетоны имеют высокую паропроницаемость, препятствуют тем самым скоплению влаги и повышению теплопроводности ограждающих конструкций. Проводятся исследования по снижению теплопроводности и средней плотности ячеистых бетонов. Имеются разработки, позволяющие получать ячеистый бетон по-

ниженной плотности (150 - 200) кг/м³ с помощью специальных добавок [1]. Недостаток такого ячеистого бетона состоит в том, что он имеет низкую прочность. Поэтому разрабатывается ячеистый бетон, имеющий при низких значениях плотности достаточные прочностные характеристики. Разрабатываются также ячеистые бетоны плотностью (350 – 600) кг/м³ с улучшенными показателями по теплопроводности. Достигается это с помощью добавок и микронаполнителей.

Изготавливаются плиты резаные типа Р пониженной теплопроводности (0,032–0,037) Вт/(м·К), плотностью соответственно (35-10) кг/м³ и плиты формованные типа Ф пониженной теплопроводности (0,032–0,035) Вт/(м·К), плотностью (45-15) кг/м³. При низких значениях плотности теплопроводность увеличивается за счет конвективного теплообмена. Поэтому плиты пенополистирольные имеют более низкую теплопроводность при более высокой плотности. Для снижения теплопроводности разработаны способы производства газонаполненных плит.

Предварительно термоизолированные трубы, изготовленные из жесткого пенополиуретана на водной основе, при кажущейся плотности (83,9 – 89,2) кг/м³ имеют теплопроводность (0,032 – 0,033) Вт/(м·К). Для снижения теплопроводности изготавливают пенополиуретан на основе инертных газов. Теплопроводность таких образцов составляет 0,027 Вт/(м·К).

Библиографический список

1. Ячеистый бетон пониженной плотности для изоляции строительного и технического назначения. Н.П. Богданова, И.А. Белов, Е.Я. Подлuzский, Е.С. Клиничук, Т.Л. Вербицкая. Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы», март 2010.

УДК 666.972

ВЛИЯНИЕ ДОЗИРОВКИ ПОРОШКА АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Селех И.О.¹, Гуриненко Н.С.²,

¹ студент 4 курса специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

² к.т.н., доцент, доцент кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний образцов цементного камня с добавкой порошкообразного аморфного кремнезема. Выявлена оптимальная дозировка аморфного кремнезема, по критерию прочности цементного камня.

Ключевые слова: добавки в бетон, минеральная добавка, аморфный кремнезем, цементный камень, прочность.

Современный бетон – это сложный композит, в состав которого входят различные добавки. Именно за счет их применения мы можем решить различные задачи, которые стоят сегодня перед строителями, такие как увеличения прочности, морозостойкости и других свойств бетона при снижении его себестоимости.

Но, прежде чем приступить к исследованию свойств бетона с добавками, изучают их влияние на свойства цементного камня. В данной статье будут представлены результаты влияния добавки порошкообразного дисперсного аморфного кремнезема по критерию прочности, с целью выявления его оптимальной дозировки.

Огромная удельная поверхность зерен аморфного кремнезема ($350 \text{ м}^2/\text{г}$) и его дисперсность (размер частиц $0,5 - 15 \text{ мкм}$) являются причиной его высоких пуццоланических свойств. SiO_2 вступает в реакцию с Ca(OH)_2 , высвобождаемой в процессе гидратации цемента, что и приводит к росту плотности и прочности бетона.

Так же порошок аморфного кремнезема может выступать [1], в качестве центров кристаллизации (по классификации Ратина-Розенберг [2] это добавка третьего класса (кристаллические затравки)) и способствовать ускорению процесса формирования кристаллогидратной структуры новообразований в объеме цементного камня.

В исследованиях использовали *материалы*: портландцемент (ЦЕМ I 42,5 Н), соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020, вода затворения и добавка-пластификатор С-3 (относится к пластифицирующим добавкам I группы согласно СТБ 1112-98), удовлетворяющие требованиям действующих нормативных документов; *порошкообразный аморфный кремнезем* (SiO_2) - Ковелос 35/05т с площадью удельной поверхности $350 \text{ м}^2/\text{г}$ и насыпной плотностью при 20°C 55 г/л [3].

Образцы цементного камня ($20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$) изготовили из цементного теста нормальной густоты (для цемента без добавок $K_{\text{нг}} \sim 0,25$ доли ед.), при использовании пластификатора (дозировка С-3 – $0,5 \%$ от массы цемента по сухому веществу), количество воды уменьшали ($K_{\text{нгд}} \sim 0,23$ доли ед.), которые твердели до испытаний (в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток) в нормально-влажностных условиях (относительная влажность воздушной среды $\phi \geq 90 \%$, температура $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$. По результатам испытаний были построены графические зависимости по средним значениям прочности испытанных образцов (рисунок 1)

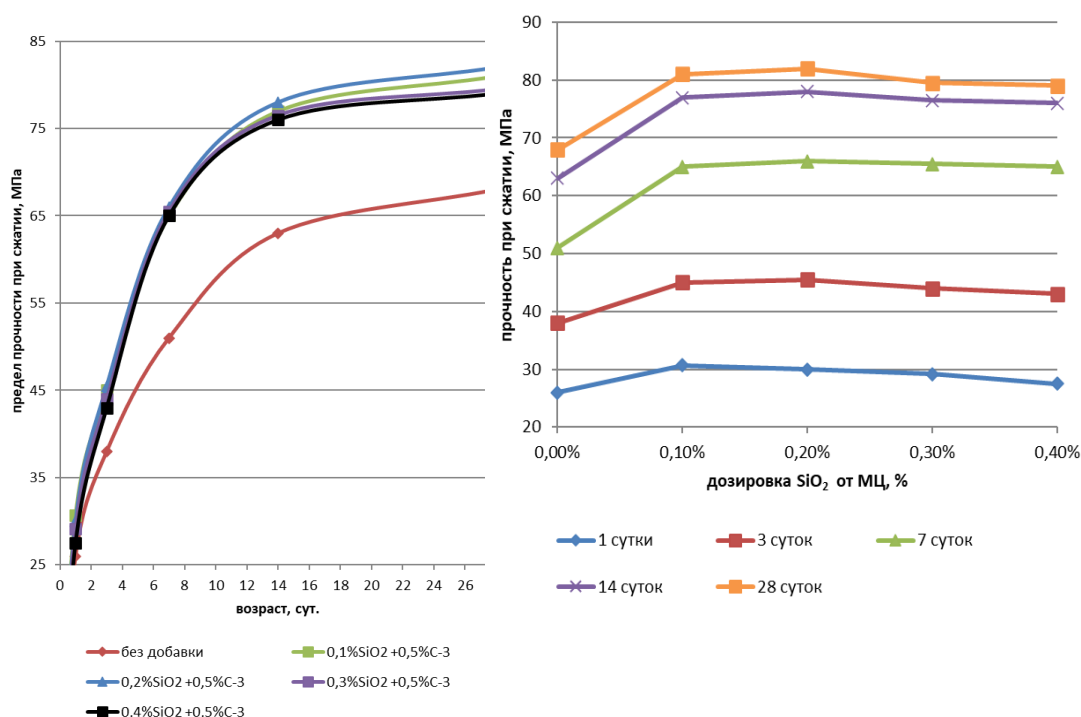


Рис.1. Влияние дозировки порошка аморфного кремнезема на прочность цементного камня (нормально-влажные условия твердения)

Из данных, представленных на рисунке 1 выявлен оптимум расхода (дозировки) добавки порошка (SiO₂, составляющей 0,1...0,2% от массы цемента, при увеличении дозировки добавки ее эффективность снижается, что отражается снижением прочности образцов.

По-видимому, превышение дозировки этой высокодисперсной добавки выше некоторого «критического» количества (в данном эксперименте – более 0,2% от МЦ) оказало блокирующее действие на поверхность вяжущего в зоне его контакта с водой и ограничило развитие реакции гидратации цемента, что и привело к снижению прочности образцов.

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что применение порошка SiO₂, характеризующегося высокой дисперсностью частиц, позволит повысить прочность цементного камня, при сравнительно небольших дозировках – в десятых долях процента от массы цемента.

Планируется дальнейшая работа с этой добавкой на тяжелом и легком бетонах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батяновский, Э. И. Бетон с полифункциональной кремнеземсодержащей добавкой / Э. И. Батяновский, Н. С. Гуриченко. – Минск : БНТУ, 2021. – 195 с.
2. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
3. Ковелос (диоксид кремния осажденный). Технические условия : ТУ 2168-002-14344269-2009. Введ. 01.12.2009. – М. : Госстандарт, 2009. – 28 с.

ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ ТЕЛА СВАИ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ЭНЕРГИИ ЗОНДИРУЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСА

Ян Чжици, Сюэ Яояо.

магистранты кафедры «Строительные материалы и технология
строительства» специальности 7-06-0732-01 «Строительство»

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Повысить достоверность контроля железобетонных свай методом межскважинного ультразвукового мониторинга возможно используя показатель энергии регистрируемого ультразвукового импульса. Рассматривается методика расширения области использования этого показателя при различных уровнях потерь акустического сигнала.

Ключевые слова: сваи буронабивные, структурная неоднородность бетона, межскважинный ультразвуковой мониторинг, энергия акустического импульса.

В отличие от типовых железобетонных элементов и конструкций контроль буронабивных свай имеет свою специфику, - ограниченный доступ к данному изделию. Доступным является лишь оголовок свай, выступающий над поверхностью грунтового основания на 0,1 м...0,5 м, что составляет лишь малую долю от объема всего ствола свай. Разумеется, главной характеристикой свай является её несущая способность, если она не достигается, то контроль остальных показателей теряет смысл. Но проведение испытаний свай статическим нагружением является дорогостоящей, материало-, время- и трудозатратной процедурой. По этой причине испытания свай статическим нагружением применяются в пределах свайного поля лишь выборочно.

Повысить достоверность контроля можно дополнив метод статического нагружения свай акустическим контролем её сечений по методу межскважинного ультразвукового мониторинга (СНУМ) [1]. Идея заключается в экстраполяции данных несущей способности свай, испытанных статическим нагружением, на сваи, испытанные только методом межскважинного мониторинга, опираясь на данные однородности бетона их ствола.

Цель исследований заключается в повышении чувствительности метода СНУМ к структурным неоднородностям бетона ствола свай.

При распространении ультразвукового импульса имеет значение не только наличие прямой трассы, соединяющей излучатель и приемник, но и состояние соседних областей смежных с прямой трассой (см. рис. 1). В соответствии принципом Гюйгенса, каждая точка среды, через которую проходит волновой фронт, может рассматриваться как переизлучатель - виртуальный источник волн, множество которых и формирует волновой фронт в точке приема [2].

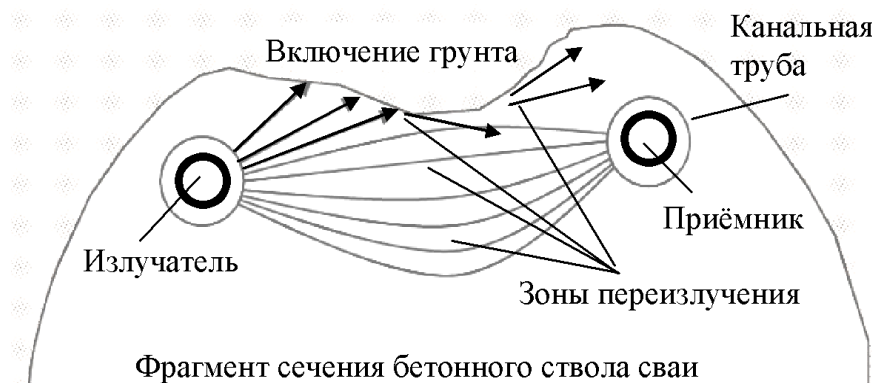


Рис. 1. Схема формирования волнового фронта в сечении сваи

При наличии дефекта, часть таких виртуальных излучателей исчезает и, соответственно, в точку приема поступит меньше энергии, хотя время регистрации волны в точке приема изменится незначительно [3].

Предлагается методика определения относительной энергии импульса не по его амплитуде, а по максимальному значению первой производной переднего фронта (см. рис. 2). Методика реализуется расчетным алгоритмом в среде MS Excel.

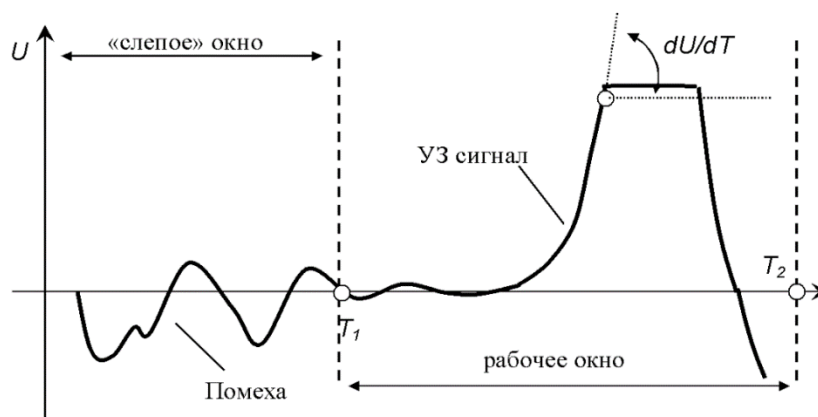


Рис. 2. К расчету энергии ультразвукового импульса

Оценка однородности сваи по показателю относительной энергии дает, как правило, расширение область дефектности на 10%...25% и носит более устойчивый характер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ASTM D6760-16: Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing , Vol. 04-09 pp. 943-949, West Conshohocken PA.
2. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона // Наука и техника. 2017. № 4. С. 289–297.
3. Amir J. M. Determining First Arrival Time and Wave Speed in Cross-Hole Ultrasonic (CSL) Erez I Amir. Piletest Piletest Technical Notes Apr2016, pp. 122-138.

ENHANCEMENT OF CONCRETE DURABILITY WITH WATERBORNE ACRYLIC RESIN: A COMPREHENSIVE REVIEW

Yu Zhou¹ Pei Zeng¹ Shaochun Li¹ Xianpeng Wang² Kovshar S.N² Tsyganov A.R³

¹Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China ;

²Belarusian national technical university, Minsk, 220013, PR Belarus

³International Institute of Management and Business, 220086 Minsk, Belarus

Abstract : As an environmentally friendly polymer material, water-based acrylic resin has shown significant application advantages in the fields of construction, coatings, and concrete in recent years due to its molecular properties of using water as a solvent. Compared with traditional solvent based resins, water-based acrylic resins use water as the solvent and have a lower content of volatile organic compounds, effectively alleviating construction pollution problems and in line with the development trend of green building materials. Based on the analysis of the current development status and trends of the construction industry, this article mainly summarizes the development process and synthesis technology of water-based acrylic resin, and focuses on explaining its dual path application mechanism of external coating protection and internal mixing modification in concrete engineering. By forming a hydrogen bond cross-linking network and interface strengthening effect, water-based acrylic resin can significantly improve the compressive strength, impermeability grade, and shrinkage cracking resistance of concrete matrix, achieving synergistic optimization of mechanical properties and durability. Finally, future research directions were discussed.

Keywords: Water-based acrylic resin; Synthesis method; Concrete; Durability.

Introduction

Amid the global consensus on environmental protection and the steady implementation of sustainable development strategies, the growth of traditional solvent-based coatings has become increasingly constrained due to their high safety risks and environmental pollution. Against this backdrop, the vigorous development of low-toxicity, eco-friendly coating products has emerged as an inevitable trend and urgent demand for the industry. As a key component of water-based coatings, waterborne acrylic resins have gained extensive application in numerous traditional fields, such as coatings, adhesives, and papermaking, owing to their non-toxic, harmless, and environmentally friendly properties. In recent years, their applications have further expanded into emerging domains, including concrete and construction, demonstrating remarkable prospects and potential. These resins are poised to become a driving force in the green transformation of related industries in the future.

As one of the most essential construction materials, the durability, impermeability, and aesthetic properties of concrete critically determine the service life and visual quality of buildings [1-2]. However, inherent limitations such as high porosity, proneness to carbonation, and susceptibility to cracking render concrete vulnerable to environmental degradation, leading to performance deterioration and increasingly prominent durability issues.

In this context, modified cement-based materials characterized by synergistic performance enhancement have emerged as a research focus. Among these, acrylic resins have drawn considerable attention due to their exceptional adhesive properties, weather resistance, and chemical stability. Recent years have witnessed extensive studies by domestic and international scholars on the application of waterborne acrylic resins in concrete and construction domains, yielding significant progress. Nevertheless, challenges persist in this field. This paper systematically examines the research advancements in waterborne acrylic resin applications, encompassing surface coatings and internal admixtures for concrete, starting from their synthesis processes. Furthermore, it analyzes future development trends to provide theoretical foundations and technical references for further research and practical implementation of waterborne acrylic resins in concrete-related applications.

1 Synthesis of Waterborne Acrylic Resins

Waterborne acrylic resins are typically synthesized through copolymerization of acrylic acid, methacrylic acid, their esters, or other derivatives. The structural diagram of their fundamental components[3] is illustrated in Figure 1 , while Figure 2 outlines the synthesis methodologies, which primarily include emulsion polymerization, solution polymerization, bulk polymerization, and soap-free emulsion polymerization.

1.1 Emulsion Polymerization

Emulsion polymerization[4] stands as one of the most prevalent methods for synthesizing waterborne acrylic resins. This method employs water as the dispersion medium, where monomers are dispersed via emulsifiers and polymerized under initiators. Commonly used monomers encompass acrylic acid, methyl methacrylate, butyl acrylate, and styrene. Typical emulsifiers include anionic (e.g., sodium dodecyl sulfate) or nonionic emulsifiers, while water-soluble initiators such as ammonium persulfate or potassium persulfate are frequently utilized.

Li et al.[5] developed an acrylic-PDMS composite emulsion by blending modified polydimethylsiloxane (PDMS) with acrylate monomers through emulsion polymerization. Experimental characterization revealed that the cured coatings derived from this composite emulsion exhibited low surface tension, enhanced toughness, and exceptional weather resistance, demonstrating promising applications in corrosion protection. Notably, this method features mild reaction conditions, operational safety, and scalability for industrial production. The resultant acrylic resin emulsion demonstrates superior film-forming capability, weather resistance, and adhesion, making it suitable for eco-friendly coatings and environmentally benign adhesives.

1.2 Solution Polymerization

Solution polymerization[6] involves dissolving monomers in organic solvents, initiating polymerization via initiators, and subsequently removing the solvent or replacing it with water to obtain waterborne acrylic resins. Common

solvents include acetone, methyl ethyl ketone (MEK), and isopropanol. Similar to emulsion polymerization, acrylic acid and its ester monomers are typically selected, with oil-soluble initiators such as azobisisobutyronitrile (AIBN) or benzoyl peroxide (BPO) being commonly employed. Fan et al. [7] synthesized an acrylic resin with a solid content of up to 80% using methyl methacrylate (MMA), methyl acrylate (MA), hydroxyethyl methacrylate (HEMA), n-butyl acrylate (BA), and styrene as monomers via solution polymerization. This method is conducted under an inert gas atmosphere, where monomers and initiators are added to the solvent and heated to initiate polymerization. The reaction proceeds rapidly with controllable molecular weight, making it suitable for synthesizing high-solid-content resins.

1.3 Bulk Polymerization

Bulk polymerization [8] is a solvent-free process where monomers are directly heated to initiate polymerization. Monomers and initiators are mixed and heated to a specific temperature to drive the reaction. Chen et al. [9] optimized reaction parameters, including temperature, initiator dosage, and monomer ratios, through orthogonal experiments. The resulting products were characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and gel permeation chromatography (GPC). Experimental results indicated that the optimal conditions were a reaction temperature of 80°C, initiator dosage of 0.5%, and monomer ratio of MMA:BA:AA = 60:30:10. The optimized resin exhibited excellent film-forming properties and adhesion. This method offers simplicity in process and high-purity products, though challenges such as intense exothermic reactions and difficulties in temperature control must be addressed.

1.4 Emulsifier-Free Emulsion Polymerization

Emulsifier-free emulsion polymerization [10] employs functional monomers (e.g., acrylic acid, methacrylic acid) instead of traditional emulsifiers to stabilize the emulsion, enabling polymerization without surfactants. Wang et al. [11] determined the optimal formulation for resin synthesis via single-factor and orthogonal experiments: MMA:BA:AA = 50:40:10, reaction temperature of 80°C, and reaction time of 4 h. The resulting resin displayed uniform particle size distribution, a tensile strength of 15 MPa, and an elongation at break of 300%. Qiu Shiqi et al. [12] further modified the emulsifier-free emulsion polymerization process by introducing crosslinking agents and functional monomers, enhancing the adhesive properties, water resistance, and chemical resistance of the resin. This method eliminates the need for conventional emulsifiers, yielding products with higher purity, improved water resistance, enhanced stability, and superior environmental compatibility.

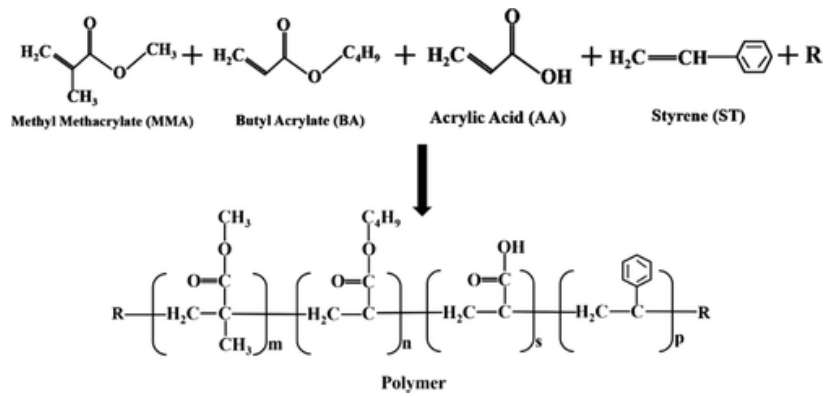


Fig.1. Waterborne acrylic resin and its monomer structure³

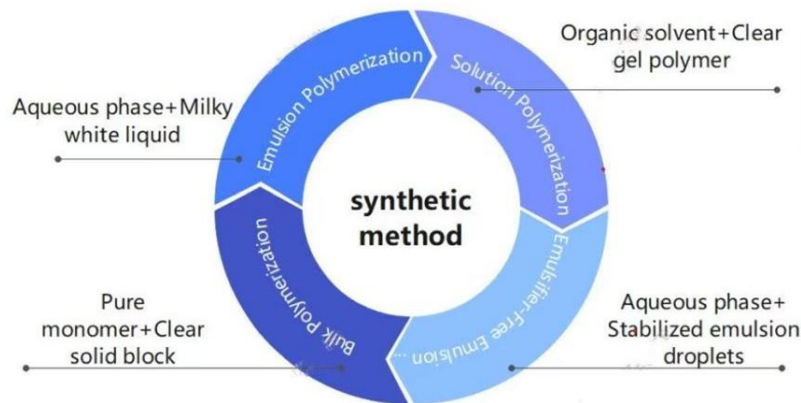


Fig.2. Synthetic method

2 Incorporation of Waterborne Acrylic Resin in Concrete

The application of waterborne acrylic resin in concrete is widespread, primarily attributed to its environmental friendliness, durability, and excellent adhesion [13–17]. The internal incorporation method [18], as a core technique for modifying concrete with waterborne acrylic resin, involves adding pre-treated resin emulsions into the concrete mixture through precise proportioning design. Leveraging the flexible chain segments and active functional groups of the resin molecules, nanoscale three-dimensional penetration within the pores of the concrete is achieved. This process enhances the concrete's compactness, compressive strength, and bonding performance.

2.1 Enhancement of Bonding Performance

The overall strength of concrete primarily depends on the bonding strength between the cement paste and aggregates. Poor bonding can result in weak interfacial connections, leading to crack formation at the interface under stress. This premature structural failure prevents full utilization of material strengths, thereby reducing the compressive, tensile, and shear strength properties of concrete [19–22]. Numerous factors influence concrete bonding performance. For instance, inadequate mixing during construction causes uneven distribution of concrete components, compromising the adhesion between cement paste and

aggregates. This results in excessive pores and voids within the concrete, diminishing its overall strength and bonding capacity.

The long-chain polymer structure of acrylic resin endows it with excellent adhesion, flexibility, and transparency. Its low viscosity enables effective penetration into the micro-pores of concrete, thereby enhancing interfacial adhesion. Guo et al. [23] introduced epoxy resin into the molecular structure of waterborne acrylic resin. By combining epoxy resin with aqueous dispersion techniques, they synthesized waterborne epoxy-acrylic resin, which was subsequently incorporated into concrete as a hydrogel during the mixing process. As shown in Figure 3, when the resin content reached 5%, the tensile bond strength of the resulting concrete measured 4–5 MPa. The internal incorporation of waterborne acrylic resin emulsion into concrete acts as a "bridge" to fill the interfacial transition zone between cement paste and aggregates. This densifies the internal structure of concrete, significantly improves bonding performance, and reduces the risk of debonding [24–26].

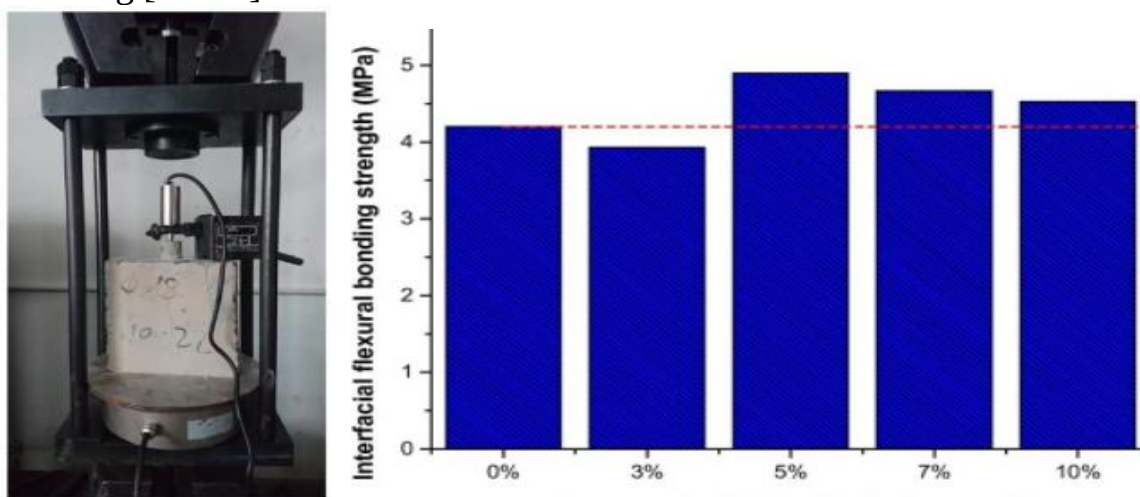


Fig.3. Concrete bonding performance testing²³

2.2 Optimization of Mechanical Properties

Poor mechanical performance of concrete, caused by issues in raw materials, construction processes, environmental factors, or long-term degradation, may lead to safety hazards or economic losses [27].

When acrylic resin is incorporated into concrete in emulsion or solution form, it forms continuous polymer films during hardening. These films fill capillary pores and microcracks within the cement mortar, effectively dispersing and transmitting stress. Cui Weirong et al. [28] demonstrated that adding 3% waterborne acrylic resin via internal incorporation improved interfacial bond strength by 25%–40%, thereby enhancing concrete's compressive strength (by approximately 10%–15%) and splitting tensile strength (by approximately 15%–20%). Current modification techniques for waterborne acrylic resin, such as fluorination, silane coupling, or incorporation of nanomaterials (e.g., steel fibers, rubber), have matured. Liang Bingkang et al. [29] synthesized silane coupling

agent-modified waterborne acrylic resin, where the hydrolysis of silane formed Si–O–Si crosslinked structures. This modification significantly enhanced the bonding between the resin and concrete aggregates. Experimental tests revealed a 12.4 MPa increase in flexural strength and a 159% improvement in tensile strength. The incorporation of acrylic resin into concrete enhances compactness, reduces porosity, and strengthens compressive capacity. Furthermore, crack suppression improves flexural and tensile performance [30–32].

2.3 Improvement of Freeze-Thaw Resistance

Traditional cement-based matrices exhibit high brittleness and lack ductile buffering capacity, rendering them vulnerable to repeated stresses during freeze-thaw cycles. This results in poor freeze-thaw resistance. In northern road engineering, combined salt-freeze effects accelerate concrete deterioration, significantly shortening service life and increasing maintenance costs.

Waterborne acrylic resin possesses exceptional elasticity and deformation capacity. When internally incorporated into concrete, it forms a flexible network structure that absorbs energy through elastic deformation during stress concentration caused by freeze-thaw cycles, thereby delaying crack propagation. Shi et al. [33] experimentally demonstrated that ordinary concrete exhibits a mass loss rate >5% after 50 freeze-thaw cycles, whereas concrete with 10% acrylic resin shows a mass loss rate <2% and modulus retention >85% even after 100 cycles. In a practical case in China [34], 12% acrylic resin-modified concrete was used for permafrost road repair on the Qinghai-Tibet Highway. The freeze-thaw resistance increased from 50 to 200 cycles, extending the maintenance interval by threefold. Internal incorporation of acrylic resin provides an effective solution for enhancing concrete's freeze-thaw resistance, toughness, and impermeability. However, challenges such as cost, long-term stability, and material compatibility must be addressed for large-scale applications [35].

3 External Coating Application of Waterborne Acrylic Resin in Concrete

Concrete, when exposed to air over extended periods, is susceptible to water infiltration and chemical corrosion (e.g., chloride ions, acid rain). These factors trigger electrochemical corrosion chain reactions within the pore solution of concrete, accelerating steel reinforcement rusting and matrix dissolution, thereby shortening structural service life. The external coating method [36], as an innovative surface protection technology, involves uniformly applying synthesized waterborne acrylic resin emulsions onto concrete surfaces via brushing or spraying. After natural drying or curing, a dense, continuous molecular-level protective film is formed. Leveraging high crosslinking density and low surface energy, this film establishes a multifunctional barrier system with carbonation resistance, corrosion protection, and anti-fouling properties, achieving "one-coat multi-functionality" for concrete surface protection [37-38]. This method is primarily employed for rapid repair and long-term preservation of existing structures.

3.1 Improvement of Carbonation Resistance

The carbonation mechanism of concrete [39] involves the reaction of carbon dioxide with calcium hydroxide (a cement hydration product) to form calcium carbonate and water, reducing concrete alkalinity. This process destabilizes the passive film on steel reinforcement, leading to corrosion. Waterborne acrylic resin inhibits carbonation through physical isolation, chemical modification, and microscopic repair:

(1) Physical Isolation: The cured coating forms a continuous film that seals surface micropores and microcracks, blocking CO_2 and moisture diffusion pathways. Experimental data indicate that the CO_2 diffusion coefficient of coated concrete is reduced by 80%–90%. Fan et al. [40] compared coated and uncoated concrete samples by applying waterborne acrylic resin emulsion and testing chloride ion penetration resistance after 12–270 days of salt corrosion. As shown in Figure 4, at a depth of 5 mm, chloride ion content in uncoated specimens exceeded 6000 mg/kg, whereas coated specimens exhibited levels below 3500 mg/kg.

(2) Chemical Modification: Carboxyl groups in the resin react with Ca^{2+} in concrete to form organic-inorganic composites (e.g., calcium acrylate), enhancing coating adhesion and preventing delamination. Wang Si et al. [41] synthesized siloxane-modified waterborne acrylic resin via emulsion polymerization. When siloxane content reached 8%, the coating demonstrated optimal thermal stability, water resistance, and carbonation resistance.

(3) Microscopic Repair: Certain waterborne acrylic resins contain microencapsulated healing agents that release reactive substances upon microcrack formation. These substances react with infiltrating CO_2 to generate calcium carbonate, enabling self-healing. Song et al. [42] evaluated the protective effects of modified waterborne acrylic resin and epoxy resin by applying them to concrete specimens and conducting salt freeze-thaw cycling tests. Chloride ion penetration depth and content measurements revealed that specimens coated with modified waterborne acrylic resin exhibited significantly slower chloride ingress and delayed failure compared to epoxy-coated specimens.

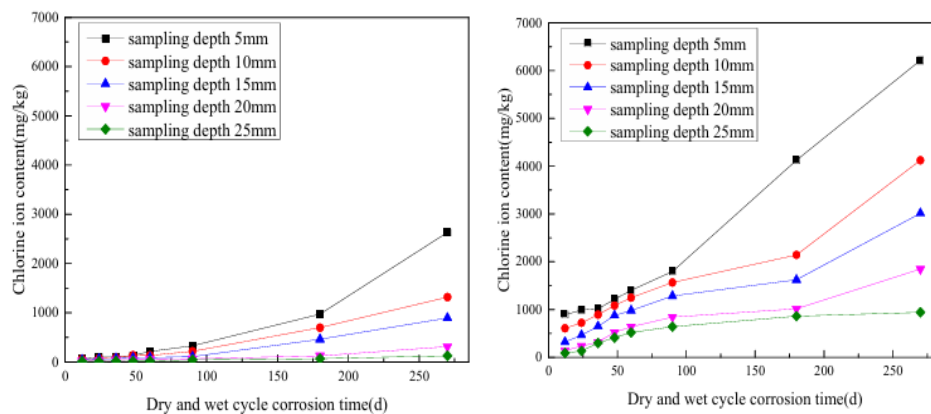


Fig.4. Comparison chart of concrete's resistance to chloride ions⁴⁰

3.2 Enhancement of Elastic Recovery Capability

Elastic recovery capability [43] refers to the ability of a material to return to its original state after deformation under stress. Concrete, as a brittle material, inherently contains numerous microscopic defects, leading to poor elastic recovery. When subjected to external forces, concrete struggles to rebound, often resulting in irreversible permanent deformation or even cracks. These cracks act as "channels," allowing water and harmful substances to infiltrate the concrete matrix. Such ingress can corrode reinforcing steel, triggering expansion-induced cracking, which further propagates the damage in a vicious cycle, severely compromising the structural integrity of concrete [44-46].

By applying a waterborne acrylic resin coating to the concrete surface, a flexible protective layer is formed, enhancing the elastic recovery capability of concrete through both physical and chemical mechanisms [47-49]. Zheng et al. [50] synthesized a waterborne acrylic resin with excellent weather resistance and chemical stability via free-radical solution polymerization for concrete crack repair. Experimental results demonstrated that the resin achieved autonomous crack healing at the early stages of crack formation, significantly improving concrete durability. Peng Jiaming et al. [51] evaluated the performance of waterborne acrylic resin as a concrete sealer. Their study revealed that the resin effectively filled surface pores, enhancing waterproofing and stain resistance. However, the practical application of waterborne acrylic resin coatings still requires optimization in terms of weather resistance, adhesion, and compatibility with specific environmental and engineering requirements.

3.3 Improvement in Anti-Fouling and Aesthetic Properties

The capillary pores and microcracks in concrete readily adsorb pollutants such as dust, oil stains, and microorganisms, leading to surface staining. In humid environments, these pores become breeding grounds for microbes, causing discoloration and mildew growth [52-54].

By incorporating low-surface-energy modifiers (e.g., fluorine or silicone) into the resin, a "lotus leaf effect" [55] can be imparted to the coating, enabling self-cleaning properties when applied to concrete. Peng Panpan et al. [56] enhanced the hydrophobicity of coatings by introducing silicone-modified polyurethane. When the silicone-polyurethane content reached 3%, the modified waterborne acrylic resin exhibited exceptional performance (Figure 5): a contact angle of 96.1°, an elongation at break of 385%, and a tensile strength of 9.4 MPa. Salt spray tests confirmed that the coated concrete surface remained smooth and free of scaling.

Traditional concrete lacks color diversity and textural design, while modern architectural demands increasingly emphasize aesthetics, particularly in public spaces or corporate settings, where visually appealing structures enhance overall image and market appeal. Jana et al. [57] synthesized silicone-modified waterborne acrylic resin and explored its application in decorative concrete coatings, including colored flooring and stone-like finishes. The modified resin demon-

strated excellent decorative performance and environmental compatibility, making it suitable for diverse architectural scenarios. These case studies validate the practicality and reliability of waterborne acrylic resin as a concrete coating. Furthermore, the resin can be blended with pigments to create colored concrete flooring, achieving a dual upgrade in both "functionality and aesthetics" [58-61].

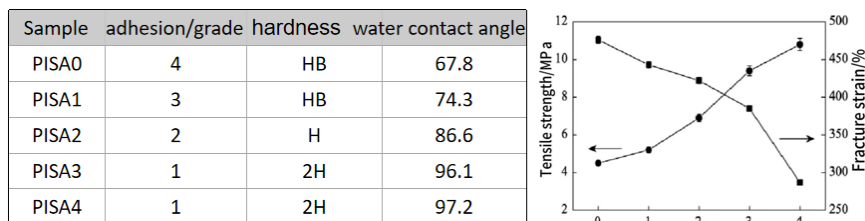


Fig.5. Performance tests under different polyurethane contents⁵⁶

3.4 Enhancement of Corrosion Resistance

Concrete corrosion [62] is a global issue prevalent in various infrastructures, with common types including steel reinforcement corrosion, microbial corrosion, and chemical-physical erosion. The eco-friendly and water-resistant properties of waterborne acrylic resin make it directly applicable to processes requiring corrosion resistance. Data [63] indicate that submerged pier concrete of a cross-sea bridge, subjected to chloride ion erosion, exhibited over 15% steel reinforcement corrosion rate and surface longitudinal cracks along the reinforcement bars after five years. After applying two coats of waterborne acrylic resin with a thickness of 0.4 mm, monitoring results over a decade revealed a chloride ion penetration depth of only 1.8 mm and a steel reinforcement corrosion rate of <3%, with the expected service life extended to 30 years. This demonstrates a viable solution for enhancing concrete durability.

Traditional acrylic resins remain limited in corrosion protection applications. Researchers have optimized their performance through modification to overcome their single-function drawbacks. Bi et al. [64] successfully synthesized an acrylic resin with exceptional water resistance, corrosion resistance, and thermal stability by introducing octafluoropentyl methacrylate and phosphate ester-based anticorrosion functional monomers. Compared to unmodified acrylic resin, the modified resin exhibited an increased contact angle from 40° to 120° and an elevated initial decomposition temperature from 264°C to 305°C. Fan et al. [65] developed a corrosion protection strategy for concrete by incorporating microcapsules containing corrosion inhibitors into waterborne acrylic resin. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis of samples immersed in sodium chloride solution and deionized water (Figure 6) showed that the microcapsule-coated samples exhibited higher inert corrosion potentials of −532 mV_{SCE} and −513 mV_{SCE} compared to the control group, providing a novel approach for preparing eco-friendly, stable, and corrosion-resistant waterborne acrylic resins.

Although modified acrylic resin coatings demonstrate excellent anticorrosion performance in laboratory settings, their long-term protective mechanisms in real-world engineering applications require further investigation [66-68]. Concrete structures are exposed to complex environmental stressors such as ultraviolet radiation, sand/gravel impact, and temperature fluctuations, which challenge the durability of these coatings.

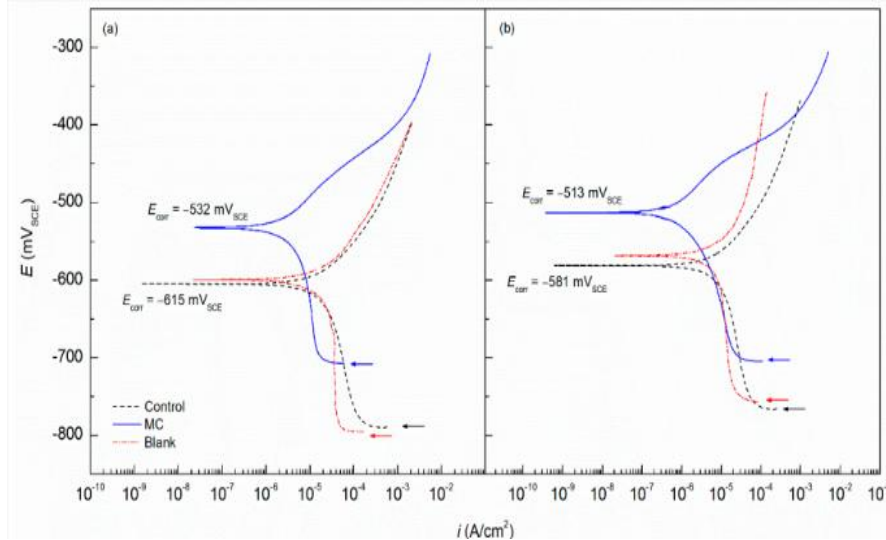


Fig.6. Comparison of potentiodynamic polarization curves⁶⁵

4 Future Perspectives

While waterborne acrylic resins demonstrate significant advantages in concrete applications, several technical challenges remain unresolved. Concurrently, their water resistance and weather resistance require further enhancement to meet long-term durability demands under extreme environmental conditions [69-72]. The interfacial bonding mechanisms between waterborne acrylic resins and concrete also necessitate in-depth investigation. The selection of internal incorporation versus external coating strategies for concrete applications is evaluated as follows:

(1) Internal Incorporation: Preferred for high-demand structures, such as marine engineering projects, chemical plant saline-alkali grounds, or environments with prolonged exposure to corrosive media, where comprehensive improvements in concrete durability and mechanical performance are required, and budgets permit.

(2) If the main purpose is for surface protection, quick repair, or low-cost improvement (such as crack sealing, waterproofing, or protecting garage floors from oil stains), prioritize exterior coatings;

(3) Hybrid Approach: For extreme scenarios, a combination of internal incorporation (to

enhance bulk concrete properties) and external coating (to reinforce surface protection) can be adopted.

(4) Efforts should be intensified to advance research on the composite applications of waterborne acrylic resins. In-depth exploration of their integration with nanomaterials and fiber-reinforced materials is essential to unlock synergis-

tic enhancement potential and drive material innovation. Currently, the interaction mechanisms of waterborne acrylic resins within concrete systems remain incompletely understood, and the performance evaluation of resin-concrete composites requires further behavioral studies to establish a robust scientific assessment framework. In the realm of novel concrete technologies, accelerated exploration of waterborne acrylic resins in permeable and lightweight concrete is imperative. Research should focus on elucidating their mechanisms for optimizing pore structures and enhancing performance, thereby facilitating the development of new building materials that integrate environmental sustainability with high performance. These advancements will propel the construction materials industry toward greener practices and high-performance solutions.

REFERENCES:

1. WU G S, MA L C, JIANG H. The roles of surface wettability and roughness of carbon fibers in interfacial enhancement of silicone resin composites[J]. *Polymer Composites*, 2019, 40(S1): E255 - E264.
2. JIAO C Y, SUN L, SHAO Q, et al. Advances in waterborne acrylic resins: synthesis principle, modification strategies, and their applications[J]. *ACS Omega*, 2021, 6(4): 2443 - 2449.
3. GAI L, ZHAO H, WANG F, et al. Advances in core-shell engineering of carbon-based composites for electromagnetic wave absorption[J]. *Nano Research*, 2022, 15(12): 9410-9439.
4. LI W, SHEN W, YAO W, et al. A novel acrylate-GPDMS composite latex with controlled phase compatibility prepared by emulsion polymerization[J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2017, 14: 1259-1269.
5. XIANG Z, SONG Y, XIONG J, et al. Enhanced electromagnetic wave absorption of nanoporous Fe₃O₄@carbon composites derived from metal-organic frameworks[J]. *Carbon*, 2019, 142: 20-31.
6. FAN X G, XIA Y Z, WU S, et al. Covalently immobilization of modified graphene oxide with water borne hydroxyl acrylic resin for anticorrosive reinforcement of its coatings[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2022, 163: 106685.
7. CHENG Jingzhen, WU Liang, WANG Fuli, et al. Research Progress on the Modification of Waterborne Acrylic Anti-corrosion Coatings [J]. *Chemical Technology and Development*, 2023, 52(05): 69-73+77.
8. CHEN L, GONG Z, FU Z. Study on organic fluorine modified cationic acrylic resin and its application in cathodic electrodeposition coatings[J]. *Journal of Polymer Materials*, 2023, 40(3-4): 157-164.
9. YANG K, CHEN J, ZHENG L, et al. Urushiol titanium polymer-based composites coatings for anti-corrosion and antifouling in marine spray splash zones[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021, 138(11): 50861.
10. HU Zhihua, QIAN Yu, JIANG Yanbin. Study on the Polymerization

Stability of Acrylate Emulsion Prepared by Functional Monomers[J]. Paint & Coatings Industry, 2003(6): 14-18, 56.

11. WANG Y G, ZENG Z, WANG J F, SANG R, ZHANG W G. Synthesis of waterborne hydroxyl acrylate resins and its application in VOC-free waterborne coatings[J]. Pigment & Resin Technology, 2021, 50(5): 468-474.

12. CHEN Bingqiang, HAN Lu, CHEN Bingyao, et al. Research Status and Application Fields of Waterborne Acrylic Resins[J]. New Chemical Materials, 2024, 52(Suppl. 2): 37-41 + 48.

13. ZHANG Shudi, XU Yang, HE Huanhuan, et al. Preparation and Properties of Silicone-Modified Epoxy Acrylic Resin[J]. Electroplating & Finishing, 2022, 41(16): 1129-1135.

14. QIU Shiqi, ZHANG Xudong, LIAO Yangfei, et al. Study on the Synthesis of Self-crosslinking Polyurethane-Acrylate Composite Emulsion[J]. Modern Paint & Finishing, 2008, (01): 5-9.

15. LIU Biao. Synthesis and Study of Silicone-Modified Waterborne Acrylic Resin [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2018.

16. LI C C, BIAN H F, WANG Y K, et al. Preparation and Properties of PEDOT-PSS/Waterborne Acrylic Resin Coating[J]. Coatings, 2024, 15(1): 14.

17. TAN R X, HAO P, WU D H, et al. Ice-inspired polymeric slippery surface with excellent smoothness, stability, and antifouling properties[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2023, 15(34): 41193-41200.

18. YUAN Jiaquan, DUAN Wenhong, JIANG Weihong, et al. Study on the adhesion properties of waterborne epoxy-acrylic resin on different road substrates[J]. Construction Technology, 2025, 54(04): 41-47.

19. SONG Yao. Preparation and sensing performance of TPU/CNTs multi-layer alternating layered foams[D]. Fuzhou: Fujian Institute of Technology, 2023.

20. REN Xiangyu. Design and research of a high-sensitivity and high-tensile flexible strain sensor[D]. Nanjing: Southeast University, 2022.

21. CHEN Chengfeng, MA Yuxuan, WANG Yimiao, et al. Silk, 2023, 60(11): 77-88.

22. WANG Xiaolei. Three-dimensional network structure flexible wearable stress sensor based on triboelectric power generation effect[D]. Shanghai: Donghua University, 2019.

23. WANG Meng. Design and research of high-performance medical flexible sensor based on bionic Microstructure[D]. Changchun: Jilin University, 2023.

24. GUO S Y, ZHANG X, CHEN J Z, et al. Mechanical and interface bonding properties of epoxy resin reinforced Portland cement repairing mortar[J]. Construction and Building Materials, 2020, 264: 120715.

25. CHEN Chaoyang, XIE Qifeng, FENG Yaomin, et al. Effect of Nano Anticorrosive Paste with Different Modifiers on the Performance of Metal Anti-

corrosive Coatings[J]. *Electroplating & Finishing*, 2024, 43(8): 125-132.

26. LIU Zhiqiang, ZHAO Minghua, SUN Weifeng. Research on weather resistance of waterborne acrylic resin concrete coatings[J]. *Coating Industry*, 2021, 51(5): 45-50.

27. ZHANG H, ZHANG Z, QI Y, et al. The interfacial structure and adhesion mechanism of N-(2-aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane and epoxy modified silicone tie-coating to epoxy primer[J]. *Polymers*, 2021, 13(17): 3001.

28. Cui, Ying, Zhongsheng Tan, and Changxin An. "Research and application of multi-functional acrylic resin grouting material." *Construction and Building Materials* 359 (2022): 129381.

29. LEJARS M, MARGAILLAN A, BRESSY C. Siloxy silylester methacrylate diblock copolymer - based coatings with tunable erosion and marine antifouling properties[J]. *ACS Applied Polymer Materials*, 2020, 2(8): 3291 - 3300.

30. ZHANG Yue, HUANG Weibo, LV Ping. Research Progress on Modification to Improve Anti-corrosion Performance of Polyurethane Coatings[J]. *Polyurethane Industry*, 2020, 35(03): 5-7.

31. ZHANG Z Q, WANG Q, ZHANG Z M, et al. Advances in the preparation of water-based inks based on chemical modification of rosin[J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2025, 22(2): 511-525.

32. TIAN X, ZHANG J, LI J, et al. Synthesis of acrylic water-based inks for plastic films: Tuning binder's properties by low temperature self-crosslinking of allyl acetoacetate-hexamethylenediamine[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2024, 197: 108776.

33. SHI J-W, ZHU H, WU G, WU Z-S. Tensile behavior of FRP and hybrid FRP sheets in freeze-thaw cycling environments[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2014, 60: 239-247.

34. CUI Weirong. A kind of water-based acrylic resin concrete and preparation method thereof: 202010717118.1[P]. 2020-11-13.

35. BAI X, LI J, ZHU L, et al. Effect of Cu content on microstructure, mechanical and anti-fouling properties of TiSiN-Cu coating deposited by multi-arc ion plating[J]. *Applied Surface Science*, 2018, 427: 444-451.

36. FITRIYAA M, SHAHABUDDIN S, SRIDEWI N, et al. A brief review on conducting polymer nanocomposite based epoxy coatings for marine applications[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, 1127: 012013.

37. ZHANG Z, PANG P, ZHANG Z, et al. Preparation of high-performance water-based ink from acrylic-modified rosin resin[J]. *Dyes and Pigments*, 2024, 231: 112401.

38. NJOKU C N, BAI W, ARUKALAM I O, et al. Epoxy - based smart coating with self - repairing polyurea - formaldehyde microcapsules for anticorrosion protection of aluminum alloy AA2024[J]. *Journal of Coatings Technology*

gy and Research, 2020, 17: 797 - 813.

39. JIANG W, WEN X, JIANG Y, et al. Novel anticorrosive coating of silicone acrylic resin modified by graphene oxide and polyaniline[J]. Corrosion Reviews, 2022, 40(5): 501 - 511.

40. FAN T, WU Y, YANG M, et al. Attenuation Law of Performance of Concrete Anti - Corrosion Coating under Long - Term Salt Corrosion[J]. Coatings, 2024, 14(10): 1249.

41. WANG Si. Study on preparation and properties of siloxane-modified acrylic resin for concrete[D].Hubei University,2021.

42. SONG W, CHEN D, WU H, et al. Preparation and performance characterization of waterborne epoxy resin modified asphalt emulsion for tack coat[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 475: 143715.

43. LIN Peng. Application of water-soluble acrylic resin emulsion in concrete[C]//The 12th Member Congress of China Concrete

Admixtures Association. Chinese Ceramic Society; China Building Materials Federation; China Concrete Admixture Association, 2010.

44. CHEN Y, ZHANG G, ZHANG G, et al. Rapid curing and self-stratifying lacquer coating with antifouling and anticorrosive properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 421: 129755.

45. LI Z, WEI M, ZHU Y, et al. Fabrication of photocurable liquid - like easy - cleaning coatings based on a polydimethylsiloxane - modified silicone resin[J]. Progress in Organic Coatings, 2024, 187: 108169.

46. ZHOU H W, ZHENG Y M, BA M, et al. Self - stratified fouling release coatings based on polydimethylsiloxane incorporated with acrylate - MQ silicone copolymer[J]. Progress in Organic Coatings, 2021, 161: 106539.

47. XU L, TEBYETEKERWA M, ZHANG J, et al. Self-stratifying coating enables facile fabrication of robust superhydrophobic sponges for oil-water mixture separation[J]. Progress in Organic Coatings, 2023, 183: 107705.

48. YU C, CHENG J, LIU H, et al. Preparation and properties of organo-silicon and castor - oil - modified rosin - based waterborne polyurethane coatings[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 211: 118230.

49. PAN S, HU Q, ZHAO Y, et al. Fabrication of a fluorocarbon low surface energy coating for anti-stain applications[J]. Materials, 2023, 16(24): 7516.

50. ZHENG Y, ZHOU L, YANG Y, et al. Synthesis and application of a novel epoxy grafted thermosetting acrylic resin[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 107(6): 4053 - 4060.

51. PENG Jiaming, QIAO Yongluo, LV Di, et al. Preparation and Properties of Two-component Epoxy Modified Acrylic Resin Composite Latex[J]. Coating Industry,2019,49(3): 19-24.

52. XU C A, LIANG W, NI C, et al. Silicone and nano-diamond modified graphene oxide anticorrosive coating[J]. Surface and Coatings Technology, 2024, 479: 130584.

53. KIM J, KANG S, SEONG I, et al. Advancing CFRP durability: Inter-

facial and weathering performance of epoxy and acrylic matrices[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2025, 297: 112315.

54. YU Guoling, CHEN Wanyao, WANG Xueke et al. The latest research on new functional coatings in China[J]. *Modern Coatings & Coating*, 2020,23(08): 27-30.

55. LI Zhitao, CHENG Yuan, ZHAO Benbo et al. Research Progress of Functional Polyurethane in Anticorrosive Coatings[J]. *Polymer Bulletin*, 2019(06): 10-17.

56. PENG Panpan, YANG Jianjun, WU Qingyun, et al. Preparation and properties of silicon-based and urethane-based synergistically modified waterborne acrylic resins[J].*Fine Chemicals*,2020,37(08): 1710-1715.

57. JANA T, MAITI P S, DHAR T K. Development of a novel bio - based hybrid resin system for hygienic coating[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2019, 137: 105311.

58. WANG S, ZHANG L H, SUN K, et al. Enhanced anticorrosion performance of water-based acrylic resin coating enabled by the recycling of waste stone powder[J]. *Surfaces and Interfaces*, 2025, 64: 106371.

59. ZHANG K, LI L, CHEN F, et al. Controlled preparation and properties of acrylic acid epoxy-acrylate composite emulsion for self-crosslinking coatings[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2022, 139(1): 51441.

60. GONG Z Q, ZHAO W T, FU Z R, et al. Preparation of Organosilicon Modified Cationic Acrylic Resin and Its Application in Cathodic Electrodeposition Coatings[J]. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2023, 59(3): 440 - 444.

61. CHEN L J, GONG Z Q, FU Z R. Study on Organic Fluorine Modified Cationic Acrylic Resin and its Application in Cathodic Electrodeposition Coatings[J]. *Journal of Polymer Materials*, 2023, 40.

62. GONG Z Q, ZHAO W T, FU Z R, et al. Preparation of Organosilicon Modified Cationic Acrylic Resin and Its Application in Cathodic Electrodeposition Coatings[J]. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2023, 59(3): 440 - 444.

63. GENG Y, LIU Y, LIU A, et al. Improved interfacial interactions and corrosion resistance of epoxy coated reinforcement by pre-electrodeposited silane layer[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2022, 173: 107171.

64. BI J L, YAN Z Y, HAO L, et al. Improving water resistance and mechanical properties of waterborne acrylic resin modified by octafluoropentyl methacrylate[J]. *Journal of Materials Science*, 2023, 58(3): 1452 - 1464.

65. Fan, Tao, et al. "Improved Corrosion Protection of Acrylic Waterborne Coating by Doping with Microencapsulated Corrosion Inhibitors." *Coatings* 14.10 (2024): 1249.=====29

66. LI S, LIU J, GENG Y, et al. Efficacy and mechanism of GO/IBTS coating against microbial fouling of concrete surfaces in marine tidal areas[J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2022, 19(3): 875 - 885.

67. LI S, DUAN Y, ZHENG H, et al. Adhesion performance of ettringite at the interface with silane and GO/silane: insights into molecular dynamics simulations[J]. ACS Omega, 2023, 8(18): 16016 - 16031.
68. LI S C, CHEN X, HU M J, et al. Carbon sequestration effects in cementitious composite binder materials under accelerated carbonation: A review[J]. Materials Today Sustainability, 2024, 25: 100663.
69. CAO M, WANG X, ZHANG M, et al. Electromagnetic response and energy conversion for functions and devices in low-dimensional materials[J]. Advanced Functional Materials, 2019, 29(32): 1807398.
70. ZHANG C, CHEN G, ZHANG R, et al. Charge modulation of CNTs-based conductive network for oxygen reduction reaction and microwave absorption[J]. Carbon, 2021, 178: 310-319.
71. LIU P, GAO S, WANG Y, et al. Carbon nanocages with N-doped carbon inner shell and Co/N-doped carbon outer shell as electromagnetic wave absorption materials[J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 381: 122653.
72. QIN Z, WANG C, MA Y, et al. ZIF-67/GNs derived Co/GNs multi-layer flower and porous structure as an efficient electromagnetic wave absorbing material for excellent absorbing properties[J]. Applied Surface Science, 2022, 575: 151789.