

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет



ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборник статей участников
Национальной (Всероссийской)
научно-технической конференции

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
Сборник статей участников Национальной (Всероссийской)
научно-технической конференции

2023

Санкт-Петербург
2023

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборник статей участников
Национальной (Всероссийской)
научно-технической конференции

Санкт-Петербург
2023

УДК 69

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, декан факультета «Экономика и менеджмент»
А. В. Кабанов (Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I);

канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ЦДПП ИСИ *М. В. Петроченко*
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Перспективы современного строительства : сборник статей участников Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. – 477 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1339-9

Представлены научные статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета по актуальным проблемам современного строительства. Публикации распределены по тематическим секциям: автомобильных дорог, мостов и тоннелей; архитектурно-строительных конструкций; геотехники; железобетонных и каменных конструкций; информационных технологий; математики; металлических и деревянных конструкций; организации строительства; технологий строительных материалов и метрологии; технологии строительного производства.

Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, доцент *А. Н. Гайдо* (председатель);
д-р экон. наук, профессор *Л. Г. Ворона-Сливинская*;
канд. техн. наук, доцент *Ч. О. Бахтинова*;
канд. техн. наук, доцент *Т. А. Иванова*;
канд. техн. наук, доцент *С. В. Ланько*;
канд. техн. наук, доцент *В. В. Михаськин*;
канд. техн. наук, доцент *С. В. Рехов*;
канд. техн. наук, доцент *Н. С. Воронцова*;
канд. техн. наук, доцент *А. А. Семенов*;
канд. физ.-мат. наук, доцент *Л. Ю. Уразаева*;
канд. архит., доцент *А. В. Глухова*;
канд. архит., доцент *О. А. Пастух* (отв. секретарь)

ISBN 978-5-9227-1339-9

© Авторы статей, 2023

© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2023

СЕКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.765

Алихан Айратович Латфуллин,

магистр

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: alikhan.sapr@gmail.com

Alikhan Ayratovich Latfullin,

Master's degree

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: alikhan.sapr@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

THE IMPACT OF SPEED LIMITS ON ROAD SAFETY

В данной статье рассматривается дорожное движение в населенных пунктах, дорожные происшествия с участием автомобиля и пешехода, травмоопасность дорожных происшествий с участием автомобиля и пешехода, факторы, влияющие на это, и методы снижения степени влияния факторов на травмоопасность при дорожно-транспортном происшествии. Приведен предполагаемый метод снижения травмоопасности. Результаты применения данного метода за рубежом.

В ходе оценки зарубежного опыта сделан вывод об эффективности и возможных результатах применения метода снижения травмоопасности дорожных происшествий с участием автомобиля и пешехода.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, травмоопасность ДТП, скоростной режим, зарубежная статистика, снижение скорости транспортного потока.

In this article the problem of injury risk of a road accidents involving a car and a pedestrian in populated areas is considered. The factors influencing severity and methods of reducing impact of factors on the severity of injuries in a road accident are shown. The supposed method of reducing the severity of injury is given. The results of the application of this method abroad are given.

During the evaluation of abroad experience, a conclusion about the effectiveness and possible results of the application of the method of reducing the severity of injuries of a road accidents involving a car and a pedestrian was made.

Keywords: road traffic crashes, severity of injuries of a road accident, speed limit, abroad statistic, reducing the speed limit of traffic flow.

Автомобильная дорога является объектом повышенной опасности, где могут происходить дорожно-транспортные происшествия, несмотря на соблюдение правил дорожного движения. По данным сайта Госавтоинспекции на долю дорожных происшествий с участием автомобиля и пешехода приходится 28,3 % от общего числа ДТП. Поскольку Российская Федерация обладает обширной дорожной сетью, уменьшим рассматриваемую область происшествий до происшествий в населенных пунктах с наездом автомобиля на пешехода, поскольку вероятность ДТП в населенных пунктах с участием пешеходов является наибольшим. Одним из способов снижения трамвоопасности может послужить снижение скоростного режима движения транспортного потока.

С точки зрения физики дорожное происшествие с участием автомобиля и пешехода можно рассматривать, как столкновение двух тел, имеющих скорость движения и массу, следовательно, и кинетическую энергию движения тела. При столкновении двух тел происходит передача кинетической энергии. Согласно закону сохранения энергии, возможен ее переход из одного вида в другой, но полная энергия системы остается неизменной.

Ниже представлена физическая модель абсолютно неупругого соударения двух движущихся тел.

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v^2}{2} + \Delta E_{\text{деф}}$$

где m – масса тела, v – скорость тела или скорость относительного движения тел друг относительно друга. $\Delta E_{\text{деф}}$ – энергия затраченная на деформацию.

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

где m – масса тела, v – скорость тела или скорость относительного движения тел друг относительно друга.

Исходя из этой формулы делаем вывод, что скорость имеет наибольшее влияние на трамвоопасность при дорожном происшествии. На рисунке представлен график зависимости вероятности смерти пешехода от скорости автомобиля в момент столкновения. Данный

график показывает, что наибольший прирост летальности происходит при повышении скорости с 30 км/ч до 50 км/ч.

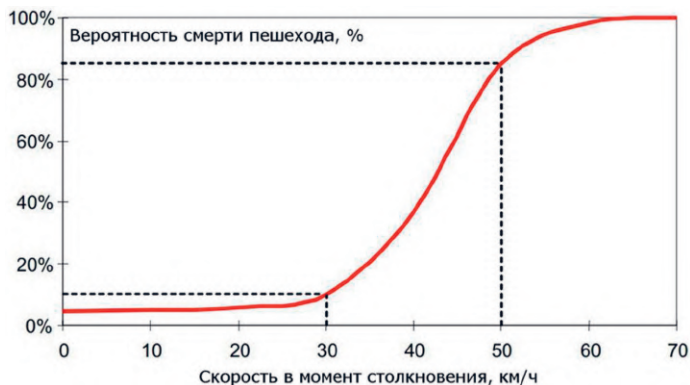


График зависимости вероятности смерти пешехода от скорости автомобиля в момент столкновения

ДТП аналогично физической модели абсолютно неупругого удара, когда 2 тела соударяются, движутся вместе, при этом часть энергии расходуется на деформации.

Нынешние автомобили обладают большей безопасностью при ДТП, т. к. несут на себе элементы, смягчающие удар, в виде пластиковых бамперов, демпферов из вспененного полиуретана, кузовные элементы, обладающие лучшей сминаемостью, за счет чего передача энергии происходит плавно, и удар получается менее упругим. Тело человека при этом обладает некой прочностью, где мышечная и жировая ткани выступают в роли демпфера и защищают внутренние органы и скелет от резких и направленных ударов, распределяя энергию по большей площади. Как и любой демпфер имеет порог поглощаемой энергии, так и тело человека способно поглотить часть энергии удара автомобиля. Следовательно, можно установить порог скорости, при которой значительно снизится количество летальных исходов дорожных происшествий.

Согласно статистике, представленной Всемирной организацией здравоохранения [2], увеличение средней скорости движения

на 1 % увеличивает вероятность летального исхода на 4 %, вероятность тяжелых последствий на 3 %, риск смертельного исхода увеличивается в 4,5 раза при увеличении скорости с 50 км/ч до 65 км/ч. Из этого следует, что снижение скорости движения в населенных пунктах необходимо снизить скорость движения транспортного потока. Это незначительно повлияет на пропускную способность улично-дорожной сети населенного пункта, поскольку движение будет более равномерным.

В результате поиска зарубежного опыта снижения скорости движения в населенных пунктах было обнаружено нижеуказанное.

На территории Великобритании с 2014 года было введено ограничение скорости движения в населенных пунктах до 20 миль в час, что приблизительно равно 32 км/ч, что позволило достичь смертности в 2,8 человека на 100 тыс. населения и снижения количества ДТП с участием автомобилей и пешеходов на 70 % и с участием велосипедистов на 48 %, об этом говорится на сайте британского информационного агентства «Express» [3].

В Дании в пределах населенных пунктов установлено ограничение в 50 км/ч, [4], такие меры позволили снизить смертность в дорожно-транспортных происшествиях до 3 человек на 100 тыс. населения.

По словам ведущего специалиста по исследованию дорожного движения Агентства безопасности дорожного движения Финляндии Риикки Раямяки, одной из самых значимых мер принятых для снижения смертности на дорогах Финляндии является снижение скорости до 30–40 км/ч. [3] При этом смертность в дорожно-транспортных происшествиях в Финляндии на 2022 год составляет 3,47 человека на 100 тыс. населения, что находится на 7–10 месте.

Основываясь на зарубежном опыте, можно сказать, что снижение скорости в черте города до 30–50 км/ч приводит к значительному снижению смертности на дорогах и позволяет достичь показателей в 2,8–4,7 человек на 100 тыс. населения. В России, согласно данным Госавтоинспекции, данный показатель составляет 9,7 человек на 100 тыс. населения.

В заключение можно сказать, что снижение скоростного режима в черте города повысит равномерность движения, позволит сни-

зитель травматическая опасность ДТП. Помимо этого, за счет более равномерного движения можно достигнуть снижения износа расходных частей автомобилей, сдвиговых нагрузок на дорожное покрытие на участках разгона и торможения, что позволит сохранить эксплуатационные показатели, в соответствии с требованиями к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения [5].

Литература

1. Сайт Всемирной организации здравоохранения. Отчет «Дорожно-транспортные травмы» – [Электронный ресурс] – <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries/>
2. Федеральный проект «Безопасность дорожного движения» – [Электронный ресурс] – http://www.fcp-pbdd.ru/press_center/news/overall/46567/
3. Британское информационное агентство «Express». Статья «Britons demand a 20mph speed limit to slash road deaths» – [Электронный ресурс] – <https://www.express.co.uk/news/uk/468184/Britons-demand-a-20mph-speed-limit-to-slash-road-deaths/amp/>
4. Платформа общедоступной многоязычной универсальной интернет-энциклопедии «Wikipedia». Статья «Speed limits in Denmark» – [Электронный ресурс] – https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_limits_in_Denmark/
5. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.

УДК 625.765

Никита Александрович Пекин,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ni.pek@mail.ru

Nikita Aleksandrovich Pekin,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: ni.pek@mail.ru

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT REPAIR

Статья рассматривает отечественный и зарубежный опыт ремонта асфальтобетонных покрытий. Описываются различные методы и технологии ремонта, используемые в разных странах мира, а также особенности их применения. Автор статьи анализирует плюсы и минусы каждого метода ремонта и предлагает свои рекомендации по выбору оптимального подхода к ремонту асфальтобетонных покрытий. Также автор классифицирует современные методы ремонта асфальтобетонных покрытий по дефектам и сравнивает отечественный и зарубежный опыт ремонта асфальтобетонных покрытий. В ходе исследования была создана таблица, позволяющая по дефекту подобрать необходимый способ ремонта покрытия.

В заключении автор подводит итоги своего исследования и делают выводы о том, что выбор подхода к ремонту асфальтобетонных покрытий должен зависеть от конкретных условий и задач, стоящих перед дорожными службами, и требует комплексного подхода.

Ключевые слова: дорога, асфальтобетон, ремонт асфальтобетонных покрытий, дефект, преимущества и недостатки.

The article considers domestic and foreign experience in repairing asphalt concrete pavements. Various repair methods and technologies used in different countries of the world are described, as well as features of their application. The author of the article analyzes the pros and cons of each repair method and offers his recommendations on choosing the optimal approach to repairing asphalt concrete pavements. The author also classifies modern methods of repairing asphalt concrete pavements by defects and compares domestic and foreign experience in repairing asphalt concrete pavements. In the course of the study, a table was created that allows the defect to select the necessary method for repairing the coating.

In conclusion, the author summarizes his research and concludes that the choice of an approach to repairing asphalt concrete pavements should depend on the specific conditions and tasks facing the road services, and requires an integrated approach.

Keywords: road, asphalt concrete, asphalt pavement repair, defect, advantages and disadvantages.

Одним из основных признаков качественного строительства автомобильных дорог является обеспечение требуемых транспортно-эксплуатационных показателей. Этот показатель достигается в процессе строительства и зависит от множества факторов, основными из которых являются применяемые материалы и технологии строительства.

В настоящее время при новом строительстве, ремонте или реконструкции в качестве основного материала, применяемого для строительства покрытия, используется асфальтобетон. Автомобильные дороги с таким типом покрытия составляют 96 % от общей протяженности дорог с твердым покрытием.

Под воздействием нагрузок от транспортных средств и влияния погодных условий на поверхности автомобильных дорог возникают различные деформации, такие как: выбоины, трещины, колея и многие другие. Все это приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационных показателей и снижению срока эксплуатации автомобильной дороги. Также возникновение разрушений и деформаций можно связать с нарушением технологии строительства земляного полотна или дорожных одежд.

Для устранения подобных дефектов используют ямочный ремонт, позволяющий в короткие сроки устранить дефект на дорожном покрытии и при своевременном качественном ремонте увеличить срок эксплуатации дороги.

Согласно [1] дефекты проезжей части подразделяются на следующие виды: выбоины, проломы, просадки, гребенки, колея, места выпотевания вяжущего и сдвиг. Причины образования этих повреждений могут быть различными, как и методы борьбы с ними.

Согласно [2] ремонт асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог подразделяется на 3 типа: капитальный ремонт, ремонт и содержание. При ежегодном содержании на выбор технологии

ремонта влияет вид дефекта, определенного во время проведения обследования на участке автомобильной дороги, подлежащем ремонту.

Анализируя популярные методы и технологии ремонта асфальтобетонных покрытий, была создана сводная таблица, отражающая преимущества и недостатки определенного метода и какие дефекты можно исправить с его помощью.

**Классификация по дефектам
популярных методов ремонта,
их преимущества и недостатки**

Метод	Преимущества и недостатки	Дефекты
Ремонт литым асфальтобетоном	<ul style="list-style-type: none"> + Высокий уровень подвижности + Не требует уплотнения + Высока степень адгезии к нижележащим слоям + Высокая усталостная трещиностойкость – Низкие сцепные показатели – Высокая стоимость смеси – Высокая стоимость производства работ (в связи с использованием спецтехники) 	Выбоина, широкая трещина (свыше 30 мм), просадка, пролом
Заделка трещин	<ul style="list-style-type: none"> + Абсолютная герметизация участка с дефектами – Высокая стоимость материалов 	Трещины
Ремонт покрытия холодными смесями	<ul style="list-style-type: none"> + Производство работ возможно в любое время года + Высокая экономичность + Простота технологии – Более низкие характеристики в сравнении с горячим/литым асфальтобетоном – Необходимость обеспечения неслеживаемости материала – Холодное соединение 	Выбоина, просадка

Продолжение таблицы

Метод	Преимущества и недостатки	Дефекты
Ремонт покрытия горячими смесями	<ul style="list-style-type: none"> + Доступность материалов необходимых для изготовления смеси + Большой опыт работы строителей с материалом + Доступность необходимой для производства техники – Высокие требования к температурам укладки/ окружающего воздуха – Холодное соединение – Высокий уровень шума 	Выбоина, просадка, пролом
Технология инфракрасного нагрева (термопрофилирование)	<ul style="list-style-type: none"> + Возможно избежать холодных соединений + Сокращает расходы на материал + Экономически выгодно + Движение открывается сразу после окончания работ – Высокая стоимость техники 	Выбоина, просадка, колея, сдвиг, гребенки
Ресайклинг	<ul style="list-style-type: none"> + Практически безотходное производство + Экономия на материалах – Высокая стоимость техники – Высокий уровень шума – Не применим на улицах города 	Выбоины, трещины, просадки, колея, сдвиг, гребенки, пролом, необработанные места выпотевания вяжущего
Струйно-инъекционный метод	<ul style="list-style-type: none"> + Малый расход средств на материалы + Возможность производства работ почти круглый год (минимальная температура –10 °С) + Высокая скорость выполнения + Используется малое количество техники + Хорошая адгезия – Неприменима на дорогах с высокой интенсивностью движения 	Выбоины

Несмотря на схожесть методов и технологий, зарубежный опыт практически не отличается от отечественного. Такие технологии как струйно-инъекционный метод, технология инфракрасного нагрева, ремонт покрытия литыми асфальтобетонами, получили более широкое применение в Европе по сравнению с Россией. Это можно связать с ранним началом применения этих технологий в соседних странах.

Методов ремонта асфальтобетонных покрытия автомобильных дорог существует очень много. Некоторые из них успешно прошли проверку временем и несмотря на свой «возраст» успешно применяются и сейчас. Наука не стоит на месте и с каждым годом появляются новые технологии и улучшаются уже существующие. Проанализировав популярные технологии, можно сделать вывод, что многие из них имеют широкое применение. Выбор конкретной технологии зависит от возможностей компании, выполняющей строительные работы.

Благодарности

Выражаю свою благодарность своему научному руководителю кандидату технических наук, доценту, заведующему кафедрой автомобильных дорог, мостов и тоннелей Клековкиной Марии Петровне за консультации по теме и старшему преподавателю кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей Козаку Николаю Викторовичу за помощь в написании данной статьи.

Литература

1. ГОСТ Р 50597-2017 Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.
2. ГОСТ Р 59201-2021 Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила.
3. ОДМ 218.3.036-2013 Рекомендации по технологии санации трещин и швов в эксплуатируемых дорожных покрытиях. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва 2015.

4. *Зубков А. Ф., Однолько В. Г., Евсеев Е. Ю.* Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей. – М. : Издательский дом «Спектр», 2013. – 180 с. – 400 экз. ISBN 978-5-4442-0043-8.

5. ОДМ 218.6.1.006-2021 Методические рекомендации по горячей регенерации асфальтобетонных покрытий. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2021 г.

6. ОДМ 218.4.039-2018 Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2018 г.

7. ОДМ 218.3.004-2010 Методические рекомендации по термопрофилированию асфальтобетонных покрытий. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2011 г.

8. ГОСТ Р 54401-2020 Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси литые асфальтобетонные дорожные горячие и асфальтобетон литой дорожный. Технические условия.

9. *Зубков А. Ф.* Технология ремонта дорожных покрытий нежесткого типа струйно-инъекционным методом : монография / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, В. Г. Однолько, М. Э. Пилецкий. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 200 с. – 400 экз. ISBN 978-5-8265-1928-8.

СЕКЦИЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 721.02:004.94

Дмитрий Сергеевич Борецкий,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: dmitryboretsky@mail.ru

Dmitrij Sergeevich Boreckij,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: dmitryboretsky@mail.ru

СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ BIM-МОДЕЛЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

WAYS OF CREATING BIM MODELS OF EXISTING OBJECTS

В статье рассмотрены причины, обосновывающие необходимость создания BIM-моделей для уже построенных зданий, включающие возможность ее использования для осуществления ремонта или реконструкции, управления объектом в стадии эксплуатации, контроля объекта датчиками. Алгоритм создания моделей начинается с выбора уровня детализации (LoD), зависящем от назначения модели и определяющем методы сбора информации о проекте. Рассмотрены следующие способы сбора данных: использование 2D-чертежей, ручные измерения, фотограмметрия, лазерное сканирование, георадары. Для низких уровней детализации рекомендовано использовать простые методы (ручные измерения и использование документации), для средних – фотограмметрию, для высоких – лазерное сканирование и георадары.

Ключевые слова: BIM, BIM-модель, лазерное сканирование, фотограмметрия, облако точек.

The article discusses the reasons justifying the need to create BIM models for already constructed buildings, including the possibility of using it for repair or reconstruction, managing an object during the operation stage, and monitoring the object with sensors. The model creation algorithm begins with the selection of the level of detail (LoD), which depends on the purpose of the model and determines the methods for collecting information about the project. The following methods of data collection are considered: the use of 2D drawings, manual measurements, photogrammetry, laser scanning, ground penetrating radar. For low levels of detail it is recommended to use simple methods (manual measurements and the use of docu-

mentation), for medium levels – photogrammetry, for high levels – laser scanning and ground penetrating radar.

Keywords: BIM, BIM-model, laser scanning, photogrammetry, cloud point

Введение

BIM (Building Information Modeling) – это процесс создания и управления информацией о здании или сооружении в цифровой форме. BIM представляет собой интегрированный подход к проектированию, строительству и эксплуатации объектов, основанный на использовании трехмерных моделей и базы данных, содержащей информацию о геометрии, свойствах и характеристиках компонентов здания.

Рассмотрим сферу применения и область распространения BIM. Согласно статье «Building Information Modeling for existing sustainable buildings» существуют следующие стадии жизненного цикла здания: [1, с. 1]

- Начальный этап (составление технического задания);
- Эскизный проект;
- Проектирование;
- Производство;
- Эксплуатация;
- Демонтаж.

Также в качестве еще одной стадии можно добавить реконструкцию здания или его ремонт.

Известно, что BIM преимущественно используется для проектирования новых объектов, нежели для создания информационных моделей, уже существующих [1, стр. 1]. Однако количество построенных зданий на данный момент намного больше, чем количество проектируемых, поэтому задача нахождения эффективных способов создания BIM-моделей уже возведенных зданий является актуальной.

Основные причины, обосновывающие необходимость создания BIM-моделей существующих объектов:

1. Возможность проведения ремонта или реконструкции.
2. Управление объектом, наличие актуальной информации.
3. В будущем возможно подключение BIM модели здания к единой информационной модели города.

4. Создание эксплуатационной модели (для контроля объекта различными датчиками, собирающими информацию об элементах здания).

Стоит отметить также, что стадия эксплуатации занимает наибольшую долю в жизненном цикле любого объекта, поэтому эксплуатационная модель будет использоваться продолжительное время, а значит, окупится.

Таким образом, данная задача является обоснованной, поэтому поиск некоторого общего алгоритма создания подобных BIM моделей, а также обзор методов сбора информации об объекте и являются целями данной статьи.

Общий алгоритм создания BIM-моделей существующих зданий состоит из следующих этапов:

1. Назначение уровня детализации модели (Level of Detail, LoD).

Уровень детализации назначается исходя из целей моделирования. Например, при создании модели, необходимой для подсчета общих объемов материалов для реконструкции будет достаточно LoD 200. Для создания эксплуатационной модели необходима более детальная проработка, соответствующая LoD 400 или LoD 500. Для более высоких уровней детализации требуются более точные методы сбора информации об объекте, а также возрастает время и ресурсы, требуемые для создания модели.

2. Сбор данных об объекте.

Как отмечается, методы сбора данных выбираются по назначенному уровню детализации.

Применяются следующие основные методы сбора данных об объекте:

- Использование существующих чертежей.

Если имеются существующие чертежи, планы или файлы САД объекта, их можно использовать в качестве основы для создания BIM-модели. Чертежи и файлы могут быть импортированы в программное обеспечение BIM, а затем на их основе можно создать 3D-модель. Однако следует учитывать, что такая документация может быть устаревшей или не содержать необходимое количество деталей. Лучше всего подойдет рабочая документация, так как она отражает действительные характеристики здания.

Способ подходит для низкого и среднего уровней детализации (для высокого – при комбинировании с другими способами). При всех прочих, данный метод является наиболее удобным и наименее затратным в плане стоимости.

- Ручные измерения.

Данный способ включает физическое измерение объекта с использованием измерительных инструментов, таких как лента, лазерный дальномер и угломер. Измеренные значения затем могут быть введены в программное обеспечение BIM для создания 3D-моделей. Этот метод более доступен с точки зрения стоимости, но требует большого внимания к деталям и может быть более трудоемким при работе с сложными объектами. Подходит для низкого уровня детализации.

- Фотограмметрия.

Фотограмметрия основана на использовании серии фотографий, сделанных с разных углов, для создания 3D-модели. Специализированное программное обеспечение анализирует фотографии, находит общие точки и восстанавливает геометрию объекта. Этот метод более доступен с точки зрения стоимости, но может быть менее точным и требовать определенных навыков для обработки фотографий и создания модели.

- Лазерное сканирование.

Для создания BIM-модели с использованием этого метода используется трехмерный лазерный сканер, который сканирует объект и создает точечное облако данных (point cloud). Затем облако, полученное на каждой станции сканирования, может быть сшито и импортировано BIM-программу (например, Autodesk Revit). Далее по нему моделируется твердотельная геометрия.

Этот метод обеспечивает высокую детальность и точность (расстояние между точками до 1 мм), почти полностью исключает человеческий фактор и захватывает все детали объекта, но может быть дорогим и требует определенного оборудования и экспертизы. Также из недостатков – большая цена, сложность сканирования зеркальных и черных поверхностей, невозможность сканирования коммуникаций и подземных объектов. [2]

- Использование георадара (Ground Penetrating Radar, GPR).

Способ основан на излучении высокочастотного радиосигнала, что позволяет вычислять расстояния до дочек по времени его возвращения. Данный способ лишен недостатка лазерного сканирования и способен сканировать объекты под землей, но довольно ограничен в радиусе действия [3].

3. Обработка данных и BIM-моделирование.

На данном этапе происходит создание базовой модели на основе импортированных данных, которая включает в себя геометрические формы здания, элементы (стены, двери, окна и др.) в соответствии с заданным уровнем детализации.

Заключение

Несмотря на увеличение доли использования BIM для новых объектов, его внедрение в уже существующие довольно ограничено и требует расширения по причинам, приведенным во введении. Для создания BIM-модели существующих объектов необходимо придерживаться заданного уровня детализации, который определяет метод сбора информации о проекте. Для низких LoD разумно использовать чертежи, ручные измерения. Для среднего LoD можно применить фотограмметрию. Для более высоких уровней детализации лучше использовать соответственно лазерное сканирование и георадары. Перед тем, как начать сбор данных для моделирования необходимо знать недостатки и преимущества каждого метода.

Литература

1. *Braila N., Panchenko N., Kankhva V.* Building Information Modeling for existing sustainable buildings. E3S Web of Conferences. 2021. V. 244. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024> (доступ: 15.05.2023).
2. *Хайруллин М. Ф.* Анализ современных методов создания эксплуатационной BIM-модели здания. // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2020. С. 555–562.
3. *Hossain M. A., Yeoh J. K. W.* BIM for Existing Buildings: Potential Opportunities and Barriers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 371. URL: <https://iopscience.iop.org/volume/1757-899X/371> (доступ: 15.05.2023).

УДК 691.327:72.023

Злата Андреевна Золотых,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: zлата.zolotykh@mail.ru

Zlata Andreevna Zolotykh,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: zлата.zolotykh@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЗАЛЕЧИВАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

COMPARATIVE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS SELF-HEALING CONCRETE

В статье рассмотрены характеристики разработанного нового типа бетона, известного как самозалечивающийся бетон, который способен автоматически устранять возникающие дефекты. Приведен сравнительный анализ нового вида бетона с обычным. Благодаря своим свойствам, характеристикам, удобству эксплуатации и соотношению цены и качества, бетон – один из самых распространенных строительных материалов, однако он подвержен деформациям, вызванным воздействием различных внешних факторов, таких как механические воздействия, агрессивные среды и вибрации. Это представляет собой значительную проблему в строительной отрасли, поэтому существует постоянная потребность в поиске способов улучшения этого материала.

Ключевые слова: бетон, самозалечивающийся бетон, самовосстанавливающийся бетон, инновации, строительство, строительные материалы, технологии.

The article discusses the characteristics of a new type of concrete developed, known as self-healing concrete, which is capable of automatically eliminating emerging defects. A comparative analysis of the new type of concrete with the usual one is given. Due to its properties, characteristics, ease of use and price-quality ratio, concrete is one of the most common building materials, but it is susceptible to deformation caused by various external factors, such as mechanical stress, aggressive environments and vibration. This represents a significant problem in the construction industry, so there is a constant need to find ways to improve this material.

Keywords: concrete, self-healing concrete, self-repairing concrete, innovations, construction, building materials, technologies.

Введение

Производство бетонной смеси достигло колоссальных объемов. Хоть он и имеет недостатки, нет возможности заменить данный

компонент материалом с аналогичными положительными аспектами и техническими характеристиками [1]. Поэтому ученые из разных уголков земли ежедневно проводят исследования и эксперименты, нацеленные на устранение несовершенств бетона, которые возникают из-за воздействия разнообразных внешних факторов, таких как:

1. Уменьшение прочности бетона;
2. Коррозия арматуры;
3. Нарушение герметичности стен, перекрытий и других конструкций;
4. Размножение вредных микроорганизмов;
5. Усиление разрушительных процессов.

В результате этого был обнаружен инновационный тип бетона, который способен самостоятельно восстанавливаться. Рассматриваемый бетон является надежным полимерцементным материалом, в структуру которого включены законсервированные бактерии в виде добавки [5]. При нарушении целостности элементов и конструкций, данный компонент начинает активизироваться при воздействии влаги, что ведет к реагированию с бетоном. По окончании этой реакции формируется карбонат кальция в местах раскола конструкции, под воздействием влажной среды и атмосферного углекислого газа.

Один из ключевых компонентов при проектировании бетона представлен бактериями *Bacillus pseudofirmus* и *Sporosarcina pasteurii*. Эти микроорганизмы обладают уникальной способностью к выживанию в щелочной среде бетона даже без дополнительного поступления питательных веществ. При контакте с водой эти бактерии начинают производить карбонат кальция, содержащий около 40 % кальция. Этот процесс, инициированный влагой, приводит к образованию известкового вещества, выполняющего функцию «пластыря» в структуре бетона.

Сравнение с обычным бетоном

При появлении дефектов в обычном бетоне для устранения незначительных повреждений (неглубоких раковин, мелких трещин с шириной раскрытия до 0,5 см) применяют оштукатуривание

цементно-песчаным раствором [2]. Если структура бетона серьезно повреждена, то для предотвращения дальнейшего ухудшения ее состояния можно применить методы, такие как торкретирование или создание железобетонной облоймы.

Главной целью по предотвращению повреждения бетона является определение наиболее эффективных методов его защиты. При выполнении таких операций, как торкретирование или создание железобетонных конструкций, также необходимо использовать дополнительные материалы и оборудование, которые могут обладать существенными затратами. Следовательно, альтернативным вариантом является использование самозалечивающегося бетона, который в будущем может устранить необходимость в мерах по восстановлению повреждений. Для оценки эффективности нового типа бетона был проведен эксперимент, в рамках которого сравнивались результаты испытаний на прочность при сжатии, модуль упругости и поверхностное удельное сопротивление по сравнению с обычным бетоном. Особое внимание уделялось исследованию микрокапсул, имеющих внутри себя карбонат кальция в качестве «залечивающего средства», и их возможности к самовосстановлению бетона при их включении в состав связующего материала. Кроме того, целью эксперимента было выявление оптимального процентного наличия таких микрокапсул в цементном растворе.

Эксперимент показал следующие результаты: у обычного бетона были выявлены: образование расколов; прочность обеспечена до 100 лет; плотность материала до 2500 кг/м³ и выше; прочность при сжатии - В15; прочность при изгибе В_{тб}6,8. Такие же характеристики выявлялись у рассматриваемого в данной работе бетона. Образование трещин временное; ресурс прочности обеспечен до 200 лет; плотность материала составляет 1800 кг/м³; прочность при сжатии В25; прочность при изгибе В_{тб}8. Самый главный показатель-обычный бетон не имеет способности к восстановлению.

Помимо этого, были выявлены следующие характеристики:

1. Концентрация микрокапсул и их размер оказали непосредственное влияние на прочность материала при сжатии. С увеличением концентрации микрокапсул прочность бетона снижалась,

а увеличение размера микрокапсул приводило к увеличению воздушных включений в структуре бетона.

2. Поверхностное удельное сопротивление было почти одинаковым для обоих образцов.

3. Самозалечивающийся бетон проявил лучшие характеристики модуля упругости при нагрузке и разгрузке образцов, особенно при нагрузке до 80 % от разрушающей нагрузки.

4. Оптимальная концентрация микрокапсул находилась в диапазоне от 0,50 % до 1,00 %, что давало наилучшие результаты.

Результаты исследования подтвердили, что микрокапсулы могут оказывать отрицательное воздействие на прочность бетона при сжатии. Однако это негативное влияние компенсируется способностью бетона к самовосстановлению.

Проведя анализ характеристик обычного и самозалечивающегося бетона (как представлено в таблице 1), можно сделать вывод, что последний тип бетона обладает уникальными свойствами по сравнению с обычным бетоном. Самовосстанавливающийся бетон обладает способностью к саморегенерации, имеет большую гибкость, высокую стойкость к разрушению и при этом значительно меньший вес – на 40–50 %. Даже при значительных изгибающих нагрузках данный бетон не разрушается, а после снятия нагрузки начинает процесс самовосстановления. Единственной его отрицательной стороной является более завышенная стоимость в сравнении с типичными цементными смесями. Тем не менее, этот недостаток нельзя считать существенным, учитывая, что устойчивость к износу материала многократно окупает ценовое отличие [4].

Заключение

Самозалечивающийся бетон представляет собой более эффективное решение для использования в строительной сфере и имеет потенциал для широкого внедрения, особенно при возведении уникальных зданий, мостов, и транспортных магистралей. Ожидается значительное развитие в технологии его производства и дальнейшего распространения на рынке строительных материалов.

Литература

1. Самовосстанавливающийся бетон (самозалечивающийся эластичный, гибкий). URL: <https://1beton.info/vidy/samovosstanavlivaushhijsya-beton-samozalechivayushhijsya-elastichnyj-gibkij> (доступ: 22.05.2023).
2. Струкова Е. А., Гилязидинова Н. В. Самовосстанавливающийся эластичный бетон // научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая» URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2018/RM18/pages/Articles/42813-.pdf>
3. Jose Milla, Marwa M. Hassan, Tyson Rupnow, Mohamed Al-Ansari and Gabriel Arce. «Effect of self-healing calcium nitrate microcapsules on concrete properties»: [Electronic resource] / Transportation Research Record // Academia: 2016. № 2577. URL: https://www.academia.edu/31013208/Effect_of_Self_Healing_Calcium_Nitrate_Microcapsules_on_Concrete_Properties/ (доступ: 23.05.2023).
4. Эластичный бетон, который может самовосстанавливаться [Электронный ресурс] URL: <https://kraska.guru/smesi/cement-i-beton/elastichnyj-beton.html> (доступ: 23.05.2023).
5. Самовосстанавливающийся бетон (самозалечивающийся эластичный, гибкий) [Электронный ресурс] URL: <https://kobon.ru/raznovidnosti/gibkij-beton.html> (доступ: 26.05.2023).

УДК 72.023:624.05

Илья Дмитриевич Куляшов,

студент

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: teleshpak@mail.ru

Ilya Dmitrievich Kulyashov,

student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: teleshpak@mail.ru

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Технология трехмерной печати широко используется в сферах электротехники, машиностроения, медицины и радиотехники, но роль 3D-печати в сфере строительстве лишь начинает приобретать значимость в деятельности человека. Аддитивная технология печати (Additive Manufacturing – от слова аддитивность – прибавляемый) – это послойное создание, синтез объекта при помощи 3D-печати. Серьезное преимущество этой технологии заключается в высокой точности и, как следствие, в том, что архитекторы и дизайнеры имеют возможность не заходить в определенные рамки строительства. Современные 3D-принтеры могут не только возводить построения сложной формы, но и участвовать в этапах строительства, производя изоляционные и отделочные работы. В настоящей статье описаны и разобраны инновационные методы строительства и их ключевые преимущества. Также приведены примеры сооружений и построек, возводимых с помощью аддитивных технологий.

Ключевые слова: 3D-печать, аддитивные технологии, строительное производство, строительство, бетонные смеси.

Three-dimensional printing technology is widely used in the fields of electrical engineering, mechanical engineering, medicine, and radio engineering, but the role of 3D-printing in the field of construction is only beginning to gain importance in the activities of mankind. Additive printing technology (Additive Manufacturing – from the word additive – added) is a layer-by-layer creation, synthesis of an object by means of 3D-printing. A serious advantage of this technology is the high accuracy and, as a consequence, architects and designers have the opportunity not to go beyond certain limits of construction. Modern 3D-printers can not only build structures of complex shape, but also participate in the construction stages by performing insulation and finishing works. In this article the innovative methods of construction and their key advantages are described and analyzed. It also gives examples of structures and buildings built with the help of additive technologies.

Keywords: 3D-printing, additive technologies, construction production, concrete mixes.

Введение

В строительной сфере аддитивные технологии начинают свое развитие еще в первой половине XX века [1]. Уже тогда люди задумались об автоматизации своего труда. В настоящее время строительные машины развиваются и достигают внушительных масштабов и мощностей [2]. Также в наше время остро встает вопрос экологии, так как строительная сфера потребляет огромную часть невозобновляемых ресурсов планеты, при этом перерабатывается только 10–20 % продуктов отработки, которые зачастую представляют огромную опасность для окружающей среды, а порой могут быть токсичными [3]. Аддитивные технологии 3D-печати дают нам возможность строить в труднодоступных для техники местах, причем за короткие сроки с высоким уровнем качества.

История 3D-принтеров

Самые первые модели аддитивных строительных технологий могли выполнять односложные задачи. Первым 3D-принтером можно считать машину Уильяма Урошеля, способную возводить стены по окружности диаметром до 10 метров (рис. 1). Ее способности ограничивались возможностью придавать затвердевшему материалу формы полосы и наносить его в качестве нового слоя при формировании стены, материал в которую подавался ручным способом, а утрамбовывался при помощи вибрационного питателя [1].



Рис. 1. Уильям Урошель демонстрирует свою машину для возведения стен. Вальпарисо, штат Индиана

Также одними из первопроходцев, задумывавшихся использовать машины на основе цемента для аддитивного цемента к строительству, является профессор Стэнфордского университета Джозеф Пенья. Идею реализации строительной 3D-печати в середине 1990-х годов предложил профессор из университета Южной Калифорнии, Берох Хошневис, он использовал инновационную технологию Contour Crafting (CC) [4].

В настоящее время существует широкий выбор моделей, способных возводить малоэтажные коттеджные дома разных размеров и различного качества. Например, инновационный 3D-принтер BOD2 является самым быстрым строительным принтером, способным перемещать головку со скоростью 1 метр в секунду. С такой скоростью эта машина способна выдавливать до 10 тонн бетона в час, что является высочайшей скоростью для традиционного способа строительства [2]. Также сейчас ведутся активные разработки новых моделей строительных принтеров, способных работать на энергии, накапливаемой в солнечных батареях [5]. Такой инновационный подход способен приблизить нас к реализации идеи «зеленого» строительства. В технологическом плане принцип действия большей части нынешних строительных принтеров схож с работой обычных принтеров для трехмерной печати деталей (рис. 2).

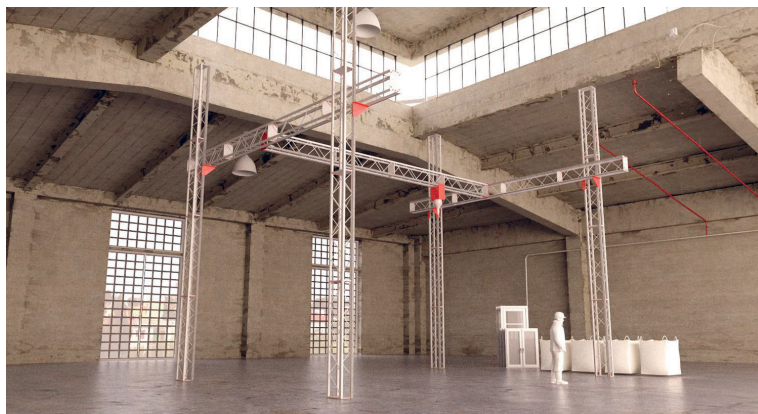


Рис. 2. Новый принтер BOD2 от компании 3D Printners

Достоинства и недостатки аддитивных технологий в строительстве

Преимуществом аддитивных технологий определенно является скорость выполнения задач и мобильность установки, что может позволить возводить сооружения после стихийных бедствий, для быстрого расселения людей и улучшения их качества жизни. Учитывая, что ведутся активные разработки таких машин, в которых сырьем могут служить не только специальные смеси, но и местные природные материалы, это устройство в скором будущем будет являться прямым спасением людей в катастрофах [3]. Также данную технологию можно использовать не только для полноценного строительства уникальных зданий и сооружений, но и для изготовления вспомогательных элементов в процессе реконструкции [6]. Таким образом аддитивные технологии имеют большой потенциал, перечислим некоторые, уже выделенные аспекты их технологической эффективности [7, 8]:

1. Экономичность: сокращение трудовых затрат, уменьшение времени инвестиционных циклов, бережное использования строительных материалов.

2. Экологичность: сниженный выброс отходов строительного производства ведет к уменьшению пагубного влияния на окружающую среду.

3. Архитектурные возможности: многие замыслы архитекторов и дизайнеров могут не входить в проект, потому что они могут быть сложными и дорогостоящими, однако строительные 3D-принтеры имеют возможность воплотить в жизнь такие идеи.

4. Качество выполнения геометрии зданий: 3D-печать задается программой и здание строится согласно переданной информационной модели, потому геометрия ведется строго по предоставленному в компьютере проекту (до 0,5 мм).

5. Скорость строительства: средняя скорость печати варьируется от 7 до 10 метров в минуту.

6. Экономия труда: по сравнению с целой строительной бригадой для обслуживания строительного принтера требуется не более трех человек.

7. Высота зданий: зачастую строительные принтеры применяются для строительства коттеджных зданий, высотой до двух этажей, но эти машины способны возводить сооружения до пяти этажей различной конфигурации.

Однако, даже нынешние технологии проигрывают ручному труду в способности обеспечивать полный цикл монтажных работ [9]. В качестве отрицательных характеристик, вызванных внедрением аддитивных технологий, на данный момент, можно выявить следующие аспекты [4, 7, 8, 10]:

1. Ограниченные размеры: ограничение размеров рабочей зоны оборудования не дает возможности возводить сооружения произвольных размеров.

2. Дороговизна для малых предприятий: высокая стоимость технологий обусловлена отсутствием производства крупных серий.

3. Недостаток научно-технической базы: недостаточное количество нормативной базы для контроля строительства с применением аддитивных технологий.

4. Безработица: замена труда рабочих на машины в такой сфере как строительство может привести к высокому уровню безработицы.

5. Большие риски, связанные с ошибкой в цифровой модели: при допущении ошибки в информационной модели во время процесса строительства принтер может испортить работу предыдущих этапов. Также время, затраченное на изменение цифрового проекта, несет за собой дополнительные издержки.

Примеры сооружений, возведенных с помощью строительных принтеров

Прогрессивные компании ведут активную работу по внедрению принтеров в строительную сферу. Известные постройки на основе 3D-печати «Офис будущего» в ОАЭ (рис. 3).

Для строительства одноэтажного здания площадью 250 кв. м потребовалось всего 17 дней и несколько человек, контролирующая работа 3D-принтера [7].

Один из первых домов в России, напечатанных с помощью аддитивных технологий представлен на рис. 4.



Рис. 3. «Офис будущего»



Рис. 4. Один из первых домов в Европе, напечатанных на 3D-принтере

Если говорить о России, то наша страна старается не отставать. Компания «СПЕЦАВИА» также занимается производством принтеров аддитивной технологии [12].

Результаты

3D-принтеры являются технологиями будущего, которые будут способны при должном финансировании полностью заменить человеческий труд на всей площадке стройки. Уже в настоящее время они могут поразить воображение как функционалом и скоростью выполняемых работ, так и их качеством. А дальнейшее развитие этой технологии способствует широкому распространению и еще большему увеличению возможностей этих машин.

Заключение

В настоящее время 3D-принтеры достаточно распространены, однако консервативный характер строительных компаний не дает распространения этой технологии на глобальном рынке. Значительными проблемами в сфере строительных принтеров является отсутствие полноценной нормативной базы, недостаток квалифицированных кадров и высокая цена оборудования, которая обусловлена отсутствием производства больших серий.

Однако, большие корпорации понимают, что за технологиями и автоматизацией процессов стоит большой потенциал, который следует развивать и применять на практике.

Литература

1. William Urschel Demonstrates his Wall Building Machine. URL: <https://naturalbuildingblog.com/william-urschel-demonstrates-his-wall-building-machine/> (доступ: 27.01.2023).
2. 3D Printhuset Introduces the BOD2 Construction 3D Printer. URL: <https://3d-print.com/220208/3d-printhuset-bod2-3d-printer/> (доступ: 27.01.2023).
3. *Власова Т. А.* Экологические аддитивные технологии в строительстве: обзор // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6.
4. *Ватин Н. И., Чумадова Л. И., Гончаров И. С., Зыркова В. В., Карпеня А. Н., Ким А. А., Финашенков Е. В.* 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1(52). С. 27–46.

5. *Арбамян С. Г., Илшев А. Б., Липатова С. И.* Современные строительные аддитивные технологии. Часть 2. // Инженерный вестник Дона. 2018. № 6.
6. *Коротеев Д. Д., Корнеева А. И.* Применение аддитивных технологий производства в строительстве на примере разработки 3D-модели с последующей печатью // Системные технологии 2. 2021. № 39. С. 20–29.
7. *Дребезгова М. Ю.* Современные аддитивные технологии в малоэтажном строительстве. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 6. С. 66–69.
8. *Неустроев Д. В., Овчинников И. Г.* Аддитивные технологии и их применение в промышленном и транспортном строительстве // Вестник Евразийской науки. 2021. №2. URL: <https://esj.today/PDF/26SAVN221.pdf> (доступ: 27.01.2023).
9. *Пермяков М. Б., Пермяков А. Ф., Давыдова А. М.* Аддитивные технологии в строительстве. С. 14–15.
10. *Кирилова Н. К., Алексеева А. Н., Егорова А. Д.* Применение аддитивных технологий в строительстве и при изготовлении керамических изделий // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 2. С. 134–141.
11. URL: <http://bc-klimovsk.ru/about/news/samye-neobychnye-ofisy-mira-ofis-iz-printera> (дата обращения: 27.01.2023).
12. *Самандасюк Г. В., Слесарев И. А., Кожен М. С.* Аддитивные технологии в строительстве. С. 18–19.
13. URL: <https://specavia.pro/articls/obyavlyaetsya-novyj-nabor-na-kurs-proektirovanie-pod-3d-pechat-v-stroitelstve/> (доступ: 27.01.2023).

УДК 691.3

Сергей Анатольевич Седых,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sedykh-sa@mail.ru

Sergei Anatolievich Sedykh,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: sedykh-sa@mail.ru

ФИБРОБЕТОН: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

FIBER CONCRETE: NEW OPPORTUNITIES AND PROSPECTS OF APPLICATION IN CONSTRUCTION

Фибробетон является инновационным строительным материалом, объединяющим в себе свойства бетона и волоконного армирования. В данной статье рассматриваются перспективы применения фибробетона в современном строительстве. Обсуждаются его преимущества, такие как повышенная прочность, улучшенные показатели долговечности и устойчивости к различным воздействиям, а также возможности его использования в различных областях строительной индустрии. Кроме того, рассматриваются вызовы и проблемы, связанные с внедрением фибробетона, и предлагаются рекомендации по оптимальному использованию этого материала. Дополнительно в статье рассматривается фибробетон на основе оксида циркония, который представляет собой перспективное направление в развитии строительных материалов с улучшенными свойствами и возможностями применения.

Ключевые слова: фибробетон, фибра, бетон, стекловолокно, углеволокно, базальтовое волокно, оксид циркония, термостойкое волокно.

Fibre-reinforced concrete is an innovative building material that combines the properties of concrete and fiber reinforcement. This article discusses the prospects for the use of fiber-reinforced concrete in modern construction. Its advantages are discussed, such as increased strength, improved durability and resistance to various influences, as well as the possibility of its use in various areas of the construction industry. In addition, the challenges and problems associated with the introduction of fiber-reinforced concrete are considered, and recommendations are offered for the optimal use of this material. Additionally, the article discusses fiber-reinforced concrete based on zirconium oxide, which is a promising direction in the development of building materials with improved properties and application possibilities.

Keywords: fiber-reinforced concrete, fiber, concrete, fiberglass, carbon fiber, basalt fiber, zirconium oxide, heat-resistant fiber.

Введение

Фибробетон – это композитный строительный материал, в котором волокна добавляются в бетонную смесь для усиления его свойств. Фибробетон может содержать различные виды волокон, такие как стекловолокна, углеволокна, базальтовые волокна и другие. Благодаря этому, фибробетон обладает повышенной прочностью и долговечностью, а также более высокой устойчивостью к воздействию различных факторов, чем обычный бетон.

Значимость фибробетона в современном строительстве заключается в том, что этот материал предлагает ряд преимуществ по сравнению с традиционными строительными материалами, такими как кирпич, бетон и металл. Фибробетон может использоваться в различных областях строительной индустрии, включая жилые, промышленные и гражданские проекты.

Преимущества фибробетона

Повышенная прочность: фибробетон обладает значительно высокой прочностью по сравнению с обычным бетоном. Волокна, добавленные в бетонную смесь, усиливают его структуру и предотвращают появление трещин и разрушений. Это делает фибробетон идеальным материалом для создания прочных и надежных конструкций.

Улучшенная долговечность: благодаря своей высокой прочности и устойчивости к воздействию различных факторов, фибробетон обладает длительным сроком службы. Он способен выдерживать нагрузки, изменения температуры, химические воздействия и другие внешние воздействия без значительного ухудшения своих свойств.

Устойчивость к различным воздействиям: фибробетон обладает улучшенной устойчивостью к воздействию влаги, химических веществ, морской воды, мороза и тепла. Это позволяет использовать его в различных климатических условиях и в экстремальных средах, где традиционные материалы могут терять свои свойства.

Гибкость в дизайне: фибробетон может быть легко сформирован и принимать различные формы благодаря своей пластичности и податливости. Это позволяет создавать сложные архитектурные

формы, неограниченные традиционными материалами, и обеспечивает архитекторам и дизайнерам большую свободу в реализации своих творческих идей.

Улучшенная тепло- и звукоизоляция: фибробетон обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Благодаря своей плотной структуре и наличию волокон, он способен эффективно задерживать тепло и звук, что обеспечивает комфортные условия внутри зданий и снижает энергопотребление.

Улучшенная огнестойкость: фибробетон обладает высокой огнестойкостью благодаря волокнам, которые не горят и не испускают токсичные газы при воздействии высоких температур. Это делает его безопасным и надежным материалом для строительства, особенно в зонах с повышенными требованиями к пожарной безопасности.

Преимущества фибробетона делают его привлекательным выбором для различных типов строительства, от жилых и коммерческих зданий до инфраструктурных проектов. Он обеспечивает долговечность, безопасность, устойчивость и эстетическую привлекательность, что отвечает современным требованиям в строительной отрасли.

Применение фибробетона в строительстве

Фибробетон находит широкое применение в различных областях строительства.

В жилом строительстве фибробетон может быть использован для возведения стен, перекрытий и фундаментов зданий. Благодаря высокой прочности и устойчивости, фибробетон обеспечивает долговечность и стабильность конструкций, что особенно важно для многоэтажных зданий. Кроме того, фибробетон обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, что способствует повышению комфорта и энергоэффективности жилых помещений.

В промышленном строительстве фибробетон применяется для возведения заводских и складских помещений, а также инфраструктурных объектов, таких как мосты и тоннели. Благодаря своей прочности и устойчивости к химическим воздействиям, фибробетон обеспечивает долговечность и безопасность промышленных сооружений.



Рис. 1. Фибробетон



Рис. 2. Фибра (волокна) для фибробетона

Фибробетон также может быть использован в гражданском строительстве для создания элементов ландшафтного дизайна, фасадных панелей, декоративных элементов и других архитектурных деталей. Благодаря своей гибкости и возможности принимать различные формы, фибробетон позволяет реализовать креативные и уникальные дизайнерские решения.

Вызовы и проблемы

Внедрение фибробетона в современное строительство также сопряжено с некоторыми вызовами и проблемами.

Одним из главных вызовов является стоимость и доступность материала. Фибробетон может быть более дорогим по сравнению с традиционными строительными материалами, что может ограничивать его широкое использование. Тем не менее, с развитием технологий производства и увеличением спроса на фибробетон, стоимость его производства может снизиться.

Другой проблемой, связанной с внедрением фибробетона, является необходимость обучения квалифицированных рабочих. Использование фибробетона требует специфических знаний и навыков, чтобы обеспечить правильное смешивание и укладку материала. Поэтому необходимо проводить обучение рабочих и специалистов в строительной отрасли.

Также важно учитывать нормативные и юридические аспекты в отношении применения фибробетона. Нормы и стандарты должны соответствовать требованиям и спецификациям данного материала. Необходимо разработать соответствующие регулятивные документы и гарантировать их соблюдение.

Рекомендации по оптимальному использованию фибробетона

Для оптимального использования фибробетона рекомендуется принять следующие меры:

Тщательное проектирование и расчеты: необходимо проводить детальное проектирование и инженерные расчеты с учетом специфики фибробетона. Это поможет обеспечить правильное использование материала и его оптимальную производительность.

Обучение квалифицированных рабочих: необходимо проводить обучение строительных рабочих, чтобы они получили необходимые знания и навыки по работе с фибробетоном. Это поможет гарантировать правильное смешивание, укладку и обработку материала.

Улучшение стандартов и нормативов: необходимо разрабатывать и улучшать стандарты и нормативы, которые касаются применения фибробетона. Это поможет установить четкие требования и гарантировать качество и безопасность конструкций, выполненных из фибробетона.

Фибробетон на основе оксида циркония

В данной статье представлен обзор фибробетона на основе оксида циркония – инновационного строительного материала, обладающего высокой механической прочностью, термической стабильностью и химической стойкостью по сравнению с другими видами волокон. Фибробетон на основе оксида циркония является одним из перспективных материалов в сфере строительства.

В настоящее время волокнистая теплоизоляция в виде гибких нетканых войлоков и матов, а также в виде формованных жестких изделий востребована во многих отраслях промышленности. Серийное производство таких теплоизоляционных материалов на основе различного вида оксидных волокон (базальтовых, кварцевых и кремнеземных) налажено во многих странах. Получают их методом раздува расплава или путем литья расплава на вращающиеся диски с последующей сушкой. Однако температуры эксплуатации расплавленных волокон, как правило, не превышают 1000 °С.

Более тугоплавкие оксидные волокна (например, волокна оксида алюминия, алюмосиликатные и муллитовые) имеют более высокую температуру эксплуатации, при этом обладают такими важными свойствами, как низкие теплопроводность и плотность, высокая химическая и коррозионная стойкость. Высокотермостойкие оксидные волокна – один из самых важных материалов для авиакосмической отрасли благодаря своей стойкости к воздействию горячих газов, химической инертности в окислительных и восстановительных средах, а также диэлектрическим свойствам. Оксидные волокна используют для изготовления большого ассортимента теплозащитных

и теплоизоляционных материалов, армирования легких сплавов и уплотнительных резин и каучуков. Кроме того, их применяют для армирования керамических композиционных материалов и изготовления высокотемпературных фильтров горячих газов и подложек катализаторов.

Керамические волокна на основе оксида алюминия получили широкое распространение на рынке волокон благодаря разработке золь-гель метода получения высокотемпературной керамики. Данная технология позволила проводить процесс формования волокон при комнатной температуре, что намного упрощает технологический процесс. Золь-гель метод основан на превращении прекурсоров керамических оксидов в кристаллическую структуру при нагреве и включает следующие этапы: приготовление золя на основе водных растворов прекурсоров материала волокна с добавлением органических полимеров, концентрирование золя при умеренных температурах с превращением его в прядомый гель, формование из геля сырых волокон, которые после сушки и обжига освобождаются от органических составляющих и обретают поликристаллическую оксидную структуру. Формование волокон из волокнообразующего раствора осуществляют различными методами, аналогичными методам формования расплавных волокон, – вытягиванием непрерывного сырого волокна из многокапиллярной фильеры или формованием короткого волокна форсуночным или центрифужным способом. На стадии обжига происходит выделение летучих компонентов и в то же время начинается кристаллизация оксида алюминия, в результате чего сырые волокна превращаются в оксидные керамические.

Помимо того, что нет необходимости формировать волокна из расплавов при очень высоких температурах, золь-гель метод позволил получать оксидные волокна с высоким содержанием оксида алюминия, чего ранее добиться было невозможно. Несмотря на то, что данный метод достаточно дорогостоящий и имеет ряд особенностей, при его применении конечный продукт приобретает более высокие свойства.

Золь-гель метод получения керамического волокна на основе оксида алюминия освоен в серийном производстве.

Температура плавления оксида циркония составляет ~2600 °С и существенно превышает температуру плавления оксида алюминия, составляющую ~2000 °С. Это потенциально делает волокно оксида циркония привлекательным армирующим компонентом высокотемпературных теплоизоляционных материалов. Однако интерес к оксиду циркония обусловлен не только его высокотемпературными свойствами (низкой теплопроводностью и высокой температурой плавления), но и высокой химической стойкостью – особенно водо- и щелочестойкостью.

Применение фибробетона на основе оксида циркония в строительстве открывает новые возможности для создания прочных, долговечных и устойчивых конструкций. Этот инновационный материал предлагает ряд преимуществ, которые делают его привлекательным для различных сфер строительной индустрии. Вот некоторые из областей, в которых фибробетон на основе оксида циркония может быть использован:

Строительные конструкции с повышенными требованиями к прочности:

Фибробетон на основе оксида циркония обладает высокой механической прочностью и долговечностью. Поэтому его можно использовать для создания конструкций, которым требуется высокая нагрузочная способность, например, в мостостроении, строительстве высотных зданий и промышленных сооружений.

Коррозионностойкие конструкции

Оксид циркония, основной компонент фибробетона, обладает превосходной химической стойкостью и устойчивостью к коррозии. Поэтому фибробетон на его основе может быть использован для создания конструкций в агрессивных средах, таких как сточные воды, морская вода и химически активные вещества.

Теплоизоляционные системы

Фибробетон на основе оксида циркония обладает хорошей термической стабильностью и способностью сохранять свои свойства при высоких температурах. Это делает его подходящим материалом

для создания теплоизоляционных систем, таких как огнеупорные стены, печи и печные облицовки.



Рис. 3. Фасад здания из фибробетона

Радиационностойкие конструкции

Оксид циркония имеет высокую радиационную стойкость, что делает фибробетон на его основе идеальным выбором для создания конструкций, требующих защиты от радиации. Это может быть важно в ядерной промышленности, медицинской технике и других областях, связанных с источниками радиации.

Архитектурные элементы

Фибробетон на основе оксида циркония может быть использован для создания различных архитектурных элементов, таких как фасады, столбы, плиты и декоративные элементы. Его высокая прочность и возможность формовки в различные геометрические формы позволяют реализовывать сложные дизайнерские задумки.

Заключение

Фибробетон представляет собой перспективный материал современного строительства, обладающий рядом преимуществ перед традиционными материалами. Он находит широкое применение в жилом, промышленном и гражданском строительстве, предлагая прочность, долговечность, устойчивость и гибкость в дизайне. Однако, внедрение фибробетона требует решения вызовов, таких как стоимость, обучение рабочих и соответствие нормативам. Путем тщательного проектирования, обучения и улучшения стандартов можно достичь оптимального использования фибробетона и раскрыть его потенциал в современном строительстве.

Литература

1. *Каблов Е. Н.* Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
2. *Каблов Е. Н.* ВИАМ: материалы нового поколения для ПД-14 // Крылья Родины. 2019. № 7–8. С. 54–58.
3. *Каблов Е. Н.* Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
4. *Бабашов В. Г., Степанова Е. В., Зимичев А. М., Басаргин О. В.* Оксидные непрерывные волокна как компонент гибкой высокотемпературной изоляции // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 04. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 08.07.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-34-43.
5. *Бабашов В. Г., Варрик Н. М., Максимов В. Г., Самородова О. Н.* Изучение структуры и свойств образцов керамического композиционного материала на основе муллита // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 1 (58). С. 54–63. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-54-63.

СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ

УДК 624.131

Александра Викторовна Вагурина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: alexandra.vagurina@yandex.ru

Alexandra Victorovna Vagurina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: alexandra.vagurina@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСКОВ

THE RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF OIL-CONTAMINATED SAND

В современных условиях интенсивного развития нефтяной промышленности все более частыми становятся проливы нефтепродуктов в грунты оснований зданий и сооружений. Инфильтрация нефтепродукта в толщу песчаного грунта приводит к изменению его физико-механических свойств. В рамках статьи произведен обзор отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных изменению гранулометрического состава, угла внутреннего трения и коэффициента фильтрации при загрязнении песка нефтепродуктами. В результате окисления нефтепродукта кислородом происходит агрегирование минеральных частиц с закономерным укрупнением фракции песка. Под действием от сооружения нагрузкой нефтепродукт вытесняет поровую жидкость, вследствие чего снижаются пористость и коэффициент фильтрации. Рост содержания нефтепродукта в составе грунта значительно снижает угол внутреннего трения.

Ключевые слова: песок, нефть, загрязнение, инфильтрация, гранулометрический состав, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения.

Leakages of petroleum products into the ground are becoming common in case of modern conditions of intensive development of the oil industry. Infiltration of petroleum products into the sandy soil leads to a change of its physical and mechanical properties. Within the frames of the article there is a review of native and foreign literature sources concerning the change of granular composition, internal friction angle and soil permeability during the sand contamination with oil products. As a result of oil product oxidation by oxygen an aggregation process happens to grains. As a result resultant the sand fraction is coarsening. Under the load acting from the

building oil product displaces pore water that results in lower porosity and filtration coefficient. The increase of petroleum product content in the of the soil significantly reduces the angle of internal friction.

Keywords: sand, oil, contamination, infiltration, granular composition, soil permeability, internal friction angle.

Проблема загрязнения подземного пространства нефтепродуктами в промышленных и городских регионах стоит достаточно остро в связи с ростом добычи, а также объемов переработки и транспортировки энергоносителей, а также их широким использованием во многих технологических циклах промышленных предприятий.

Проливы нефти и нефтепродуктов на земную поверхность приводят не только к изменению экологической среды, но и к изменению напряженно-деформированного состояния, состава и физико-механических свойств грунтов, а также к полному или частичному замещению поровой жидкости и интенсификации природно-техногенных процессов, то есть инфильтрации (движение жидкости происходит за счет сил механической природы) и аккумуляции нефтепродукта в грунтовой толще. Инфильтрация нефтепродуктов в грунтовое основание потенциально может стать причиной развития его дополнительных деформаций и снижения несущей способности вплоть до перехода зданий и сооружений в предаварийное, и без своевременно принятых мероприятий – в аварийное состояние.

Инфильтрация нефтепродуктов в грунт может привести к изменению фильтрационных характеристик, что потенциально может привести к явлению кольятации, переходу песков в состояние плывунов, а также развитию оползневых процессов.

В частности, стоит отметить, что нефть является органическим веществом, контакт которого с грунтом приводит к активизации жизнедеятельности биоты, что, как правило, негативно сказывается на прочности грунта.

Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ на 2015 год, доля углеводородного загрязнения грунтовой толщи составляет 5,1 млн т, в то время как общее количество загрязняющего вещества составляет 3 млрд [6], [23]. Такое количество нефтепродуктов связано с утечками при добыче, переработке

и транспортировке энергоносителей, а также с их широким использованием во многих технологических циклах промышленных предприятий, работающих на жидком топливе (ТЭЦ и др.), с функционированием автозаправочных станций, резервуарных парков, складов горючих материалов, стоянок автомашин и т. д. [2], [4], [6].

Поступление нефтепродуктов в подземное пространство происходит за счет дефектов и нарушения герметичности технологического оборудования, а также аварийных разливов жидких углеводородов [4]. Причиной утечек могут являться коррозия транспортирующих нефть трубопроводов, а также человеческие ошибки в процессе переработки [9].

Распространенными источниками загрязнения грунтовой толщи и подземных вод являются сточные и ливневые воды автозаправочных станций, авторемонтных мастерских и автомоечных площадок. Месячные потери нефтепродуктов на автозаправочных станциях могут варьировать от 0,1 до 8,4 т в зависимости от емкости резервуаров, числа сливно-наливных операций и времени года. В ряде случаев суммарные потери нефтепродуктов составляют 1–2 % от общего объема реализации [4], [5].

Функционирование резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов во всех случаях сопровождается загрязнением грунтов основания и подземных вод нефтепродуктами [6]. Основными причинами загрязнения грунтовой толщи являются утечки нефтяных углеводородов, возникающие в результате коррозии металла днища и стенок резервуаров, а также изменения НДС металлических конструкций при развитии неравномерных осадок грунтов основания. Общие потери от утечек могут достигать 2,5 т в год. [6].

Таким образом, объем поступающих в грунтовой массив нефтесодержащих загрязнителей в современных условиях достаточно велик, чтобы учитываться при проектировании основания под будущее сооружение, а именно при выборе технологии производства работ по устройству подземной части, выбор типа и глубины заложения фундаментов в виду ухудшения физико-механических свойств грунта.

В настоящее время вопрос влияния загрязнения грунтового основания нефтепродуктами на физико-механические характеристики грунтов в практике инженерно-геологических исследований находится на начальном этапе. Невелико количество работ, посвященных изучению вопроса негативного влияния нефтепродуктов на физико-механические свойства песчаного грунта для дальнейшего прогнозирования длительной устойчивости сооружений, в том числе оценки устойчивости на заданный период времени и развития деформаций во времени. В данной статье рассмотрены некоторые работы отечественных [1–8, 11, 12, 21, 22] и зарубежных авторов [9, 10, 13–20].

Далее будет рассмотрен характер изменения физико-механических характеристик (гранулометрический состав, угол внутреннего трения, коэффициент фильтрации) песчаного грунта на примере исследований, проведенных отечественными и зарубежными авторами.

Гранулометрический состав

Согласно исследованиям [2], [3], [5], [11], [16], [21], в процессе инфильтрации нефтепродукта в толщу грунта в первую очередь меняется его гранулометрический состав, что приводит к значительным изменениям коэффициента фильтрации, зацепления песчаных частиц и, как следствие, изменению сопротивления песчаного грунта сдвигу.

Тем не менее, отечественные и зарубежные авторы не пришли к единому мнению касательно характера изменения гранулометрического состава. В соответствии с исследованиями Аль-Адили [16], с увеличением содержания нефтепродукта, пески переходят в состояние более мелких фракций (рис. 1). В то же время, согласно исследованиям Ланге И. Ю. [11], увеличение содержания солярового масла приводит к переходу песков в более крупные разности, при этом коэффициент неоднородности песков остается практически неизменным, что говорит о сохранении степени однородности песка (рис. 2).

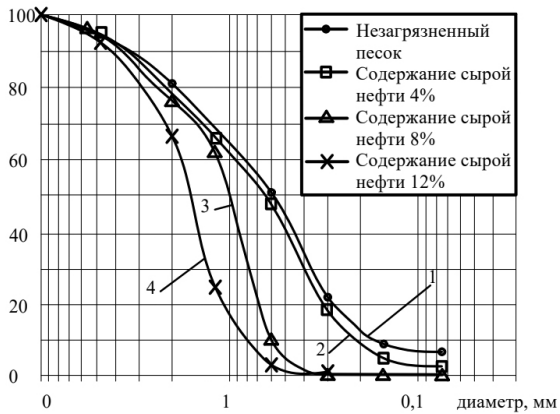


Рис. 1. Кривая гранулометрического состава песчаного грунта в зависимости от процентного содержания нефтепродукта [16]

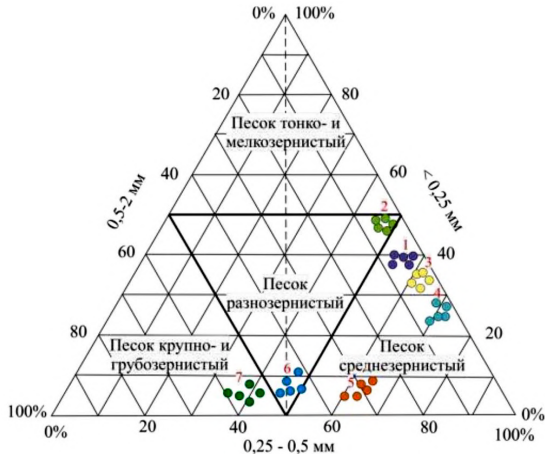


Рис. 2. Изменение гранулометрического состава воздушно-сухих песков в зависимости от содержания НУ (солярового масла): 1 – исходный песок; 2 – песок с содержанием торфа; 3 – песок с содержанием НУ 20 мг/дм^3 ; 4 – песок с содержанием НУ 40 мг/дм^3 ; 5 – песок с содержанием НУ 60 мг/дм^3 ; 6 – песок с содержанием НУ 80 мг/дм^3 ; 7 – песок с содержанием НУ 100 мг/дм^3 [11]

Коэффициент фильтрации

Гранулометрический состав песка влияет на степень его водопроницаемости: она возрастает с увеличением крупности и однородности песчаного грунта. При резко неоднородном составе песка поры, образуемые более грубыми частицами, могут частично заполняться более мелкими фракциями, что может привести к коагуляции, вследствие чего уменьшается пористость и снижается водопроницаемость грунта.

В песках средней крупности, мелких и пылеватых над уровнем подземных вод может содержаться капиллярная вода. Поры в песчаных грунтах объединяются в сложную систему капиллярных каналов. От степени шероховатости стенок и размеров канала, по которому движется вода, зависит сопротивление продвижению воды через грунт, как следствие, и коэффициент фильтрации. С уменьшением поперечного сечения канала сопротивление течению воды по ней резко возрастает. При разливе сырой нефти жидкие углеводороды проникают в грунтовые воды, вызывая частичную инфильтрацию нефти в песчаном грунте. Как только нефтепродукт достигает уровня грунтовых вод, он распространяется горизонтально в пределах капиллярной зоны и дополнительно насыщает песок [9].

При техногенном загрязнении грунтов нефтепродуктами происходит частичная инфильтрация углеводородов и их сорбция породой, в результате чего могут измениться фильтрационные свойства грунтов. Коэффициент фильтрации зависит от гранулометрического и минералогического состава грунта, его структуры и текстуры, формы порового пространства и плотности грунта, а также от температуры и, как следствие, вязкости фильтрующей жидкости (рис. 3). Фильтрационные свойства нефтепродуктов в грунтах, как и в случае с водой, зависят от плотности, вязкости, температуры, растворимости в воде и сорбции в породе [7]. Большое влияние на сорбционную способность грунтов оказывает их влажность. При повышении степени водонасыщения грунтов их способность к сорбции НУ снижается [11].

Чем более вязкой является жидкость, тем большее сопротивление стенки каналов оказывают движению воды по порам и тем меньшее значение имеет коэффициент фильтрации. Нефтезагрязненный песок

в случае эмульгирования нефти в воде можно рассматривать как трехфазную систему. Однако, нефтезагрязненный песчаный грунт можно принять и как четырехфазную систему, где в качестве четвертой фазы выступит несмешиваемая с водой вследствие различия в значении плотностей нефть.

Проникновение нефтесодержащего загрязнителя в водонасыщенный песчаный грунт приводит к снижению водопроницаемости, по сравнению с первоначальным значением [2]. Экспериментально подтверждено [7], что коэффициенты фильтрации воды в случае загрязнения песка мазутом и дизельным топливом оказываются почти на порядок ниже, чем в отсутствие загрязнения [7].

Уменьшение коэффициента фильтрации происходит за счет образования нефтяных пленок, препятствующих продвижению фильтрационного потока воды [7]. Механизм их образования может быть представлен следующими стадиями:

1. Загрязнение нефтепродуктами песка в сухом состоянии;
2. Поровое пространство (большая его часть) занято нефтяным углеводородом;
3. Насыщение водой нефтезагрязненного песка;
4. Вытеснение части нефтепродукта из крупных пор песка водой;
5. Образование нефтяных пленок вокруг заполняющих узкие поры частиц.

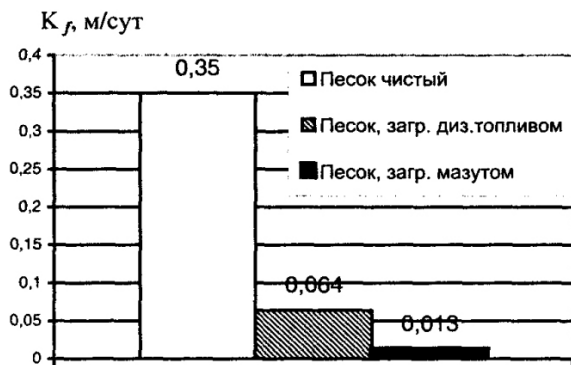


Рис. 3. Коэффициент фильтрации воды в чистом и загрязненном песке [7]

Зависимость глубины проникновения нефтепродуктов от времени имеет асимптотический вид и может быть описана простой экспоненциальной формулой (1) [8]:

$$d = d_{as} [1 - \exp(-r_0 t)] \quad (1)$$

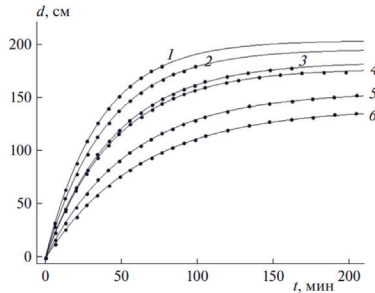


Рис. 4. Зависимости глубины d проникновения ННП от времени t в песке мелкозернистом. Испытаны следующие ННП: 1 – бензин АИ-92 зимний; 2 – керосин; 3 – дизельное топливо зимнее; 4 – дизельное топливо летнее; 5 – нефть легкая; 6 – нефть тяжелая [8]

В рамках исследования [22] также было экспериментально подтверждено, что с увеличением времени нефтяного воздействия на грунт скорости фильтрации загрязнителя (моторного масла) закономерно уменьшаются (рис. 5).

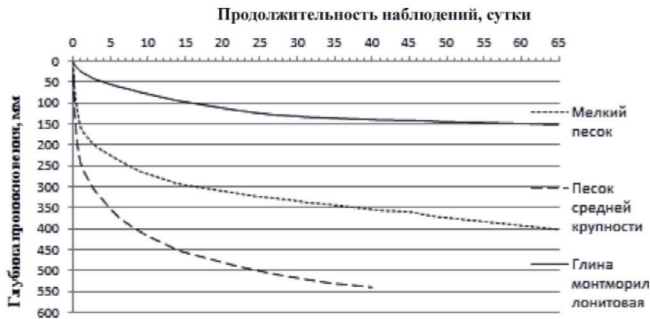


Рис. 5. Изменение глубины проникновения масла в песок во времени [22]

Глубина проникновения нефтепродукта в грунт зависит от коэффициента фильтрации. Зависимость представлена в виде графика (рис. 6). Поскольку величины коэффициентов фильтрации варьируются в очень широком диапазоне (10^{-4} – 10^{-11} м/с), для удобства при построении графика в качестве аргумента вместо этого коэффициента использовался его десятичный логарифм [8].

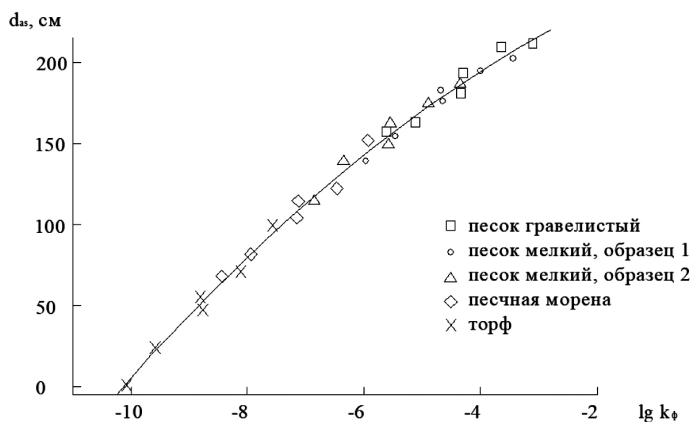


Рис. 6. Зависимость предельной глубины $d_{ас}$ просачивания нефтепродуктов в грунт от логарифмов коэффициентов фильтрации [8]

Количество сорбированных нефтяных углеводородов в единице объема грунта зависит от общего объема капилляров, т. е. от гранулометрического состава и влажности [21]. Скорость фильтрации углеводородов в песках средней крупности выше, чем у песков мелких [22], [11]. В то же время, согласно [11], изменение дисперсности грунтов при переходе от крупного песка к глинам приводит к увеличению сорбционной способности. Таким образом, коэффициент фильтрации нефтезагрязненного песчаного грунта тем меньше, чем меньше диаметры его частиц.

Угол внутреннего трения

Многочисленными авторами были проведены исследования зависимости угла внутреннего трения нефтезагрязненного песка от

концентрации нефтепродукта, результаты которых приведены в таблице. Соппротивление песчаного грунта сдвигу обусловлено в первую очередь трением между частицами при взаимном их смещении.

Результаты исследований отечественными и зарубежными авторами зависимости угла внутреннего трения нефтезагрязненного песка от содержания нефтепродукта

Исследователи	Проводившееся испытание	Фракция исследуемого песка	Загрязнитель	ϕ
Эвджин, Дас [9]	Трехосные испытания	Фракция не названа, указано, что песок кварцевый	Моторное масло	Значительно понижился
Хамехчиан [9]	Вид испытания в источнике не указан	Мелкий	Нефть	Повысился
Арашк Сабципур Хафшеджани, Альборз Хаджианни [9]	Вид испытания в источнике не указан	Пылеватый	Нефть	Понижился с повышением содержания нефти
Хашим Мохаммед Альхассан [14]	Трехосные испытания	Пылеватый	Моторное масло, сырая нефть	Повысился с повышением содержания нефтепродукта
Вайджэй, Сэнджэй [14]	Вид испытания в источнике не указан	Фракция не указана	Нефть	Понижился с повышением содержания нефти

Продолжение таблицы

Исследователи	Проводившееся испытание	Фракция исследуемого песка	Загрязнитель	φ
Аль-Санад, Эйд, Исмаэль [17]	Трехосные испытания	Мелкий	Сырая нефть	Снижение угла внутреннего трения пренебрежимо мало (составило 2 градуса)
	Сдвиг			Снижение угла внутреннего трения пренебрежимо мало (составило 5–7 градусов)
Чу, Ли [19]	Вид испытания в источнике не указан	Пылеватый	Биодизель	Понизился с повышением содержания нефтепродукта
Аль-Адили Акиль, Йали Кавтар, Шакирали [16]	Сдвиг	Мелкий	Сырая нефть	Понизился с повышением содержания нефти
Ядзинская [12]	Сдвиг	Мелкий	Дизельное топливо	Понизился с повышением содержания дизельного топлива
		Средний		Понизился с повышением содержания дизельного топлива

Продолжение таблицы

Исследова- тели	Проводив- шееся испытание	Фракция исследуемого песка	Загрязни- тель	φ
Ядзинская [12]	Сдвиг	Крупный	Дизельное топливо	Понизился с повышением содержания дизельного топлива
		Мелкий	Масло мо- торное	Понизился с повышением содержания мо- торного масла
		Средний		Увеличился с повышением содержания мо- торного масла
		Крупный		Увеличился с повышением содержания мо- торного масла
		Мелкий	Трансмис- сионное масло	Понизился с повышением содержания трансмиссион- ного масла
		Средний		Увеличился с повышением содержания трансмиссион- ного масла
		Крупный		Увеличился с повышением содержания трансмиссион- ного масла

Окончание таблицы

Исследователи	Проводившееся испытание	Фракция исследуемого песка	Загрязнитель	ϕ
Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. [2]	Вид испытания в источнике не указан	Средней крупности	Соляровое масло	Понизился с повышением содержания нефтепродукта
Амирхосейн Мохаммади, Таджи Эбади	Сдвиг	Крупный	Сырая нефть	Понизился с повышением содержания нефти
Рашид З. Н., Ахмед А. Р. [13]	Сдвиг	Крупный	Керосин, Дизельное топливо	Понизился с повышением содержания нефтепродукта

Угол внутреннего трения повышается с увеличением содержания в грунте крупных включений, уменьшением окатаности слагающих породу зерен и увеличением его плотности. Поверхность частиц сыпучих пород обладает той или иной шероховатостью. При соприкосновении и прижатии одной частицы к другой, происходящем при воздействии на грунт сжимающих нормальных напряжений, между частицами возникают силы трения, проявляющиеся при взаимном их смещении.

Инфильтрация нефтепродукта в грунтовую толщу приводит к полному или частичному замещению поровой жидкости, вследствие чего песчаные частицы окутывают маслянистые оболочки (рис. 7), играющие роль смазки и приводящие к снижению значения угла внутреннего трения (рис. 8).

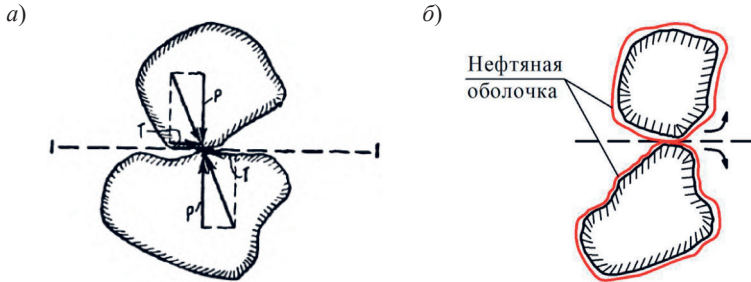


Рис. 7. Усилия в точке взаимного касания зерен сыпучего грунта:
 а – незагрязненного; б – нефтезагрязненного

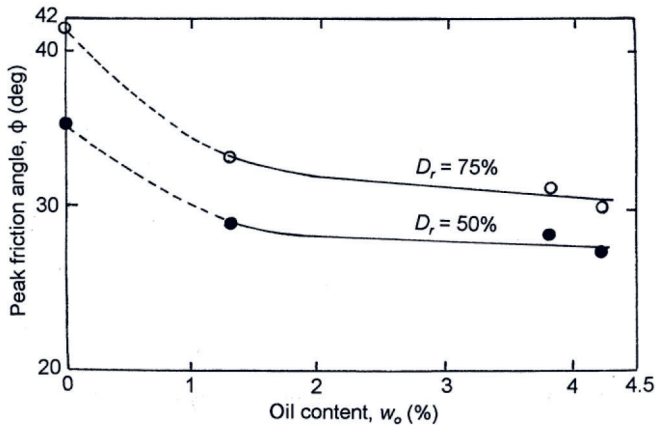


Рис. 8. График зависимости угла внутреннего трения от процентного содержания нефтепродукта в составе песчаного грунта при D_r , равном 0,75 и 0,5

Выводы:

1. Наступающее вслед за попаданием нефтепродукта в грунт окисление нефти кислородом приводит к сорбции нефти на минеральных частицах, в результате чего меняется гранулометрический состав грунта: происходит расщепление частиц с последующим их слипанием в процессе агрегирования, как итог, – фракция песка становится более крупной.

2. При загрязнении грунтов нефтепродуктами происходит инфильтрация нефтепродуктов и их сорбция породой, в результате чего могут измениться фильтрационные свойства грунтов. Миграция нефтепродуктов в грунтах зависит от плотности, температуры, растворимости в воде и сорбции в породе. Под действующей от сооружения нагрузкой нефтепродукт будет вытеснять поровую жидкость, вследствие чего снизится пористость и коэффициент фильтрации.

3. Анализ литературных источников показал, что рост концентрации нефтепродукта в составе грунта приводит к значительному снижению угла внутреннего трения – около 10 градусов, в зависимости от крупности песка и вида загрязнителя.

Литература

1. Селуянов А. А., Чернова К. В., Шутов Н. В. Анализ источников попадания нефти в гидросферу Земли, ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет // Нефтегазовое дело. 2011, том 9, № 3.
2. Дашко Р. Э. Инженерно-геологические аспекты негативных последствий контаминации дисперсных грунтов нефтепродуктами / Р. Э. Дашко, И. Ю. Ланге // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 624–630. DOI: 10.25515/PMI.2017/
3. Дашко Р. Э., Земсков А. И. Особенности инженерно-геологического анализа строительства и эксплуатации высотных зданий с учетом контаминации подземной среды и воздействия напорных вод // Геотехника № 4. 2017.
4. Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. Негативные последствия контаминации подземной среды нефтяными углеводородами: преобразование грунтов и конструкционных материалов // Жилищное строительство. 2014. УДК 624.131.1.
5. Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. Влияние загрязнения нефтепродуктами и их деградации в подземной среде на геотехнические параметры песчано-глинистых грунтов // International Journal Geotechnics № 5–6. 2013.
6. Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. Геотехнический анализ длительной устойчивости нефтяных резервуаров на водонасыщенных песчано-глинистых грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 3. С. 48–54.
7. Кравцова О. Н., Малышев А. В. Влияние загрязнения нефтепродуктами на количество незамерзшей воды и фильтрационные свойства грунтов // Наука и образование, 2005, № 1.
8. Кумпаненко И. В., Иванова Н. А. Исследование просачивания в грунт нефти и нефтепродуктов при разливах // Химическая физика, 2021, том 40, № 1.
9. Rajab M. Abousnina, Allan Manalo «An overview on oil contaminated sand and its engineering applications» // International Journal of GEOMATE, Feb., 2016, Vol. 10, № 1 (Sl. № 19), pp. 1615–1622 Geotech., Const. Mat. and Env., ISSN: 2186-2982(P), 2186-2990(O), Japan.

10. *Dr. Solly George*. Aswathy EA Study on geotechnical properties of diesel oil contaminated soil // International Journal of Civil and Structural Engineering Research ISSN 2348-7607, Vol. 2, Issue 2, pp: (113-117), October 2014 – March 2015.

11. *Ланге И. Ю.* Инженерно-геологический анализ и оценка изменения несущей способности дисперсных грунтов при их контаминации нефтепродуктами // Дисс... канд. техн. наук: 25.00.08. – СПбУ, 2016 – с. 234.

12. *Ядзинская М. Р.* Прогноз изменения прочностных свойств дисперсных грунтов, загрязненных углеводородами : дисс... канд. техн. наук: 25.00.08. – 2016, – с. 211.

13. *Rasheed Z. N., Ahmed F. R. & Jassim H. M.* Geotechnical Engineering Department, Faculty of Engineering, Koya University, Iraq Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Koya University, Iraq Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil. «Energy and Sustainability V». 2016.

14. *Hashim Mohammed Alhassan, Sabiu Abdullahi Fagge.* Effects of Crude Oil, Low Point Pour Fuel Oil and Vacuum Gas Oil Contamination on the Geotechnical Properties Sand, Clay and Laterite Soils.

15. *Johnson R.* OLUREMI and Olukorede M. OSUOLALE Oil Contaminated Soil as Potential Applicable Material in Civil Engineering Construction 1, 2 Civil Engineering Department, Ladoke Akintola University of Technology, P. M. B. 4000, Ogbomoso. Nigeria.

16. *Аль-Адили Акиль, Йали Кавтар, Шакур Али.* Исследование влияния загрязнения нефтью песчаного и гипсосодержащего грунтов на прочность // ОФМГ, № 4–217. – С. 30–35.

17. *Al-Sanad H. A., Eid W. K, Ismael N. F.* Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand. J Geotech Eng. ASCE № 121 (5), 1995: p. 407–412.

18. *Mohammad Kermani, Taghi Ebadi.* The Effect of Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Fine-Grained Soils, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 21:5, 2012, p. 655–671, DOI: 10.1080/15320383.2012.672486.

19. *Safia M. Khodary I, Abdelazim M. Negm, Ahmed Tawfik.* Geotechnical properties of the soils contaminated with oils, landfill leachate, and fertilizers.

20. *Shin E. C., Lee J. B., Das B. M.* Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand // geotechnical and geological engineering, Vol. 17, 1999. p. 123–132.

21. *Бракоренко Н. Н., Емельянова Т. Я.* Влияние нефтепродуктов на петрографический состав и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов (на примере г. Томска) // Вестник ТГУ. – 2011. – № 342, С. 197–200.

22. *Красильников П. А., Середин В. В., Леонович М. Ф.* Исследование распределения углеводородов по разрезу грунтового массива. FUNDAMENTAL RESEARCH № 2, 2015.

23. *Квашук А. В.* Влияние загрязнения песчаного грунта нефтепродуктами на его физические свойства / А. В. Квашук // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 1(96). – С. 57–66. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-57-66. – EDN EGNVSV.

УДК 624.159.4

Филипп Николаевич Калач,

ассистент

Тихон Эдуардович Марихин,

студент

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: fkalach@yandex.ru,

marixin-tixon@mail.ru

Filipp Nikolaevich Kalach,

assistant lecturer

Tikhon Eduardovich Marikhin,

student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: fkalach@yandex.ru,

marixin-tixon@mail.ru

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ВЯЖУЩИХ
НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА
В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСКАХ**

**LABORATORY STUDIES OF THE PENETRATION
ABILITY OF FINE BINDERS BASED ON PORTLAND
CEMENT IN WATER-SATURATED SANDS**

В практике современного строительства существует необходимость в оценке возможности использования технологии нагнетания инъекционных растворов в грунты в режиме пропитки для целей стабилизации основания существующей застройки, окружающей строительную площадку. Для применения данных технологий необходимо определить параметры суспензии, при которых будет осуществляться пропитка грунта, а также физико-механические характеристики стабилизированного массива грунта для использования их в геотехнических расчетах. Для решения указанной проблемы проведена серия лабораторных исследований на опытной установке линейного типа. В данной статье приведено описание лабораторной установки, методика проведения эксперимента и его результаты.

Ключевые слова: микроцемент, лабораторные исследования, пропитка грунта.

In the practice of modern construction there is a need to assess the possibility of using the technology of injection mortars injection into soils in the regime of impregnation for the purposes of stabilization of the base of the existing development surrounding the construction site. For the use of these technologies it is necessary to determine the parameters of the suspension at which the impregnation of the ground

will be carried out and the physical and mechanical characteristics of the stabilized mass of the ground to use them in geotechnical calculations. In order to solve the above problem, a series of laboratory studies on a pilot plant of the linear type were carried out. In this article, a description of the laboratory setup, the methodology of the experiment and its results are given.

Keywords: microcement, laboratory tests, soil impregnation.

Предпосылкой для исследования проникающей способности тонкодисперсных вяжущих на основе портландцемента (далее микроцемент) в водонасыщенных песках была низкая изученность данной темы в условиях распространенности водонасыщенных песков в г. Санкт-Петербурге и необходимости их стабилизации при внешнем техногенном воздействии. Гипотеза исследования предполагала возможность закрепления пылеватых песков с помощью современных суспензий на основе микроцементов. Для исследования была поставлена задача по определению параметров процесса фильтрации, таких как водо-цементное отношение (далее В/Ц), давление пропитки и расход суспензии. В рамках исследования определялись прочностные и деформационные характеристики исходного и закрепленного грунтов с различным временем выдержки для последующего определения кинетики изменения характеристик во времени после закрепления.

Исследование базируется на ранних исследованиях в этой области [1,2,3] разработанной на кафедре геотехники СПбГАСУ методике лабораторного закрепления образцов грунта посредством их пропитки различными суспензиями. Данная методика совмещает отдельные этапы подготовки грунта: приготовления суспензии, пропитка на опытной установке, хранения, выдержки и испытания образцов в приборе трехосного сжатия.

1. Используемое оборудование и материалы

В качестве пропитываемого грунта использовался пылеватый песок. Для приготовления суспензии использовался микроцемент с характерными диаметрами $d_{98} = 9$ мкм, $d_{95} = 6$ мкм, $d_{50} = 2,5$ мкм. Гранулометрические кривые песка и цемента представлены на рисунке 1.

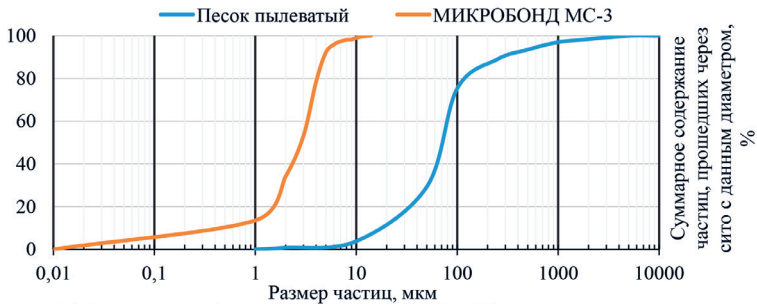


Рис. 1. Гранулометрические кривые пропитываемого грунта и цемента

Данное исследование требовало приготовления суспензий порциями до 2 литров, что делает нерациональным использование промышленных смесителей, поэтому приготовление суспензии производилось в смесительной установке для малых объемов собственной разработки (рис. 2), выполненной с учетом рекомендаций производителя микроцемента и СТО 17466563-001-2011.



Рис. 2. Смесительная установка для приготовления суспензии

Пропитка грунта производилась на опытной установке, выполненной по принципу одномерной линейной фильтрации. Схема установки приведена на рис. 3.

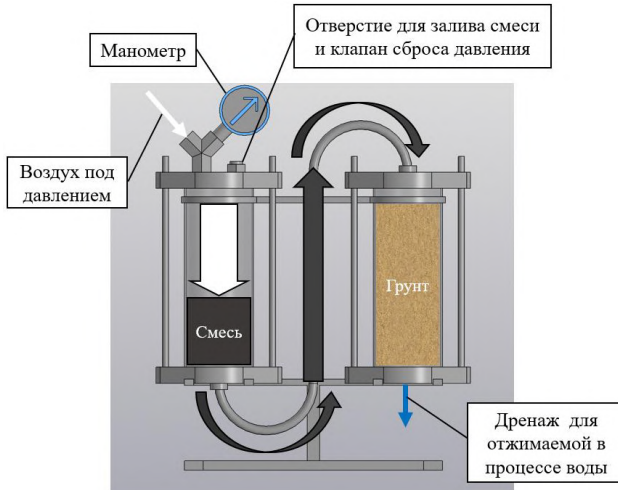


Рис. 3. Установка пропитки грунта

Установка состоит из двух емкостей объемом 2,8 л каждая, с кранами в торцах и соединенных трубкой. Белыми стрелками на рисунке показано движение воздуха под давлением, которое он передает на смесь. Смесь движется по трубкам в направлении серых стрелок к емкости с грунтом. Также в конструкции установки предусмотрен манометр для измерения давления нагнетания и дренаж для оттока и дальнейшего замера объема отжатой воды в процессе эксперимента (показано синей стрелкой).

Особенностью работы с суспензиями на основе микроцемента является необходимость постоянного ее перемешивания для исключения седиментации. Для решения данной задачи в емкости для смеси (суспензии) встроен низкооборотный миксер.

2. Подготовка к опыту

В рамках настоящих исследований принят грунт, который классифицируется как **песок пылеватый неоднородный водонасыщенный плотного сложения**. У рассматриваемого грунта определялись гранулометрический состав и физическо-механические

свойства, которые использовались в качестве референтных значений. Для укладки в максимально плотное состояние Дополнительно определялась оптимальная влажность при максимальной плотности. После грунт доводился до оптимальной влажности и укладывался в емкость с трамбованием. При максимальной плотности грунт водонасыщался, и в этом состоянии определялась исходная влажность.

Механические параметры определялись в приборе трехосного сжатия с предварительным трамбованием и водонасыщением. Контрольными физическими характеристиками является влажность (W), механическими – общий модуль деформации E .

Грунт послойно укладывался в специальную емкость (правая на рис. 3) установки до достижения максимальной плотности при оптимальной влажности. Суспензия с В/Ц = 3 по массе формировалась непосредственно перед пропиткой со скоростью не менее 3000 об/мин в течение 5 минут. После этого раствор помещался в специальную емкость (левая на рис. 3) установки, открывались все краны и начиналась пропитка образца.

3. Ход опыта

Через вентиль на компрессоре плавно фиксировалось давление в 0,05 МПа. с контролем отжима воды через дренаж. В случае прекращения тока воды давление плавно повышалось до восстановления тока. Опыт останавливался при полной пропитке образца грунта, которая фиксировалась при появлении тока суспензии через дренаж, или при достижении давления в 0,3 МПа.

По окончании фиксировалось максимальное достигнутое давление, объем отжатой воды и продолжительность пропитки.

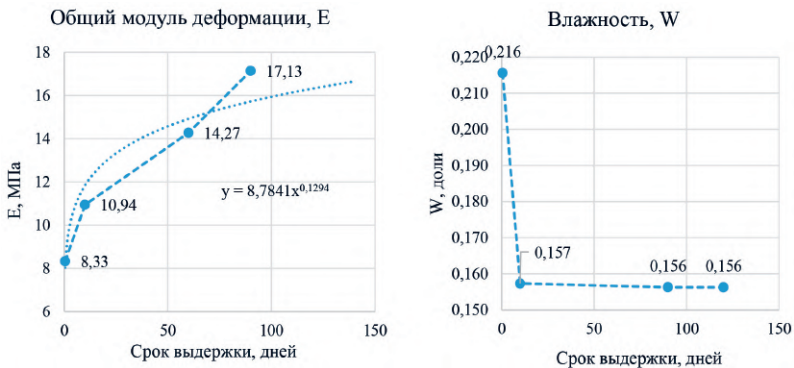
Специально изготовленными пластиковыми гильзами, основной особенностью и преимуществом которых является сохранение плотности сложения образцов, из емкости с грунтом вырезались образцы стандартного для прибора трехосного сжатия размера. После испытания образцы выдерживались во влажной среде с температурой +4 С°. Испытания закрепленных образцов производились через 10, 60 и 90 суток с момента пропитки. Для образцов определялись значения контролируемых параметров.

4. Результаты

По проведенным испытаниям и последующей статистической обработке их результатов были определены приращения значений контролируемых параметров. Зафиксированные по результатам серии лабораторных исследований значения физико-механических характеристик представлены в таблице и графически интерпретированы на рис. 4. На графике также приведены аппроксимации полученных значений и логарифмический прогноз до 130 дней.

Значения контрольных параметров

	E , МПа	W , доли
Исходный грунт	8,33	0,216
10 дней	10,94	0,157
60 дней	14,27	0,156
90 дней	17,13	0,156



Так, между контрольными сроками от 0 до 10, от 10 до 60 и от 60 до 90 дней приращение модуля общей деформации E составило 31,3 %, 30,4 % и 20 %; соответственно. Влажность снизилась

непосредственно после пропитки на 27,3 % и оставалась неизменной впоследствии.

5. Выводы

В процессе работ было подобрано оптимальное водоцементное соотношение суспензии В/Ц = 3.

В процессе апробирования лабораторной установки была экспериментально подтверждена возможность закрепления пылеватых песков с применением тонкодисперсных микроцементов. В частности, было установлено приращение модуля общей деформации E 31,3 %, 30,4 % 20 % между контрольными сроками от 0 до 10, от 10 до 60 и от 60 до 90 дней.

Влажность снизилась непосредственно после пропитки на 27,3% и оставалась неизменной впоследствии.

Литература

1. *Ибрагимов М. Н., Семкин В. В., Шапошников А. В.* Некоторые проблемы закрепления грунтов растворами из микроцементов // *Academia. Архитектура и строительство.* – 2016. – № 4. – С. 114–120.
2. Методы подготовки и устройства искусственных оснований / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов, С. В. Ланько, В. В. Конюшков. – СПб., 2013. – 266 с.
3. *Mollamahmutoglu, Murat & Avcı, Eyubhan.* (2015). Effectiveness of Microfine Portland Cement Grouting on the Strength and Permeability of Medium to Fine Sands. *Periodica Polytechnica Civil Engineering.* 59. 10.3311/PPci.7674.

УДК 624.131.537

Илья Сергеевич Колюкаев,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ilja.xd@yandex.ru

Ilya Sergeevich Kolyukaev,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: ilja.xd@yandex.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

SOLUTION OF THE PROBLEM OF SLOPE STABILITY BY THE NUMERICAL METHOD

В статье представлен алгоритм определения устойчивости склона на основе метода конечных элементов с применением метода понижения прочностных характеристик грунта. Рассмотрена реализация идеальной упругопластической модели грунта в напряженной постановке и определение ее напряженно-деформированного состояния методом начальных напряжений. Рассмотрены критерии контроля сходимости расчета напряженно-деформируемого состояния пластической модели грунта. Представлена авторская методика определения коэффициента запаса устойчивости и формы поверхности скольжения. Проведены сопоставительные расчеты устойчивости склона по реализованному алгоритму в Python с программным комплексом Plaxis 2D на склонах различной крутизны и в различных грунтовых условиях.

Ключевые слова: метод конечных элементов, устойчивость склона, метод начальных напряжений, поверхность скольжения, метод снижения прочностных характеристик.

The article presents an algorithm for determining slope stability based on the finite element method using the method of reducing the strength characteristics of the soil. The realization of an ideal elastic-plastic model of soil in a stressed formulation and the determination of its stress-strain state by the method of initial stresses are considered. The criteria for controlling the convergence of the calculation of the stress-strain state of the plastic model of the soil are considered. The author's method of determining the coefficient of stability margin and the shape of the sliding surface is presented. Comparative calculations of slope stability were carried out using the implemented algorithm in Python with the Plaxis 2D software package on slopes of various steepness and in various ground conditions.

Keywords: finite element method, slope stability, initial stress method, sliding surface, strength reduction method.

Введение

Начиная с первой половины двадцатого века многими деятелями науки были предложены различные методики расчета устойчивости склонов, которые имели два характерных направления, а именно строгой и упрощенной теории предельного равновесия [2]. Направление упрощенной теории предельного равновесия было основано на аналитических методах расчета с учетом ряда допущений в виде недеформируемого сползающего тела и заранее определенной формы поверхности скольжения, являющейся исходными данными расчета. Направление строгой теории предельного равновесия основывалась на дифференциальных уравнениях и решалось уже численно, с помощью метода конечных разностей. Хотя в данном методе поверхность скольжения уже не являлась исходными данными, а результатом расчета, тем не менее, данный метод предполагал, что весь массив грунта находится в предельном состоянии, что не совпадает с действительностью. Впоследствии, с развитием ЭВМ и расширением области применения метода конечных элементов (далее МКЭ), последний стал чаще использоваться в инженерной практике. Основной особенностью МКЭ стала возможность применения различных пластических моделей и определения НДС как упругих зон, так и зон предельного равновесия в рамках одной расчетной схемы. Данная особенность позволила отслеживать рост пластических зон с повышением нагрузки и определять области потери устойчивости в массиве грунта по результату расчета. Так, на основе МКЭ с использованием идеальной упругопластической модели грунта О. Зинкевичем был применен расчет устойчивости склонов по методу понижения прочностных характеристик [6, 8]. Данный метод используется в современных геотехнических программах, решающих задачи на базе МКЭ, таких как Plaxis, MIDAS GTS и др. Тем не менее, в виду закрытого кода коммерческих программ, до конца не известен алгоритм формирования поверхности скольжения и корректировка шага изменения прочностных характеристик для определения коэффициента запаса устойчивости. Автором статьи предложен алгоритм расчета устойчивости склона на основе метода понижения прочностных характеристик, включающий в себя опре-

деление поверхности скольжения и корректировку шага изменения прочностных характеристик грунта. Предложенный алгоритм реализован на языке программирования Python [13] с использованием библиотек «Numpy» [14] и «Matplotlib» [15], и применен в расчетах устойчивости при различной крутизне склона и различных характеристиках грунтов. Результаты расчета устойчивости склона по полученному алгоритму сопоставлены с расчетами, выполненными в программном комплексе Plaxis 2D.

Метод

В основе расчета устойчивости склона методом понижения прочностных характеристик заложен МКЭ. Суть МКЭ состоит в дискретизации расчетной области на конечные элементы, связанные в узлах, с последующим определением в них значений искомого параметра. При определении напряженно-деформируемого состояния грунта искомыми параметрами являются осевые перемещения U_x и U_y . Данные перемещения представлены в виде поверхностей, меняющих свою форму вдоль третьей оси, перпендикулярной расчетной плоскости XOY [1,4] и графически выводятся в виде изополей.

Основное уравнение МКЭ может быть представлено в виде:

$$\{U\} = [K]^{-1} \{R\} \quad (1)$$

где $\{U\}$ – вектор значений искомого параметра осевых перемещений, содержащий в себе U_x и U_y ; $[K]$ – матрица жесткости, содержащая в себе деформационные свойства материала; $\{R\}$ – вектор правой части, содержащий в себе все нагрузки, приложенные к расчетной схеме.

Одним из ключевых компонентов расчета устойчивости склона численным методом является определение НДС идеальной упруго-пластической модели грунта, которая наиболее подробно описана в работах А. Б. Фадеева [1]. Данная модель является самой простой пластической моделью и содержит в себе основные прочностные характеристики, необходимые для расчета устойчивости – сцепление « c » и угол внутреннего трения « ϕ » [10, 11]. На рисунке 1, данная модель представлена в осях главных напряжений [1]. В общем

случае, в рамках представленной модели, грунт может находиться в пяти напряженных состояниях, представленных в виде отдельных зон. При выходе точки напряжений за границы упругой зоны I происходит перераспределение этих самых напряжений на заданные предельные линии, представление в виде закона прочности Кулона (красная линия на рисунке 1) и в виде ограничения предела прочности на растяжение (синяя линия на рис. 1).

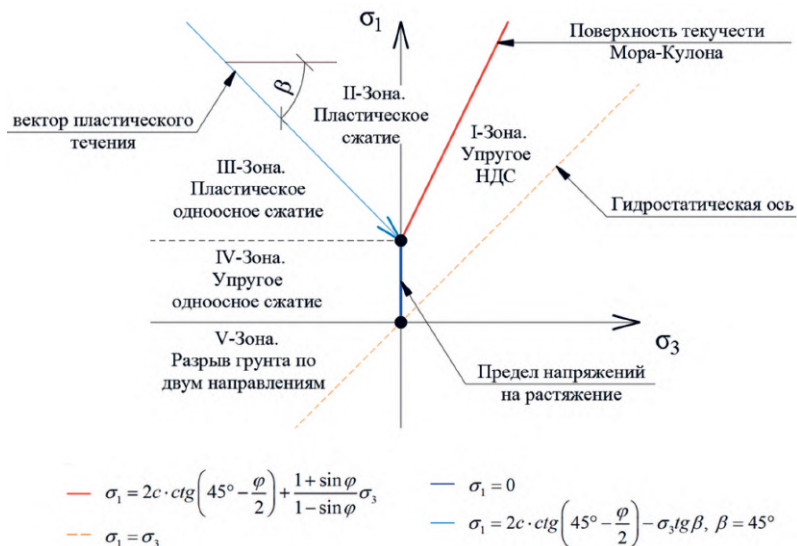
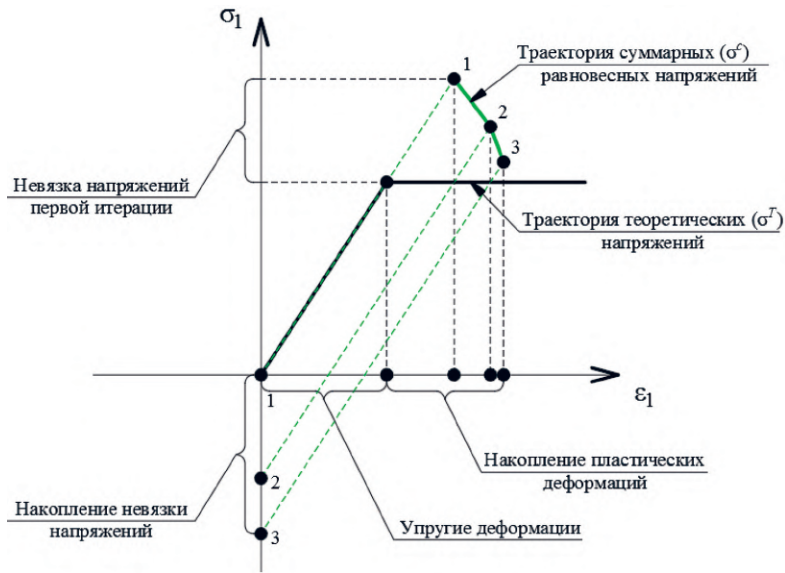


Рис. 1. Идеальная упругопластическая модель грунта в осях главных напряжений

Так как в пластических моделях грунта связь между напряжениями и деформациями не линейная, то для определения НДС таких моделей необходимо использовать специальные методики расчета. Одной из таких методик является метод начальных напряжений, предложенный О. Зинкевичем [3]. Для идеальной упругопластической модели грунта в напряженной постановке метод начальных напряжений адаптирован А. Б. Фадеевым [1]. Сущность метода начальных напряжений заключается в последовательном итерацион-

ном упругом расчете (см. рис. 2), посредством которого с каждой последующей итерацией происходит накопление пластической компоненты относительных деформаций и приближение равновесных напряжений к теоретическому напряженному состоянию соответствующему описанной модели (см. рис. 1), посредством перераспределения сил дисбаланса, вызванных разницей между равновесными и теоретическими напряжениями (невязка напряжений). Более подробно данный метод описан в работах А. Б. Фадеева [1].



● 1..3 - номер итерации расчета

Рис. 2. Метод начальных напряжений на примере трех последовательных итераций расчета

Последним этапом для определения НДС пластической модели грунта является установление критериев сходимости, которые определяют, на какой итерации расчет будет являться завершенным. В представленной работе в качестве критериев сходимости выступают контроль локальной и глобальной ошибки [7].

Локальный контроль ошибок проверяет точки напряжений путем сопоставления полученных равновесных напряжений с теоретическими в соответствии с заданной погрешностью и устанавливает количество неудовлетворительных точек, которое может быть допущено в рамках расчета. Величину параметра локального контроля ошибки по заданной допускаемой погрешности для рассматриваемой точки напряжений можно определить следующим образом:

$$err_{loc} = \frac{\|\sigma^c - \sigma^T\|}{T_{max}} < 0,035,$$

$$\left\{ \begin{aligned} \|\sigma^c - \sigma^T\| &= \sqrt{(\sigma_{xx}^c - \sigma_{xx}^T)^2 + (\sigma_{yy}^c - \sigma_{yy}^T)^2 + (\sigma_{xy}^c - \sigma_{xy}^T)^2} \\ T_{max} &= \max\left(\frac{\sigma_1^T - \sigma_3^T}{2}, c \cdot \cos \varphi\right) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где err_{loc} – параметр локального контроля ошибки; σ^c – суммарные равновесные напряжения; σ^T – теоретические напряжения; 0,035 – выбранная величина допустимой локальной погрешности.

Проверку количества (N) допускаемых неудовлетворительных точек напряжений по критерию локального контроля ошибки можно записать в следующем виде:

$$N_{err} < 3 + \frac{N_{п.т}}{10} \quad (3)$$

где N_{err} – количество допустимых неудовлетворительных точек напряжений по критерию локального контроля ошибки; $N_{п.т}$ – количество точек напряжения, соответствующих предельному состоянию (пластические точки).

Глобальный контроль ошибки проверяет допустимое соотношение сил (F) дисбаланса действующих на всю схему к общим приложенным силам на величину заданной погрешности. Величину параметра глобального контроля ошибки можно определить следующим образом:

$$err_{glob} = \frac{\sum \|F_{\text{(силы дисбаланса)}}\|}{\sum \|F_{\text{(приложенные силы)}}\|} < 0,01 \quad (4)$$

где err_{glob} – параметр глобального контроля ошибки; 0.01 – выбранная величина допустимой глобальной погрешности.

При соблюдении обоих критериев сходимости (3) и (4) расчет считается успешно завершенным.

Для оптимизации скорости расчета, возможности контроля изменения направления осей главных напряжений, а также контроля количества итераций расчет выполняется с пошаговым приложением нагрузки. Величина шага нагрузки контролируется в зависимости от того, за сколько итераций был выполнен предыдущий шаг расчета по заданным критериям сходимости (3) и (4). Если расчет на предыдущем шаге приложения нагрузки был выполнен менее чем за 5 итераций, то величина шага увеличивается в двое, если расчет выполнен в диапазоне от 5 до 15 итераций, величина шага не меняется, если же расчет не был завершён в рамках 15 последовательных итераций, то величина шага уменьшается в двое и расчет в рамках рассматриваемого шага повторяется. Условие разрушения грунта соответствует пяти последовательным повторным расчетам, в рамках которых выполнялось понижение шага нагрузки и не выполнялось критерии сходимости. Данный алгоритм контроля итерационного расчета для пошагового нагружения используется в программе Plaxis 2D [11].

Определившись с методикой расчета НДС идеальной упруго-пластической модели грунта, можно перейти к расчету устойчивости склона. В основе расчета устойчивости склона методом понижения прочностных характеристик на базе МКЭ заложен основной принцип определения коэффициента запаса устойчивости [9]. Согласно этому принципу, искомый коэффициент запаса устойчивости M_{sf} определяется как отношение входных параметров прочности к параметрам прочности, соответствующим потере устойчивости склона:

$$err_{glob} = \frac{\sum \|F_{\text{(силы дисбаланса)}}\|}{\sum \|F_{\text{(приложенные силы)}}\|} < 0,01 \quad (5)$$

где $c_v, \operatorname{tg}(\varphi)_v$ – входные прочностные параметры сцепления и тангенса угла внутреннего трения соответственно; $c_n, \operatorname{tg}(\varphi)_n$ – пониженные прочностные параметры сцепления и тангенса угла внутреннего трения соответственно, которые привели к потере устойчивости массива грунта.

Расчет устойчивости склона методом понижения прочностных характеристик является итерационным. С каждой новой итерацией происходит единовременное понижение прочностных характеристик на заданный коэффициент (β) с последующим расчетом НДС идеальной упругопластической модели грунта [5]. В определенный момент на какой-то из итераций, по заданному условию разрушения, произойдет потеря устойчивости грунта. Однако такой подход не обеспечивает определение ближайших характеристик грунта, соответствующих разрушению из-за зависимости данного расчета от величины шага (β). Истинное значение искомым ближайших характеристик будет находится между итерацией соответствующей разрушению и предыдущей итерацией. В связи с чем предложен метод контроля шага изменения прочностных характеристик по следующему алгоритму:

- 1) При разрушении грунта в рамках рассматриваемой итерации, происходит уменьшение коэффициента β в двое и увеличение прочностных характеристик грунта для расчета следующей итерации;
 - a. Если при таком увеличении прочностных характеристик произойдет разрушение грунта, то процедура пункта 1 повторяется;
 - b. Если при таком увеличении прочностных характеристик не произойдет разрушение грунта, то на характеристики грунта понижаются на заданный уменьшенный коэффициент
- 2) Процедура повторяется до тех пор, пока номер итерации расчета не будет равен заданному количеству итераций;
- 3) При достижении последней итерации производится определение коэффициента запаса устойчивости.

Таким образом с каждой последующей итерацией происходит выравнивание траектории изменения коэффициента запаса устойчивости, которая стремится к прямой линии. Чем больше итераций

для расчета устойчивости задано, тем более точно будет определена величина коэффициента запаса устойчивости. Графическое отображение представленного алгоритма показано на рис. 3.

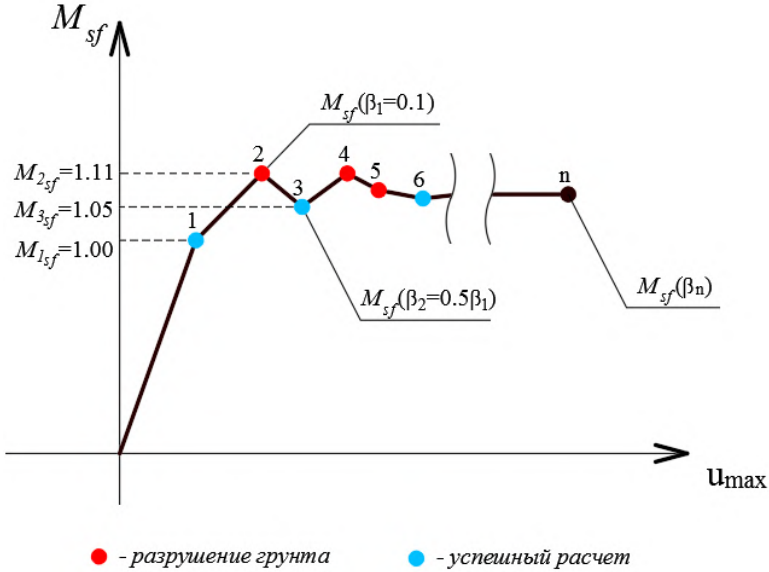


Рис. 3. Графическая интерпретация определения величины коэффициента запаса устойчивости

Последней важной составляющей расчета устойчивости склона является определение поверхности скольжения. В рамках реализованного алгоритма, поверхность скольжения определяется посредством решения основного уравнения МКЭ (1), в котором вектор правой части состоит из сил дисбаланса последней итерации расчета, по результатам которого произошла потеря устойчивости:

$$\{R\} = \left\{ F_{(\text{силы дисбаланса})} \right\} = \left\{ F_{(\sigma_{\text{равновесные}})} \right\} - \left\{ F_{(\sigma_{\text{теоретические}})} \right\} \quad (6)$$

Формирование поверхности грунта в процессе расчета устойчивости представлено на рис. 4.

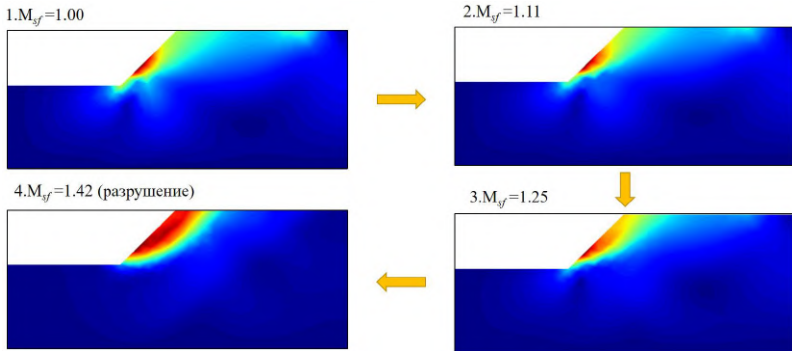


Рис. 4. Формирование поверхности скольжения в процессе расчета устойчивости склона

Результаты и обсуждение

В качестве сопоставительных расчетов было выбрано два склона разной крутизны, представленные на рис. 5 и три грунта, с различными деформационными и прочностными характеристиками, которые представлены в табл. 1. Расчетная схема склона для расчета в Python выполнена в открытом программном пакете «Gmsh» [12].

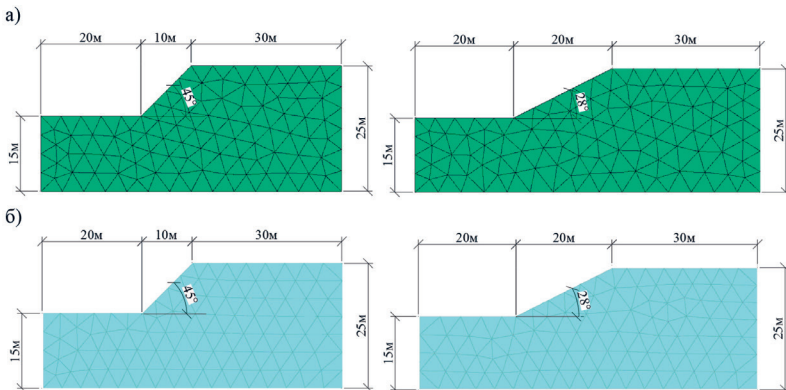


Рис. 5. Расчетная схема склонов с углами наклона 45° и 28°:
 а – выполненная в открытом программном пакете Gmsh;
 б – выполненная в программном комплексе Plaxis 2D

Таблица 1

Прочностные и деформационные характеристики грунтов

	Грунт № 1 (супесь. пылев. Пластичный)	Грунт № 2 (суглинок. пылев. тугопластич.)	Грунт № 3 (песок. круп. гравелистый)
E, МПа	6,3	11,5	27,5
ν	0,35	0,35	0,3
$\phi, ^\circ$	22	20	33
c, кПа	14,7	30,4	4,0
γ , кН	18,1	20,1	17,8

При расчете устойчивости склона с использованием МКЭ, на точность результата влияет крупность сетки и порядок выбранного конечного элемента. Для исключения данного фактора во всех дальнейших расчетах как в Plaxis 2D, так и в Python применяются шести узловые конечные элементы, а также крупность сетки с погрешностью для расчетных схем, составленных в разных программах, равной 10 % для количества узлов и конечных элементов.

Результаты расчетов устойчивости склонов представлены в виде изополей полных перемещений на рис. 6 и 7. Сравнение результатов расчета коэффициентов устойчивости представлено в табл. 2.

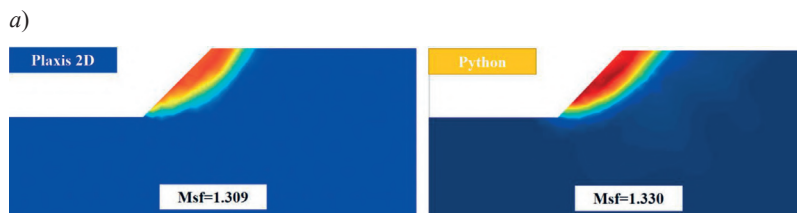


Рис. 6, начало. Результаты расчета склона с углом наклона 45° :
a – выполненный для грунта № 1;

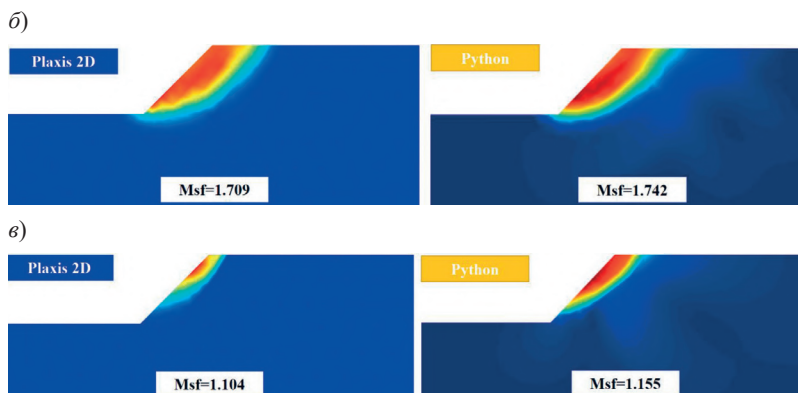


Рис. 6, окончание. Результаты расчета склона с углом наклона 45° :
 б – выполненный для грунта № 2; в – выполненный для грунта № 3

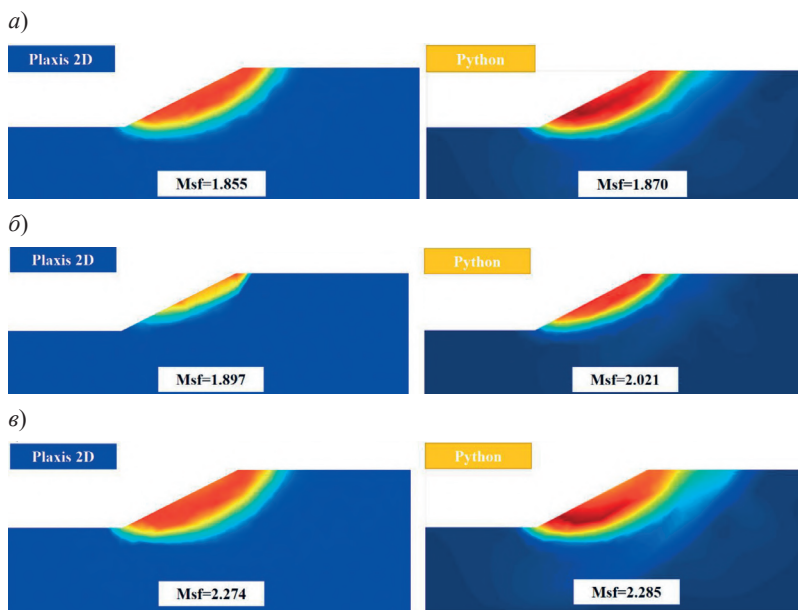


Рис. 7. Результаты расчета склона с углом наклона 28° :
 а – выполненный для грунта № 1; б – выполненный для грунта № 2;
 в – выполненный для грунта № 3

Таблица 2

Сводная таблица результатов расчета устойчивости

		Грунт № 1	Грунт № 2	Грунт № 3
		M_{sf}	M_{sf}	M_{sf}
Склон, с углом наклона 45°	Plaxis 2D	1,309	1,709	1,104
	Python	1,33	1,742	1,155
	погрешность, %	1,60	1,93	4,62
Склон, с углом наклона 28°	Plaxis 2D	1,855	2,274	1,897
	Python	1,870	2,285	2,021
	погрешность, %	0,81	0,48	6,54

Исходя из результатов расчетов, представленных на рис. 6 и 7, а также в табл. 2, можно заметить, что наибольшая разница в форме поверхностей скольжения и в величинах коэффициентов запаса устойчивости для обоих склонов наблюдается для расчета, выполненного с песчаным грунтом № 3. Разница в результатах может объясняться отличающимися от Plaxis 2D методиками вывода поверхностей скольжения, определения коэффициента запаса устойчивости, выбором методики определения НДС идеальной упругопластической модели грунта, а так же наличием в Plaxis математических зависимостей влияющих на увеличение скорости сходимости результатов.

Заключение

1) Алгоритм, разработанный в Python, отличается от алгоритма, реализованного в Plaxis 2D, в части многих аспектов, однако оба алгоритма основаны на общей методике понижения прочностных характеристик и результаты, полученные, посредством оценки устойчивости по данным алгоритмам являются сопоставимыми.

2) Наибольшее отличие в форме поверхности скольжения для обоих склонов по результатам расчета в Python и Plaxis 2D наблюдается для песчаного грунта №3.

3) Разница в величинах коэффициента запаса устойчивости по результатам сравнительного расчета между Python и Plaxis 2D составила до 6,5 %

4) Оценка устойчивости склонов по алгоритму, реализованному в Python, требует в среднем в 3 раза меньше итераций, для достижения необходимого результата в сравнении с алгоритмом ПК Plaxis 2D, однако в десятки раз уступает последнему в скорости. Тем не менее, реализованный алгоритм в Python не является самостоятельной программой, поэтому проигрыш в скорости расчета не является удивительным. В дальнейшем планируется оптимизация кода алгоритма и создание программы на более низкоуровневом языке программирования, который обеспечит необходимую скорость расчета.

5) В дальнейшем планируется улучшение алгоритма расчета устойчивости, путем добавления математических зависимостей, ускоряющих расчет, таких как контроль дуги и др., а также путем исследования эффективности других аналитических постановок идеально упругопластической модели грунта и других методов расчета НДС нелинейных моделей.

Литература

1. *Фадеев А. Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. М. : Недра, 1987. – 221 с.
2. *Соколовский В. В.* Статика сыпучей среды. Изд. 3-е перераб. и доп. М. : Физ.-мат. лит., 1960. – 242 с.
3. *Зинкевич О. С.* [Zienkiewicz O. C.] Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М. : Мир, 1975.
4. *Парамонов В. Н.* Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. СПб.: Группа компании «Геореконструкция», 2012. – 263 с.
5. *Brinkgreve R. B., Bakker H. L.* Non-linear finite element analysis of safety factors // Computer Methods and Advances in Geomechanics, Beer, Booker & Carter (eds). – 1991 Balkema, Rotterdam. ISBN 90 6191 1893.
6. *Bouzi D. A.* Finite element analysis of slope stability by expanding the mobilized principal stress Mohr's circles – Development, encoding and validation // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022. – № 14. – pp. 1165–1179.
7. *Vermeer P. A., van Langen H.* Soil collapse computations with finite elements // Ingenieur-Archiv. – 1989. – № 59. – pp. 221–236.

8. Zienkiewicz O. C., Humpherson C., Lewis R. W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics // Geotechnique 25. – 1975. – № 4. – pp. 671–689.

9. Чугаев Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. М.: Госэнергоиздат, 1963. – 144 с.

10. Кургузов К. В., Фоменко И. К. Основополагающие математические модели грунтов в практике геотехнического моделирования. Обзор // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5. – с. 240–247.

11. Руководство пользователя Plaxis 2019 // plaxis.ru: руководство пользователя. URL: https://www.plaxis.ru/support/manual_supplement/

12. Открытый программный пакет для генерации сетки конечных элементов Gmsh. URL: <https://gmsh.info/>

13. Язык программирования Python. URL: <https://www.python.org/>

14. Библиотека Numpy. URL: <https://numpy.org/>

15. Библиотека Matplotlib. URL: <https://matplotlib.org/>

УДК 624.159.4

Тихон Эдуардович Марихин,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: marixin-tixon@mail.ru

Tikhon Eduardovich Marikhin,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: marixin-tixon@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ НАГНЕТЕНИЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ СУСПЕНЗИЙ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ МАССИВА ГРУНТА

PECULIARITIES OF MODERN INJECTION SLURRY INJECTION METHODS FOR SOIL STABILIZATION

В современном строительстве нередко возникает необходимость в стабилизации грунтовых массивов, слагаемых слабой водонасыщенной толщей. Данная мера в том числе необходима при устройстве котлованов в условиях плотной городской застройки, в дорожном строительстве или при реконструкции зданий, находящихся в аварийном или ограниченно-работоспособном технических состояниях. В данной статье обобщены и классифицированы апробированные и современные технологии «доставки» стабилизирующих материалов в грунтовый массив для стабилизации. Для каждой из представленных технологий приведены граничные условия их применимости, зависящие от особенностей и принципа действия.

Ключевые слова: микроцемент, инъекция, струйная цементация, гидро-разрыв, пропитка грунта.

In modern construction it is often necessary to stabilize soil masses consisting of weak water-saturated strata. This measure is necessary, among others, for the construction of excavations in conditions of dense surrounding buildings, in road construction or during the reconstruction of buildings that are in emergency or limited-operational technical condition. This article summarizes and classifies both proven and modern technologies of “delivery” of stabilizing materials into the soil mass. For each of the presented technologies the boundary conditions of applicability are defined, depending on their principle of operation and peculiarities.

Keywords: ultrafine Portland cement, injection grouts, jet-grouting, hydrofracturing, permeation grouting.

В современной практике геотехнического строительства и проектирования технологию стабилизации грунтов подразделяют на

следующие два принципиальных типа: нагнетание инъекционного раствора с давлением, превышающим структурную прочность грунта, (высоконапорное инъектирование) и подача твердеющего раствора в режиме пропитки.

С середины 1990-х годов широкое применение в гражданском и промышленном строительстве России получила технология струйной цементации или Jet Grouting. Основным регламентирующим нормативным документом является СП 291.1325800.2017.

Сущность технологии заключается в использовании энергии напорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивании грунта с цементным раствором. После твердения раствора формируется новый материал – грунтоцемент, обладающий высокими прочностными и деформационными характеристиками. По сравнению с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет закреплять практически весь диапазон грунтов – от гравийных отложений до глин и илов. Существует три основные разновидности технологии:

Однокомпонентная технология (Jet 1). В этом случае разрушение грунта производят струей цементного раствора. Давление нагнетания раствора составляет 400–500 атм. Данная технология наиболее проста в исполнении, требует минимального комплекта оборудования, однако диаметр получаемых свай также является наименьшим по сравнению с другими вариантами технологии. Так, например, в глинистых грунтах диаметр грунтоцементных свай не превышает 600 мм, в песчаных грунтах диаметр свай составляет 700–800 мм.

Двухкомпонентная технология (Jet 2). В этом варианте для увеличения длины водоцементной струи используют энергию сжатого воздуха. Для раздельной подачи в монитор цементного раствора и сжатого воздуха применяют двойные полые штанги. По внутренним штангам подают цементный раствор, а по внешним – сжатый воздух. Диаметр свай, получаемых по этой технологии, в глинах достигает 1200 мм, а в песках – 1500 мм.

Трехкомпонентная технология (Jet 3). Этот вариант отличается от предыдущих тем, что водовоздушная струя используется исключительно для размыва грунта и образования в нем полостей, которые

в последствие заполняются цементным раствором. Преимуществом данного варианта является получение колонн из чистого цементного раствора. К недостаткам следует отнести сложность технологической схемы, требующей применения тройных штанг, а также дополнительного технологического оборудования. При правильном подборе технологических параметров можно получить сваи диаметром до 2500 мм.

Очевидным преимуществом струйной технологии является высокая технологичность укрепления грунтов. Эта технология позволяет уже на этапе проектирования достаточно точно рассчитать геометрические и прочностные характеристики создаваемой подземной конструкции. К преимуществам технологии следует отнести: высокую скорость сооружения грунтоцементных столбов (колонн) и возможность работы вблизи существующих зданий.

В соответствии с указаниями нормативной документации в условиях плотной городской застройки рекомендуется выполнять работы исключительно по однокомпонентной технологии (Jet 1). Данное обстоятельство связано со значительными технологическими деформациями в процессе перемешивания массива грунта с применением «воздушной рубашки» (Jet 2), так как возникают дополнительные полости от водовоздушной струи (Jet 3) и производится дополнительное обводнение грунта [1].

Однако, согласовано исследованиям в условиях слабых водонасыщенных грунтов применение однокомпонентной технологии (Jet 1) также вызывает дополнительные технологические осадки, так как происходит площадное расструктуривание грунта по всей глубине закрепления.

Следует отметить, что вышеизложенные особенности технологии накладывают ограничение на ее использование в условиях сжимаемой толщи существующих зданий, так как технологические осадки в ней вызывают недопустимые деформации несущих конструкций [2].

Из инженерной практики известно, что высоконапорное иньектирование грунтов без перемешивания энергией струи называется иньекцией в режиме гидроразрывов.

К достоинствам метода можно отнести техническую простоту, возможность использования недорогого оборудования и доступных материалов. Однако, существенным недостатком является неопределенность количества, направления и размеров трещин, возникающих в результате нарушения сплошности грунтового массива. Более того, в отдельных случаях, напряженно–деформируемое состояние грунтового основания, сформированное в результате инъекционных работ, может привести к негативным последствиям вплоть до ухудшения строительной ситуации.

Данной технологией предусмотрено нагнетание раствора с давлением в диапазоне от 0,5 МПа до 8 МПа. Давление напора будет сохраняться по всей площади трещины. Верхний предел обусловлен неизбежным увеличением скорости потока с увеличением давления и сложностью контроля процесса расширения трещин, из чего следует, что после гидроразрыва повышение давления не имеет смысла. Нижним пределом является давление разрыва.

Давление разрыва p_0 рассчитывается по формуле 1:

$$p_0 = \sigma_{zg} \cdot K_0 + c \quad (1)$$

где σ_{zg} – вертикальное давление от веса грунта, K_0 – коэффициент бокового напряжения, c – сцепление грунта.

Выполненные исследования Аббудом Мухаммедом [3] показывают, что при достижении давления разрыва в грунте возможно образование различных структурных форм (рис. 1). Самым распространенным типом является А1, представляющий собой линзу, образованную из расширившейся трещины.

Вне зависимости от положения «зародышевой» трещины, которая обусловлена разрыхлением грунта при бурении скважины. При дальнейшем раскрытии, плоскость трещины становится перпендикулярна наименьшим главным напряжениям в массиве. Из практики технологии манжетного гидроразрыва известно, что разрывы будут образовываться преимущественно в горизонтальных плоскостях, что в свою очередь вызывает подъем вышестоящего здания или сооружения.

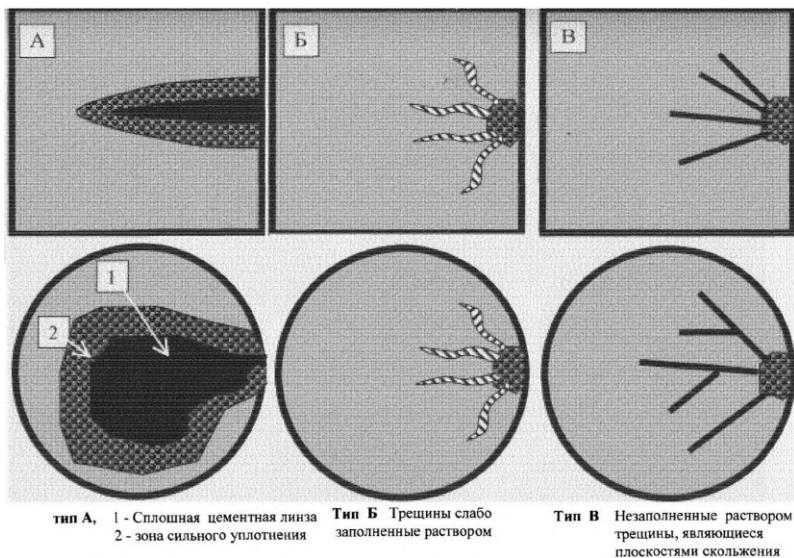


Рис. 1. Характерные структуры гидроразрыва [3]

Таким образом, учитывая значительное влияние данной технологии на конструкции существующих зданий, для закрепления грунтов с минимальным воздействием на застройку предпочтение следует отдавать слабонапорной инъекции в режиме фильтрации (пропитки).

Пропиткой считается инъекция в режиме ламинарной фильтрации с замещением воды в порах грунта закрепляющими материалами без изменения их структуры. Данный эффект возможен при контроле расхода подаваемой смеси и соблюдении диапазона давлений нагнетания:

$$U < P_{\text{пропитки}} < p_0,$$

где p_0 – давление разрыва; U – поровое давление

При соблюдении данных параметров инъекцию допускается рассматривать как ламинарную фильтрацию жидкости в дискретных средах, что описывается законом Дарси. Согласно данному

закону при фильтрации жидкости в пористых средах в направлении фильтрации будет наблюдаться падение давления, как показано на рис. 2 [4].

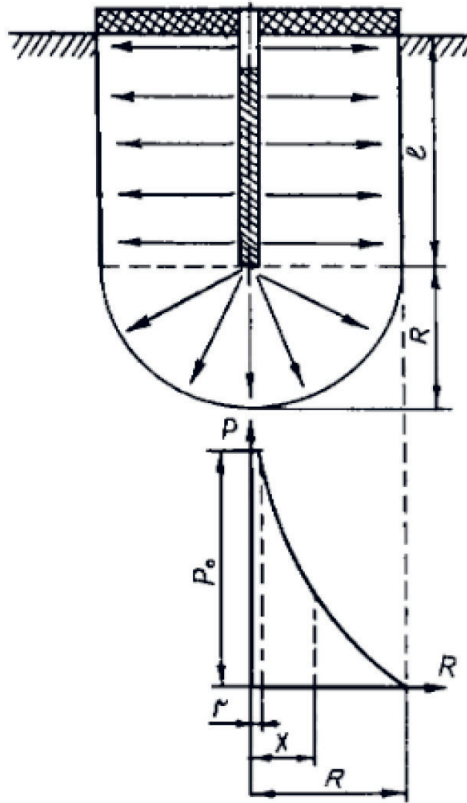


Рис. 2. Гидродинамическая схема фильтрации через одиночный иньектор [4]

При этом режиме пропитываться будет только толща с положительным давлением иньектируемого материала, а расстояние от пакера до границ зоны пропитки называется радиусом закрепления. Радиус распространения находится по следующим формулам 2 и 3, выведенным Каранфиловым Т. С. [5]:

- для сферического источника:

$$R = 1,54 \sqrt{\frac{r_0 K_\phi \frac{\nu}{\nu_p} P_0 t}{\beta n}} \quad (2)$$

- для плоско-радиального источника:

$$R = 0,8 \sqrt{\frac{K_\phi \frac{\nu}{\nu_p} P_0 t}{\beta n}} \quad (3)$$

где r_0 – радиус пакера иньектора; K_ϕ – коэффициент фильтрации среды; ν – кинематический коэффициент вязкости воды; ν_p – кинематический коэффициент вязкости раствора; P_0 – давление нагнетания; t – время иньекции; β – коэффициент заполнения пор раствором; n – пористость грунта.

Исследованиями в режиме пропитки занимались отечественные и зарубежные ученые [6, 7, 8]. В частности активные отечественные исследования в данной области начались в 70-х годах прошлого века М. М. Филатовым и В. В. Охотиным. Общепринято нижний предел диапазона закрепляемых грунтов устанавливать через зависимости диаметров частиц песка и частиц цемента. Соотношения, выведенные различными авторами приведены в таблице из методического пособия [9].

Некоторые экспериментально выведенные соотношения диаметра частиц песка и цемента

Автор	Соотношение диаметра частиц песка и цемента
Кинг-Буш	$D_{10}/d_{95} > 8$
А. Н. Адамович	$D_{15}/d_{85} > 10$
С. В. Алексеев	$D_{15}/d_{85} > 11$

D_{15} и D_{10} – диаметр частиц песка массовым содержанием 10 % и 15 % соответственно; d_{95} и d_{85} – диаметр частиц цемента массовым содержанием 95 % и 85 % соответственно

Инъектирование в режиме пропитки делится на физико-химическое и химическое в зависимости от используемых материалов. Для химического закрепления и усиления грунтов выступают химические растворы смо, силикатов и аммонатов. Для физико-химического инъектирования используются суспензии на основе битума, глинистых частиц и цементного вяжущего (портландцемента). Портландцемент также используют с добавлением шлака и различных пластификаторов для изменения динамической вязкости.

Химические растворы благодаря отсутствию твердых частиц обеспечивают гарантированную проницаемость в любые грунты до супесей, однако долговечность таких массивов не превышает 50 лет. Также на долговечность могут негативно влиять фильтрация воды в грунте [10]. Для более долговечных решений стоит рассматривать микроцементы, однако данная технология является чувствительной к гранулометрическому составу грунта, требует тщательного подбора цемента и модификаторов, а также тщательного контроля процесса.

При сопоставлении мелкодисперсных материалов используется площадь удельной поверхности частиц. Данный параметр получается экспериментально на приборе Ле-Шателье.

Исходя из данных соотношений при использовании стандартных цементов закрепление ограничивается гравелистыми песками, однако с использованием микроцементов, получаемых на основе цементов высоких марок, становится возможной пропитка средних, мелких песков, а с помощью особо тонкодисперсных цементов возможна пропитка пылеватых [11].

Отличительным свойством микроцементов является кратно большая площадь удельной поверхности по сравнению с обычными цементами. До 3,5 раз ($8000 \text{ см}^2/\text{г}$) для микроцементов, полученных механическим помолотом в шаровых мельницах, и до 8 раз ($22\,000 \text{ см}^2/\text{г}$) полученных методом воздушной сепарации. Суспензии особо тонкодисперсных цементов с добавлением пластификаторов позволяют достичь вязкости, близкой к динамической вязкости воды при $V/D = 2-3$ [12].

Выводы

При выборе технологии стабилизации грунтов решающими факторами являются наличие окружающей застройки, конструктивная схема здания, внешние техногенные факторы и начальные характеристики стабилизируемых грунтов. Выбор между технологиями струйной цементации и гидроразрывом главным образом зависит от необходимых жесткостных и прочностных характеристик получаемого массива стабилизируемого грунта. Также выбор может быть обусловлен возможностью размещения оборудования и оценкой рисков технологических деформаций.

Гидроразрыв благодаря сопутствующим осевым вертикальным деформациям может применяться в целях компенсационного нагнетания при локальных осадках фундаментов.

В сжимаемой толще, чувствительной к разуплотнению, среди щадящих технологий нагнетания преимущественно рекомендуется применять низконапорную инъекцию в режиме фильтрации (пропитки).

Литература

1. Струйная цементация грунтов / А. Г. Малинин. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2010. – 226 с.
2. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах: учеб. пособие / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова, В. В. Конюшков, А. И. Осокин, Д. А. Сапин. – М., СПб.: Изд-во АСВ, 2013. – 256 с.
3. *Аббуд Мухаммед*. Геотехническое обоснование стабилизации осадков фундаментов с помощью инъекционного закрепления грунтов: дис. канд. техн. наук: 05.23.02. – СПб., 2000. – 163 с.
4. *Бабаскин Ю. Г.* Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог / Под ред. И. И. Леоновича – Мн. : УП «Технопринт», 2002. – 177 с.
5. *Каранфилов Т. С.* Определение величины радиуса закрепления грунтов при постоянном коэффициенте фильтрации. // Гидротехническое строительство № 1. – М. : Госэнергоиздат, 1951. – С. 39–42.
6. *Glossop R.* The invention and development of injection process. *Geotechnique*, sept. 1960 – dec. 1961.
7. *Лейбензон Л. С.* Собрание трудов: т. 2. Подземная гидрогазодинамика. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1953. – 544 с.
8. *Камбефор А.* Инъекция грунтов. / Пер. с фр.– М. : Энергия, 1971. – 332 с.

9. Методическое пособие по укреплению грунтов методами струйной цементации, глубинным перемешиванием, инъекции растворами на основе микроцементов, манжетной инъекцией в режиме гидроразрывов / АО «НИЦ«Строительство», НИИОСП им. Н. М. Герсеванова – М. 2020 – 117 с.

10. Смагулова Л. К. Химическое закрепление грунтов // Символ науки. 2017. № 6.

11. Kalach F. N., Nozdrya V. I., Osokin A. I. Characteristics of ultrafine permeation grouting for foundation soil of northern river terminal in Moscow // *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction*. – 2019. – P. 109–113.

12. Харченко И. Я., Баженков М. И. Инъекционное закрепление проницаемых грунтов, бетонных и каменных конструкций с использованием особо тонкого дисперсного вяжущего // Вестник МГСУ. 2012. № 11.

УДК 69.04

Полина Сергеевна Никитина,
студент

Лилиана Рустамовна Салимгареева,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: liliana_spb@mail.ru,
nikitina.ps@yandex.ru

Polina Sergeevna Nikitina,
student

Liliana Rustamovna Salimgareeva,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: liliana_spb@mail.ru,
nikitina.ps@yandex.ru

СТАДИЙНОСТЬ РАСЧЕТОВ В ПК FROST 3D

STAGED CALCULATION IN FROST 3D

Одной из основных задач при проектировании зданий и сооружений является обоснованное определение принципа использования многолетнемерзлых грунтов. Выбор принципа осуществляется по результатам геокриологического прогноза, для чего необходимо определение трехмерного теплового состояния грунтов в процессе эксплуатации сооружения. Frost 3D – программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса в многолетнемерзлых грунтах с учетом влияния внешних тепловых воздействий. Frost 3D позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов многолетнемерзлых грунтов в условиях теплового влияния трубопроводов, добывающих скважин, зданий, гидротехнических и других сооружений с учетом термостабилизации грунта. В статье мы рассматриваем возможности данного программного комплекса на основе сравнения стадийного расчета плоского и трехмерного объектов.

Ключевые слова: Frost 3D, многолетнемерзлые грунты, стадийность расчетов.

One of the main goal in the engineering of the buildings and structures is the reasonable determination of the principle of using of a permafrost soil. Need to determination of a three-dimensional thermal state during the operation of structure for the change of principle is carried out by results of the geocriologic forecasting. Frost 3D is the software package for modeling processes heat and mass transfer in a permafrost soil taking into account the external thermal influence. Frost 3D allows getting the science-based forecasting of the thermal regime of a permafrost soil during the thermal influence of pipelines, of a production wells, a buildings, hydraulic and others structures in view thermal stabilization of a soil. The article considers the possibility this software package based on comparison of staged calculation of 2D and 3D objects.

Keywords: Frost 3D, a permafrost soil, staging of calculations.

Введение

Районы с многолетнемерзлыми грунтами занимают большую площадь территории России. В связи со строительным освоением Севера решается основная задача обоснованного выбора принципа использования многолетнемерзлых грунтов – сохранение мерзлого состояния (принцип I) или использование талого состояния оснований (принцип II). При проектировании оснований и фундаментов необходимо учитывать влияние на устойчивость и эксплуатационную надежность сооружений физико-механических процессов, происходящих в слоях как сезонного промерзания-оттаивания, так и вечномерзлого грунта.

К таким процессам относятся колебания температурного поля толщи грунтов, промерзание и оттаивание грунтов деятельного слоя, морозное пучение и миграция влаги в промерзающих грунтах, перемещение влаги под действием гидравлического градиента и возникновение бугров пучения и наледей, образование морозобойных трещин, ледяных и земляных жил, сползание оттаивающего грунта по склонам и другие.

Разрабатываются новые способы расчетов распространения тепла. Одним из таких способов является программный комплекс Frost 3D. Он предназначен для оценки теплового влияния различных тепловых источников на многолетнемерзлых грунтах: скважин, трубопроводов, зданий и других технических сооружений; то есть рассматривается конкретно массив грунта, в котором и решается численно уравнение теплопроводности. Frost 3D производит расчеты в соответствии с актуальными ГОСТ и СП.

Таким образом, научная актуальность исследования заключается в успешном и стремительном развитии техники и технологии фундаментостроения за последние 30 лет, ведь сравнительно недавно геотехника была не способна решать различные вопросы в строительстве на уникальных территориях нашей страны.

Целью нашей работы является возможность стадийных расчетов в данном программном комплексе. Сущность этого способа заключается в последовательном изменении граничных условий рассматриваемых строительных объектов, что дает нам точный анализ теплового

распределения в грунте с учетом времени, метеорологических условий и возможных воздействий.

Задачей выступает анализ конкретного примера «Жилое здание с проветриваемым подпольем».

Метод сравнения

Опишем метод стадийного расчета на примере решения задачи «Жилое здание с проветриваемым подпольем», для этого выберем нужный вариант на вкладке «Старт». Формирование и редактирование объекта, массива грунта и необходимых геологических и климатических условий происходит последовательно, начиная с изображения строительной площадки на плоскости во вкладке «Редактор 2D».

На данном этапе обозначается контур проветриваемого подполья помещения и указывается местонахождение скважин.

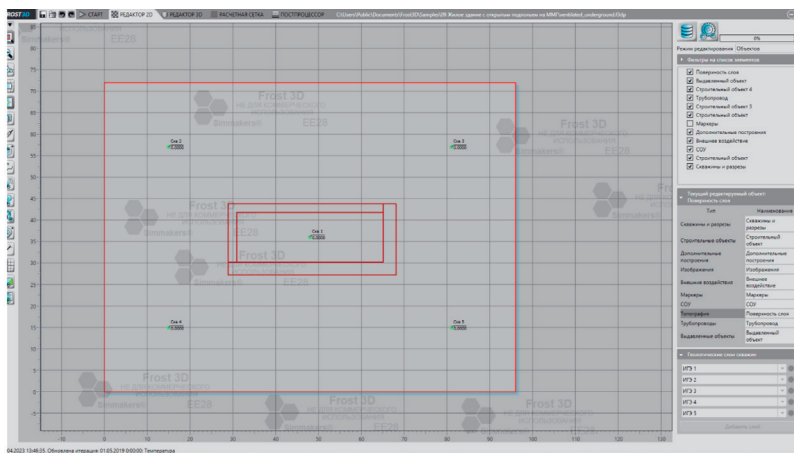


Рис. 1. Редактор 2D

Для дальнейших расчетов необходимо заполнить таблицы Базы данных (рис. 2), информация предоставляется из инженерно-геологических отчетов: инженерно-геологические элементы, климатические граничные условия и другие граничные условия. В «Материалах»

задаем либо «внешнюю среду» – атмосфера, либо вручную создаем материал с такими начальными параметрами, как температура, вектор скорости фильтрации, теплоемкость, теплопроводность, количество незамерзшей воды и температура фазового перехода.

Во вкладке «Граничные условия» задаем температурное воздействие: температура (условие Дирихле), тепловой поток (условие Неймана), теплообмен по Ньютону-Рикману, теплообмен по Стефану-Больцману. Во вкладке «Климатические граничные условия» есть проветриваемое подполье, поверхность грунта и повышенное снегонакопление, для которых мы задаем среднемесячную температуру на год, скорость ветра, высоту снежного покрова и другие параметры.

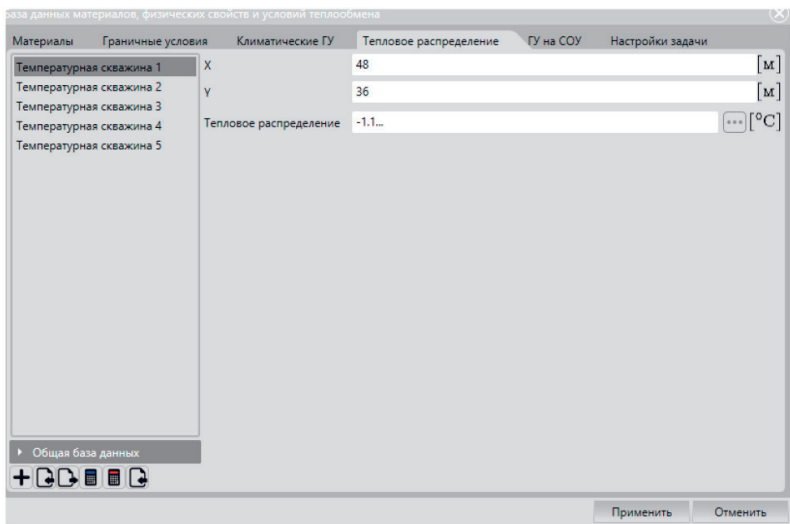


Рис. 2. База данных

Также следует отметить, что для заполнения графы «Тепловое распределение» необходимы дополнительные изыскания при составлении инженерно-геологического отчета, рекомендуемая глубина измерений – 15–20 м.

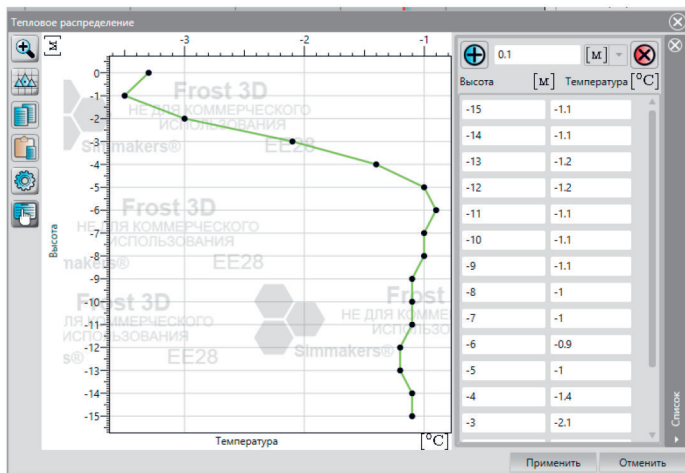


Рис. 3. Тепловое распределение

После заполнения базы данных переходим на вкладку «Редактор 3D». На этой вкладке задаем материалы и граничные условия для каждого инженерно-геологического элемента.

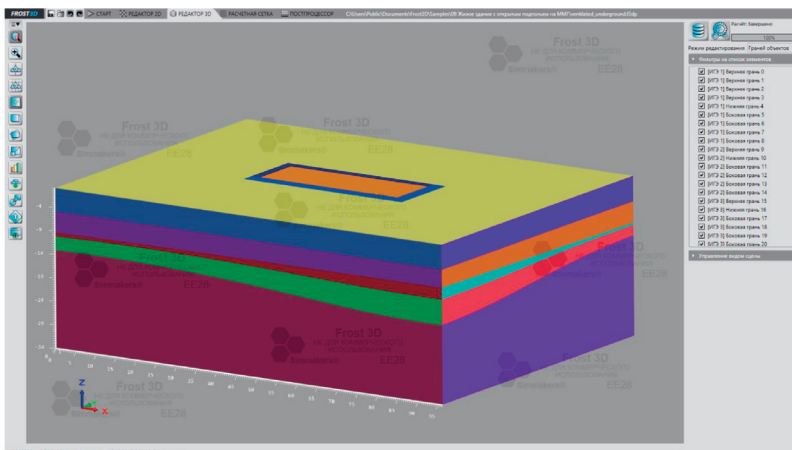


Рис. 4. Визуал редактора 3D

В программном комплексе Frost 3D при дискретизации исходной модели используется прямоугольная расчетная сетка. На данной вкладке (рис.6) происходит деление граничных плоскостей объектов на прямоугольные ячейки – конечные элементы. Для более точных результатов и качественной дискретизации сложных строительных объектов во вкладке «Редактор 2D» можно воспользоваться маркерами, а также проконтролировать качество дискретизации объектов и точность переноса граничных условий.

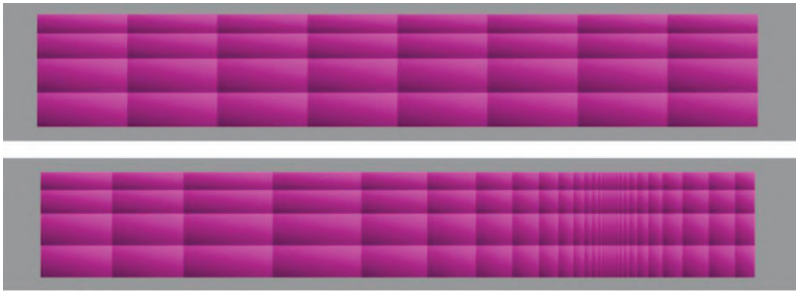


Рис. 5. Влияние маркеров на конечные элементы расчетной сетки

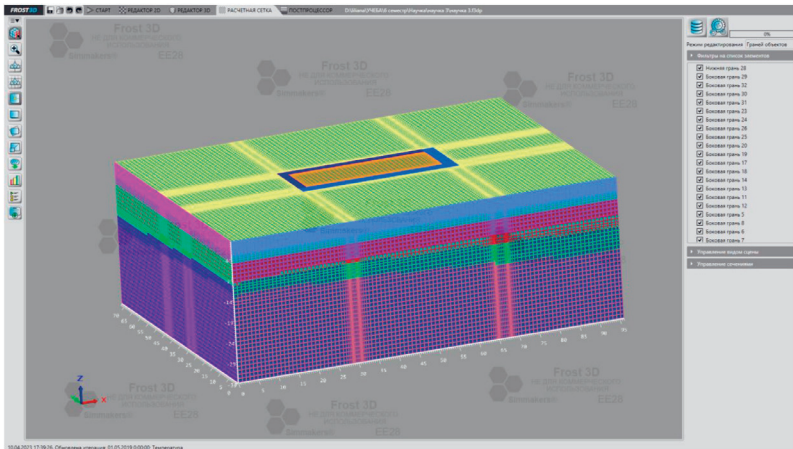


Рис. 6. Расчетная сетка

В «Постпроцессоре» наглядно видно распределение температуры в грунте (рис. 7), программный комплекс позволяет управлять сечениями и выбрать любую плоскость для наблюдений.

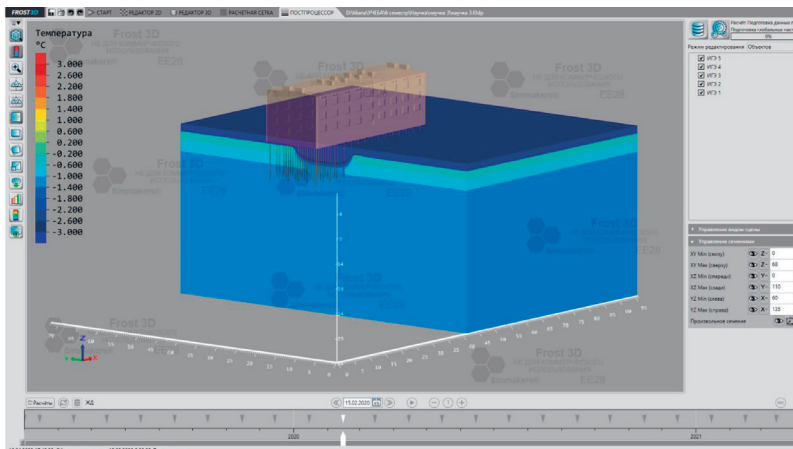


Рис. 7. Постпроцессор

Кнопка «Глаз» открывает диалоговое окно с графиком температуры по настроенному сечению (рис. 8).

«Перезапуск расчета» позволяет в одном расчете рассмотреть одну и ту же задачу с разными граничными условиями в перспективе на несколько лет, например, в один год может выпасть много снега, а в другой год снега может не быть совсем, при этом температура в грунте распределяется по-разному. Разберем пример наглядно.

Для перезапуска расчета возвращаемся на вкладку «Расчетная сетка», выбираем соответствующую грань объекта, меняем ее граничные условия, задаем необходимый временной промежуток и выполняем «Перезапуск расчета». Переходим на вкладку «Постпроцессор».

Сравним рисунки 7, 7а и 8, 8а соответственно. В первом случае у нас было повышенное снегонакопление, о чем говорят изолинии на уровне $-4,05$ м, так как снег выступает в роли утеплителя. А во втором случае в «Граничных условиях» мы меняем повышенное снегонакопление на атмосферу, и на графиках изолинии более холодной температуры опустились ниже на отметку $-4,89$ м.

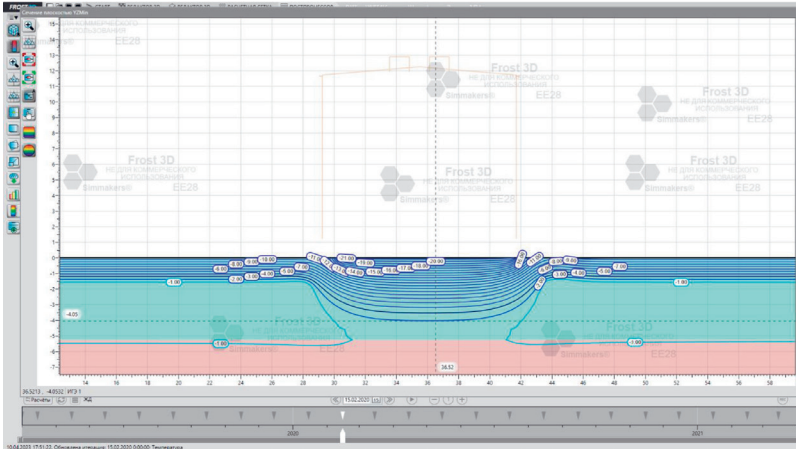


Рис. 7, а. График распределения температуры

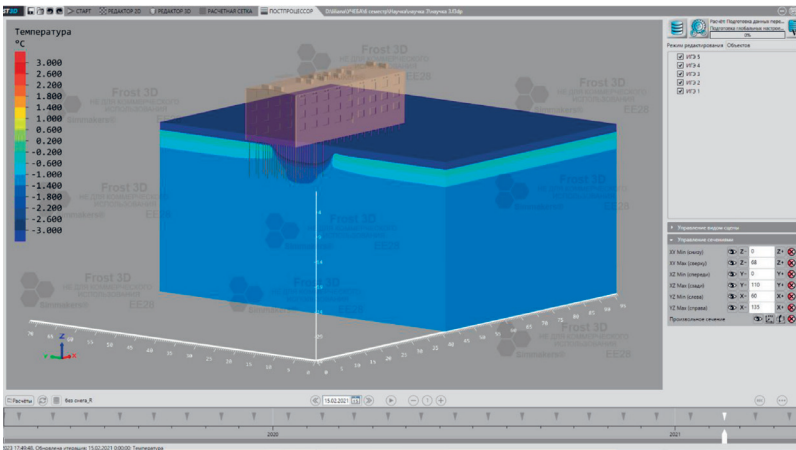


Рис. 8. Постпроцессор после выполнения перезапуска расчета

Для задачи с трехмерным объектом повторим указанную выше последовательность действий. В данном случае рассмотрим отрыв котлована, для которого на вкладке «Редактор 3D» задаем материал «грунт» (рис. 9 – справа). По мере отрыва котлована, материал

должен меняться на «атмосферу». На расчетной сетке Frost 3D позволяет изменить только граничное условие и только на поверхности котлована, в нашем случае нам необходимы 6 граней прямоугольника, а не одна. Тогда попробуем рассмотреть котлован с изначально заданным материалом «атмосфера», но при этом мы не сможем сравнить последовательные изменения теплового распределения в грунте до отрыва котлована и после. Теперь на расчетной сетке Frost 3D появляется 5 граней котлована (рис. 9 – слева), чего так же недостаточно для необходимого расчета.

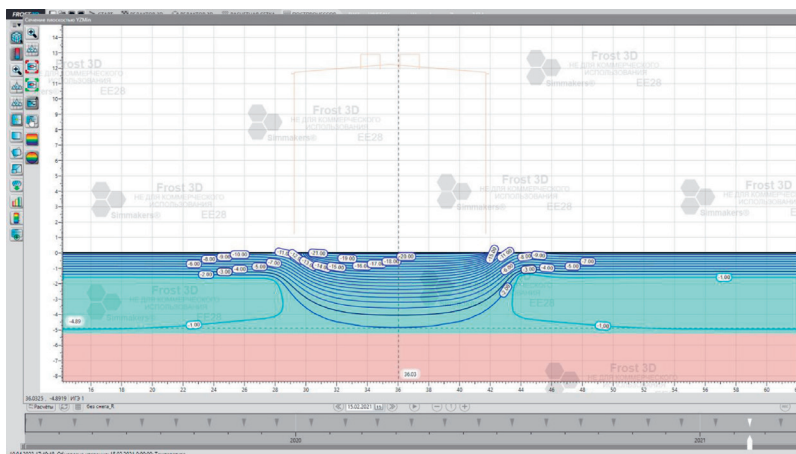


Рис. 8, а. График распределения температуры после выполнения перезапуска расчета

В задаче с плоским строительным объектом получается перезапуск расчета, потому что меняются только граничные условия, а в объемной задаче необходимо поменять и граничные условия, и материал, что Frost 3D не может выполнить.

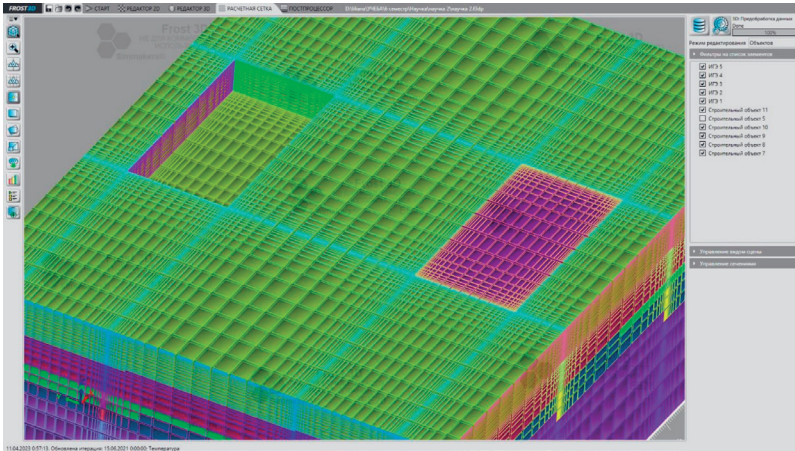


Рис. 9. Вариации раздела сред «грунт» – «атмосфера»

Результаты

В ходе исследования стадийности расчетов в ПК Frost 3D, с использованием функции перезапуска расчетов, мы рассмотрели задачи с двумя вариантами строительных объектов. Было выявлено, что на сегодняшний момент ПК Frost 3D располагает возможностью выполнять стадийный расчет посредством перезапуска расчета с изменением граничных условий на Расчетной сетке, однако в рамках задачи с плоскими объектами. При рассмотрении 3D объектов необходимо учитывать изменения граничных условий каждой грани, что вызывает затруднения, так как программный комплекс позволяет изменить лишь плоскость раздела сред «грунт-атмосфера», относя строительный объект к одной из них.

На основе проведенного анализа, можно сделать вывод, что метод стадийного расчета имеет свои достоинства и недостатки. С его помощью мы можем рассчитать и оценить тепловое распределение грунта на территории планируемой застройки, учитывая время строительства и эксплуатации возводимого здания или сооружения, изменение климатических и других возможных условий, прямо или косвенно воздействующих на исследуемый грунт, за отведенный

период времени. Это позволяет нам составить точный прогноз характера теплового воздействия объекта строительства на грунт с учетом всех возникающих факторов. Кроме того, Frost 3D имеет интерфейс, простой для освоения и восприятия, что облегчает изучение программы. Также, мы можем создать полноценный и структурированный отчет внутри программы, который формируется на основе выполненных операций и полученных данных – различные таблицы, графики и изображения. Однако, для использования программного комплекса необходимы полномерные инженерно-геологические отчеты. К тому же для выполнения подробного и качественного анализа массива многолетнемерзлого грунта необходимо учитывать все особенности программы и детально разбираться в них, что порой вызывает затруднения в связи с только набирающим обороты развитием изучения и распространения ПК Frost 3D.

Литература

1. СП 25.13330.2016 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».
2. СП 131.13330.2016 «Строительная климатология».
3. Далматов Б. И., Бронин В. Н., Карлов В. Д., Мангушев Р. А., Сахаров И. И., Сотников С. Н., Улицкий В. М., Фадеев А. Б. Основания и фундаменты, Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2002.
4. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И. Механика грунтов, Москва : Издательство ассоциации строительных вузов, 2009.
5. Еришов Э. Д. Общая геокриология, Москва : МГУ, 2002.
6. Практическое пособие по Frost 3D.

УДК 624.131.439

Артем Николаевич Свербаев,

студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: sverbaev@gmail.com

Artem Nickolaevich Sverbaev,

student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: sverbaev@gmail.com

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА МОДЕЛИ НА РЕЗУЛЬТАТ НЕДРЕНИРОВАННОГО РАСЧЕТА

EVALUATING THE EFFECT OF MODEL SELECTION ON THE RESULTS OF THE UNDRAWN CALCULATION

Для описания механического поведения грунта, в современной инженерной практике, используются сложные математические модели. При этом, их создание базируется, в основном, на результатах лабораторных испытаний (компрессионных, сдвиговых, трехосных и т. д.): конечным итогом считается набор завершающих уравнений состояния для единичного объема описываемого массива. При этом, сами уравнения, равно как и порядок определения компонент тензоров силовых и кинетических характеристик, обычно оставляется без должного внимания. В работе указаны следствия различий алгоритмов вычисления искомых величин наиболее популярных моделей грунта на 2-х характерных расчетных схемах. Автором приведены блок-схемы последовательности моделирования, подтвержденные аналитическим расчетом. Также даны рекомендации по выбору моделей для расчета в недренированной постановке.

Ключевые слова: нелинейные модели грунта, недренированное поведение.

In modern engineering practice, complex mathematical models are used to describe the mechanical behavior of soil. However, their creation is based mainly on the results of laboratory tests (compression, shear, triaxial, etc.): the result is considered to be a set of final equations of state for a unit volume of the described mass. In this case, the equations themselves, as well as the order of determining the components of the force and kinetic characteristics tensors, are usually left without due attention. The paper points out the consequences of the differences in the algorithms for calculating the required values of the commonly used soil models on two most popular calculation schemes. The author gives block diagrams of the modeling sequence, confirmed by analytical calculations. In addition, there are recommendations on the choice of models for calculations in the undrained formulation.

Keywords: non-linear soil models, undrained behavior.

1. Введение

Для расчета оснований, сложенных слабыми связными грунтами, предлагается использовать разные модели грунта. Наиболее изученными и распространенными являются модели, семейств Cam Clay (и ее модификации, например, Soft Soil, Soft Soil Creep), Hardening Soil (и ее модификации, например, Hardening Soil Small, Generalized Hardening Model). Однако не только данные модели позиционируются как универсально-нелинейные, пригодные для расчета слабых глин. В частности, в программном комплексе Plaxis, представлены еще несколько моделей (NGI-ADP, Sekiguchi-Ohta и т. д.)

Такое разнообразие, впрочем, приводит к закономерному вопросу о выборе наиболее качественной, равно как и о влиянии выбора модели на конечный результат расчета.

2. Методы

Для детального изучения моделей использована виртуальная среда Plaxis Soiltest, а также численный анализ Plaxis для простых, но в то же время принципиальных расчетных схем (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид расчетных схем

Три основных модели грунта, рассматриваемые в данной работе, наглядно демонстрируют основные фреймворки (англ. framework – основа, базис, имеется в виду теоретическая экспликация пластического поведения грунта) которые используются для обоснования методов геотехнических расчетов [1, 2, 4]:

- Модель слабого грунта Soft soil – эволюция шатровых моделей критического состояния типа Cam Clay
- Модель Норвежского геотехнического института NGI-ADP – опирается на эмпирический метод SHANSEP и линейную связь между индексами сжатия и пластичности

- Модель упрочняющегося грунта Hardening Soil – как и предыдущая модель, использует коэффициент переуплотнения (OCR) и, в добавок, апеллирует к теории устойчивого состояния, предполагая связь между скоростями деформаций и приращением напряжений по ветви первичного нагружения

- Так же, для получения контрольной группы значений, произведены расчеты с использованием идеально-упругопластической модели Кулона-Мора.

Одной из самых значительных проблем прикладной геотехники на момент написания статьи можно назвать зачаточное состояние методик интерпретации лабораторных испытаний в рамках предлагаемых математических моделей, в купе с отсутствием унифицированной системы обозначений используемых параметров [3, 6, 7, 8].

Это, в первую очередь, приводит к усложнению понимания логики модели. Более того, достаточно проблематично установить соответствие между параметрами разных моделей грунта, что в свою очередь усложняет их сравнительный анализ.

Исходными данными для работы послужили результаты трехосных испытаний слабого связного грунта по КД и КН схемам, выполненных в соответствии с ГОСТ 12248.3-2020.

Далее, с помощью утилиты Parameter Optimisation в программе Plaxis Soiltest, были собраны пакеты исходных данных, гарантирующие максимальное соответствие модели материала реальным испытаниям (рис. 2, 3). Исходные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Hardening Soil			Soft Soil			NGI-ADP			Mohr-Coulomb			
e						0,38	–					
γ						15,8	кН/М ³					
γ_{unsat}						16,0	кН/М ³					
E₅₀	9612	кПа	λ*	0,038	–	G_{ur}/s_{UA}	56	–	E'	5240	кПа	
E_{oed}	5240	кПа	κ*	0,015	–	γ_{TC}	10	%				
E_{ur}	50417	кПа	M	0,8968	–	γ_{FE}	28	%				

Окончание табл. 1

Hardening Soil			Soft Soil			NGI-ADP			Mohr-Coulomb		
				e		0,38	—				
				γ		15,8	кН/М ³				
				γ_{unsat}		16,0	кН/М ³				
m	0,7723	—				γ_{ndss}	16,9	%			
c'	29,7	кПа	c'	29,5	кПа	s_{UA}	72	кПа	c'	29,4	кПа
ϕ'	14,63	°	ϕ'	14,23	°	$s_{\text{CTX}}/s_{\text{UA}}$	0,99	—	ϕ'	14,23	°
ψ	0	°	ψ	0	°	$s_{\text{UP}}/s_{\text{UA}}$	0,5	—	ψ	0	°
R_f	0,7811	—				τ_0/s_{UA}	0,01	—			
K_0	0,7543	—	K_0			$s_{\text{UDSS}}/s_{\text{UA}}$	0,8	—			
v_{ur}	0,2146	—	v	0,3	—	v	0,32	—	v'	0,3	

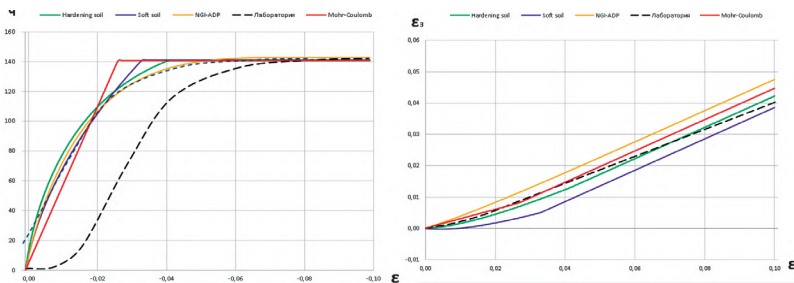


Рис. 2. Графики результатов реальных и виртуальных трехосных испытаний (КД)

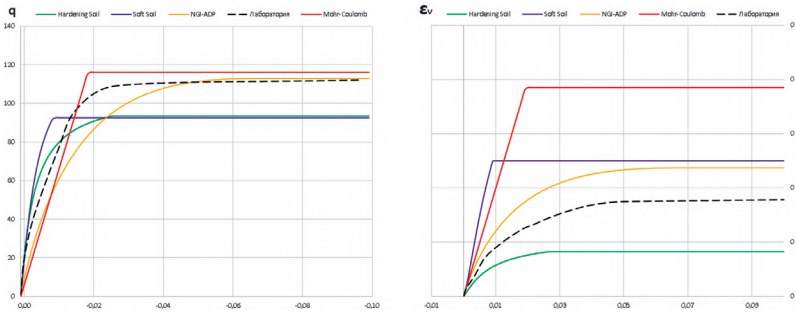


Рис. 3. Графики результатов реальных и виртуальных трехосных испытаний (КН)

Исходя из предположения об относительной несжимаемости воды и гипотезы Терцаги [4, 5], очевидно, что наличие избыточного порового давления для РС 1 вызовет снижение устойчивости основания (рис. 4, а), а, следовательно, и меньший коэффициент безопасности (M_{safety}). И, напротив, для РС 2 избыточное поровое давление будет «догружать» массив основания, уменьшая тем самым нагрузку на конструкцию ограждения (рис. 4, б).

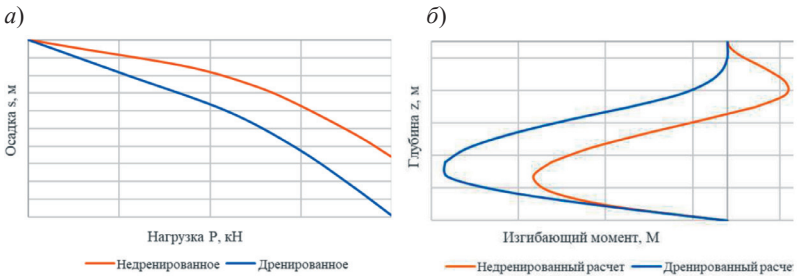


Рис. 4. Принципиально ожидаемый вид для разных условий расчета:
 а – графика «нагрузка – осадка» основания насыпи;
 б – графиков распределения изгибающих моментов
 в ограждающей конструкции по глубине

3. Результаты и обсуждения

Характерные результаты расчетов приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Коэффициенты устойчивости

Условия/ Модель	Hardening Soil	Soft Soil	NGI-ADP	Mohr-Coulomb
Drained	2,17	1,86	1,14 *	1,86
Undrained	1,48	1,79	1,14	1,23

Таблица 3

Максимальные абсолютные значения изгибающих моментов, кНм

Условия/ Модель	Hardening Soil	Soft Soil	NGI-ADP	Mohr-Coulomb
Drained	304,64	653,13	306,25*	892,29
Undrained	228,55	581,77	306,25	895,74

Заметим, что предположения подтверждаются не для всех моделей, а разброс результатов весьма значителен. Причина – во внутренних связях компонент деформаций и напряжений и порядке их получения [6, 7].

Для идеально-упругопластической модели Кулона-Мора фаза неупругих деформаций вырождается в точку достижения критерия разрушения. Это объясняет, почему коэффициенты устойчивости у нее относительно низкие, а моменты для обоих условий расчета почти совпадают. Тем не менее, наличие порового давления снижает устойчивость насыпи.

Модель слабого грунта показывает завышенные значения для всех условий расчета. Это связано с ошибкой, заложенной в самой модели: приоритет отдан объемным деформациям. Однако, в условиях отсутствия (или чрезвычайно медленной) фильтрации объемные деформации относительно невелики, что ведет к мнимой минимизации перемещений (рис. 5).

Теоретически, модель двойного упрочнения должна иметь преимущество перед Soft Soil, т. к. обладает дополнительными независимыми уравнениями состояния.

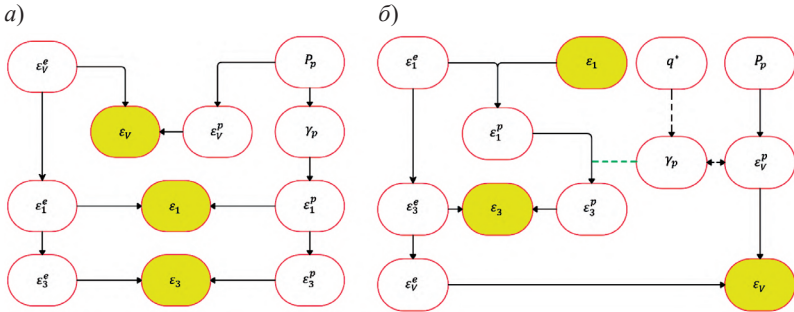


Рис. 5. Алгоритмы вычисления компонент моделей грунта для моделей Soft soil (а) и Hardening soil (б)

Однако наследие шатровых моделей в виде ассоциированного закона течения приводит к вычислению пластических деформаций сдвига на основе полученных пластических объемных деформаций, полученных из шатра (изолиний равных объемных деформаций) – аналога моделей типа «Cam Clay».

Подтверждение приведенных алгоритмов проведено в среде автоматизированного проектирования MathCAD. Сравнение графиков с результатами Plaxis Soiltest приведено на рис. 6.

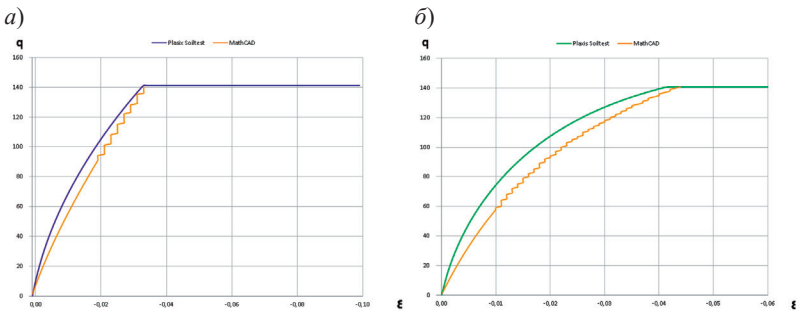


Рис. 6. Сходимость аналитического и программного графиков «е – q» для Soft soil (а) и Hardening soil (б)

Сравнительно новая модель NGI-ADP, показывает лучшую теоретическую аппроксимацию к результатам испытаний, обладая преимуществом математически-более гладких функций, модифицированным критерием разрушения, а также анизотропией, зависящей от вида НДС (что является самым главным плюсом модели).

Однако существенным, по мнению автора, недостатком данной модели является расчет в полных напряжениях (Undrained c), прямое введение постоянной недренированной прочности и использование подходов деформационной теории пластичности, требующих образцов высокого качества, ненарушенной структуры и дополнительных лабораторных испытаний. Кроме того, модель предназначена для расчетов только в недренированной постановке.

4. Выводы

- Применение современных моделей ограничено условиями получения для них входных параметров. В частности, в описании и технической документации по моделям грунта отсутствуют методики получения параметров на основе упоминающийся лабораторных испытаний.

- Разница в последовательности вычисления компонент тензоров напряжений и деформаций дает глобальную разницу в результатах расчета. Алгоритм вычисления должен иметь физическое обоснование, а не математическое удобство. Сходимость результатов моделирования лабораторных испытаний не гарантирует точности при анализе конкретной расчетной схемы.

- Для более консервативных результатов недренированно-го расчета, рекомендуется использование модели Hardening Soil – в случае проектирования насыпей и Soft Soil – для моделирования котлованов.

5. Заключение

Несколько завершающих уравнений механики сплошных сред не могут считаться моделью, если они игнорируют или некорректно трактуют физико-механическую природу наблюдаемых явлений. Однако же, регулярно считаются. Для построения адекватной

математической модели требуется сперва выделить зависимости приоритетные для соблюдения. В какой-то степени это мешает модели быть всеохватывающей, обобщающей и теоретически обоснованной. Тем не менее, с инженерной точки зрения, такая «феноменологическая» модель будет описывать поведение конкретного грунта достовернее.

Литература

1. *Шашкин А. Г.* Критический анализ наиболее распространенных нелинейных моделей работы грунта // Инженерная геология. М.: 010. № 3. с. 9–37.
2. *Мирный А. Ю.* Области применения современных механических моделей грунтов / А.Ю. Мирный, А. З. Тер-Мартirosян // Геотехника. – 2017. – № 1. – С. 20–26.
3. *Lade P. V.* Overview of constitutive models for soils. // Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection and Calibration, pp 1–34. 2005.
4. *Yin Z. Y.* Practice of Constitutive Modelling for Saturated Soils / Z. Y. Yin, P. Y. Hicher, Y. F. Jin. – 1. – Singapore : Springer, 2020. – 400 с.
5. *Hai-Sui Y.* Plasticity and Geotechnics / Yu Hai-Sui. – 13. – NY : Springer, 2006. – 522 с.
6. Plaxis Material Models Manual 2D.
7. *Свербаев А. Н.* Основные математические компоненты моделей грунта, сформулированных в рамках механики сплошной среды / А. Н. Свербаев. – // Серия «Строительство» : сборник статей магистрантов и аспирантов. Выпуск 6. В 2-х т. Т. 1 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. – 524 с. – С. 480–497.
8. *Строкова Л. А.* Научно-методические основы численного прогноза деформирования грунтовых оснований: специальность 25.00.08 : диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Строкова Людмила Александровна ; ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский томский политехнический университет». – Томск, 2011. – 265 с. с ил.

УДК 624.154

Шерзод Абдухамидович Эргашев,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: s.a.ergashev@mail.ru

Sherzod Abdukhmidovich Ergashev,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: s.a.ergashev@mail.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО
ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ УСТРОЙСТВЕ
СВАЙ ВЫТЕСНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ
ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ**

**DETERMINATION OF EXCESSIVE PORE PRESSURE
OF THE SOIL DURING THE INSTALLATION
OF DISPLACEMENT PILES USING NUMERICAL
SIMULATION IN THE THREE-DIMENSIONAL
FORMULATION OF THE PROBLEM**

В статье представлен анализ данных, полученных в ходе разработки расчетной схемы для прогноза поведения избыточного порового давления грунта во время устройства свай вытеснения в трехмерной постановке задачи в программном комплексе Plaxis 3D. По результатам анализа и расчетов было выбрано подходящее сечение для моделирования свай. Расчетные схемы моделировались на основе одного исследования, где изучалось напряженно-деформируемое состояние массива грунта вокруг свай вытеснения. Было произведено сравнение значений экспериментальных данных и данных полевых измерений.

Ключевые слова: избыточное поровое давление; изменение напряженно-деформированного состояния грунта; свая вытеснения; буронабивная свая; свая Fundex.

The article presents an analysis of the data obtained during the development of a calculation scheme for predicting the behavior of excess pore soil pressure during the installation of displacement piles in a three-dimensional problem statement in the Plaxis 3D software package. Based on the results of the analysis and calculations, was selected suitable pile cross-section for modeling. The design schemes were modeled on the basis of one study, where was studied the stress-strain state of the soil around displacement piles. Were compared the values of experimental data and field measurements.

Keywords: excessive pore pressure; change in the stress-strain state of the soil; displacement pile; bored piles, “Fundex piles”.

I. Введение

Отсутствие конкретных данных по моделированию НДС грунтов в трехмерной постановке в программном комплексе Plaxis 3D при устройстве свай вытеснения заставляет инженеров пробовать разные инструменты программы и тратить на это свое время.

Цель – получить требуемые характеристики модели в трехмерной постановке для получения НДС грунта, соответствующего данным натурных испытаний.

Полученные данные позволят моделировать устройства свай вытеснения в трехмерной постановке.

II. Обзор литературы

В сети были найдены материалы по моделированию устройства свай только в двухмерной постановке. Отсутствие литературы по моделированию свай в трехмерной постановке является проблемой в данной отрасли.

В статьях с двухмерной постановкой [1, 2] используется программный комплекс ABAQUS и гипопластическая модель грунта. Авторы приходят к выводу, что есть возможность моделировать свай, но не раскрывают как они это делают.

Известно, что численный анализ установки забивных свай также сложен. Были предприняты попытки разработать репрезентативные вычислительные подходы и предоставить прогнозы, которые можно проверить экспериментально. Использование стандартного метода конечных элементов (КЭ) часто приводит к проблемам в зоне контакта свая-грунт и искажению сетки при работе с большими деформациями [1].

Гипотеза работы: Требуемые поровые давления возникают при раздвижке грунта свай на 6 % как при моделировании в Plaxis 2D [3].

В статьях проводились численные эксперименты и сравнивались результаты расчетов с данными натурных испытаний. использовались сравнения результатов численных исследований, итерационный процесс моделирования и сравнение результатов расчетов с данными натурных испытаний.

III. Методология

Для проведения исследования будут использоваться данные из статьи Zhang, L.M [4].

В этой [4] работе устраивалась забивная свая вытеснения методом статического вдавливания длиной 12 м и диаметром 400 мм.

Строительная площадка расположена в городском округе Дуньин на севере китайской провинции Шаньдун с выходом на море на востоке Китая, с относительно ровной местностью и большими локальными колебаниями.

По своим физико-механическим показателям, основание в пределах 30 м в продольном направлении делится на 12 слоев. Распределение слоев основания показано на рис. 1.

Физико-механические показатели каждого слоя грунта основания приведены в таблице. Уровень грунтовых вод на участке 0,30–3,00 м.

Для регистрации значений поровых давлений на поверхности забивной сваи были установлены кремниевые пьезометрические датчики, а датчики порового давления воды симметрично установлены на одном и том же участке с обеих сторон сваи.

Для моделирования грунтов использовалась упругопластическая модель *Hardening Soil*.

Также используется интерфейс сваи равный 0,67.

Для моделирования поведения сваи используется внутренний инструмент программы *Plaxis 3D*: заданное объемное расширение тела *Volume Strain*, 6 %;

Для проведения исследования в этой главе будут использованы эмпирические методы проведения исследований: численные эксперименты и сравнение результатов.

Были разработаны расчетные схемы с различными поперечными сечениями свай (рис. 2) для определения оптимальных параметров исследуемых характеристик.

Характеристики грунта

№ слоя	Наименование грунтов	Толщина слоя, м	Природная влажность W, %	Плотность грунта	Коэффициент пористости e	Показатель консистенции I _p %	Угол трения	Сцепление	E
1	Насыпной гр.	2,44							
2	Глина	1,45	27,7	18,6	0,792	28,5	18,9	10,0	6,0
3	Суглинки	0,54	31,1	18,4	0,881	32,5	7,3	16,9	3,0
4	Суглинки	0,77	30,5	18,4	0,873	32,1	10,0	18,5	3,0
5	Глина	2,39	28,0	18,8	0,796	28,9	19,9	9,5	6,5
6	Суглинки	3,66	31,5	18,3	0,892	32,3	7,2	18,8	3,0
7	Глина	2,39	28,0	18,8	0,793	28,9	20,3	10,0	7,0
8	Суглинки	0,8	30,8	18,5	0,875	32,6	9,9	17,9	3,5
9	Суглинки	6,37	30,8	18,5	0,862	32,6	10,7	18,6	4,0
10	Глина	1,49	27,7	18,8	0,789	28,6	20,3	10,7	7,0
11	Глина	1,54	27,0	19,0	0,754	28,7	22,0	11,7	7,5
12	Суглинки	17,68	24,0	19,3	0,692		34,0	5,0	10,3

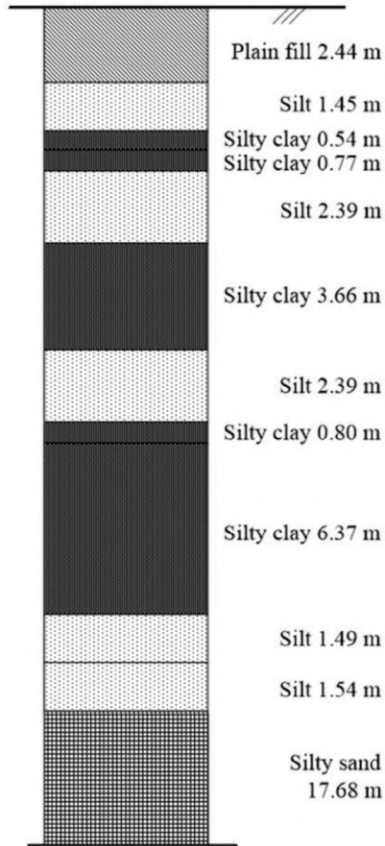


Рис. 1. Геологический разрез [4]

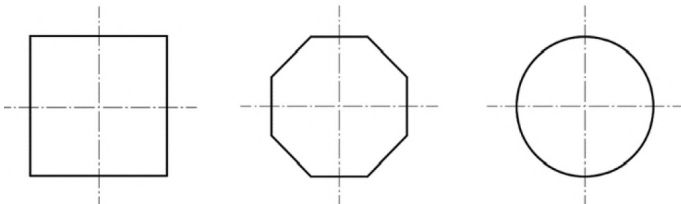


Рис. 2. Сечения свай, используемые в расчетных схемах

Расчетная схема № 1

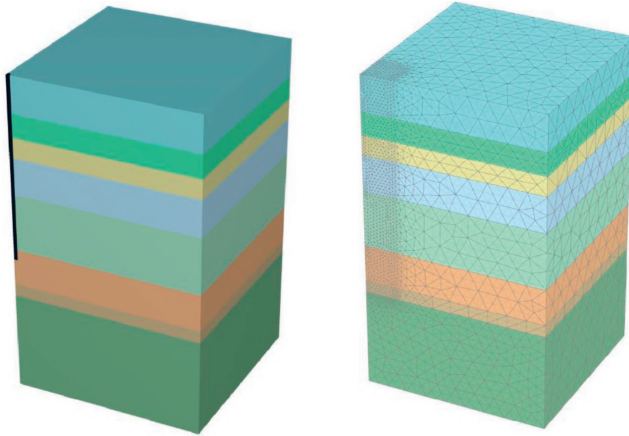


Рис. 3. Расчетная схема № 1 и сетка конечных элементов

Расчетная схема № 2

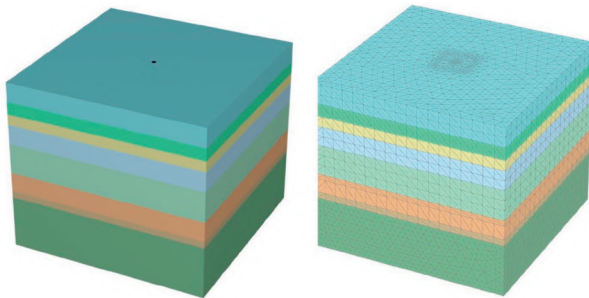


Рис. 4. Расчетная схема № 2 и сетка конечных элементов

Для анализа данных будут использоваться следующие методы:

- Описание данных с помощью графиков
- Изучение сходства/различий с гипотезой об отсутствии различий
- Исследование зависимостей

Ожидаемые результаты:

- Сходимость с натурными данными поровых давлений
- Сходимость с данными двухмерной расчетной схемы

Полученные данные будут использоваться для проверки сходимости деформаций конструкций в расчетных моделях

В данном исследовании ограничением является то, что используются натурные данные экспериментов, выполненные несколькими годами ранее. Специально для этого свая не устраивалась. Также для модели грунтов HS исходные данные являются недостаточными. Они были автоматически дополнены по формулам.

IV. Результаты

Рассчитанные значения поровых давлений и изображения изополей деформаций приведены на рисунках.

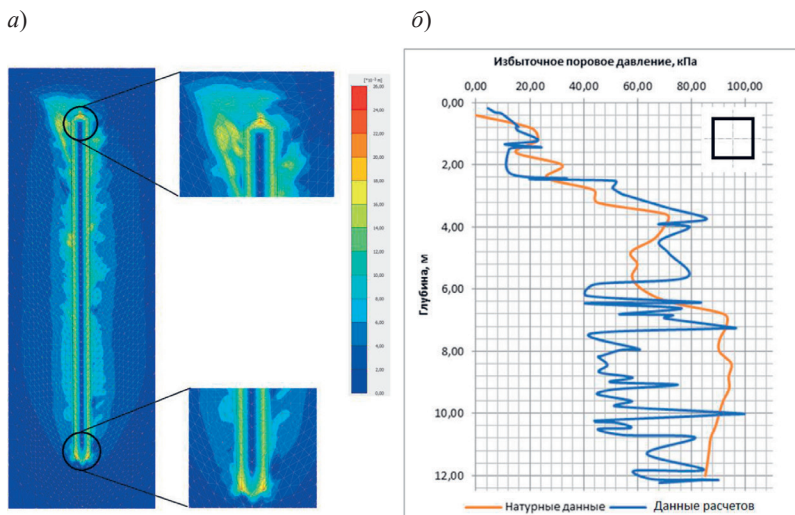


Рис. 5. Изополя деформаций сваи квадратного сечения в расчетной схеме № 1 (а); график избыточных поровых давлений на расстоянии 0,2 м от контура сваи (б)

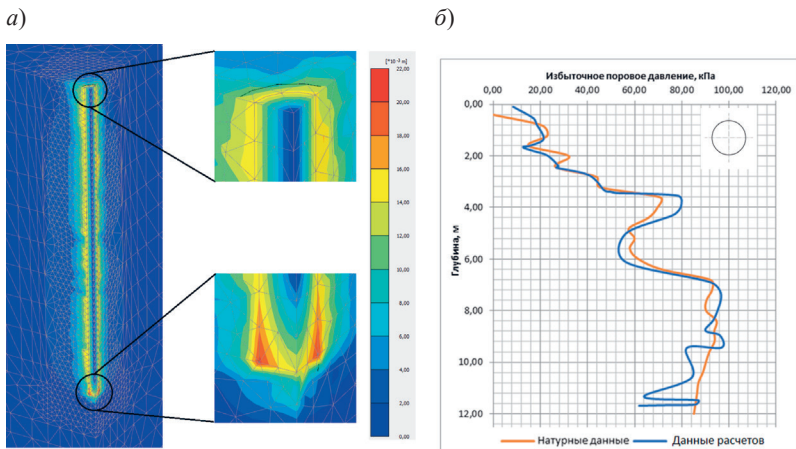
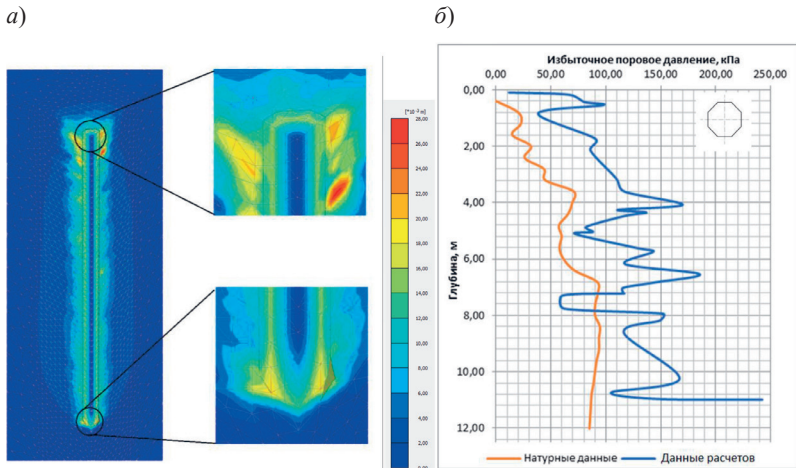


Рис. 7. Изополя деформаций сваи круглого сечения сваи в расчетной схеме № 1 (а); график избыточных поровых давлений (б)

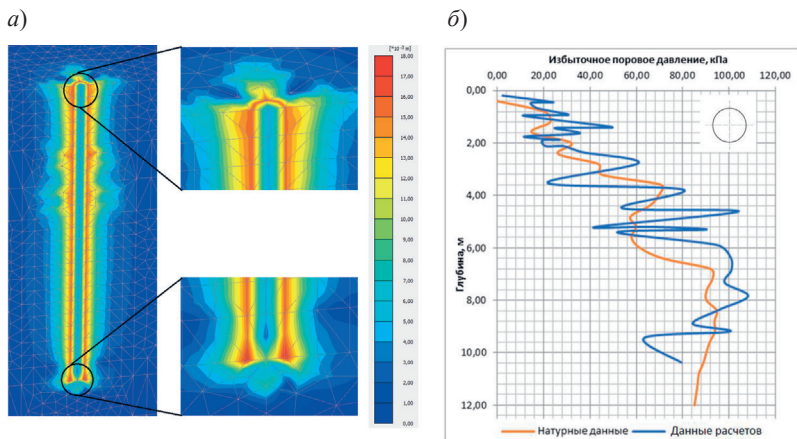


Рис. 8. Изополя деформаций сваи круглого сечения сваи в расчетной схеме № 2 (а); график избыточных поровых давлений (б)

V. Обсуждение результатов

Результаты расчетов показали, что ранее поставленная гипотеза подтвердилась.

В графиках также были приведены графики избыточных поровых давлений натуральных испытаний и проведенных расчетов.

Расчетная схема № 1

- **Квадратное сечение** сваи вызывает неравномерные деформации по длине сваи, а также концентрацию напряжений на углах. До глубины 7 метров имеется корреляция расчетных значений и натуральных данных.

- **Полигональное сечение** сваи также вызывает неравномерные деформации. Избыточные поровые давления при расчете получились значительно больше натуральных данных несмотря на то, что поведение распределения порового давления схожи.

- При **круглом сечении** сваи деформации равномерные. Поведение и значения избыточного порового давления совпадают с экспериментальными данными по всей длине сваи.

Расчетная схема № 2

● **Круглое сечение** свай вызывают равномерные деформации, характер деформаций аналогичен с данными расчетной схемы № 1. Поведение и значения избыточного порового давления совпадают с экспериментальными данными по всей длине свай.

Важно отметить, что значения поровых давлений были получены на расстоянии 0,2 м от контура свай. Величина поровых давлений меняется при изменении расстояния между сваями и точкой отбора (чем дальше – тем меньше).

Численное моделирование по вышеприведенному методу с использованием круглого сечения хорошо воспроизводит результаты измерений. К сожалению, точная проверка численной модели невозможна, так как ряд параметров грунтов, приведенных в расчетных схемах, неизвестны и были взяты по эмпирическим формулам.

VI. Выводы

Были получены требуемые характеристики модели в трехмерной постановке для получения НДС грунта, соответствующего данным натурных испытаний.

Был сделан вывод, что использование следующих характеристик необходимы для корректного моделирования поведения свай вытеснения:

- круглое сечение свай;
- модель Hardening Soil;
- интерфейс свай, 0,67;
- заданное объемное расширение тела *Volume Strain*, 6 %;

Представленные численные результаты доказывают, что устройство и поведение буронабивных свай можно моделировать с помощью метода конечных элементов.

Кроме того, использование интерфейсов позволяет решить проблемы искажения сетки из-за сложных условий нагружения.

Влияние на напряженное состояние грунта можно исследовать и визуализировать. Эффекты и деформации в грунте могут быть изучены более точно, если будут все исходные данные для использования модели грунта Hardening Soil.

В будущих работах могут быть выполнены расчеты на других моделях грунтов для более точного воспроизведения поведения грунтов, расчет горизонтальных деформаций в трехмерной постановке для прогноза деформаций, возникающих вследствие установки свай вытеснения.

Литература

1. *Yang Z. X., M. ASCE; Y. Y. Gao; Jardine R. J.; Guo W. B.; and Wang D.* 2020. „Large Deformation Finite-Element Simulation of Displacement-Pile Installation Experiments in Sand.“ *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146 (June). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002271/](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002271/)
2. *Larisch M, Nacke E., Arnold M., Williams D., Scheuermann A.* „Simulation of auger displacement pile installation.“ *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2014. DOI 10.1179/1939787913Y.0000000034/
3. *Эргашев Ш. А.* «Определение избыточного порового давления грунта при устройстве свай вытеснения с помощью численного моделирования» / Серия «Строительство» : сборник статей магистрантов и аспирантов. Выпуск 6. В 2-х т. Т. 1 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. – 524 с.
4. *Zhang L. M., Wang H.* Field test of excess pore water pressure at pile-oil interface caused by PHC pipe pile penetration based on silicon piezoresistive sensor // *Sensor* – 2020.

СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.046.2

Александра Руслановна Нугаматуллина,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: nigmatullinaar@gmail.com

Aleksandra Ruslanovna Nigmatullina,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: nigmatullinaar@gmail.com

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ПК АВАQUS

NUMERICAL IMPLEMENTATION OF NONLINEAR MODELS OF REINFORCED CONCRETE IN ABAQUS

Статья посвящена анализу численной реализации нелинейных моделей железобетона в ПК Abaqus. В статье рассмотрена модель бетона Concrete Damaged Plasticity, описаны ее основные свойства и параметры, а также описана область ее применения. В качестве объекта для анализа работы модели бетона была принята шарнирно-опертая железобетонная балка прямоугольного сечения. Приведены характеристики бетона, используемые в расчете. В статье рассмотрено поэтапное построение расчетной модели в программном комплексе. В качестве результатов исследования представлены перемещения балки под действием нагрузки, напряжения в бетоне и в арматуре, а также приводится сравнение перемещений, полученных в ПК Abaqus, с результатами лабораторного испытания. В конце статьи приводятся выводы о возможности использования данной модели для расчета объемных железобетонных конструкций.

Ключевые слова: модель бетона, Abaqus, нелинейность, concrete damaged plasticity, damaged.

This article is devoted to the analysis numerical implementation of nonlinear models of reinforced concrete in Abaqus PC. The article considers the concrete damaged plasticity concrete model, describe its main properties and parameters and describes its scope as well. An object for the analysis of the concrete model is a rectangular cross-section hinged reinforced concrete beam. The characteristics of concrete used in the calculation are given. The article considers the stage-by-stage

construction of the calculation model in the software package. As the results of the study the displacements of the beam under the load, stress in concrete and reinforcement are presented, the comparison of the displacements obtained in the Abaqus PC with the results of a laboratory test as well. At the end of the article, conclusions are given about the possibility of using this model for calculating volumetric reinforced concrete structures.

Keywords: concrete model, Abaqus, nonlinearity, concrete damaged plasticity, damage

Целью данной работы является анализ численной реализации модели бетона, представленной в ПК Abaqus, описание области ее применения и основные особенности. Приводится пример решения задачи прочности шарнирно-опертой балки, посчитанной с использованием встроенной модели бетона в программном комплексе и приводится сравнение некоторых результатов расчета с результатами эксперимента.

Конечно-элементный комплекс Abaqus предлагает три варианта моделей бетона: Concrete Damaged Plasticity, Concrete Smeared Cracking и Brittle cracking. В данной статье рассмотрена модель Concrete Damaged Plasticity.

Concrete Damaged Plasticity позволяет моделировать бетон в любых типах конструкций (балки, оболочки и сплошные твердые тела). Она работает как при монотонной загрузке, так и при циклическом или динамическом. Данная модель бетона описывает деградацию упругих свойств материала при его многократном циклическом нагружении.

Концепция данной модели состоит из комбинации изотропной поврежденной эластичности (упругости) и изотропной пластичности при сжатии и растяжении, которые в совокупности представляют неупругое поведение бетона. Поврежденная изотропная упругость описывает необратимые повреждения, возникающие в теле бетона в результате трещинообразования. Основными механизмами разрушения, естественно, является разрушение бетона при сжатии или его растрескивание при растяжении. На рис. 1 представлены диаграммы одноосного сжатия и растяжения бетона, используемые для моделирования поведения бетона [2].

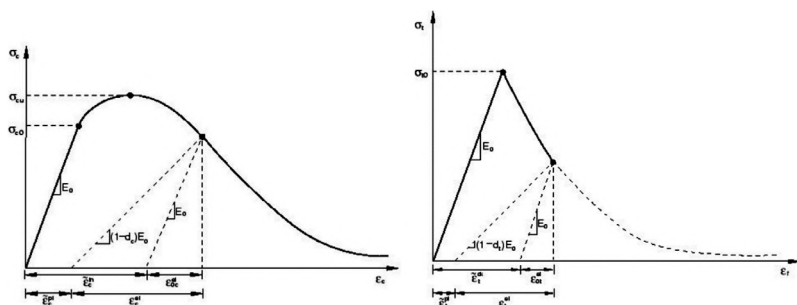


Рис. 1. Диаграммы одноосного сжатия и растяжения бетона

Отличительной особенностью данной модели является возможность смоделировать деградацию упругих свойств бетона при его повторном нагружении (после снятия нагрузки). Данное свойство отражено на рис. 1. При разгрузке образцов в любой момент времени при достижении ими значений пределов прочности на сжатие и растяжении (т. е. в любой момент времени на разгрузочной ветви), наблюдается ослабление упругих свойств, так как упругость материала повреждена.

Данное свойство уменьшение упругой жесткости характеризуется коэффициентами d_c и d_t . Коэффициенты d_c и d_t изменяются в диапазоне от 0 до 1, где единице соответствует материал с неповрежденными свойствами, а нулю – материал, прочность которого потеряна.

Для определения данных коэффициентов необходимо производить испытания бетонных образцов на циклическую нагрузку, при которой будет наблюдаться постепенная потеря прочности образца. Пример результатов испытаний, представленный в виде графика напряжение-деформации представлен на рис. 2 [3].

В качестве численного исследования выбрана железобетонная балка, испытанная на изгиб с разрушением по нормальному сечению. Расчетная схема балки представлена на рис. 3.

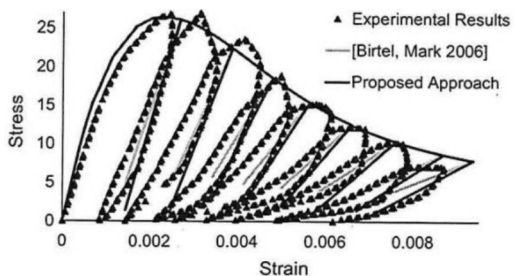


Рис. 2. Экспериментальные результаты испытания бетонного образца на циклическую нагрузку

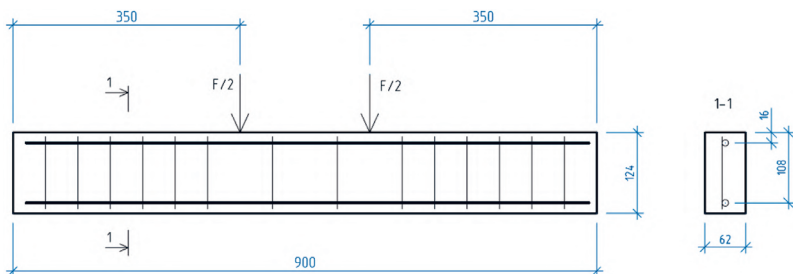


Рис. 3. Расчетная схема балки

Железобетонная балка выполнена из бетона класса В30, арматура класса А240 диаметром 10 мм.

Модель железобетонной балки, выполненная в комплексе Abaqus, представлена на рис. 4.

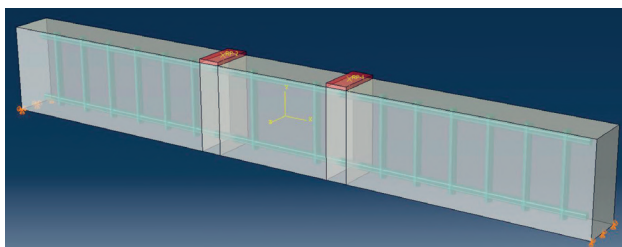


Рис. 4. Модель балки в ПК Abaqus

В качестве диаграмм растяжения сжатия были использованы трехлинейные диаграммы по [1].

Ниже, в табл. 1–4, приведены характеристики бетона в модели Concrete Damaged Plasticity, принятые в расчете.

1. Density: 2400 кг/м³;
2. Elastic: $E = 32,5$ ГПа, Poisson's Ratio = 0,2;
3. Concrete Damaged Plasticity:

Таблица 1

Plasticity

Dilation Angle	Eccentricity	f_b/f_c	K	Viscosity Parameter
38	0.1	1.16	0.67	0 (dynamic, explicit) 0.0005 (static, general)

Таблица 2

Compressive behavior

	Yield Stress	Inelastic Strain
1	13 200 000	0
2	2 2000 000	0.00132
3	22 000 000	0.00282

Таблица 3

Tensile behavior

	Yield Stress	Cracking Strain
1	1 050 000	0
2	1 750 000	0.0000461
3	17 500	0.0003995

Таблица 4

Concrete Tension Damage

	Damage Parameter	Cracking Strain
1	0	0
2	0	0.0000461
3	0.99	0.0003995

В табл. 5 приведены результаты испытания балки в лабораторных условиях.

Таблица 5

Результаты испытания балки на прогиб

№	Нагрузка F , Н	Изгибающий момент, Н*м	Прогиб, мм	Трещины в мм			
				1	2	3	4
0	0						
1	4100	717,5	0.60				
2	6100	1067,5	0.98				
3	8150	1426,25	1.34		0,05		
4	10 000	1750	1.71	0,1	0,1		
5	12 000	2100	2.12	0,2	0,1	0,1	0,05
6	14 050	2458,75	2.61	0,25	0,15	0,1	0,1
7	16 200	2835	3.05	0,3	0,2	0,2	0,15

Исследование происходило в несколько этапов.

На первом этапе после построения модели в программном комплексе был проведен расчет на статическую и динамическую нагрузку первой ступени эксперимента. Далее расчеты велись только в статической постановке.

На втором этапе прикладывалась нагрузка второй, третьей и четвертой ступени.

На третьем этапе производился расчет на разрушающую нагрузку, так как на всех последующих ступенях эксперимента нагрузка превышала теоретическую разрушающую.

Результаты исследования приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты исследования прогибов

Нагрузка, Н	ABAQUS (static/dynamic), мм	Теоретическое значение, мм	Экспериментальное значение, мм
4100	0,43 / 0,52	0,47	0,60
6100	0,97	0,81	0,98
8150	1,42	1,15	1,34
10000	1,80	1,46	1,71
$P_u=10200$	1,89	1,59	1,80

Как мы видим из рис. 5, максимальные вертикальные перемещения балки при приложении к ней разрушающей нагрузки, равной 10 200 Н, составляют 1,89 мм, что ближе к данным эксперимента, чем к теоретическому значению прогиба.

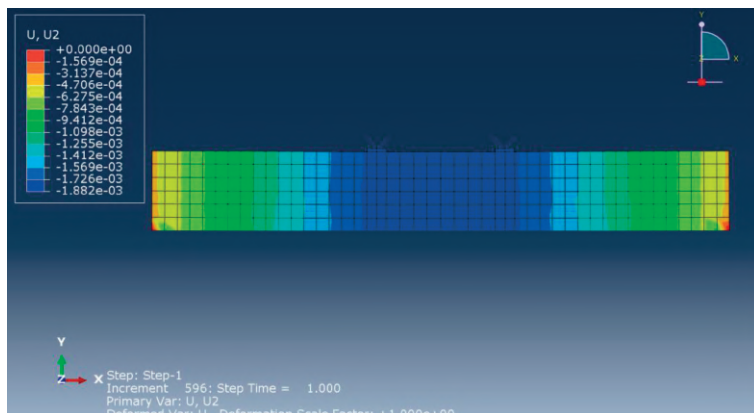


Рис. 5. Перемещения балки при нагрузке 10 200 Н

Напряжения в арматуре при разрушающей теоретической нагрузке составляют 239 Мпа, что практически соответствует пределу текучести арматуры А240.

Как мы видим из рис. 6, напряжения в бетоне сжатой зоны достигли предельных значений и составляют 14,5 Мпа.

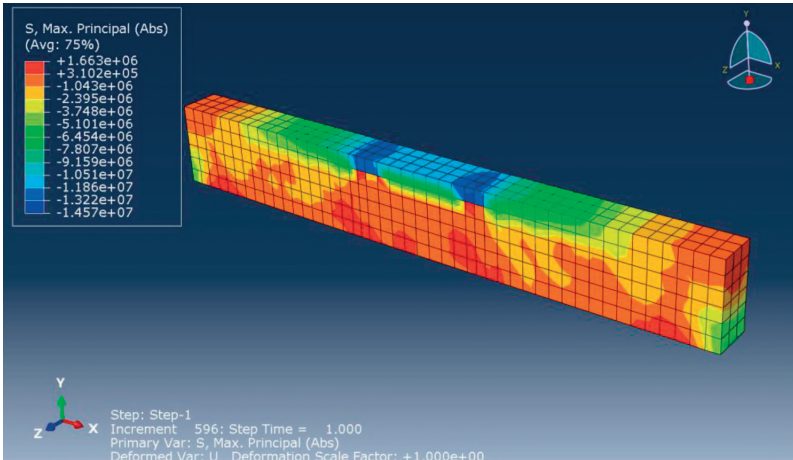


Рис. 6. Напряжения в бетоне при нагрузке 10 200 Н

Параметр DAMAGET, представленный на рис. 7, отражает характер распространения трещин в растянутом бетоне. Значению параметра, равному 0.99, соответствуют наличие областей с полной потерей прочности бетона на растяжение. Развитие трещин в данных областях подтверждает факт разрушения балки при изгибе по нормальному сечению.

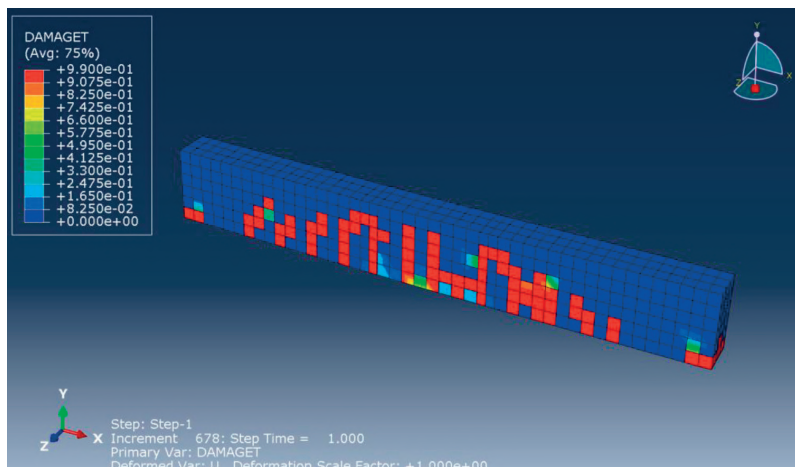


Рис. 7. Параметр DAMAGET при нагрузке 10 200 Н

Выводы

1. Модель Concrete Damaged Plasticity отражает реальное поведение бетона, что подтверждается результатами определения прогибов;
2. Модель содержит большое количество существенных параметров, значения которых следует определять по результатам экспериментов;
3. Параметр DAMAGET отражает характер распространения трещин в растянутом бетоне;
4. Данную модель можно использовать для расчетов объемных железобетонных конструкций.

Литература

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М. : НИИЖБ им. Гвоздева – институт ОАО «НИЦ «Строительство», 2018 г.
2. ABAQUS (2008). User's Manual, Version 6.8, Hibbit, Karlsson&Sorensen, Inc., Pawtucket, Rhode Island, USA.
3. *Alfarah B., López-Almansa F., Oller S.* New methodology for calculating damage variables evolution in Plastic Damage Model for RC structures. Elsevier. Engineering Structures. 2016 г. – 18 стр.

СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 69.059

Павел Анатольевич Бакусов,
аспирант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: bakusovpavel@gmail.com

Pavel Anatol'evich Bakusov,
postgraduate student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: bakusovpavel@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО ИНЪЕКТИРОВАНИЮ ПОВРЕЖДЕНИЙ

APPLICATION OF COHERENT ANALYSIS FOR EVALUATION THE INJECTION QUALITY REALISED IN DAMAGED STRUCTURES

В статье рассматривается задача оценки качества работ по усилению каменных конструкций. Приводится нормативная и правовая база, в которой регламентируются работы по производству работ и их приемке. Указываются основные проблемы, возникающие при оценке качества проведенных работ. Для оценки качества работ по усилению предлагается использовать функцию когерентности. Данная характеристика может рассматриваться как динамический «портрет» повреждения, который можно снять до и после работ по усилению и на основе их сравнения произвести оценку качества. На практических примерах усиления трещин в кирпичной кладке инъектированием иллюстрируется применение предлагаемого метода.

Ключевые слова: кирпичная кладка, усиление конструкции, инъектирование, динамика конструкций, функция когерентности.

The article considers the issue of quality evaluation of strengthening work of masonry. The regulatory and legal framework is presented, which regulates the production of work and its acceptance. The main problems during the assessing the quality of the works are specified. For quality evaluation of strengthening, it's proposed to use the coherence function. This characteristic can be considered as a dynamic "portrait" of damage, which can be taken before and after the strengthening work, and to evaluate the quality by comparison. The application of the proposed method is illustrated by practical examples, which are presented by crack repair using injection techniques in conditions of masonry.

Keywords: masonry, enforcement of structure, injection, structural dynamics, coherence function.

Введение

При работах по реконструкции зданий и сооружений зачастую возникает необходимость в усилении конструкций. Под усилением понимается комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение несущей способности и эксплуатационных свойств строительных конструкций здания и сооружения в целом, включая грунты основания, по сравнению с фактическим состоянием или проектными показателями [1].

Наиболее подробно проектирование, производство, а также контроль усиления и восстановления каменных конструкций описаны в стандарте [2]. Кроме данного стандарта в части инъектирования имеются методические указания [3]. На рис. 1 приводится классификация методов по усилению и восстановлению каменных конструкций, приведенная в [2].



Рис. 1. Классификация видов усилений каменной кладки

По ней видно, что первые три группы методов (усиление бетоном, металлическими элементами и композиционными материалами) – это, по сути, методы перераспределения усилий, возникающих в кладке, на вновь возводимые поддерживающие элементы. Последние же две группы (инъектирование и перекладка) – это методы работы с телом кладки: изменение его физико-механических свойств.

Контроль за строительными работами должен производиться в соответствии с общими требованиями, приведенными в [4–6], а также с Градостроительным кодексом РФ, Федеральными законами № 184-ФЗ и № 384-ФЗ, а также постановлением Правительства РФ № 468. Кроме того, в [2] указано, что при подготовке, выполнении и приемке работ по восстановлению и повышению несущей способности кирпичной кладки следует осуществлять три вида контроля: входной, операционный и оценку соответствия выполненных работ требованиям проектной документации и технических регламентов. Таким образом, основным инструментом оценки качества проведенных работ является лишь контроль качества материалов и работ во время их производства, а результат оценивается только визуально. И если в случае усиления бетоном, металлическими элементами или композиционными материалами данный подход достаточен, поскольку все эти элементы будут в прямом доступе проверяющего, то в части инъектирования и перекладки этих мероприятий может быть недостаточно.

На данный момент основное внимание уделяется отработке методики усиления и восстановления каменных конструкций: оценка эффективности методов при различных условиях, влияние различных факторов при производстве работ и т. п. [7–8]. Такой подход обусловлен сложностью оценки качества работ после их проведения. И хотя имеется ряд методов неразрушающего контроля, применение их для данной задачи оказывается затруднительно.

Методика проведения оценки

Подробно методика описана в работах [9–10]. Ее основная идея – это сравнение динамических «портретов» повреждений до и после проведения работ по усилению. В качестве динамического

«портрета» повреждения выступает функция когерентности, полученная по записям колебаний конструкции, полученных с помощью виброметров, установленных с обеих сторон от повреждения. Функция когерентности является аналогом квадрата корреляционной функции, обобщенной на частотную область. Функция когерентности изменяется в пределах от 0 до 1: чем ближе ее значение к 1, тем более близки два сигнала на заданной частоте, и наоборот, чем ближе к 0, тем менее они похожи.

В качестве динамической нагрузки, под воздействием которой происходит колебание исследуемой конструкции, рассматривается сейсмический фон, а в качестве измерительного оборудования – велосиметры, измеряющие скорость колебаний в трех взаимно ортогональных направлениях. Ось X – горизонтальная, поперечная к плоскости стены; ось Y – горизонтальная, продольная; ось Z – вертикальная.

Результаты оценки

В качестве примеров применения предлагаемой методики, рассмотрим три повреждения. Все повреждения – трещины в кирпичной кладке. В качестве метода усиления использовалось инъектирование. В актах проведенных работ указано, что работы проведены в соответствие с технологией: на при проектном давлении и объеме нагнетаемого раствора. На рис. 2–4 приводятся фотофиксации повреждений до и после проведения работ по усилению, а также графики функций когерентности. Зеленые графики – это эталонное измерение цельного участка кирпичной кладки вблизи повреждения. Красный график – измерение повреждения до усиления. Синий график – измерение повреждения в тех же точках, но уже после проведения работ и схватывания раствора, которым проводилось инъектирование.

Трещина на рис. 2 проявлялась в виде отклонения графика функции когерентности от единицы по оси X при частоте выше 40 Гц, по оси Y – выше 10 Гц, по оси Z – выше 25 Гц. После работ по усилению видно, что повреждение было полностью устранено: синий график практически не отличим от зеленого – эталонного.

Трещина на рис. 3 проявлялась в виде отклонения графика функции когерентности от единицы по оси X при частоте выше 30 Гц,

по оси Y – выше 15 Гц, по оси Z – выше 20 Гц. Работы по усилению улучшили ситуацию: по оси Z синий и зеленый графики ближе друг к другу, однако по оси Y синий график хоть и близок к 1, однако после частоты около 40 Гц начинает отклоняться от этого значения, а по оси X картина практически не изменилась. В данном случае работы можно считать качественными, поскольку хоть отклонения и имеют место, но могут считаться незначительными.

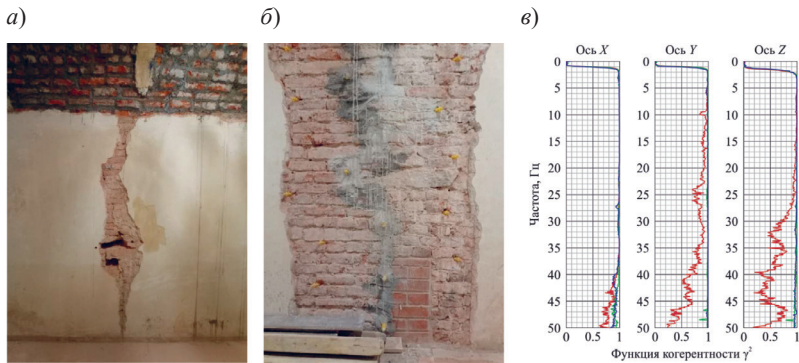


Рис. 2. Результаты оценки качества проведенных работ по инъектированию трещины: *a* – вид трещины до усиления; *б* – вид трещины после усиления; *в* – результаты обработки измерений

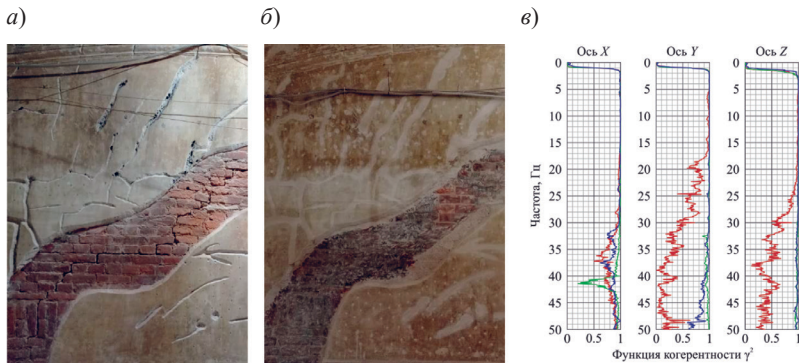


Рис. 3. Результаты оценки качества проведенных работ по инъектированию трещины: *a* – вид трещины до усиления; *б* – вид трещины после усиления; *в* – результаты обработки измерений

Трещина на рис. 4 проявлялась в виде отклонения графика функции когерентности от единицы по оси X повсеместно, но незначительно, по оси Y – выше 5 Гц, по оси Z – выше 10 Гц. Работы по усилению улучшили ситуацию: по оси X синий и зеленый графики близки друг к другу, однако по оси Z синий график хоть и близок к 1, однако после частоты около 15 Гц начинает отклоняться от этого значения, по оси Y аналогичная картина: отклонение наблюдается после 25 Гц. В данном случае работу по усилению требуется переделать. Хотя ситуация и улучшилась, но отклонения все равно значительны и могут свидетельствовать о том, что в будущем это повреждение проявится вновь.



Рис. 4. Результаты оценки качества проведенных работ по инъектированию трещины: *a* – вид трещины до усиления; *б* – вид трещины после усиления; *в* – результаты обработки измерений

Выводы

В работе были представлены основные требования, предъявляемые к работам по усилению и восстановлению каменных конструкций. По обзору данных требований становится понятно, что в случае с инъектированием и вычинкой их оказывается недостаточно, что показано на примерах. Используя же функцию когерентности, построенную по результатам измерений колебаний исследуемой конструкции, оказывается возможным более точно определить качество произведенных работ по усилению.

Литература

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – III, 54 с.
2. СТО НОСТРОЙ/НОП 2.9.142-2014 Восстановление и повышение несущей способности кирпичных стен. Проектирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ. – Введ. 2014-04-09 – М. : АО «Центральный институт типового проектирования им. Г.К. Орджоникидзе», 2018. – VI, 128 с.
3. Методические указания по усилению каменной кладки, в том числе исторических зданий, инъекцией раствором. М. 2019. – 65 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 2015-11-01 – М. : Стандартинформ, 2015. – VIII, 23 с.
5. ГОСТ Р ИСО 10005-2019 Менеджмент качества. Руководящие указания по планам качества. – Введ. 2020-10-01 – М. : Стандартинформ, 2019. – V, 24 с.
6. СП 48.13330.2019 Организация строительства. – Введ. 2020-06-25 – М. : Минстрой России, 2021. – IV, 59 с.
7. *Ищук М. К., Фролова И. Г., Ищук Е. М.* Усиление каменных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 8. С. 28–30.
8. *Valluzzi M. R., Binda L., Modena C.* Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing // Construction and Building Materials. 2005. Vol. 19, Issue 1. P. 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.036/>
9. *Деркач В. Н., Бакусов П. А., Орлович Р. Б.* Оценка эффективности инъектирования и вычинки поврежденной каменной кладки // Строительные материалы. 2022. № 9. С. 55–61. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-55-61/>
10. *Бакусов П. А.* Примеры применения функции когерентности в задачах обследования каменных конструкций // Строительные материалы. 2023. № 5. С. 66–71.

УДК 69.05

Максим Андреевич Барков,
студент
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
E-mail: barkovinc@mail.ru

Maxim Andreevich Barkov,
student
(Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University)
E-mail: barkovinc@mail.ru

РАЗЛИЧИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТИМ И ЗАРУБЕЖНОГО ВІМ ПОДХОДОВ К ИНФОРМАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

DIFFERENCES BETWEEN RUSSIAN TIM AND FOREIGN BIM APPROACHES TO INFORMATION MODELING

Статья исследует различия между российским и зарубежными подходами к информационному моделированию. Основное внимание обращено особенности российской технологии информационного моделирования (ТИМ) и ее отличия от зарубежного подхода ВІМ. В статье анализируются нормативно-правовая база для стандартизации российского информационного моделирования и взаимодействие зарубежных органов по стандартизации в ВІМ среде, и основополагающие действующие стандарты. В том числе с целью поиска пунктов для сравнения приводится унифицированный подход к анализу необходимых к стандартизации аспектов взаимодействия субъектов в среде информационного моделирования, применимо к строительству. Статья представляет интерес для специалистов, занимающихся информационным моделированием в строительной сфере, а также для всех, кто интересуется стандартизацией инновационных технологий в строительстве.

Ключевые слова: строительство, информационное моделирование зданий, стандартизация, законодательный акт, ВІМ-моделирование, технологии информационного моделирования.

The article explores the differences between Russian and foreign approaches to information modeling. The main attention is paid to the features of the Russian information modeling technology (TIM) and its differences from the foreign BIM approach. The article analyzes the regulatory framework for the standardization of Russian information modeling and the interaction of foreign standardization bodies in the BIM environment, and the fundamental existing standards. In particular, in order to find points for comparison, a unified approach is given to the analysis of aspects of interaction of subjects necessary for standardization in the information-modeling environment, applicable to construction. The article will be interesting to specialists

engaged in information modeling in the construction sector, as well as to anyone interested in the standardization of innovative technologies in construction.

Keywords: construction, building information modeling, standardization, legislative act, BIM-modeling, information modeling technologies.

Актуальность темы стандартизации в Российском Бим-сообществе

Современное строительство невозможно представить без использования информационных технологий. Одним из ключевых элементов в этой области является информационное моделирование зданий и сооружений – или BIM (Building Information Modeling). Однако, несмотря на то что BIM давно и широко используется в мире, у нас в России нашел свое применение ТИМ (технологии информационного моделирования), который имеет свои особенности в сравнении с зарубежными BIM подходами.

Обращаемся к этой теме, чтобы выявить ключевые отличия между отечественным и зарубежным подходами к информационному моделированию и понять, как это влияет на эффективность проектирования и строительства.

Оценка различий в стандартизации BIM поможет улучшить качество проектирования и строительства, а также облегчить взаимодействие стран в мировом строительном сообществе.

Нормативно правовая база технологий информационного моделирования в России

В настоящее время в области создания информационных моделей на этапе проектирования основными государственными приказами являются постановление правительства РФ, определяющее случаи, требующие создания информационной модели, а также постановление о регламентации формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, включая состав сведений, документов и материалов, который является ее частью. Так, в таблице 1 приведены основные законодательные документы с их краткой характеристикой устанавливающие правила применения ТИМ.

**Нормативно-правовая база технологий
информационного моделирования в России**

Нормативный документ и его название.	Краткая характеристика
Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [1]	Целью, которого является формирование цифровой экономики как одного из приоритетов национальных интересов.
Приказ Росстандарта от 02.04.2020 № 687. [1]	Устанавливает перечень национальных ТИМ-стандартов, в соответствии с которыми со обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 5 марта 2021 года № 331 [5]	Устанавливает случаи, в которых производится формирование и ведение информационной модели объекта ОКС
«Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 29.12.2022) [6]	Град кодекс с изм. от 19 декабря 2022 устанавливает формирование информационной модели ОКС в соответствии с постановлением РФ от 5 марта 2021 года № 331. А также некоторые альтернативные варианты предоставления
ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 15 сентября 2020 г. № 1431 [7]	Устанавливает регламент формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, в том числе состава сведений, документов и материалов, являющихся ее частью.

Организации, ведущие стандартизацию в сфере информационного моделирования за рубежом

В современном мире информационное моделирование является одним из основных инструментов, которые используются при создании и разработке сложных проектов. Чтобы убедиться в эффективности и точности работы созданных моделей, необходимо следовать набору определенных стандартов, которые были разработаны ведущими организациями в сфере информационного моделирования.

Строительная отрасль повсеместно, как и многие другие производственные отрасли, подчиняется множеству стандартов, руководящих принципов, норм поведения и правил. Существует много организаций, которые проходя сложный путь взаимодействия между собой приходят к консенсусу по определенным нормам и стандартам. В табл. 2 приведены основные действующие организации по стандартизации и внедрению BIM технологий в Европе, а на рис. 1. Представлена их взаимодействия.

Таблица 2

Зарубежные организации, принимающие участие в процессе BIM-стандартизации

Название организации	Область применения
CEN TC442 BIM	Стандартизация в области цифровой географической информации для Европы.
ISO/TC211 GIS	Стандартизация в области цифровой географической информации.
ISO/TC59/SC13 BIM	Организация информации о строительных работах.
ISO/TC184/SC4 STEP	Стандарты, описывающие и управляющие промышленными данными о продукте на протяжении всего его жизненного цикла.
Open Geospatial Consortium	Международная некоммерческая организация, занимающаяся созданием качественных открытых стандартов для глобального геопространственного сообщества.

Название организации	Область применения
buildingSMART	Международная организация, которая стремится улучшить обмен информацией между программными приложениями, используемыми в строительной отрасли.
EU BIM Task Group	Объединение национальные усилия в общий и согласованный европейский подход к развитию мирового класса цифровой строительной отрасли.

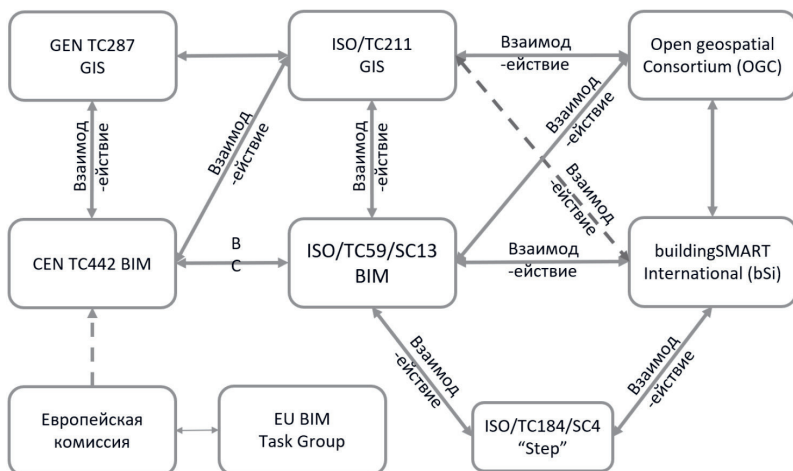


Рис. 1. Схема взаимодействия организации BIM-процессов за рубежом

BC – венское соглашение, регулирующее взаимодействие ISO и CEN

Серия стандартов ISO 19650

Основополагающими стандартами в сфере BIM моделирования в Европе является Серия стандартов ISO 19650, также известная как «Управление информацией в процессе жизненного цикла зданий и сооружений с использованием информационного моделирования зданий (BIM)», представляет собой руководство по управлению

информацией в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, используя технологию информационного моделирования зданий (BIM). Эта серия стандартов, подробно представленная в таблице 3 охватывает ряд аспектов, включая установление требований к информационному моделированию, управление информационными моделями и документацией, а также обмен информацией между различными участниками проекта.

Таблица 3

Перечень стандартов ISO 19650 и их краткие характеристики

Стандарт и его название	Краткая характеристика
BS EN ISO 19650-1: Concepts and principles. [8]	Определяет основные принципы, требования и ожидания к управлению информацией о строительном объекте на всех этапах его жизненного цикла.
BS EN ISO 19650-2: Delivery phase of the assets. [9]	определяет правила установления и достижения требований к информационной модели строительного объекта и ее содержимому.
BS EN ISO 19650-3:2020 Operational phase of the assets. [10]	определяет требования к управлению информацией о строительном объекте через его жизненный цикл с использованием форматов файлов.
BS EN ISO 19650-4:2022 Information management using building information modelling – Information exchange. [11]	определяет правила определения требований к информационной модели строительного объекта, включая процессы управления требованиями и правила хранения и передачи информации о модели.
BS EN ISO 19650-5:2020: Security-minded approach to information management. [12]	определяет процессы согласования информационной модели строительного объекта и управления изменениями в ней.
BS EN ISO 19650-6 Health and Safety [13]	На момент публикации находится в разработке. Будет регулировать принципы, методы и процедуры, связанные с управлением здоровьем и безопасностью на рабочих местах, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией зданий и сооружений.

Унифицированный подход к стандартизации BIM технологий

Стандарты, связанные с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), являются крайне важными в современном мире и часто делятся на три раздела [2]. Во-первых, концепты и классификация концепций являются необходимыми для того, чтобы все участники проекта понимали друг друга и говорили на одном языке. Во-вторых, нейтральные форматы для моделей данных являются важными для того, чтобы системы и участники могли обмениваться информацией четко и без проблем. В-третьих, необходимы единые процессы для доставки информации и общая методология работы, чтобы обеспечить эффективность и точность в работе команды. Подробное описание методологии представлено на рис. 2, с. 144.

Сравнение требуемых к стандартизации аспектов BIM среды.

Сравнение стандартизации в BIM-среде в России и зарубежном позволяет выявить отличия в подходах к использованию технологии и возможности для усовершенствования ее применения. На основе предложенного унифицированного подхода было произведено сравнение, приведенное в табл. 4, с. 145.

Заключение

Российским ТИМ сообществом проделан большой путь, однако нам, определенно требуется продолжать работу над актуализацией и адаптацией, уже существующих на западе стандартов, регламентирующих концепции полноценного жизненного цикла здания. Подводя итоги, основная разница между этими подходами заключается в том, что российский подход в силу сложившейся ситуации можно охарактеризовать адаптацией и модификацией зарубежных концепций и стандартов, также можно выявить тенденцию к уходу от англоязычной терминологии и переходу к локализации терминов, которая в целом будет позитивно влиять на культуру пользователей ТИМ в России.

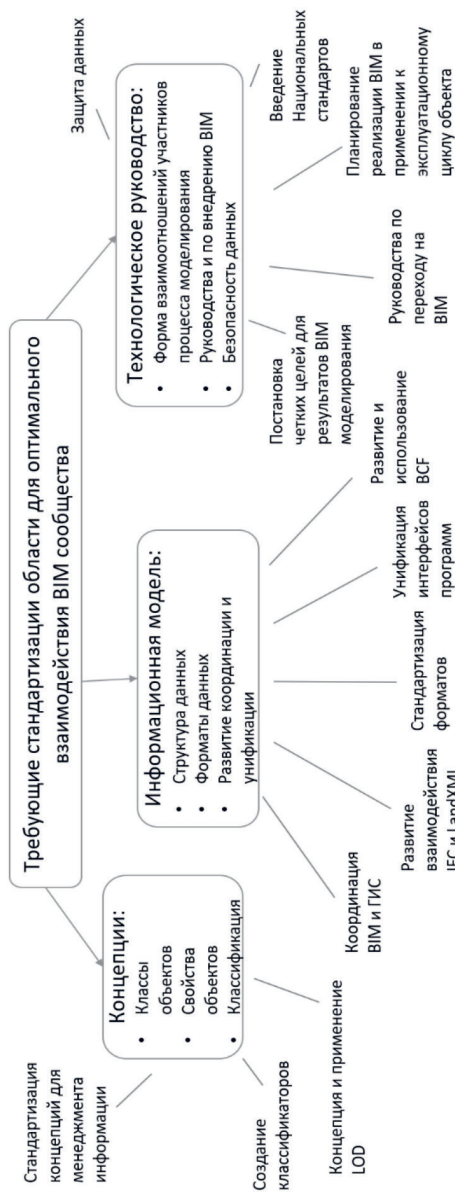


Рис. 2. Схема унифицированного подхода к стандартизации BIM-технологий

Таблица 4

Сравнение требуемых для стандартизации аспектов BIM-среды

Параметр сравнения	Российский	Зарубежный
Концепции:		
Базовая терминология и область применения	Регламентируется ГОСТ Р 57563-2017 [14]	ISO 19650-1 – Concepts and Principles [8]
Наличие классификаторов	Создание Классификатора строительных ресурсов [1]	Отдельный для каждой конкретной страны. Нр. Великобритания – Uniclass
Концепция и применение LOD	Описана в СП 333.1325800.2017 [15]. Термин LOD адаптирован, как уровень проработки модели.	ISO 19650-1 – Concepts and Principles [8]
Информационная модель:		
Стандартизация форматов	Регламентируется ГОСТР10.0.02-2019 [16] – IFC	ISO 16739:2013 [17] – Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries
Развитие взаимодействия IFC и LandXML	Регламентируется ГОСТ Р 70317-2022 [18]	ISO 19139-1 – Geographic information – XML schema implementation [19]
Технологическое руководство:		
Создание руководств по переходу на BIM	Методические рекомендации ГГЭ [20]	Действующие организации, оптимизирующие работу конкретных предприятий под Бим циклы

Окончание табл. 4

Параметр сравнения	Российский	Зарубежный
Работа над введением стандартов	Происходит адаптация и модификация европейских стандартов.	Работа над BS EN ISO 19650-6 Health and Safety [13]
Организации ведущие внедрение и стандартизацию BIM		
Ассоциация, ведущая работу по внедрению BIM стандартов	BIM Ассоциация	buildingSMART

Литература

1. Кужакова З. У., Байбурин А. Х. Обзор нормативной документации в области BIM-моделирования в Российской Федерации // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 3.

2. Poljanšek M. Building Information Modelling (BIM) standardization. In JRC Technical Report; EUR 28977 EN; European Commission: Luxembourg, 2017.

3. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы».

4. Приказ Росстандарта от 02.04.2020 № 687 (ред. от 06.07.2022) «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

6. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 29.12.2022).

7. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1431 (ред. от 27.05.2022) Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий.

8. ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling

(BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles.

9. ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: Delivery phase of the assets.

10. ISO 19650-3:2020 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 3: Operational phase of the assets.

11. ISO 19650-4:2022 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 4: Information exchange.

12. ISO 19650-5:2020 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 5: Security-minded approach to information management.

13. ISO/CD 19650-6 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 6: Health and Safety.

14. ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012 «Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений».

15. СП 333.1325800.2017. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

16. ГОСТ Р 10.0.02-2019 Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. отраслевые базовые классы (ifc) для обмена и управления данными об объектах строительства. часть 1. схема данных.

17. ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.

18. ГОСТ Р 70317-2022 Пространственные данные. Метаданные. Часть 3. Реализация XML-схемы для основных понятий.

19. ISO/TS 19139-1:2019 Geographic information – XML schema implementation – Part 1: Encoding rules.

20. Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в ФАУ «Главгосэкспертиза России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации и оценки информационной модели объекта капитального строительства ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ, 74 с.

УДК 004.946

Савелий Павлович Заторский,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: zatorskiy_saveliy@mail.ru

Saveliy Pavlovich Zatorskiy,
postgraduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: zatorskiy_saveliy@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В РАБОЧЕЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ DYNAMO REVIT

AUTOMATION OF DESIGN PROCESSES IN A WORK ENVIRONMENT USING DYNAMO REVIT

В статье приведен пример автоматизации проектирования посредством применения Dynamo Revit и кодирования на языке программирования Python при разработке технических решений и проектировании конструктивных элементов объектов строительства. Разработана пошаговая методика внедрения алгоритма в рамках оптимизации технологических процессов на этапе разработки проекта. Разработаны алгоритмы программирования узлов Dynamo в рамках актуального перехода проектирования в среду BIM-технологий. Выявлены дальнейшие возможности доработки и построения алгоритмов при использовании рассмотренного метода и на примере исследованных источников. Также сформулированы положительные эффекты от применения данных методик и алгоритмов.

Ключевые слова: BIM-технологии, Dynamo Revit, армирование, оптимизация, алгоритмы, автоматизация процессов проектирования.

The article provides an example of design automation through the use of Dynamo Revit and coding in the Python programming language in the development of technical solutions and the design of structural elements of construction objects. A step-by-step methodology for the implementation and use of this method in optimizing technological processes at the stage of project development has been developed. Algorithms for programming Dynamo nodes have been developed as part of the actual transition of design to the BIM technology environment. Further possibilities of refinement and construction of algorithms are revealed, using the considered method and using the example of the sources studied. The positive effects of the application of these methods and algorithms are also formulated.

Keywords: BIM technologies, Dynamo Revit, reinforcement, optimization, algorithms, automation of design processes.

Автоматизация процессов проектирования с использованием Dynamo Revit может обеспечить значительные преимущества в производственной среде, особенно для крупных и сложных проектов.

Dynamo – это визуальный язык программирования, который позволяет пользователям создавать уникальные сценарии и рабочие процессы для Revit. Автоматизируя процессы проектирования, архитекторы и инженеры могут сэкономить время, уменьшить количество ошибок и повысить производительность.

Одним из главных преимуществ использования Dynamo для Revit является возможность автоматизации повторяющихся задач и рутинных процессов. Например, вместо того, чтобы вручную создавать и размещать сотни семейств в проекте, проектировщики могут использовать Dynamo для создания сценария, который автоматизирует весь процесс. Это не только экономит время, но и снижает риск ошибок, которые могут возникнуть при выполнении операций вручную.

Еще одним преимуществом использования Dynamo для Revit является возможность быстрого и легкого создания сложных геометрических форм и шаблонов.

Проектировщики могут использовать визуальный язык программирования для создания сложных параметрических моделей, манипулирования данными и извлечения информации из проекта. Это может помочь в оптимизации, изучении процессов проектирования и анализе [1].

Dynamo для Revit также позволяет разработчикам легко передавать данные между различными программными приложениями. Например, проектировщики могут использовать Dynamo для извлечения данных из Revit и передачи их в Excel или другие программные приложения для дальнейшего анализа [2]. Это может помочь в управлении проектами и принятии решений.

В рамках исследования была пошагово разработана технология автоматизации процессов проектирования в компании с использованием алгоритма работы с Dynamo Revit, отраженная в блок-схеме на рис. 1.

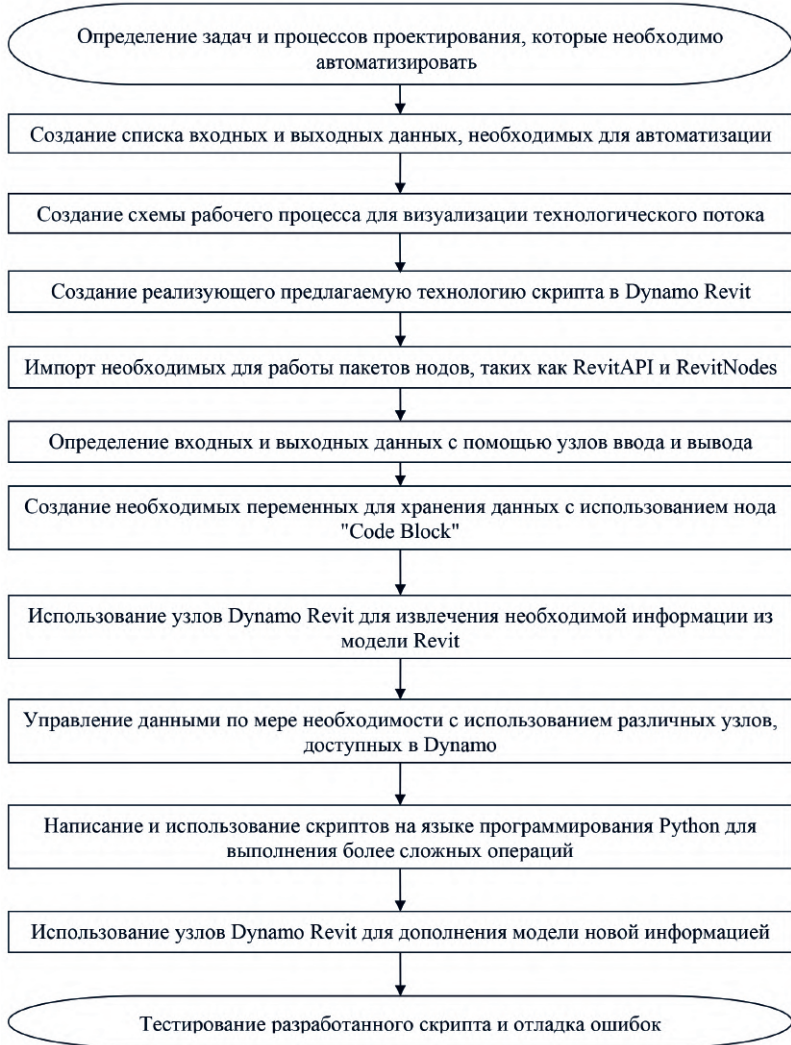


Рис. 1. Алгоритм автоматизации процессов проектирования

К примеру, следуя данным этапам, можно автоматизировать процессы армирования ж/б элементов.

На начальном этапе определяются исходные данные для армирования фундаментной плиты.

Входные данные:

- размеры опорной плиты (длина, ширина, толщина);
- нагрузка на опорную плиту (величина, местоположение);
- диаметр арматурного стержня;
- расстояние между арматурными стержнями;
- прочность бетона на сжатие.

Выходные данные:

- количество арматурных стержней в каждом направлении;
- общая длина арматурных стержней в каждом направлении;
- вид расположения арматуры в плане.

Следующим шагом определяется последовательность разработки и использования узлов:

1. Входные узлы для определения размеров опорной плиты, нагрузки, диаметра арматурного стержня, расстояния между ними и прочности бетона на сжатие.

Узлы Dynamo, которые целесообразно использовать при вводе необходимых данных для алгоритма армирования опорной плиты:

- длина, ширина и толщина базовой пластины могут быть введены с помощью нодов «Length», «Width» и «Thickness» соответственно;

- нагрузку на опорную плиту можно ввести с помощью нодов «Load Magnitude» и «Load Location»;

- диаметр арматурного стержня можно смоделировать при помощи нода «Reinforcement Bar Diameter»;

- расстояние между арматурными стержнями можно ввести с помощью нода « Spacing»;

- прочность бетона на сжатие можно смоделировать при помощи нода « Concrete Compressive Strength».

Эти входные узлы могут быть подключены к узлам алгоритма.

2. Узел кодового блока для расчета площади опорной плиты:

Кодирование на Python: `length * width`

3. Узел кодового блока для расчета требуемой площади стальной арматуры на основе нагрузки и прочности бетона на сжатие:

Кодирование на Python: $0.001 * load_magnitude * load_location * 1000 / concrete_compressive_strength$

4. Узел кодового блока для расчета требуемого количества арматурных стержней на основе требуемой площади стальной арматуры, диаметра арматурных стержней и расстояния между ними:

Кодирование на Python: $2 * (required_area_of_steel_reinforcement / (3.14 * (reinforcement_bar_diameter / 2) ^ 2 * (spacing / 1000)))$

5. Узел кодового блока для расчета общей длины арматурных стержней в каждом направлении:

Кодирование на Python: $2 * length * required_number_of_reinforcement_bars_in_each_direction$

6. Узел «FamilyType.ByName» для выбора соответствующего типа семейства арматурных стержней.

7. Узел «FamilyInstance.ByPointAndLevel» для размещения арматурных стержней в модели.

8. Узел «Plan view» для создания вида в плане расположения арматуры.

9. Выходные узлы для количества арматурных стержней в каждом направлении, общей длины арматурных стержней в каждом направлении и вида расположения арматуры в плане, в частности:

- «Reinforcement Bars in X-Direction» – этот узел выводит количество арматурных стержней в направлении X;
- «Reinforcement Bars in Y-Direction» – этот узел выводит количество арматурных стержней в направлении Y;
- «Total Length of Reinforcement Bars in X-Direction» – этот узел выводит общую длину арматурных стержней в направлении X;
- «Total Length of Reinforcement Bars in Y-Direction» – этот узел выводит общую длину арматурных стержней в направлении Y;
- «Type of Reinforcement Arrangement» – этот узел выводит тип расположения арматуры на плане, например сетчатый, радиальный или спиральный.

Далее проходит тестирование алгоритма в Revit, отраженное на рис. 2.

Этот алгоритм демонстрирует оптимизацию процессов армирования ж/б элементов в рабочей среде.



Рис. 2. Процесс тестирования алгоритма в Revit

Основываясь на описанном алгоритме, можно утверждать, что автоматизация процессов проектирования с использованием Dynamo является осуществимым и эффективным подходом.

Вопрос автоматизации аналогичных процессов также изучили в своих научных статьях авторы источников [3–6].

В исследовании [3] обсуждается использование Dynamo для автоматизации армирования бетонных конструкций в Revit. Авторы демонстрируют, как можно использовать Dynamo для создания моделей усиления на основе predetermined правил и как эти модели могут быть скорректированы в соответствии с конкретными требованиями к проектированию.

В статье [4] обсуждается использование BIM и методов оптимизации для автоматизации армирования бетонных конструкций. Авторы описывают, как можно использовать Dynamo для создания конструкций арматуры на основе различных критериев оптимизации,

таких как минимизация перегрузки арматуры и снижение общего веса конструкции.

В исследовании [5] представлен метод автоматизированного проектирования армирования бетонных конструкций с использованием Dymato и автоматического структурного анализа. Авторы демонстрируют, как Dymato можно использовать для создания пользовательских алгоритмов генерации конструкций арматуры, отвечающих конкретным требованиям к проектированию.

В статье [6] обсуждается использование программного обеспечения Dymato и структурного анализа для автоматизации армирования бетонных конструкций в Revit. Авторы демонстрируют, как можно использовать Dymato для создания конструкций арматуры, отвечающих конкретным проектным требованиям, и как конструкции могут быть проанализированы на предмет их структурной целостности.

Одним из примеров возможности использования Dymato для автоматизации проектирования является создание параметрических моделей для структурного анализа и оптимизации. С помощью Dymato можно автоматизировать создание сложных структурных геометрий и анализировать их с помощью таких инструментов, как Autodesk Robot Structural Analysis.

Другим примером является автоматизация задач анализа производительности зданий, таких как дневное освещение и анализ энергопотребления. Dymato можно использовать для создания параметрических моделей, которые позволяют быстро и легко исследовать различные варианты проектирования и их влияние на эксплуатационные характеристики здания.

Заключение

Dymato предоставляет гибкую и настраиваемую платформу для автоматизации различных задач в процессе проектирования, от создания геометрии до анализа и оптимизации.

Используя Dymato, проектировщики и инженеры могут сократить время и усилия, необходимые для выполнения задач ручного проектирования, что позволяет им сосредоточиться на более важ-

ных аспектах дизайна, таких как креативность и инновации. Dynamo также позволяет интегрировать различные инструменты проектирования и анализа, упрощая изучение и оценку различных вариантов проектирования и сценариев.

Можно сказать, что использование Dynamo для автоматизации проектирования является осуществимым и практичным подходом, который может значительно повысить эффективность и качество процесса проектирования. Благодаря своей гибкой и настраиваемой платформе Dynamo может использоваться для автоматизации широкого спектра задач проектирования.

В рамках исследования пошагово разработана технология автоматизации процесса армирования фундаментной плиты.

В целом, автоматизация процессов проектирования с использованием Dynamo Revit и кодирования на Python может повысить производительность, сократить количество ошибок и предоставить проектировщикам больше времени для творчества и инноваций.

Литература

1. *Divin N. V.* BIM by using Revit API and Dynamo. A review // AlfaBuild. 2020. № 2(14). P. 1404. <https://doi.org/10.34910/ALF.14.4/>
2. *Rezida O.* Автоматизированное архитектурное проектирование в интегрированной компьютерной среде Revit-Dynamo-Excel // Danish Scientific Journal. 2020. № 38–1. С. 7–11.
3. Learn the Power of Dynamo for Automated Reinforcement Detailing – Part 1. Revit 2018. Autodesk Knowledge Network. – URL: <https://blogs.autodesk.com/revit/2018/11/27/learn-the-power-of-dynamo-for-automated-reinforcement-detailing-part-1/> (дата обращения: 02.04.2023).
4. *Sherif M., Nassar K., Hosny O., Safar O., Abotaleb I.* Automated BIM-based structural design and cost optimization model for reinforced concrete buildings // Journal of Facilities Management. Scientific Reports. 12(1):21616. P. 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26146-6/>
5. Learn the Power of Dynamo for Automated Reinforcement Detailing – Part 2 | Revit 2018 | Autodesk Knowledge Network. – URL: <https://blogs.autodesk.com/revit/2018/12/13/learn-the-power-of-dynamo-for-automated-reinforcement-detailing-part-2/> (дата обращения: 03.04.2023).
6. *Borges M. M.* BIM Modelling automation on reinforcement detailing of SLABS – Text : electronic // Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2018. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/161253402.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).

УДК 004.414.38

Елена Владиславовна Мазняк,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: emamel901@yandex.ru

Elena Vladislavovna Maznyak,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: emamel901@yandex.ru

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ
БЛАГОУСТРОЙСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРОДСКИХ
ПРОСТРАНСТВ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ
КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ**

**ACTUAL QUESTIONS OF DEVELOPING
AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING
THE PROCESS OF IMPROVING OPEN URBAN
SPACES IN THE CONCEPT OF INTEGRATED
DEVELOPMENT OF TERRITORIES**

Статья дает современное представление факторов и критериев благоустройства открытых городских пространств. Анализ проведен в рамках концепции комплексного развития территорий в условиях актуальных тенденций развития градостроительной деятельности. В статье предлагается концептуальная схема для проектирования информационной системы по управлению процессами благоустройства открытых городских пространств.

Ключевые слова: благоустройство, открытые городские пространства, комфортная городская среда, комплексное развитие территории, управление процессами, информационные системы.

The article gives a modern view of the factors and criteria for the improvement of open urban spaces. The analysis is carried out within the concept of integrated development of territories in terms of current trends in the development of urban planning. The article offers a conceptual scheme for designing an information system for managing the processes of improvement of open urban spaces.

Keywords: landscaping, open urban spaces, comfortable urban environment, integrated territory development, process management, information systems.

Введение

В XXI веке создание комфортной среды для жизни людей в мегаполисах является одной из первостепенных задач цивилизованного градостроительства. С связи с этим в Градостроительном Кодексе РФ введено понятие комплексного развития территорий, как «совокупности мероприятий, выполняемых в соответствии с утвержденной документацией по планировке территории и направленных на создание благоприятных условия проживания граждан, обновление среды жизнедеятельности и территорий общего пользования» [1].

Как результат этой тенденции Минстроем РФ был принят в декабре 2019 года Стандарт комплексного развития территории [2], приоритетная задача которого заключается в формировании комфортной городской среды. Стандарт определяет основные подходы к формированию и развитию территорий жилой и многофункциональной застройки, носит рекомендательный характер, однако, предполагается, что данное руководство ляжет в основу усовершенствования нормативно-правовой базы в области градостроительного регулирования и архитектурного проектирования.

В частности, Книга 4 Стандарта определяет формирование облика города и устанавливает на концептуальном уровне основные подходы к благоустройству открытых городских пространств, а именно:

- определяет типологию открытых городских пространств;
- предлагает принципиальные решения по благоустройству и оснащению различных видов открытых городских пространств в соответствии с целевыми принципами и моделями Стандарта [1].

Постановка задачи

При таком подходе благоустройство открытых городских пространств уже является неотъемлемой частью системы градостроительства, а не дополнением к ней.

Основные принципы можно сформулировать как: функциональное разнообразие; плотность и человеческий масштаб; связанность и комфорт перемещений; безопасность и здоровье; соответствие жилья потребностям горожан; гибкость и адаптивность среды.

Стандарт перечисляет элементы и узлы открытых пространств, которые и будут представлять собой основу параметризации

информационной системы: – покрытия; ограждения; городская мебель; озеленение; освещение; элементы инженерных коммуникаций; элементы организации рельефа; элементы акустического и микроклиматического комфорта; элементы навигации; нестационарные объекты торговли и услуг; элементы фасадов [1].

Учет и управление здесь является сложной задачей как методологически, так и в процессе реализации, что обусловлено сложностью и масштабностью самого объекта управления [3]:

- множественность факторов воздействия и критериев оценки,
- невозможность многим из них дать однозначную оценку или провести количественные измерения,
- ряд факторов взаимодействуют между собой и влияют на показатели друг друга,
 - динамический характер поведения системы,
 - формирование методов.

Цель настоящей статьи – предложить концептуальные решения для создания архитектуры информационной системы по управлению процессами благоустройства открытых городских пространств в соответствии с подходами Стандарта. Значимость принимаемых на этом этапе решений чрезвычайно высока и часто определяет исход реализации целей проекта.

Методы проектирования и подбора параметров обязательно должны учитывать необходимость реализации работы системы с помощью машинного кода, что накладывает свои ограничения на разработку методических подходов.

Автоматизированные системы учета и управления для сложных объектов используют многоуровневый подход. Он предполагает разбиение сложного процесса на ряд более простых, каждый из которых может быть реализован с меньшими усилиями [3].

Задача обеспечения гибкости информационных систем, наиболее эффективно решается при модульном построении структуры системы. На основе функционального подхода к описанию сложных программных систем необходимо разработать методику представления программного обеспечения в виде совокупности программных модулей (подсистем), имеющих максимальную степень совме-

стимости по типу данных, по составу используемых функций и по структуре связей.

Таким образом, необходимо решить задачу разработки методики формального построения функционально-модульной информационной модели организационной структуры, учитывающей количественную оценку степени типизации данных.

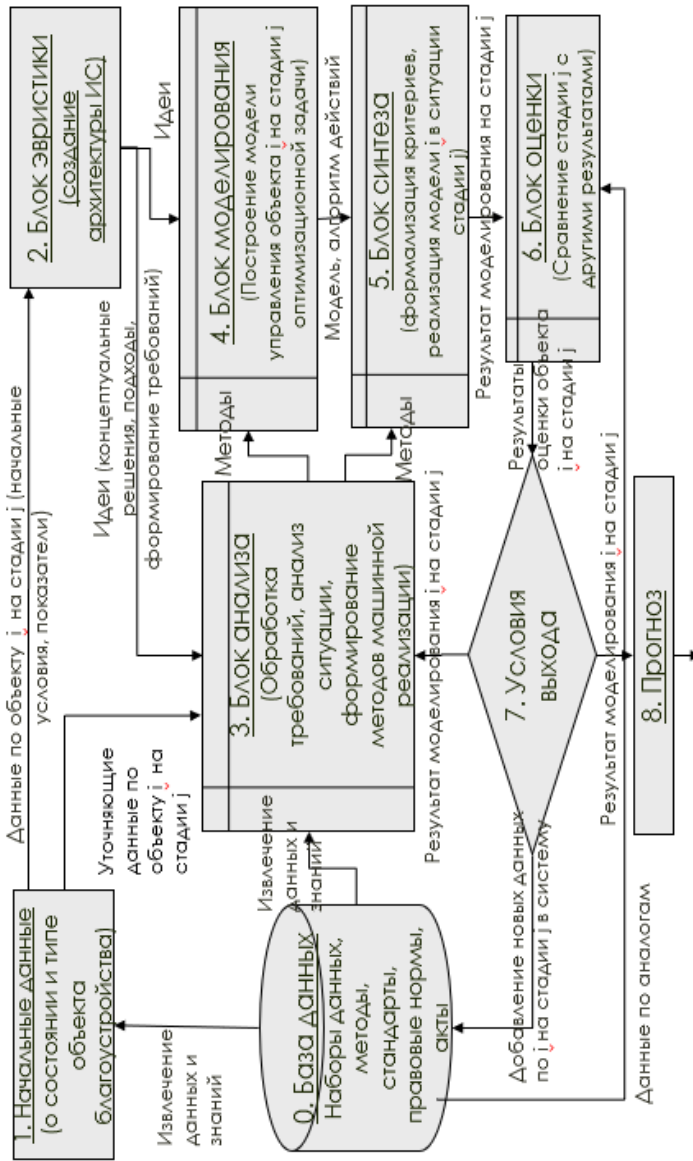
Результаты исследования

Согласно организационным и технологическим принципам и требованиям предъявляемых к мероприятиям по благоустройству территории [4] можно предложить следующую концептуальную схему подхода к проектированию информационной системы для управления благоустройством городской среды (см. рис.).

Схема представлена в виде диаграммы потока данных и представляет из себя итеративный алгоритм поиска оптимального решения, используя эволюционный подход, при котором система учитывает исход реализации предыдущих этапов. Последовательность выстроена на основе принципов и требований, предъявляемых к мероприятиям (работам) по благоустройству территории [4], при этом в соблюдении порядка построения реляционной базы данных для управления информационной системой посредством машинного кода.

Блок «0. База данных» должен содержать набор структурированных и взаимосвязанных таблиц информации об объектах благоустройства по параметрам, указанным в Стандарте и приведенным выше в статье. Предполагается перспективное развитие и пополнение базы данных по мере развития самой информационной системы различными вариантами как параметров системы, так и вариантами возможных реализаций, для оценки и сравнения эффективности модели, а также ее обучения.

Блок «1. Начальные данные» представляет из себя результаты предпроектного обследования объекта благоустройства. Итогом предпроектного анализа является выявление потребности в мероприятиях по благоустройству территории, формирование основных подходов к преобразованию территории, с учетом положений градостроительной документации, учитывающей общественные, государственные интересы, а также интересы граждан [4].



Блок-схема потока данных для информационной системы управления благоустройством открытых городских пространств

«2. Блок эвристики» является на первом этапе уровнем создания архитектуры информационной системы (концептуальной модели) на основе первоначальных требований, на втором этапе и далее управлением ее развитием по мере накопления опыта. Именно здесь в наивысшей степени проявляется ценность человеческой компетенции. Профессиональный опыт, навыки и знания в сочетании с творческой идеей и системным мышлением специалистов в области проектирования автоматизированных систем являются первостепенными на этом уровне и определяют всю последовательность дальнейших действий, а также программу разработки системы учета и автоматизации управления для рассматриваемого объекта. Правильно спроектированная система позволяет определить последовательность действий по выбору оптимального решения, оценивать различные варианты решений, прогнозировать поведение и развитие объекта. Результатом на первом этапе будет архитектура информационной системы и базы, комплекс организационно-управленческих решений, сформированное техническое задание по объекту.

«3. Блок анализа» – неотъемлемая часть алгоритма, создающая методы обработки информации и реализации требований для включения их в модель как критериев оценки.

«4. Блок моделирования» – это среда для непосредственного управления объектом. Модель управления должна отражать в удобной форме существенные стороны реального объекта управления по исследуемому набору характеристик. Ее сложность должна находиться в определенном соотношении со сложностью объекта управления (проектирования). В современной теории управления наиболее часто используют параметрические модели в пространстве состояний. По ним удобно синтезировать алгоритм управления.

«5. Блок синтеза» – выбор и синтез математической структуры для описания связей входных и выходных воздействий; декомпозиция модели. Объект управления, как сложная система связан со средой многочисленными и сильными многомерными корреляционными связями. Производится синтез математической структуры для описания связей входных и выходных воздействий управляемых, неуправляемых и информационных; декомпозиция модели [5].

«6. Блок оценки» – это блок сравнения результатов j -го этапа с другими вариантами реализации.

«7. Условия выхода» – блок, в котором должны быть сформулированы критерии достаточности полученного результата для достижения поставленных целей.

«8. Прогноз» – это ключевой момент при принятии управленческих решений. Конечная эффективность любого решения зависит от последовательности событий, возникающих после принятия решения. В современных условиях наблюдается тенденция совмещения функций прогнозирования и планирования [5].

Совершенно очевидно, что при имеющейся множественности и разноплановости параметров будет необходимо совмещать различные типы моделирования как по структурности задач, так и по степени применения экспертного моделирования, а также применять аппарат теории принятия решений по ранжированию факторов.

Заключение

Новое представление факторов и критериев, приведенное в данной статье, дает современный взгляд на проблему благоустройства открытых городских пространств. Совокупность средств и методов формализации требований к проектированию системы благоустройства открытых пространств городской среды представляет собой сложную задачу на многомерном множестве параметров, критериев и ограничений, определение и удельный вес каждого из которых может иметь неоднозначные значения. Однако, в свете тенденций развития современных городов задача организованного автоматизированного учета в этой сфере является насущной для градостроительства будущего. Предложена схема организации автоматизированного учета информационной системы благоустройства открытых пространств городской среды, учитывающая принципы и требования, предъявляемых к мероприятиям по благоустройству территории, обеспечивающим комплексное преобразование, пространственную организацию (развитие) территории, создание комфортных и безопасных условий для жизнедеятельности человека, при этом в соблюдении правил построения реляционной базы дан-

ных и формирования модели для управления информационной системой посредством машинного кода.

Литература

1. Стандарт комплексного развития территорий Редакция // Минстрой РФ от 15 марта 2019 г.
2. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 28.04.2023).
3. *Арунянц Г. Г.* Автоматизированное проектирование систем управления сложными технологическими объектами. Калининград : Изд-во КГТУ, 2019. 471 с.
4. *Журавлев П. А., Марукян А. М., Сборщиков С. Б.* Критерии и этапы принятия организационных решений по благоустройству территорий // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 25(77). С. 31–36.
5. *Масальский Г. Б.* Математические основы кибернетики. Красноярск: СФУ, 2012. 195 с.

УДК 539.3

Алексей Александрович Семенов,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sw.semenov@gmail.com

Alexey Aleksandrovich Semenov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: sw.semenov@gmail.com

УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

BUCKLING OF CYLINDRICAL PANELS OF STEP-VARIABLE THICKNESS

В работе рассматриваются изотропные цилиндрические панели, выполненные из стали. Используется геометрически нелинейная математическая модель, учитывающая поперечные сдвиги и наличие ребер жесткости в соответствии с уточненным дискретным методом, предложенным автором. Алгоритм основан на методе Ритца при выборе тригонометрической аппроксимации функций перемещений и методе продолжения решения по наилучшему параметру. Показана применимость уточненного дискретного метода к расчету устойчивости цилиндрических панелей переменной толщины. Показана сходимость метода Ритца для рассматриваемой задачи. Приводятся графики «нагрузка – прогиб» для разных вариантов подкрепления конструкции ребрами жесткости.

Ключевые слова: цилиндрические панели, устойчивость, уточненный дискретный метод, ребра жесткости.

The paper considers isotropic cylindrical panels made of steel. A geometrically nonlinear mathematical model is used that takes into account transverse shifts and the presence of stiffeners in accordance with the refined discrete method proposed by the author. The algorithm is based on the Ritz method when choosing a trigonometric approximation of displacement functions and a method for continuing the solution by the best parameter. The applicability of the refined discrete method to the calculation of the buckling of cylindrical panels of variable thickness is shown. The convergence of the Ritz method for the problem under consideration is shown. The “load – deflection” graphs are given for different variants of reinforcement of the structure with stiffeners.

Keywords: cylindrical panels, buckling, refined discrete method, stiffeners.

Введение

Оболочечные конструкции позволяют реализовать решение самых разнообразных инженерных задач – от прокладки трубопровода большого диаметра по покрытия большепролетных сооружений, таких как стадионы или промышленные здания. В связи с технологическими особенностями или для повышения жесткости оболочки могут иметь особенности, такие как ребра или вырезы. Расчет таких конструкций несет в себе значительные вычислительные трудности и требует более ресурсоемких вычислений. Разработка, апробация и верификация методов, которые позволили бы с меньшими вычислительными затратами получать требуемые результаты, и при этом сохранять необходимую точность, является актуальной задачей.

В работах [1,2] выделяют дискретный подход к введению ребер жесткости, который применялся, например, в [3–6], а также подход с размазыванием жесткости [7,8]. Использование методов размазывания жесткости позволяет существенно сократить время расчета и требуемые вычислительные ресурсы, однако, эффективно лишь при большом числе ребер или вырезов, и не позволяет детально исследовать локальные эффекты процесса деформирования. В работах [2,9] приводятся обзоры литературы по оболочкам, имеющим переменную толщину за счет наличия ребер жесткости.

В работе [10] В. В. Карповым была представлена модель оболочечных конструкций ступенчато-переменной толщины, учитывающая геометрическую нелинейность и имеющих ребра, накладки и вырезы.

Целью данной работы является анализ применимости уточненного дискретного метода к расчету устойчивости цилиндрических панелей переменной толщины.

Теория и методы

Математическую модель деформирования оболочки ступенчато-переменной толщины будем строить на основе функционала полной потенциальной энергии деформации (модели на основе функционала также использовались авторами [2, 3, 11, 12] и др.).

Рассмотрим подробнее случай, когда оболочка подкреплена ребрами жесткости.

Тогда функционал

$$E_s = E_s^0 + E_p^R + E_p^0 + E_p^R - A, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} E_s^0 = & \frac{1}{2} \int_{a_1}^a \int_0^b [N_x^0 \varepsilon_x + N_y^0 \varepsilon_y + \frac{1}{2} (N_{xy}^0 + N_{yx}^0) \gamma_{xy} + \\ & + M_x^0 \chi_1 + M_y^0 \chi_2 + (M_{xy}^0 + M_{yx}^0) \chi_{12} + \\ & + Q_x^0 (\Psi_x - \theta_1) + Q_y^0 (\Psi_y - \theta_2) - 2(P_x U + P_y V + qW)] AB dx dy, \end{aligned} \quad (2)$$

а E_p^R формируется в зависимости от способа задания ребер жесткости, и в общем виде будет [13]

$$\begin{aligned} E_p^R = & \frac{1}{2} \int_{a_1}^a \int_0^b [N_x^R \varepsilon_x + N_y^R \varepsilon_y + \frac{1}{2} (N_{xy}^R + N_{yx}^R) \gamma_{xy} + \\ & + M_x^R \chi_1 + M_y^R \chi_2 + (M_{xy}^R + M_{yx}^R) \chi_{12} + \\ & + Q_x^R (\Psi_x - \theta_1) + Q_y^R (\Psi_y - \theta_2)] AB dx dy, \end{aligned} \quad (3)$$

Подробно данная математическая модель была представлена в работе [13].

К представленной модели применим алгоритм, основанный на методе Ритца и методе продолжения решения по наилучшему параметру. Программное обеспечение разработано автором в среде Maple.

Расчеты

В соответствии с описанными выше моделью и алгоритмом, выполним расчеты цилиндрической панели (параметры $h = 0,01$ м, $a = 20$ м, $b = \pi/2$ рад, $R_2 = 5,4$ м), закрепление контура – шарнирно-неподвижное. Ортогональную сетку ребер будем располагать с внутренней стороны оболочки, высоту и ширину ребер будем выбирать $h^i = h^j = 3h$, $r_i = r_j = 2h$ соответственно.

Осуществим расчеты изотропных конструкций, выполненных из С345 ($E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$). Вначале рассмотрим отдельно процесс сходимости значения критической нагрузки потери устойчивости при ортогональной сетке ребер 8×8 . Способ учета ребер

жесткости – уточненный дискретный. Результаты показаны в таблице 1 и рис. 1.

Красным цветом показаны кривые соответствующие центральной точке, синим – четверти конструкции. Момент потери устойчивости на графике соответствует экстремуму.

Таблица 1

**Критические нагрузки потери устойчивости
для рассматриваемой панели с сеткой ребер 8×8**

	$N = 1$	$N = 4$	$N = 9$	$N = 16$	$N = 25$
q_{cr} , МПа	18.3410	0.3360	0.1318	0.0411	0.0404

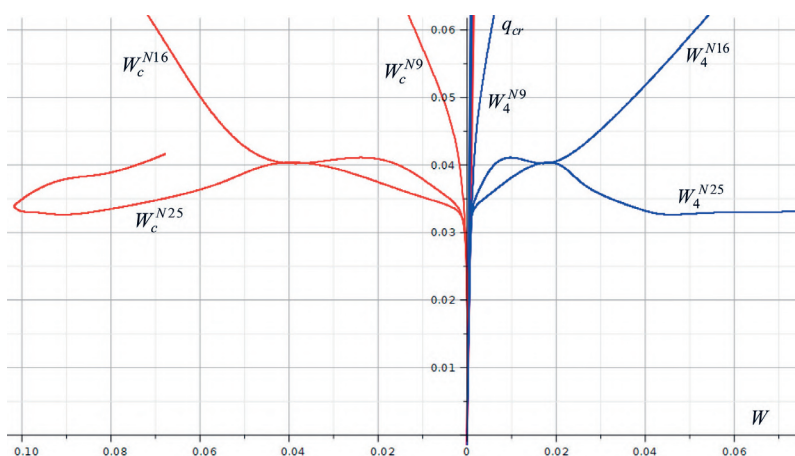


Рис. 1. График зависимости прогиба W от нагрузки q для стальной цилиндрической панели при разных значениях N

Для цилиндрических панелей подобной геометрии характерна существенная разница в значениях прогиба в центральной точке и в четверти: это объясняется образованием вмятин, которые вынуждают оболочку выгибаться и вверх, и вниз. В итоге, после потери устойчивости рост прогибов идет только во внутреннем направлении.

Иногда до этого момента может произойти не одна потеря устойчивости, а несколько (локальные потери устойчивости).

Из полученных данных видно, что при $N = 16$ и $N = 25$ разница в получаемых значениях уже незначительная. Таким образом, для подобных конструкций при проведении расчетов можно ограничиться числом слагаемых в методе Рунца $N = 16$.

Далее рассмотрим другие варианты подкрепления: количество ребер будем брать одинаковым в обоих направлениях, для каждого нового варианта сетки увеличивая его на 2 или 4. На рис. 2 показана зависимость «нагрузка – прогиб» при выборе разного числа подкрепляющих элементов (верхний индекс показывает количество ребер в каждом направлении), $N = 16$.

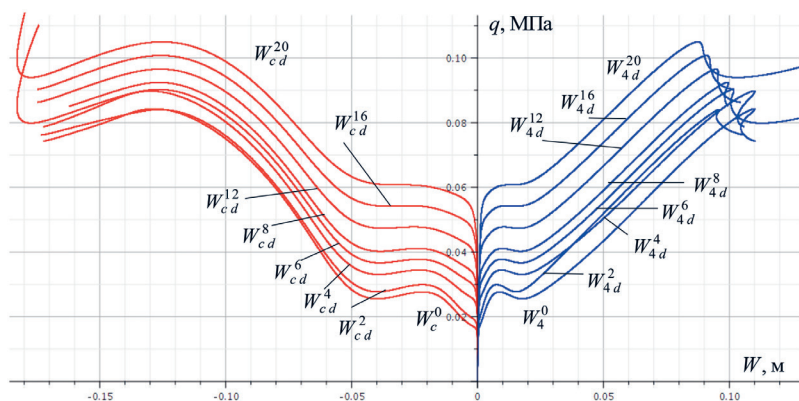


Рис. 2. График зависимости прогиба W от нагрузки q при разном количестве подкрепляющих ребер жесткости

Как видно из представленных данных, усиление конструкции ребрами жесткости увеличивает ее несущую способность. Наибольший вклад в повышение значения критической нагрузки дает добавление нескольких первых ребер. В целом, планомерное увеличение числа подкрепляющих элементов радикально не меняет процесс деформирования оболочки, а приводит к постепенному увеличению несущей способности.

Использование уточненного дискретного метода позволяет получать данные об устойчивости оболочек ступенчато-переменной толщины, и, в частности, подкрепленных ребрами жесткости. Применимость этого подхода показана на примере стальных цилиндрических панелей.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта на выполнение НИР научно-педагогическими работниками СПбГАСУ в 2023 году.

Литература

1. *Kidane S., Li G., Helms J., Pang S.-S., Woldesenbet E.* Buckling load analysis of grid stiffened composite cylinders // *Composites Part B: Engineering*. 2003. Т. 34, № 1. С. 1–9. DOI: 10.1016/S1359-8368(02)00074-4.
2. *Jaunky N., Knight N. F., Ambur D. R.* Formulation of an improved smeared stiffener theory for buckling analysis of grid-stiffened composite panels // *Composites Part B: Engineering*. 1996. Т. 27, № 5. С. 519–526. DOI: 10.1016/1359-8368(96)00032-7/
3. *Talebitooti M., Ghayour M., Ziaei-Rad S., Talebitooti R.* Free vibrations of rotating composite conical shells with stringer and ring stiffeners // *Archive of Applied Mechanics*. 2010. Т. 80, № 3. С. 201–215. DOI: 10.1007/s00419-009-0311-4/
4. *Белосточный Г. Н., Мыльцина О. А.* Динамическая устойчивость геометрически нерегулярной нагретой пологой цилиндрической оболочки в сверхзвуковом потоке газа // *Вестник СамГТУ. Серия: Физико-математические науки*. 2018. Т. 22, № 4. С. 750–761. DOI: 10.14498/vsg.tu1653/
5. *Во А. Х.* Построение уточненной математической модели подкрепленных цилиндрических оболочек на основе неклассической теории // *Евразийский союз ученых. Серия: Технические и физико-математические науки*. 2023. № 2(105). С. 37–44. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2023.1.105.1766/
6. *Латифов Ф. С., Юсифов М. З., Ализаде Н. И.* Свободные колебания подкрепленных поперечными ребрами неоднородных ортотропных цилиндрических оболочек, заполненных жидкостью // *Прикладная механика и техническая физика*. 2020. Т. 61, № 3(361). С. 198–206. DOI: 10.15372/PMTF20200321/
7. *Totaro G.* Flexural, torsional, and axial global stiffness properties of anisogrid lattice conical shells in composite material // *Composite Structures*. 2016. Т. 153. С. 738–745. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.06.072/
8. *Tu T. M., Loi N. V.* Vibration Analysis of Rotating Functionally Graded Cylindrical Shells with Orthogonal Stiffeners // *Latin American Journal of Solids and Structures*. 2016. Т. 13, № 15. С. 2952–2969. DOI: 10.1590/1679-78252934/

9. Ren M., Li T., Huang Q., Wang B. Numerical investigation into the buckling behavior of advanced grid stiffened composite cylindrical shell // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2014. Т. 33, № 16. С. 1508–1519. DOI: 10.1177/0731684414537881/
10. Karpov V. V. Models of the shells having ribs, reinforcement plates and cutouts // International Journal of Solids and Structures. 2018. Т. 146. С. 117–135. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2018.03.024/
11. Бадриев И. Б., Макаров М. В., Паймушин В. Н. Контактная постановка задач механики подкрепленных на контуре трехслойных оболочек с трансверсально-мягким наполнителем // Известия высших учебных заведений. Математика. 2017. № 1. С. 77–85.
12. Трушин С. И., Сысоева Е. В., Петренко Ф. И. Расчет конструкций в форме пологих сетчатых гипаров с учетом геометрической нелинейности // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 3. С. 74–80.
13. Karpov V. V., Semenov A. A. Refined model of stiffened shells // International Journal of Solids and Structures. 2020. Т. 199. С. 43–56. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2020.03.019/

УДК 69:003

Никита Александрович Сидоренко,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: nikitasidorenko1998@gmail

Nikita Aleksandrovich Sidorenko,
postgraduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: nikitasidorenko1998@gmail

АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT IN CONSTRUCTION USING NEURAL NETWORKS

Строительство является одной из самых сложных и опасных отраслей экономики, где каждый проект имеет свои особенности и риски. В связи с этим, разработка и использование системы управления рисками в строительстве является крайне актуальной задачей для защиты жизни и здоровья рабочих, а также сохранения качества, сроков и финансовых составляющих при реализации строительного проекта. Одним из наиболее эффективных методов управления рисками является использование нейронных сетей. Нейронные сети представляют собой математическую модель, которая имитирует работу мозга человека, и позволяют проводить анализ большого количества данных, выявлять скрытые закономерности и принимать решения на основе полученных результатов. В данной статье рассматриваются методы анализа и управления рисками в строительстве при помощи нейронных сетей с учетом фактора неопределенности, основные принципы работы нейронных сетей, их преимущества и недостатки, а также различные подходы к построению нейронных сетей для решения задач управления рисками в строительстве. Данная статья может быть полезна как для специалистов в области строительства, так и для научных исследователей, которые занимаются разработкой и применением нейронных сетей в различных областях.

Ключевые слова: нейронная сеть, имитационное моделирование, данные, сеть, DNN, RNN.

Construction is one of the most important sectors of the economy, affecting many aspects of society. However, like any other industry, construction also involves risks that can lead to unforeseen situations and serious consequences. Risk assessment is an integral part of the construction process, and nowadays neural networks are becoming an increasingly popular tool for its implementation. Neural networks

are computer systems that learn from large amounts of data and are capable of making predictions and solving complex problems. Their use in construction can help improve the accuracy of risk assessment, especially when uncertainty factor is taken into account. An uncertainty factor is the unknown factors that can affect the results of a risk assessment. In construction, this can be due to unexpected changes in weather, changes in geological conditions, or other factors that cannot be fully predicted. However, neural networks can take these factors into account and use them to make more accurate risk assessments. This article will review the application of neural networks in risk assessment in construction, taking into account the uncertainty factor, as well as identify the advantages and disadvantages of using this tool.

Keywords: neural network, simulation modeling, data, network, DNN, RNN.

При большом разнообразии методов анализа рисков на данный момент сложно подобрать такой метод или совокупность методов способных максимально подробно и углубленно отобразить ситуацию неопределенности при анализе рисков. Для выполнения этой задачи необходимы новые инновационные подходы с использованием сложных алгоритмов и систем искусственного интеллекта.

Один из возможных методов оценки количественного риска может быть основан на использовании искусственного интеллекта и машинного обучения. Этот метод может использовать данные из предыдущих проектов, чтобы прогнозировать вероятность возникновения рисков и их влияние на проект.

Нейронные сети являются широким классом моделей машинного обучения, которые могут быть использованы для решения различных задач, таких как классификация, регрессия, кластеризация и генерация контента. На данный момент применение нейросетей нашло себя в сферах: искусства, здравоохранения, финансов, менеджмента, логистики, музыки, строительства и многих других [1–6].

В настоящее время существует большое количество различных нейросетей [7, 8]. Приведем некоторые из основных типов нейронных сетей, которые могут быть использованы для решения различных задач:

1. Нейронные сети прямого распространения (feedforward) – это самый простой тип нейронных сетей, который использует слои нейронов, которые соединены только в одном направлении, от входных данных к выходным.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN) – это тип нейронных сетей, который может использоваться для обработки последовательностей данных, таких как тексты, речь или временные ряды. RNN имеют внутреннее состояние, которое позволяет им запоминать информацию из предыдущих шагов и использовать ее для принятия решений на следующих шагах [9].

3. Сверточные нейронные сети (CNN) – это тип нейронных сетей, который используется для обработки изображений и видео. Они используют сверточные слои, которые могут обнаруживать локальные признаки в изображениях, и пулинг слои, которые уменьшают размерность данных [9].

4. Глубокие нейронные сети (DNN) – это нейронные сети с более чем одним скрытым слоем. Они имеют большую вычислительную мощность, чем неглубокие нейронные сети, и могут использоваться для решения более сложных задач, таких как распознавание образов и естественный язык.

5. Многослойные перцептроны (MLP) – это тип нейронных сетей, который имеет несколько скрытых слоев и используется для решения задач классификации и регрессии. MLP используют функцию активации, чтобы добавить нелинейность в выходные данные.

При имитационном моделировании, где требуется моделирование поведения системы в различных условиях, можно использовать различные типы нейронных сетей, в зависимости от конкретной задачи.

Один из наиболее распространенных типов нейронных сетей для имитационного моделирования – это рекуррентные нейронные сети (RNN) [9]. RNN имеют внутреннее состояние, которое позволяет им запоминать информацию из предыдущих шагов и использовать ее для принятия решений на следующих шагах. Это свойство делает RNN особенно полезными для моделирования динамических систем, таких как процессы управления и управления запасами [10].

Также для имитационного моделирования могут быть использованы сверточные нейронные сети (CNN), которые обладают способностью обрабатывать многомерные данные, такие как изображения. Это может быть полезно для моделирования систем, в которых

данные представлены в виде изображений или других многомерных массивов [10].

Глубокие нейронные сети (DNN) также могут использоваться для имитационного моделирования, особенно если есть большой объем данных, на основе которых можно обучить нейронную сеть. DNN могут быть использованы для моделирования сложных систем, таких как финансовые рынки или производственные процессы [11].

В целом, правильный выбор типа нейронной сети зависит от конкретной задачи и доступных данных. Важно провести анализ данных и оценить, какой тип нейронной сети будет наиболее эффективен для конкретной задачи имитационного моделирования.

Для осуществления анализа и дальнейшего управления рисками необходимо создать нейронную сеть или использовать существующую, которая будет обучаться на основе статистических данных по предыдущим проектам. В процессе обучения нейронная сеть будет анализировать данные и выявлять закономерности, которые могут указывать на возможные риски в будущем.

После завершения обучения нейронной сети, она сможет использоваться для прогнозирования вероятности возникновения рисков на новом проекте. Для этого необходимо предоставить нейронной сети данные о новом проекте, такие как тип проекта, местоположение, сроки и т. д. На основе этих данных нейронная сеть сможет вычислить вероятность возникновения рисков и их влияние на проект.

Этот метод может быть полезен для тех проектов, где есть достаточное количество статистических данных для обучения нейронной сети. Однако, он может быть менее точным, если проект уникален или если данных о предыдущих проектах недостаточно.

Также важно отметить, что любой метод оценки количественного риска должен быть дополнен анализом качественных рисков и разработкой плана реагирования для управления рисками.

Процесс обучения нейросети – это процесс, при котором нейросеть адаптируется к данным, на которых она обучается. Обучение нейросети состоит из нескольких этапов:

1. Подготовка данных: для обучения нейросети необходимо иметь набор данных, на которых она будет обучаться. Этот набор

данных должен быть предварительно подготовлен и должен содержать как входные, так и выходные данные.

2. Инициализация весов: перед началом обучения нейросети веса нейронов должны быть инициализированы случайными значениями. Это позволяет начать процесс обучения с некоторой случайной точки.

3. Прямое распространение: на этом этапе входные данные передаются через нейросеть, и выходные данные вычисляются на основе текущих весов нейронов. Этот процесс повторяется множество раз для всего набора данных.

4. Оценка ошибки: после того, как выходные данные вычислены, они сравниваются с ожидаемыми выходными данными. Разница между ними называется ошибкой, и она используется для определения того, какие веса нейронов нужно изменить.

5. Обратное распространение: на этом этапе ошибки распространяются через нейросеть в обратном направлении, начиная с последнего слоя и заканчивая первым. Это позволяет определить, какие веса нейронов нужно изменить, чтобы уменьшить ошибку.

6. Обновление весов: после того, как ошибки были распространены через нейросеть, веса нейронов обновляются в соответствии с полученными значениями.

7. Повторение процесса: процесс прямого и обратного распространения ошибки повторяется множество раз, пока не будет достигнута определенная точность или не будет достигнуто максимальное количество итераций.

8. Тестирование: после того, как нейросеть была обучена, ее необходимо протестировать на новых данных, чтобы убедиться, что она работает правильно.

Процесс обучения нейросети может быть очень длительным и требовательным к вычислительным ресурсам. Однако, если нейросеть была правильно обучена, она может быть очень эффективным инструментом для решения различных задач [12].

Формирование данных для нейросети при имитационном моделировании может включать в себя несколько этапов:

1. Определение входных и выходных параметров. Нейросеть работает с данными, которые подаются на ее вход и выход. Поэтому

необходимо определить, какие параметры будут использоваться как входные, а какие – как выходные.

2. Сбор данных. Для обучения нейросети необходимо иметь набор данных, на основе которых она будет обучаться. Данные могут быть собраны из различных источников, например, из результатов предыдущих проектов или экспериментов.

3. Подготовка данных. Для того чтобы данные можно было использовать для обучения нейросети, их необходимо подготовить. Это может включать в себя удаление выбросов и аномальных значений, нормализацию данных, разделение данных на обучающую и тестовую выборки и т. д.

4. Обработка данных. Некоторые типы данных могут требовать дополнительной обработки, прежде чем они могут быть использованы для обучения нейросети. Например, это может быть извлечение признаков из изображений или текстовых данных.

5. Разметка данных. Для некоторых типов задач необходимо разметить данные, чтобы нейросеть могла правильно интерпретировать входные и выходные параметры. Например, для задачи классификации необходимо разметить данные по категориям, а для задачи регрессии необходимо разметить данные по значениям целевой переменной.

К преимуществам использования нейросетей можно отнести способность обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности, что позволяет получать более точные прогнозы и оценки рисков. Это особенно важно в строительстве, где многие факторы могут повлиять на исход проекта.

Нейросети могут учитывать фактор неопределенности, что является одним из наиболее сложных аспектов оценки риска. Например, они могут учитывать изменения в погодных условиях или геологических характеристиках участка, что может повлиять на безопасность и качество проекта.

Использование нейросетей позволяет автоматизировать процесс анализа рисков, что уменьшает вероятность ошибок и повышает эффективность работы. Это особенно важно в крупных проектах, где необходимо обрабатывать большие объемы данных.

Несмотря на все преимущества, использование нейросетей при анализе и управлении рисками в строительстве также имеет свои недостатки. Например, для обучения нейросетей требуется большое количество данных, которых может быть недостаточно или они могут вовсе отсутствовать. Кроме того, нейросети могут давать неточные результаты, если данные, на которых они обучены, не отражают реальную ситуацию.

Тем не менее, в целом, использование нейросетей при анализе и управлении рисками в строительстве является целесообразным, так как позволяет получать более точные и надежные результаты, учитывая фактор неопределенности и автоматизируя процесс анализа рисков.

Литература

1. *Скрипникова С. А., Григорьевых А. В.* Найм сотрудников с использованием нейросети кадрового подбора // Информационные Технологии в управлении и экономике. 2022. № 1 (26). С. 32–48.
2. *Душкова Н. А., Лысенко Р. А., Морозов А. А.* Искусственный Интеллект, Нейросети И Их Влияние На Современное Общество // Проблемы Социальных И Гуманитарных Наук. 2021. № 2 (27). С. 129–132.
3. *Дмитриева М. А.* Влияние искусственного интеллекта на сферу маркетинга // Интернет-Маркетинг. 2018. № 2. С 81–88.
4. *Голыгин Н. Х., Хиноева О. Б., Ямбаев Х. К.* Возможности Повышения Точности Геодезических Измерений На Основе Искусственных Нейросетей // Известия Высших Учебных Заведений. Геодезия И Аэрофотосъемка. 2005. № 4. С 17–27.
5. *Исхакова А. Ф.* Применение искусственного интеллекта // Вестник Современных Исследований. 2018. № 9.3 (24). С 261–261.
6. *Блинов Д. В.* Применение нейросетей в оперативной логистике // Транспорт Российской Федерации. 2007. № 8 (8). С. 42–43.
7. *Ростовцев В. С.* Ростовцев В. С. Искусственные нейронные сети: учебник. Киров : Изд-во ВятГУ, 2014. 208 с.
8. *Игнатъев В. Ю., Трекин А. Н., Якубовский П. Ю.* Глубокие нейросети для вычисления параметров зданий по одномоментному космическому изображению // Изв. РАН. Теория и системы упр. 2020. № 5. С. 116–128.
9. Основы архитектуры и обучения нейронных сетей URL: <https://pings.ru/news/nejronnye-seti-arxitektura-i-obuchenie/> (дата обращения: 23.04.2023).
10. *Качалов О. И., Миронов А. Н., Володина А. М.* Сравнение точности прогнозирования стоимости акций компании с использованием сверточной

нейронной сети (CNN), простой рекуррентной нейронной сети (simple RNN) и рекуррентной нейронной сети на базе долгой краткосрочной памяти (LSTM) // Сборник трудов X Международной конференции «ИТ-Стандарт 2020». 2020. С. 319–338.

11. *Ayzel G. V.* Deep neural networks in hydrology: the new generation of universal and efficient models // Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. 2021. Vol. 66, No 1. P. 5–18.

12. *Созыкин А. В.* Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Вычислительная математика и Информатика. 2017. Т. 6, Вып. 3. С. 28–59.

СЕКЦИЯ МАТЕМАТИКИ

УДК 512.643

Данил Флюрович Латыпов,

студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: danillatypov111@mail.ru

Danil Flurovich Latypov,

student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: danillatypov111@mail.ru

ИЗВЛЕЧЕНИЕ КВАДРАТНОГО КОРНЯ ИЗ МАТРИЦЫ n ПОРЯДКА

EXTRACTING THE SQUARE ROOT A 2^{ND} ORDER MATRIX

Статья посвящена проблеме нахождения квадратного корня из квадратной матрицы второго порядка. Рассмотрены различные методы решения данной задачи, в том числе методы, основанные на спектральном разложении матрицы и на жордановых формах. В статье представлено много примеров, которые показывают эффективность и точность рассмотренных методов. Предложенный в статье подход может быть использован в широком спектре приложений, связанных с обработкой данных и математическим моделированием. Обозначены проблемы нахождения корней из квадратных матриц большого порядка.

Ключевые слова: матрица, корень из матрицы, свойства матрицы, спектральное разложение матрицы, собственные векторы, собственные значения, обобщенные собственные векторы, жорданова форма, жорданова матрица.

The article addresses the problem of finding the square root of a square matrix of second order. Various methods for solving this problem are considered, including those based on the spectral decomposition of the matrix and Jordan forms. The article presents numerous examples that demonstrate the effectiveness and accuracy of the methods discussed. The proposed approach outlined in the article has the potential for a wide range of applications in data processing and mathematical modeling. Additionally, challenges related to finding roots of square matrices of higher order are identified.

Keywords: matrix, square root of a matrix, properties of a matrix, spectral decomposition of a matrix, eigenvectors, eigenvalues, Jordan form, Jordan matrix.

Определение 1. Квадратная матрица B называется квадратным корнем из матрицы A , если выполняется условие:

$$A = B \times B = B^2. \quad (1)$$

Корень из матрицы имеет важное значение в математике, анализе данных, теории управления, применяется в решении систем линейных и дифференциальных уравнений, а также в определенных задачах в теории вероятностей и статистике.

Первый метод нахождения корня из матрицы связан с решением системы уравнений. Для этого возьмем две матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \text{ Из определения (1)}$$

$$\text{Имеем } \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} b_{11}^2 + b_{12}b_{21} & b_{11}b_{12} + b_{12}b_{22} \\ b_{11}b_{21} + b_{22}b_{21} & b_{22}^2 + b_{12}b_{21} \end{pmatrix}.$$

Отсюда получаем систему уравнений (2):

$$\begin{cases} a_{11} = b_{11}^2 + b_{12}b_{21}; \\ a_{12} = b_{11}b_{12} + b_{12}b_{22}; \\ a_{21} = b_{11}b_{21} + b_{22}b_{21}; \\ a_{22} = b_{22}^2 + b_{12}b_{21}. \end{cases} \quad (2)$$

Можно заметить, что данный способ довольно трудоемкий и объемный.

Второй метод можно назвать методом спектрального разложения. Этот метод применяется к квадратным матрицам $n \times n$ с n различными собственными значениями λ_i , где $i = \overline{1, n}$. Основан он на нахождении собственных значений и векторов. Следует тогда разобраться, что они из себя представляют.

Определение 2. Собственные значения λ_i , $i = \overline{1, n}$, матрицы A – это (характеристические) числа, которые удовлетворяют условиям:

$$A \times \vec{e}_i = \lambda_i \times \vec{e}_i, \quad \begin{cases} \vec{e}_i \neq 0 \text{ – некоторый вектор,} \\ \lambda_i \in \mathbb{C} \\ \lambda_i \neq \lambda_j, i \neq j, i, j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (3)$$

Собственное значение показывает, во сколько раз вектор \vec{e}_i изменится, при действии на него нашей матрицы A . Совокупность собственных значений $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n\}$ называется *спектром* матрицы.

Чтобы их найти, нужно решить уравнение, называемое *характеристическим уравнением*:

$$\det(A - \lambda_i \times I) = \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda_i & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} - \lambda_i \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Корни этого уравнения и есть собственные значения, с помощью которых можно построить диагональную матрицу D :

$$D = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_n \end{pmatrix}.$$

Определение 3. Собственный вектор $\vec{e}_i = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$, $i = \overline{1, n}$, соответ-

ствующий собственному числу λ_i – это ненулевой вектор, удовлетворяющий условию (5):

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \lambda_i \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

То есть при умножении матрицы на этот вектор, он изменяет только свою длину, но не меняет направление.

Из собственных векторов можно построить матрицу перехода:

$$P = (\vec{e}_1 \quad \cdots \quad \vec{e}_n).$$

Получаем базис некоторого «собственного» пространства, каждый вектор которого есть собственный вектор при своем λ_i . С помощью матрицы перехода P наша матрица A превращается в диагональную и обратно, тем самым связывая базис собственных векторов с тем пространством, в котором мы работаем.

Также заметим, что собственные векторы линейно независимы, то есть ни один из них не может быть представлен как линейная комбинация всех других. Поэтому $\det P \neq 0$ и P^{-1} всегда существует.

Основная идея метода спектрального разложения заключается в том, чтобы представить нашу матрицу в виде:

$$A = P \times D \times P^{-1}, \quad (6)$$

где P – матрица, состоящая из собственных векторов матрицы A , D – диагональная матрица, элементами которой являются собственные значения матрицы A , P^{-1} – обратная матрица к матрице P .

Тогда верно утверждение:

$$\sqrt{A} = P\sqrt{D}P^{-1} = P \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{\lambda_n} \end{pmatrix} P^{-1}. \quad (7)$$

Также следует отметить, что корень из матрицы может иметь как действительные, так и комплексные элементы. А также корней из матрицы может существовать несколько, количество которых определяется спектром матрицы.

Пример 1. Дана матрица A из действительных чисел

$$A = \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Найдем собственные значения λ_1 и λ_2 из уравнения (4) и для каждого из них найдем соответствующие собственные векторы из уравнения (5):

$$\lambda_1 = 1; \quad \vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \lambda_2 = 2; \quad \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Пользуясь формулой (6), получим спектральное разложение нашей матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Тогда по формуле (7) получим квадратный корень из нашей матрицы:

$$\sqrt{A} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \sqrt{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1+2\sqrt{2} & 2-2\sqrt{2} \\ \sqrt{2}-1 & 2-\sqrt{2} \end{pmatrix}.$$

Проверка говорит о правильности наших вычислений:

$$\sqrt{A}^2 = \begin{pmatrix} -1+2\sqrt{2} & 2-2\sqrt{2} \\ \sqrt{2}-1 & 2-\sqrt{2} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = A.$$

Пример 2. Дана матрица A из действительных чисел

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Продолжаем те же операции, находим собственные значения и собственные векторы матрицы A :

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= i; \\ \lambda_2 &= -i; \end{aligned} \quad \vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1+i \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 1-i \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Получаем спектральное разложение нашей матрицы A

$$A = \begin{pmatrix} 1+i & 1-i \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{-i}{2} & \frac{1+i}{2} \\ \frac{i}{2} & \frac{1-i}{2} \end{pmatrix}.$$

Корней из комплексного числа может быть несколько. Следовательно, количество корней из матрицы также будет зависеть от количества корней из наших собственных значений. В данном примере у нас два мнимых собственных числа и у каждого из них по два значения корня:

$$\sqrt{\lambda_1} = \pm \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i \right); \quad \sqrt{\lambda_2} = \pm \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}i \right).$$

Следовательно, имеем четыре различные пары корней из собственных значений и можем составить четыре различные диагональные матрицы. Например, используя одну из пар, составим корень из матрицы:

$$\sqrt{A} = \begin{pmatrix} 1+i & 1-i \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2} + \sqrt{2}i}{2} & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{2} - \sqrt{2}i}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{-i}{2} & \frac{1+i}{2} \\ \frac{i}{2} & \frac{1-i}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \end{pmatrix}$$

Заметим, что он также проходит проверку:

$$\sqrt{A}^2 = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = A.$$

Третий метод – метод Жордановых форм. Он применяется для нахождения квадратного корня из квадратной матрицы с повторяющимися или кратными собственными значениями.

Попробуем сначала разобраться, а какой вид имеют матрицы второго порядка с повторяющимися собственными значениями?

Рассмотрим матрицу A с различными комплексными элементами:

$$A = (a_{ij}), a_{ij} \in \mathbb{C},$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}.$$

Составим характеристическое уравнение (4):

$$(a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{12}a_{21} = 0.$$

Приведем к виду квадратичного уравнения:

$$\lambda^2 - \lambda(a_{11} + a_{22}) + (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = 0.$$

Если $\lambda_1 = \lambda_2$, то дискриминант равен нулю:

$$(a_{11} + a_{22})^2 - 4(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = 0.$$

Сокращая, получим уравнение из значений матрицы A , для которых выполняется условие повторяющихся собственных значений:

$$(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21} = 0. \tag{8}$$

Возвращаемся к методу жордановых форм. Данный метод ос-

нован на нахождении собственных значений и обобщенных собственных векторов.

Собственные значения находятся точно так же, как и в предыдущем методе из характеристического уравнения (4), но, используя собственные значения, мы строим почти диагональную матрицу в жордановой нормальной форме [3]:

$$J = \begin{pmatrix} \lambda & 1 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}.$$

Определение 4. Обобщенные собственные векторы $\bar{x}_j, j = \overline{1, m}$, — это независимые ненулевые векторы, соответствующие собственному значению λ с алгебраической кратностью m , для нахождения которых нужно решить следующую систему:

$$\begin{cases} (A - \lambda \times I) \times \bar{x}_1 = 0 \\ (A - \lambda \times I) \times \bar{x}_m = \bar{x}_{m-1} \end{cases}. \quad (9)$$

Можно заметить, что первое значение обобщенного собственного вектора есть обычный собственный вектор. Решая систему (9), мы получим векторы \bar{x}_j :

$$\bar{x}_j = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, j = \overline{1, m}.$$

Из них можно построить обобщенную матрицу перехода, по-другому говоря, обобщенную модальную матрицу M :

$$M = (\bar{x}_1 \quad \cdots \quad \bar{x}_m).$$

Основная идея метода жордановых матриц заключается в том, чтобы представить нашу матрицу в виде:

$$A = M \times J \times M^{-1}, \quad (10)$$

где M — это матрица, состоящая из обобщенных собственных векторов матрицы A , J — почти диагональная матрица в жордановой нормальной форме, M^{-1} — обратная матрица к матрице M .

Тогда получаем формулу:

$$\sqrt{A} = M \sqrt{J} M^{-1}. \quad (11)$$

Следует тогда разобраться как найти корень из матрицы J .

Утверждение 1. Корень из жордановой матрицы второго порядка можно найти следующим образом:

$$\sqrt{J} = \begin{pmatrix} \lambda & 1 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}^{\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} \\ 0 & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Доказательство:

$$(\sqrt{J})^2 = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} \\ 0 & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} \lambda & 1 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}.$$

Следовательно, объединяя уравнения (11) и (12), получаем формулу нахождения квадратного корня из матрицы второго порядка с повторяющимися собственными значениями λ :

$$\sqrt{A} = M \times \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} \\ 0 & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix} \times M^{-1} \quad (13)$$

Рассмотрим частный случай матрицы $A = (a_{ij})$, где $a_{ij} \in \mathbb{C}$, с повторяющимися ненулевыми собственными значениями при $a_{11} = a_{22} = a$.

Тогда из условия (8) либо $\begin{cases} a_{21} = 0 \\ a_{12} = b \end{cases}$, либо $\begin{cases} a_{21} = b \\ a_{12} = 0 \end{cases}$, где $b \in \mathbb{C}$, тогда получаем матрицу A вида:

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ 0 & a \end{pmatrix} \text{ или } A = \begin{pmatrix} a & 0 \\ b & a \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Найдем собственные значения по условию (4):

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda = a \neq 0.$$

Тогда наша матрица имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} \lambda & b \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \text{ или } A = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ b & \lambda \end{pmatrix}.$$

Основываясь на вышеуказанных материалах, можем составить утверждение:

Утверждение 2. Для матриц A одного из видов (14) корень из этой матрицы можно найти по следующим формулам:

$$\sqrt{A} = \begin{pmatrix} \lambda & b \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}^{\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & \frac{b}{2\sqrt{\lambda}} \\ 0 & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix} \text{ или } \sqrt{A} = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ b & \lambda \end{pmatrix}^{\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & 0 \\ \frac{b}{2\sqrt{\lambda}} & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix}$$

Доказательство:

$$\sqrt{A}^2 = \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda} & \frac{b}{2\sqrt{\lambda}} \\ 0 & \sqrt{\lambda} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} \lambda & b \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ 0 & a \end{pmatrix}$$

Утверждение 3. Если в (14) $a = \lambda = 0$, то есть

$$A = \begin{pmatrix} 0 & b \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ или } A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ b & 0 \end{pmatrix}, \text{ то } \sqrt{A} \text{ не существует.}$$

Для доказательства воспользуемся системой уравнений (2), и убедимся, что для данных двух типов матриц системы (8) не имеют решений.

Пример 3. Дана матрица A из действительных чисел

$$A = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

Найдем собственные значения λ_1 и λ_2 из условия (4) и заметим, что они равны. Тогда найдем для этого значения соответствующие обобщенные собственные векторы из уравнений (9):

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 3; \quad \bar{x}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \bar{x}_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Пользуясь формулой (10), получим жорданово разложение нашей матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 0 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Тогда по формуле (13) получим квадратный корень из нашей матрицы:

$$\sqrt{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sqrt{3} & \frac{1}{2\sqrt{3}} \\ 0 & \sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{7\sqrt{3}}{6} & \frac{-\sqrt{3}}{6} \\ \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{5\sqrt{3}}{6} \end{pmatrix}.$$

Сделанная проверка говорит о правильности наших вычислений:

$$\sqrt{A}^2 = \begin{pmatrix} \frac{7\sqrt{3}}{6} & \frac{-\sqrt{3}}{6} \\ \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{5\sqrt{3}}{6} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} = A.$$

Таким образом, у нас получилось рассмотреть для квадратичных матриц II порядка абсолютно все случаи нахождения корня при различных и повторяющихся собственных значениях.


В заключение хочется сказать, что корень из квадратной матрицы является важным понятием в математике и его нахождение имеет множество практических применений.

Существует компьютерная версия программы под названием „Matrix calculator“ [7], которая решает поставленные мною задачи нахождения квадратного корня из квадратных матриц, и с помощью нее можно справляться с матрицами и большего порядка (рис. 1 и рис. 2).

Пример 4. Дана матрица A из действительных чисел, с разными собственными значениями, получая корень матрицы A , включающий комплексные числа (рис. 1):

Матрица A:

$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & -2 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -2 \end{pmatrix}$$

Ячейки  + -

Найти определитель	Найти обратную
Транспонировать	Найти ранг
Умножить на <input type="text" value="2"/>	Треугольный вид
Диагональный вид	Возвести в степень <input type="text" value="1/2"/>
LU-разложение	Разложение Холецкого

2A+3B

Выводить десятичную дробь

$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & -2 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1+i\sqrt{2} & -1+i\sqrt{2} \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1+i\sqrt{2} & -1+i\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

► Подробности

▼ Подробности

$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & -2 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1

Пример 5. Дана матрица A из действительных чисел, с повторяющимся собственными значениями (рис. 2):

Матрица A:

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 2 \\ -3 & 8 & 3 \\ 4 & -8 & -2 \end{pmatrix}$$

Ячейки + -

Найти определитель	Найти обратную
Транспонировать	Найти ранг
Умножить на <input type="text" value="2"/>	Треугольный вид
Диагональный вид	Возвести в степень <input type="text" value="1/2"/>
LU-разложение	Разложение Холецкого

2A+3B

Выводить десятичную дробь

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 2 \\ -3 & 8 & 3 \\ 4 & -8 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \\ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \sqrt{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{3\sqrt{2}}{4} & \frac{5\sqrt{2}}{2} & \frac{3\sqrt{2}}{4} \\ \sqrt{2} & -2\sqrt{2} & 0 \end{pmatrix}$$

► Подробности

▼ Подробности

$$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 2 \\ -3 & 8 & 3 \\ 4 & -8 & -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 1 & 2 \\ -3 & 0 & 1 \\ 4 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{4} \\ 1 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & \frac{3}{4} \end{pmatrix}$$

Рис. 2

Благодарности

Работа выполнена при поддержке научного руководителя кандидата физико-математических наук, доцента Прокофьевой Светланы Ивановны.

Литература

1. *Грантмахер Ф. Р.* Теория матриц. Издание второе, дополненное. Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. Москва. 1966.
2. *Курош А. Г.* Курс высшей алгебры. Издание девятое Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. Москва. 1968.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Jordan_normal_form#Matrix_functions/
4. *Higham, Nicholas J.* Functions of matrices theory and computation. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. (2008).
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Обобщенный_собственный_вектор#cite_note-fe758132a7e0aa27-24/
6. *Richard Bronson.* Matrix Methods: An Introduction. – New York: Academic Press, 1970.
7. <https://matrixcalc.org/ru/>

УДК 519.8

Торуш Эрика Белдир-ооловна,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: erikatorush@yandex.ru

Torush E'rika Beldir-oolovna,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: erikatorush@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

MATHEMATICAL PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

В данной работе исследуется применение математических задач оптимизации в производстве строительных материалов, с фокусом на оптимизацию процессов, связанных со сталью. Рассматриваются различные аспекты, включая оптимальное распределение ресурсов, минимизацию затрат, повышение производительности и обеспечение качества продукции. Работа охватывает широкий спектр математических моделей и методов, таких как линейное программирование, целочисленное программирование, динамическое программирование и метаэвристические алгоритмы. Предлагаемые решения позволяют оптимизировать процессы производства строительных материалов из стали, улучшить эффективность использования ресурсов и снизить затраты, при этом не ущемляя качество конечной продукции. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов в области архитектуры, строительства и производства строительных материалов, а также для руководителей предприятий, стремящихся оптимизировать свои процессы и повысить конкурентоспособность на рынке.

Ключевые слова: математическая оптимизация, производство строительных материалов, математические модели, линейное программирование, описание производства.

This paper explores the application of mathematical optimization problems in the production of building materials, with a focus on optimizing processes related to steel. Various aspects are considered, including optimal resource allocation, cost minimization, productivity improvement and product quality assurance. The work covers a wide range of mathematical models and methods, such as linear programming, integer programming, dynamic programming and metaheuristic algorithms. The proposed solutions make it possible to optimize the production processes of steel construction materials, improve resource efficiency and reduce costs, while not

compromising the quality of the final product. The results of the study can be useful for specialists in the field of architecture, construction and production of building materials, as well as for managers of enterprises seeking to optimize their processes and increase competitiveness in the market.

Keywords: mathematical optimization, production of building materials, mathematical models, linear programming, production schedule.

Введение

Математические задачи оптимизации производства строительных материалов представляют собой важную область исследований в современной архитектуре и строительстве [1–9]. В условиях постоянного развития и роста строительной индустрии, эффективное управление процессами производства и оптимизация использования ресурсов становятся неотъемлемой частью успешной деятельности компаний, занимающихся производством строительных материалов.

Целью математической оптимизации производства строительных материалов является достижение максимальной эффективности и конкурентоспособности предприятий в данной отрасли. Применение математических методов позволяет значительно сократить затраты на производство, повысить производительность и качество продукции, а также улучшить управление и планирование производственными процессами.

В данной статье мы рассмотрим несколько важных математических задач оптимизации производства строительных материалов. Будут представлены различные модели и методы, используемые для решения данных задач, а также приведены примеры их практического применения. Оптимизация производства строительных материалов имеет большое значение не только для предприятий данной отрасли, но и для общего развития сферы строительства, архитектуры и экологической устойчивости. Современные технологии и инновации в области математической оптимизации производства строительных материалов позволяют создавать более эффективные и экологически безопасные материалы, способствуя устойчивому развитию и прогрессу строительной индустрии.

Основная часть

Оптимизация производства строительных материалов играет важную роль в строительной отрасли. Математические методы и модели могут быть использованы для решения различных задач, связанных с оптимизацией производственных процессов, улучшением качества продукции и снижением затрат. В этой статье мы рассмотрим несколько математических задач, которые возникают в контексте производства строительных материалов, и подходы к их решению.

Одной из ключевых задач является оптимизация состава смесей материалов. В производстве бетона, например, необходимо найти оптимальное соотношение составляющих материалов, таких как цемент, песок, щебень и вода, чтобы достичь требуемых физических и механических характеристик готового продукта. Это можно сделать с помощью математических методов оптимизации, таких как линейное программирование или методы нелинейной оптимизации. Оптимальное решение позволяет снизить расходы на материалы и одновременно обеспечить необходимые качественные показатели продукции.

В последние годы математические задачи оптимизации производства строительных материалов привлекают все большее внимание исследователей и практиков в области архитектуры и строительства. Эти задачи направлены на оптимизацию процессов производства, снижение затрат, повышение эффективности и качества строительных материалов [1].

Примеры смесей:

Бетонная смесь:

Портландцемент: основной компонент для связывания материалов в бетоне.

Песок: добавляется для обеспечения прочности и стабильности.

Щебень: используется в качестве наполнителя для повышения прочности бетона.

Вода: необходима для гидратации цемента и создания реакции отверждения.

Штукатурная смесь:

Цемент: используется в качестве основного связующего компонента.

Песок: добавляется для достижения необходимой консистенции и прочности.

Известь: иногда добавляется для улучшения вяжущих свойств смеси.

Вода: используется для гидратации цемента и создания пастообразной консистенции.

Кирпичная кладочная смесь:

Глина: основной компонент для изготовления кирпича.

Песок: добавляется для улучшения прочности и стабильности кирпича.

Известь: иногда используется для регулировки свойств глиноземной смеси.

Вода: необходима для создания пастообразной консистенции и отверждения глины.

Шпаклевочная смесь:

Гипс: основной компонент для заполнения трещин и неровностей на поверхностях.

Песок или тальк: добавляется для регулировки консистенции и улучшения свойств шпаклевки.

Вода: используется для гидратации гипса и создания пастообразной консистенции.

Рассмотрим задачу оптимизации производства бетона. Предположим, у нас есть следующие ингредиенты: цемент (C), песок (S), щебень (G) и вода (W). Мы хотим определить оптимальные пропорции этих ингредиентов, чтобы достичь желаемых свойств бетона при минимальных затратах.

Пусть x_1 , x_2 , x_3 и x_4 обозначают доли цемента, песка, щебня и воды соответственно при изготовлении смеси. Тогда мы можем сформулировать задачу оптимизации следующим образом:

Минимизировать функцию стоимости $C(x_1, x_2, x_3, x_4)$, которая выражает стоимость производства единицы бетона в зависимости от выбранных пропорций. Функция стоимости может быть определена как:

$$C(x_1, x_2, \dots, x_4) = \sum_{j=1}^4 p_j x_j,$$

где p_1, p_2, p_3 и p_4 представляют стоимость единицы каждого ингредиента соответственно.

Помимо стоимости, мы также хотим учесть ограничения на свойства бетона, такие как прочность и плотность. Допустим, требуется достичь минимальной прочности b_{\min} и максимальной плотности d_{\max} . Тогда мы можем добавить ограничения в нашу задачу оптимизации:

$$\sum_{j=1}^4 x_j = 1 \text{ (ограничение на сумму долей)}$$

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) \geq b_{\min} \text{ (ограничение на прочность)}$$

$$\rho(x_1, x_2, x_3, x_4) \leq d_{\max} \text{ (ограничение на плотность)}$$

где f и ρ представляют функции, определяющие прочность и плотность бетона соответственно, в зависимости от выбранной технологии производства. Далее, для решения этой задачи, мы можем использовать методы математического программирования, такие как линейное программирование или нелинейное программирование. С помощью методов оптимизации можно найти лучшие (оптимальные) значения x_1, x_2, x_3 и x_4 , удовлетворяющие всем ограничениям и минимизирующие стоимость производства бетона.

После получения оптимальных значений пропорций, мы можем использовать их для производства бетона с желаемыми свойствами при минимальных затратах. Решение задачи оптимизации производства бетона позволяет найти оптимальные пропорции ингредиентов (цемента, песка, щебня и воды), обеспечивающие достижение заданных свойств бетона при минимальных затратах [2]. Это позволяет эффективно использовать ресурсы и повысить качество производимых строительных материалов.

В работах, посвященных математическим задачам оптимизации производства строительных материалов, мы сталкиваемся с важным требованием: все переменные, используемые в процессе оптимизации, должны быть неотрицательными. Это условие является неотъемлемой частью реальных производственных процессов в строительной отрасли.

Оптимизация производства строительных материалов требует учета различных ограничений и эффективного использования ресурсов. В данном контексте, мы рассматриваем проблему минимизации затрат и максимизации выхода продукции при заданных условиях. Важно понимать, что использование отрицательных значений переменных не имеет смысла и не соответствует реальности производственного процесса [7].

Для примера, представим задачу оптимизации производства бетона. Здесь мы можем иметь переменные, отражающие количество используемых ингредиентов, таких как цемент, песок и щебень. В данном случае, отрицательные значения этих переменных не имеют физического смысла, поскольку мы не можем использовать отрицательное количество ингредиентов в процессе производства.

Таким образом, в контексте статьи о математических задачах оптимизации производства строительных материалов, мы должны придерживаться требования, что все переменные, используемые для оптимизации, должны быть неотрицательными. Это поможет отражать реалистичные ограничения производственного процесса и достичь реальных и эффективных результатов.

Другой важной задачей является оптимизация производственного процесса. В строительной отрасли это может включать оптимальное планирование производства, распределение ресурсов и управление логистикой [6]. Математические модели и алгоритмы позволяют оптимизировать производственные цепочки, минимизировать время и затраты на производство, а также сократить запасы и избыточные операции.

Основные особенности строительного производства заключаются в следующем:

1. Продукция строительства создается в течение продолжительного периода времени. Продолжительность строительства любого объекта исчисляется не только месяцами, но во многих случаях, особенно при строительстве крупных объектов, годами.

2. Строительство любого объекта осуществляется в определенной естественной природной среде, которая характеризуется своими топографическими, инженерно-геологическими и климатическими

условиями. Изменения температуры воздуха, дожди, снегопады, ветры затрудняют ритмичность строительства, в связи с чем возникают непроизводительные потери, требующие надлежащей организации их учета и контроля.

3. Рабочие места исполнителей строительных процессов и строительная техника постоянно меняются и по времени, и по положению. Поэтому после окончания строительных и монтажных работ на одном объекте строительные организации вынуждены перемещать орудия труда на другие объекты, расположенные от построенного объекта на значительных расстояниях, что требует дополнительных расходов на перевозку и транспортировку, демонтаж строительных машин и механизмов.

4. Технология строительного производства требует строгой последовательности в выполнении отдельных его процессов: завершение одного рабочего процесса предшествует началу другого. Ни один строительный процесс не может начаться без окончания предыдущего; продукцию своего труда в этих условиях нельзя накапливать на промежуточных складах.

Еще одной важной задачей является оптимизация использования энергии и ресурсов в производстве строительных материалов. Например, оптимизация работы оборудования и установок может существенно снизить энергопотребление и экологическую нагрузку производства [3]. Здесь математические модели и методы оптимизации позволяют определить оптимальные параметры работы оборудования, такие как скорость, температура и давление, с учетом ограничений и требований производства.

Математические методы также могут быть применены для решения задач контроля качества продукции. Например, с помощью статистических методов и алгоритмов машинного обучения можно проводить мониторинг процесса производства и определять оптимальные параметры контроля, чтобы обеспечить высокое качество готовой продукции. Математические задачи оптимизации играют важную роль в производстве строительных материалов. Они позволяют найти оптимальные решения для различных аспектов производственных процессов, улучшить качество продукции, сни-

зитель затраты и повысить энергоэффективность производства [8, 9]. Применение математических моделей и методов оптимизации может значительно повысить эффективность и конкурентоспособность предприятий в сфере строительных материалов.

Вывод

В данной статье мы рассмотрели математические задачи оптимизации производства строительных материалов и их важность для эффективного функционирования строительной отрасли. Оптимизация производства строительных материалов является важным аспектом, который позволяет достичь оптимального использования ресурсов, снизить затраты и повысить качество продукции. Первым шагом в оптимизации производства строительных материалов является формулирование математической модели, которая учитывает все релевантные факторы, такие как сырье, энергозатраты, технологические процессы и требования к качеству конечной продукции. Затем, с использованием методов оптимизации, мы можем найти оптимальные значения переменных и параметров, которые минимизируют затраты и максимизируют производительность.

Литература

1. *Курганский В. А., Кондратов А. Н.* Оптимизация технологических процессов производства строительных материалов. – Москва: Издательство «Стройиздат», 2009.
2. *Борзунов В. И., Журавлева Т. В.* Оптимизация технологии производства строительных материалов: учебное пособие. – Москва: Издательство «Академия», 2013.
3. *Загоруйко В. И., Гусев В. Ф., Белоусов Л. А.* Математические методы оптимизации технологических процессов производства строительных материалов. – Москва: Издательство «Стройиздат», 2011.
4. *Бушуева И. Н.* Математические модели и методы оптимизации в задачах производства строительных материалов. – Москва: Издательство «Академия», 2015.
5. *Козлов В. М., Харченко Е. В., Матвеева О. А.* Математические модели и методы оптимизации в строительстве. – Москва: Издательство «Стройиздат», 2016.
6. *Лебедева, Е. М., Логинов, И. Ю.* Математические модели и методы оптимизации технологических процессов в производстве строительных материалов // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 3 (638). – С. 98–107.

7. Горбунов А. В., Голубев В. П., Сергеев В. В. Математическое моделирование и оптимизация процессов сушки цемента // Вестник Московского государственного строительного университета. Серия: Строительные материалы и изделия. – 2016. – № 1 (17). – С. 31–38.

8. Уразаева Л. Ю., Башмакова И. Б. Математическое моделирование системного влияния рециклинга строительных отходов // Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса. 2018. № 1. С. 160–165.

9. Уразаева Л. Ю., Дацун Н. Н. Математическое моделирование процесса сушки с помощью САЕ. Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании : материалы VII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 25–29.

СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 691.116

Александр Григорьевич Черных,
д-р техн. наук, профессор
Татьяна Николаевна Казакевич,
канд. техн. наук, доцент
Стефания Ивановна Миронова,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
Светлана Евгеньевна Кирютина,
канд. техн. наук, ген. директор
(ООО «СДМиК»)
E-mail: chagrigrig@spbgasu.ru,
kazakevich.t.n@mail.ru,
mstefania@mail.ru,
svetlana_sodr@mail.ru

Alexandr Grigor'evich Chernykh,
Dr. Sci. Tech., Professor
Tatiana Nikolaevna Kazakevich,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
Stefaniya Ivanovna Mironova,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
Svetlana Evgen'evna Kiryutina,
PhD in Sci. Tech., Direktor
(LLC "CDMiK")
E-mail: chagrigrig@spbgasu.ru,
kazakevich.t.n@mail.ru,
mstefania@mail.ru,
svetlana_sodr@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ КЛЕЕВЫХ СИСТЕМ

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ACCELERATED TESTING OF ADHESIVE SYSTEMS

Критериями пригодности клеев и классификации по типу клея являются полученные по результатам испытаний данные о прочности и стойкости клеев. При этом, для клеев типов I и II требуется проведение испытаний по определению длительной прочности клеевых соединений. Рассмотрено сравнение методик ускоренных испытаний клеев, клеевых соединений. Выявлены сведения, отсутствующие в национальных стандартах. С целью разработки методики ускоренных испытаний клеевых соединений ММФ клеев предложен метод исследований, который отличается от установленных в национальных стандартах. Испытание образцов на изгиб, склеенных впритык сводит до минимума влияние адгезионного слоя клей – древесина.

Ключевые слова: меламино-мочевиноформальдегидные клеи, метод ускоренных испытаний, прочность клеевых соединений, стойкость клеевых соединений, конструкции клееные деревянные несущие.

The criteria for the suitability of adhesives and classification by type of adhesive are the data obtained from the test results on the strength and durability of adhesives. At the same time, for adhesives of types I and II, tests are required to determine the long-term strength of adhesive joints. The comparison of methods of accelerated testing of adhesives, adhesive joints is considered. Information missing from national standards has been identified. In order to develop a methodology for accelerated testing of adhesive joints of MMF adhesives, a research method is proposed that differs from those established in national standards. Testing of samples for bending glued end-to-end minimizes the effect of the adhesive layer of glue – wood.

Keywords: melamine-urea-formaldehyde adhesives, accelerated testing method, strength of adhesive joints, durability of adhesive joints, glued wooden load-bearing structures.

Целью работы явилась разработка метода ускоренных испытаний клеевых соединений на ММФ клеях.

Критериями пригодности клеев и классификации по типу клея являются полученные по результатам испытаний данные о прочности и стойкости клеев. При этом, для клеев типов I и II требуется проведение испытаний по определению длительной прочности клеевых соединений. Продолжительность таких испытаний не менее 13 месяцев, что приводит к значительным экономическим и временным затратам на испытания.

В процессе эксплуатации клеевые соединения подвержены как воздействию факторов климата (температура, влажность, суточные, сезонные перепады температуры), так и воздействию тепловых (рабочие температуры) и механических нагрузок. Стойкость клеевых соединений к действию механических нагрузок оценивается по результатам испытаний на длительную прочность при разных уровнях нагрузки или усталостную прочность (динамические нагрузки) на базе 10^6 - 10^7 циклов. Влияние эксплуатационных температур (тепловой ресурс) оценивается по результатам термостарения образцов клеевых соединений путем непосредственной выдержки их при рабочих температурах в течение времени, рекомендованного на основании сроков эксплуатации.

Наиболее опасными факторами климата являются влажность (содержание влаги) полимерного клеевого шва и температурные (сезонные и суточные) циклы, особенно при переходе в область от-

рицательных температур, где релаксационные процессы в клеях заторможены, что приводит к возникновению больших внутренних напряжений [1].

На прочностные показатели оказывают влияние технологические параметры на производстве. Влияние производственных показателей на прочность склеивания по длине и по пласти рассматривалось в работах [2, 3, 4].

Согласно исследованиям [5] длительная работа древесины под нагрузкой сопровождается снижением ее прочности, вследствие накопления микроскопических трещин.

Подробный анализ и переработку материалов экспериментальных исследований произвел Иванов Ю. М., предложив методику определения длительной прочности древесины, которая нашла отражение в нормативных документах по проектированию и испытаниям деревянных конструкций.

На кафедре конструкций из дерева и пластмасс и в лаборатории ЛИСИ в 1966–68 гг. проводила исследования прочности и долговечности клеевых соединений древесины в различных температурно-влажностных условиях [6]. Ускоренные исследования проводили испытанием разрушающей работы удара образцов размером $6 \times 6 \times 100$ мм. В связи с тем, что плотность древесины оказывала большое влияние на результат, образцы были разделены на группы по плотности. Испытания проводились после того, как клеевые соединения в древесине были подвержены набуханию. Испытания проводились на маятниковом копре при температуре 20 °С и влажности воздуха 76 % с энергией 60 кгс*м при расстоянии опор 70 мм. Во второй серии опытов исследовали прочность при изгибе образцов толщиной 6 мм, влажностью 9 %. Клей наносили на верхнюю поверхность образца. Было выявлено разрушительное влияние кислотного отвердителя на древесину.

Информация о критериях и факторах, влияющих на прочность и стойкость клеев, клеевых слоев, древесины приведена в нормативных документах: ГОСТ 9.707 [7]. Стандарт разработан для проведения ускоренных испытаний на климатическое старение материалов полимерных. ГОСТ 33121 [8], ГОСТ 33122 [9],

ГОСТ 33120 [10], ГОСТ 34349 [11], ГОСТ Р 57790 [12], ГОСТ Р 57999 [13]. Приведенные стандарты используют с целью проведения квалификационных испытаний клеевых соединений, испытания образцов клееных деревянных конструкций в производственных лабораториях.

Следует принять во внимание ускоренные испытания, которые были проведены на малых образцах с проведением испытаний на изгиб и разрушающей работы удара. Было выявлено влияние воздействия кислотного отвердителя на древесину, что свидетельствует об эффективности и достаточной точности разрушающего метода на изгиб.

Для проведения испытания клеевого соединения существует методика определения предела прочности при растяжении клеевого торцового соединения впритык ГОСТ 15613.3 [14]. Сечение образцов должно быть $4 \times 20 \times 250$ мм. При формировании клеевого соединения впритык влияние адгезионного слоя клей – древесина будет сведено до минимума. В случае нагружения образцов малой формы на изгиб следует придерживаться требований к пролету в зависимости от толщины образца.

Таким образом, можно провести исследования на изгиб с образцами малой формы $20 \times 20 \times 360$ (длина образца равна 18h), изготовленными путем склеивания из 2-х заготовок впритык.

Для исследования длительной прочности соединений на ММФ клее, представляется возможным рассматривать другой подход, отличный от установленного для определения длительной прочности клеевых соединений метода, основанного на определении зависимости времени до разрушения под действием постоянных нагрузок от значения разрушающей нагрузки контрольных образцов. Данный метод ближе к оценке долговечности непосредственно деревянных конструкций.

Способ определения длительной прочности полимерных материалов не учитывает когезионную прочность, в связи с этим не может быть применим. Положительные результаты авторов [5, 15] при проведении ускоренных испытаний, которые испытывали малые образцы клееной древесины, позволяют использовать разру-

шающие методы контроля, экспресс методы для прогнозирования длительной прочности.

Для проведения испытания клеевого соединения со сведением до минимума влияния взаимодействия клей-древесина, рекомендуются исследования образцов на изгиб с клеевым соединением впритык в соответствии с ГОСТ 15613.3 [14].

Для проведения ускоренных испытаний клеевых соединений принять методику испытания малых образцов на изгиб по примеру [15].

Образцы древесины хвойных пород выполнить с клеевым соединением впритык.

Толщина и ширина образцов должны быть равны 20 мм. Длина образца соответствует 18-ти кратной толщине образца, изготовленного из двух заготовок. За толщину образца h принимают размер по направлению приложения нагрузки.

Образцы для испытаний изготавливаются из заготовок, склеенных торцами впритык, в виде прямоугольной призмы с клеевым соединением посередине длины, рис. 1.

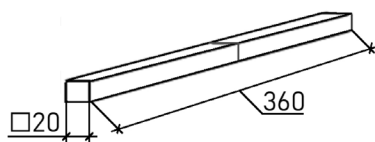


Рис. 1. Форма и размеры образца для проведения кратковременных и длительных испытаний

Кратковременные испытания проводить по схеме, указанной на рис. 2 ГОСТ 33120 [10], с приложением нагрузки в третьей части пролета на плась (1/3 l и 2/3 l).

По результатам определения разрушающей нагрузки кратковременных испытаний назначить уровень нагрузки при испытании на длительную прочность.

Уровни нагрузки (напряжений), при испытании образцов на длительную прочность принять равными 80 % и 90 % значения от разрушающей нагрузки (кратковременной прочности) контрольных

образцов, склеенных впритык и испытанных на 4-х точечный изгиб. Схема испытания приведена на рис. 2.

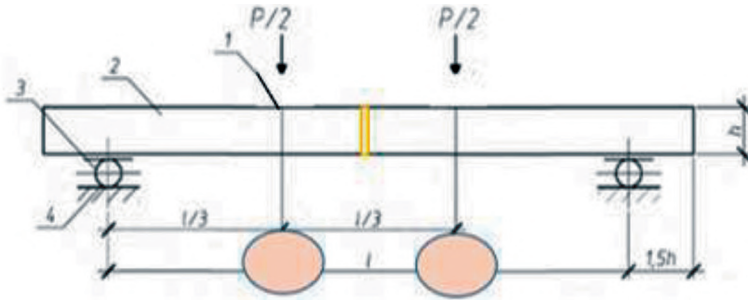


Рис. 2. Схема установки для ускоренного испытания на длительную прочность ММФ-клеев: 1 – груз; 2 – образец; 3 – цилиндрический шарнир; 4 – опора

Образцы для проведения испытаний разделить на 3 серии. Образцы кратковременных испытаний являются контрольными.

Проведение испытаний включает в себя следующие этапы:

- определение разрушающей нагрузки (начальной прочности, равной значению средней разрушающей) при испытаниях контрольных образцов (1-я серия);
- нагружение образцов 2-й, 3-й серий статической нагрузкой, равной 80 % и 90 % значения от средней разрушающей нагрузки контрольных образцов;
- фиксация времени до разрушения образцов 2-й и 3-й серии.

При проведении испытаний фиксировать породу, плотность и влажность древесины образца, значение разрушающей нагрузки и характер разрушения образца (отношение площади разрушения образца по древесине к площади разрушения по клеевой прослойке, выраженное в процентах), время до разрушения.

Начальную прочность клеевых соединений определить по формуле (2) ГОСТ 33120 [10].

Для передачи нагрузки на образцы при длительных испытаниях использовать блочные установки.

Продолжительность длительных испытаний необходимо фиксировать с точностью до 1 мин при нагружении нагрузкой 90 % от разрушающей, при нагружении нагрузкой 80 % от разрушающей с точностью до 60 минут.

Результаты испытаний клеевых соединений на длительную прочность выразить в полулогарифмических координатах зависимости относительной прочности σ/σ_0 от времени t в координатах $\sigma/\sigma_0 - \lg t$.

Оценку длительной прочности выполнить графически по рисунку 2 ГОСТ 34349 [11]. Необходимо рассмотреть график длительной прочности клеевого соединения, при этом расположение выше графика длительной прочности древесины на скалывание, свидетельствует о том, что длительная прочность клеевого соединения соответствует требованиям к клеям типа I.

В процессе проведения длительных испытаний необходимо проводить наблюдения за различными изменениями в образце (появление треска, трещин, смятия, перекосов и др.). После разрушения образцов описать характер разрушения соединения. Процесс испытаний и характер разрушения фиксировать путем фотосъемки.

Внедрение разработанных предложений по исследованию прочности и стойкости соединений несущих клеевых деревянных конструкций на отечественных меламино-мочевиноформальдегидных клеях с разработкой метода ускоренных испытаний позволит расширить применение клеев в производстве КДК.

Литература

1. Ускоренные испытания клеевых соединений В. А. Ефимов, А. П. Петрова, Л. И. Аниховская // Клеи. Герметики. Технологии. № 7, 2005.
2. Успенская Н. А. Производственные показатели прочности, склеенных по длине заготовок для клеевых деревянных конструкций. Успенская Н. А., Казакевич Т. Н. // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 3(254), С. 62–66.
3. Успенская Н. А. Прочность пластевых клеевых соединений при сплошном скалывании Успенская Н. А., Казакевич Т. Н. // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. №11. С. 37–40.
4. Коваль П. С. Изгиб предварительно напряженной древесоплиты сосредоточенной нагрузкой // Вестник гражданских инженеров. 2014, № 6 (47). С. 52–57.

5. Иванов Ю. М. О длительной прочности древесины по результатам испытаний образцов крупного размера / Ю. М. Иванов // ИВУЗ, «Лесной журнал». – № 1, 1978. – Архангельск: Архангельский лесотехнический институт. – с. 77–83.
6. Квасников Е. Н. Вопросы длительного сопротивления. Л.: ИЛС, ЛИСИ, 1972. 96 с.
7. ГОСТ 9.707 Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/13188/?ysclid=lgul1q40lh458274121> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
8. ГОСТ 33121–2014 Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
9. ГОСТ 33122 – 2014 Клеи для несущих деревянных конструкций. Общие технические условия – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
10. ГОСТ 33120–2014 Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
11. ГОСТ 34349 – 2017 Конструкции деревянные клееные. Методы определения длительной прочности клеевых соединений – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
12. ГОСТ Р 57790-2017 Конструкции деревянные несущие. Методы испытаний на прочность и деформативность – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
13. ГОСТ Р 57999–2017/EN 301:2013 Клеи для несущих деревянных конструкций Фенопласты и аминопласты. Классификация и требования – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения – 25.03.2023 г.).
14. ГОСТ 15613.3–77 Древесина клееная массивная. Метод определения предела прочности при растяжении клеевого торцового соединения впритык URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/40579/> (дата обращения 02.04.2023).
15. Белянкин Ф. П. Длительное сопротивление дерева. Л.ОНТИ 1934. С.40.

УДК 691.116

Александр Григорьевич Черных,
д-р техн. наук, профессор
Татьяна Николаевна Казакевич,
канд. техн. наук, доцент
Александр Борисович Шмидт,
канд. техн. наук, доцент
Егор Владимирович Данилов,
канд. техн. наук, доцент
Павел Сергеевич Коваль,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-
строительный университет)
E-mail: chagrig@spbgasu.ru,
kazakevich.t.n@mail.ru,
ukf@bk.ru,
sleepme@mail.ru,
pkoval@lan.spbgasu.ru

Alexandr Grigor'evich Chernykh,
Dr. Sci. Tech., professor
Tatiana Nikolaevna Kazakevich,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
Alexander Borisovich Schmidt,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
Egor Vladimirovich Danilov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
Pavel Sergeevich Koval,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg
State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: chagrig@spbgasu.ru,
kazakevich.t.n@mail.ru,
ukf@bk.ru,
sleepme@mail.ru,
pkoval@lan.spbgasu.ru

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ
К МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ,
УСТАНОВЛЕННЫХ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
И ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТАХ**

**COMPARISON OF REQUIREMENTS
FOR MATERIALS AND WOOD PRODUCTS
ESTABLISHED IN DOMESTIC AND FOREIGN
STANDARDS**

Рассмотрено сравнение стандартов – технических условий на основные строительные материалы с применением древесины: клееные деревянные конструкции и изделия, брус клееный из шпона, плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев, плиты древесные с ориентированной стружкой, арболит, фибролит. Выявлены сведения, отсутствующие в национальных стандартах. С целью развития строительства из материалов с применением древесины в РФ следует внести изменения в действующие стандарты или разработать новые. Для развития деревянного домостроения требуется разработать

единый стандарт, содержащий указания по приемке и эксплуатации здания, основой которого являются несущие конструкции из древесины.

Ключевые слова: производство клееных конструкций, сортамент клееных конструкций, применение LVL, унифицированные размеры панелей CLT, требования к фибролиту, создание стандарта для деревянного дома.

The comparison of standards and technical specifications for the main building materials with the use of wood is considered: glued wooden structures and products, glued veneer lumber, glued lumber slabs with cross layers, wood slabs with oriented chips, arbolite, fibrolite. Information missing from national standards has been identified. In order to develop construction from materials using wood in the Russian Federation, it is necessary to amend the existing standards or develop new ones. For the development of wooden housing construction, it is necessary to develop a single standard containing instructions for the acceptance and operation of a building, the basis of which are load-bearing structures made of wood.

Keywords: production of glued structures, assortment of glued structures, application of LVL, unified dimensions of CLT panels, requirements for fibrolite, creation of a standard for a wooden house.

Целью работы явилось сопоставление требований к материалам и изделиям с применением древесины, установленных в отечественных и зарубежных стандартах.

По объемам потребления на рынке строительных материалов широко применяются материалы из цельной древесины:

- брус;
- доски;
- погонажные изделия;
- профилированный брус;
- оцилиндрованное бревно.

Материалы, изготавливаемые на основе древесины, в т. ч. путем склеивания:

- клееные деревянные элементы;
- брус клееный из шпона (LVL);
- плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев ДПК/CLT;
- плиты древесные с ориентированной стружкой;
- фанера, плиты фанерные;
- древесно-стружечные плиты.

Имеется ряд материалов, изготавливаемых на основе древесины с минеральными связующими:

- цементно–стружечные плиты;
- фиброцементные плиты;
- арболит;
- плиты фибролитовые на портландцементе;
- гипсоволокнистые плиты;
- гипсостружечные плиты;
- гипсокартон.

Распространенным материалом является клееная древесина, технические условия к КДК приведены в ГОСТ 20850 [1]. В стандарте учтены основные нормативные положения европейского стандарта EN 14080:2012 Степень соответствия – NEQ.

Клееные деревянные элементы для деревянного строительства изготавливают на основе ГОСТ 20850 [1]. В стандарте приведены единые требования к несущим клееным ДК, а также к их производству, методам испытаний, приемке, хранению, транспортированию и условиям эксплуатации. В стандарт включены новые положения, отражающие достижения последних лет, а также учтен ряд положений европейского стандарта EN 14080.

Сравнение ГОСТ 20850 с национальным стандартом Беларуси на клееные деревянные конструкции СТБ 1722 «Изделия деревянные клееные. Общие технические условия» [2], который введен взамен ГОСТ 20850 выявляет расширенные требования к клееным материалам.

Стандарт Белоруссии предусматривает классификацию:

По функциональному назначению на ограждающие и декоративные.

По конструктивному решению:

- арки трехшарнирные (А3);
- арки двухшарнирные (А2);
- балки (Б);
- колонны (К);
- прогоны (П) и т. д.

СТБ 1722 для каждого вида изделий устанавливает предел огнестойкости (п.4.1.5).

Требования к технологии изготовления:

- допускает в одном слое стыковать не более 25 % всех словес изделия (П.4.1.11);
- устанавливает предел прочности клеевых соединений в момент распрессовки (п.4.1.15);
- устанавливает класс адгезии (п.4.1.26);
- устанавливает требования к сушке пиломатериалов (п.4.2.8);
- регламентирует величину внутренних напряжений в пиломатериалах (п.4.2.9);
- устанавливает допустимый уровень цезия–137 в древесине изделий (п.4.2.3);
- комплект изделий сопровождаются комплектовочной ведомостью, входящей в документ о качестве (п.4.3, поскольку ГОСТ на изделие).

Кроме перечисленных требований, в стандарте СТБ 1722 приведены 5. Требования безопасности, 6. Требования охраны окружающей среды. Радиационно–гигиеническую оценку древесины следует осуществлять по сертификату радиационного качества, выдаваемому предприятием–поставщиком. При отсутствии сертификата радиационного качества изготовитель 1 раз в год, а также при каждой смене поставщика определяет содержание цезия –137 в древесине (п.7.7).

Приведенные выборочные положения стандарта демонстрируют отличия от соответствующих положений, действующего в России ГОСТ Р 20850–2014 [1].

Сдерживающим фактором широкого применения в строительстве является отсутствие сортамента унифицированных клееных деревянных элементов. Отраслевое профессиональное сообщество – Ассоциация деревянного домостроения совместно со специалистами ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко разработали «Сортамент на клееные элементы» [3]. На основе данных исследования [4,5], в котором участвовали основные производители клееных деревянных конструкций, был сформирован «Сортамент на основные сечения для конструктивных элементов (балок и колонн)» и «Сортамент на основные сечения для стенового материала – клееного бруса».

С целью развития строительства из клееной древесины в РФ следует внести изменения в действующие стандарты или разработать новые.

Следующий вид материала, который был рассмотрен – LVL. Брус клееный из шпона в больших объемах используется за рубежом. В нашей стране брус клееный из шпона / LVL изготавливают с 2004 года, однако потребности внутреннего рынка значительно ниже производственных мощностей. До 2022 года порядка 90 % изготовленного бруса клееного из шпона продавали на экспорт.

Конструкции с использованием бруса многослойного клееного из шпона (ЛВЛ) могут применяться в жилищном, общественном, промышленном и других отраслях строительства в качестве самостоятельных несущих конструкций (например, балки, прогоны и т. п.) или элементов более сложных конструкций (например, пояса и решетки ферм, ригели и стойки рам, каркасы панелей и т. п.).

LVL может быть использован для применения в качестве опор в конструкциях полов и кровли, большепролетных и основных несущих конструкций, а также для перемычек окон и дверей, гаражных дверей.

С целью расширения применения в строительстве следует разработать нормативные документы на специальные области применения бруса клееного из шпона/LVL.

Стандарт EN 16351:2021 [6] устанавливает требования к конструкциям:

- из слоев древесины номинальной толщиной от 6 мм (включительно) до 47 мм (в том числе);
- из деревянных слоев, которые могут иметь кромоочные связи;
- имеющие номинальные габаритные толщины до 500 мм;
- состоящая не менее чем из трех ортогонально скрепленных слоев (из них не менее двух слоев древесины).

В описании стандарта приведены положения, которые отсутствуют в связанных отечественных нормативных документах, что требует корректировки. В стандарте также установлены процедуры для оценки и проверки постоянства характеристик (AVPC) поперечно–клееной древесины.

В Австралии используют e-plank – высококачественный брус из клееного шпона (ЛВЛ) для настила строительных лесов по стандарту AS/NZS 4357:2006 [7]. E-plank разработан с учетом максимизации эффективности использования времени и материалов. Он обладает огромным количеством преимуществ перед традиционными пиломатериалами из массивной древесины, включая однородность его структурных свойств. Подтверждение соответствия каждого бруса требованиям к предельной рабочей нагрузке по стандарту AS/NZS 1577:2003 [8] осуществляют посредством проведения контрольных испытаний. С целью широкого использования в большинстве конструкций малоэтажных домов в Австралии разработан альбом технических решений в соответствии с требованиями Национальных Норм и Правил в соответствии со стандартами:

- AS 1684.1 Деревянные каркасные конструкции для малоэтажного домостроения;
- AS 1170.1 Расчетные нагрузки – постоянные приложенные и иные нагрузки;
- AS 1720.1 ДК – методы проектирования;
- AS4055 Нагрузки на дома от воздействия ветра;
- AS/NZS 4357 Конструкционный брус из клееного шпона;
- AS/NZS 4063 Характеристики конструкционной древесины [7].

Новый строительный материал из древесины – плиты ДПК/CLT, для которых разработан ГОСТ 56706. Стандарт распространяется на плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев [9], применяемые в несущих и ограждающих строительных конструкциях, и устанавливает технические требования, правила приемки, методы испытаний к ним. Надо отметить, что сокращение ДПК неудачно выбрано, так соответствует принятому сокращенному названию другого материала – композиты древесно-полимерные.

Конструкции с использованием плит клееных из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев могут применяться в жилищном, общественном, промышленном, мостостроении и других отраслях строительства в качестве самостоятельных несущих кон-

струкций или элементов более сложных конструкций. Необходимо провести НИОКР по изучению влияния начальной влажности на геометрические размеры элементов ДПК/CLT. В стандарте нет информации о соединении между собой плит по кромке.

С целью упорядочения размеров выпускаемых ДПК плит следует разработать унифицированные размеры панелей. Разработать пособие по проектированию деревянных конструкций из ДПК–плит.

На плиты OSB в нашей стране разработаны два стандарта: межгосударственный ГОСТ 32567 [10], который с 1 июля 2014г в статусе национального и национальный стандарт ГОСТ Р 56309 [11]. Оба стандарта разработаны с учетом основных нормативных положений международного (регионального) стандарта EN 300:2014* «Плиты с ориентированной стружкой (ОСП). Определения, классификация и технические условия» (EN 300:2014 «Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications», NEQ) в части терминов и определений, технических требований и методов испытаний. Требования в стандартах идентичны за исключением требований к эмиссии формальдегида. В национальном стандарте требования ниже, чем в межгосударственном.

ГОСТ 19222–2019 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия». В стандарте учтены основные нормативные положения следующих европейских стандартов EN 15498:2008*, EN 14474:2004» [12].

На рынке РФ представлены современные фибролитовые плиты, ООО «Фиброплит» выпускают по СТО 16000924–001–2018 [13]. GREEN BORD в соответствии с ТУ 5537–001–97462894 [14]. Отсутствует ГОСТ на фибролитовые плиты.

Таким образом, рассмотрены межгосударственные и национальные стандарты на строительные материалы с применением древесины в формате общих технических условий. Большинство стандартов разрабатывалось на основе требований европейских стандартов, европейских региональных документов.

Определенный интерес представляет австрийский нормативный документ ÖNORM B2320 [15] устанавливающий минимальные технические требования к жилым домам из древесины. На основании

данных норм формулируются технические требования: к качеству домов; к производству; применяемым строительным материалам; конструкционным материалам из массивной и клееной древесины, плитным материалам на основе древесины; противопожарной защите; крепежным изделиям: надежности и безопасности конструкций; гигиенические требования, сохранению здоровья и окружающей среды; звукоизоляции; энергосбережению; требования к защите деревянных конструкций от влаги; требования к обслуживанию деревянных конструкций

В отечественной нормативной базе в настоящее время нет подобного национального стандарта, что является определенным барьером для развития деревянного домостроения из-за неопределенности и разобщенности технических требований к готовому деревянному дому. В связи с этим, требуется создание единого стандарта, содержащего указания по приемке и эксплуатации здания, основой которого являются несущие конструкции из древесины.

Литература

1. ГОСТ 20850–2014 Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58839> (дата обращения 10.08.2022).
2. СТБ 1722–2007 Изделия деревянные клееные. Общие технические условия.
3. <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5237/>
4. Унификация клееных деревянных конструкций Черных А. Г. и др. <https://doc.spbgasu.ru/ipo/Инновации%20в%20деревянном%20строительстве.pdf> (дата обращения 06.08.2022).
5. Лесная индустрия https://www.lesindustry.ru/issues/li_n25/Pilomateriali_Germanii_194/. (дата обращения 06.08.2022).
6. EN 16351:2021–06 Timber structures – Cross laminated timber – Requirements [EN 16351:2021–06 Деревянные конструкции. Древесина перекрестноклееная. Требования].
7. AS/NZS 4357:2006 Australian/New Zealand Standard Structural laminated veneer lumber (LVL) Part 2: Determination of structural properties–Test methods URL: [https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/AS/AS4000/4300/4357.2–2006\(+A1\).pdf](https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/AS/AS4000/4300/4357.2–2006(+A1).pdf) (дата обращения 05.08.2022).
8. AS/NZS 1577:2018 URL: <https://www-standards-org-au.translate.google/standards-catalogue/sa-snz/building/bd-036/as-slash-nzs-1577-colon-2018> (дата обращения 05.08.2022).

9. ГОСТ Р 56706–2015 Плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/61652/> (дата обращения 14.07.2022).

10. ГОСТ 32567–2013 Плиты древесные с ориентированной стружкой. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55944/> (дата обращения 10.08.2022).

11. ГОСТ Р 56309–2014 Плиты древесные строительные с ориентированной стружкой (OSB). Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58522/> (дата обращения 14.07.2022).

12. ГОСТ 19222–2019 Арболит и изделия из него. Общие технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/71178/> (дата обращения 05.08.2022).

13. СТО 16000924–001–2018 «Плиты теплоизоляционные фибролитовые из смеси древесной стружки, портландцемента, химических добавок URL: albm_tehresheniy.pdf (nordecowcb.ru) (дата обращения 08.08.2022).

14. ТУ 5537–001–97462894–2008 Плиты фибролитовые на портландцементе. Технические условия. URL: Настоящие технические условия распространяются на резино–металлические деформационные швы для автодорожных мостовых сооружений. Они представляют собой (narod.ru) (дата обращения 08.08.2022).

15. ÖNORM 2320:2017–08–01 Wohnhäuser aus Holz – Technische Anforderungen URL: [Dokumentvorlage AS+ Brief \(austrian-standards.at\)](http://Dokumentvorlage AS+ Brief (austrian-standards.at)) (дата обращения 05.08.2022).

УДК 624.01

Александр Григорьевич Черных,

д-р техн. наук, профессор

Павел Сергеевич Коваль,

канд. техн. наук, доцент

Егор Владимирович Данилов,

канд. техн. наук, доцент

Дмитрий Игоревич Корольков,

аспирант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: korol9520@yandex.ru,

chagrig@lan.spbgasu.ru

Alexander Grigor'evich Chernykh,

Dr. Sci. Tech., Professor

Pavel Sergeevich Koval,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Egor Vladimirovich Danilov,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Dmitry Igorevich Korolkov,

postgraduate student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: korol9520@yandex.ru,

chagrig@lan.spbgasu.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БРУСА
КЛЕЕНОГО МНОГОСЛОЙНОГО ИЗ ШПОНА
И ОБОСНОВАНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ LVL-КОНСТРУКЦИЙ**

**RESEARCH OF THE DURABILITY
OF GLUED MULTILAYER VENEER BEAM
AND JUSTIFICATION OF THE SERVICE LIFE
FOR LVL BUILDING STRUCTURES**

Одной из причин недооцененности потенциала материала LVL как конструкционного материала является недостаточность сведений о долговечности материала строительных LVL–конструкций. СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции» включает мероприятия по обеспечению долговечности и требуемые конструктивные мероприятия показателей огнестойкости и пожарной опасности для материалов на основе древесины. При проектировании снижение прочности во времени учитывается коэффициентами длительности $m_{дл}$, а снижение срока службы коэффициентом $m_{св}$ одинаковыми для всех материалов на основе древесины. При этом не учитываются особенности НДС при длительном действии нагрузок для различных материалов.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований длительной прочности LVL при сжатии вдоль волокон при различных скоростях нагружения. Целью проведения испытаний являлось получение достаточного количества экспериментальных данных для определения длительной прочности бруса клееного многослойного из шпона LVL. По результатам ис-

пытаний получены зависимости прочности LVL от времени действия нагрузки для толщин 30 и 75 мм.

Ключевые слова: сжатие вдоль волокон, длительная прочность, брус клееный многослойный из шпона, ускоренный метод, долговечность.

One of the reasons for underestimating the potential of LVL material as a structural material is the lack of information about the durability of the material in LVL building structures. SP 64.13330.2017 “SNiP II-25-80 Wooden structures” includes measures to ensure durability and required design measures for fire resistance and fire hazard indicators for wood-based materials. When designing, the decrease in strength over time is taken into account by the duration coefficients md_1 , and the decrease in service life by the coefficient $m_{s,s}$, which is the same for all wood-based materials. In this case, the peculiarities of stress-strain state under long-term loads for various materials are not taken into account.

This article presents the results of experimental studies of the long-term compressive strength of LVL along the fibers at various loading rates. The purpose of the tests was to obtain a sufficient amount of experimental data to determine the long-term strength of laminated veneer lumber LVL. Based on the test results, the dependences of the LVL strength on the load time for thicknesses of 30 and 75 mm were obtained.

Keywords: compression along the fibers, long-term strength, multi-layer veneer laminated timber, accelerated method, durability.

Введение

Возможность эксплуатации в течение длительного времени несущих строительных конструкций из древесины и материалов на ее основе, включая такие композиционные материалы как брус клееный многослойный из шпона (LVL, от англ. Laminated veneer lumber), подтверждена практикой. Примерами этому могут служить многочисленные объекты – исторические здания, памятники архитектуры, истории и культуры народов России, а также входящие в список всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. Известны сооружения, непрерывно эксплуатируемые на протяжении 600 и более лет.

В задачах проектирования, обследования, усиления деревянных конструкций для обеспечения требуемой долговечности строительного объекта необходимо учитывать условия эксплуатации по назначению, расчетное влияние окружающей среды и свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их

свойств. Соответственно, при определении расчетного срока службы вновь проектируемых объектов деревянного домостроения, а также при прогнозировании остаточного ресурса, т.е. срока службы до капитального ремонта эксплуатируемых зданий и сооружений, на первый план выходят два основных параметра: физический износ и деградация прочностных свойств материала основных несущих конструкций. Первый в основном устраним в процессе ремонтных мероприятий. Снижение прочности во времени выражается через понятие о долговременном сопротивлении (длительной прочности).

Все описанное справедливо для конструкций не только из древесины, будь то круглые лесоматериалы – бревна или пиломатериалы – доски, брус, но и из материалов на ее основе – слоистой клееной древесины – КДК; перекрестно-клееной древесины – ДПК (CLT, от англ. Cross-laminated timber); многослойного материала клееного из шпона – LVL; фанеры; бакелизированной фанеры; плит древесных с ориентированной стружкой – ОСП (OSB, от англ. Oriented strand board); древесно-волокнистых плит – ДВП древесно-слоистых пластиков – ДСП и др. Комплекс свойств и структурных особенностей для каждого материала (группы материалов) специфичен. Это касается в том числе и временных зависимостей прочности для разных напряженных состояний и углов приложения внешних сил относительно волокон древесины. Таким образом, для элементов LVL-конструкций без дополнительного обоснования недопустимо применять соответствующие зависимости, принятые в строительных нормах для древесины и КДК.

Обоснование выбора метода исследования

Известны различные подходы экспериментального исследования материалов на основе древесины. Леонтьев Н. Л. предложил метод ускоренного испытания с различной скоростью приложения нагрузки. При сравнении линии длительной прочности, проведенной через две точки для продолжительности испытаний отличающейся в 100–200 раз от прямого метода, с линией, построенной по нескольким точкам, было обнаружено расхождение прочности на 6–10 %, при этом результирующие значения длительной прочно-

сти при более длительном сроке чувствительны к углу наклона полученной зависимости [1].

Ранее в работе [2] применялся ускоренный метод, описывая зависимость между скоростью пластических деформаций и действующим напряжением. По нескольким образцам с различным уровнем нагрузки фиксировалась скорость установившихся деформаций, графически отражая зависимость, которая представляла собой прямую, где пересечение с осью ординат дает понимание теоретического предела долговременного сопротивления при нулевой скорости прироста деформаций.

Также существует способ оценки долговечности клеевых соединений фанеры при ускоренном тепловом старении [3], но не учитывается вид напряженного состояния и физико-химическую активность окружающей среды [3]. Использовались методы ускоренного теплового старения клеевых соединений деревянных конструкций для оценки их длительной прочности. Разработанная методика испытания позволяла определять длительную прочность соединения при испытаниях в течении 10 суток, что очень экономило временные ресурсы. Другими исследователями были применены методы теплового старения в целях ускорения испытаний определения прочностных и жесткостных характеристик материалов на основе древесины [4]. В работе [5] разработана методика ускоренных климатических испытаний опор из древесины, где использовались ускоряющие методы старения древесины путем облучения УФ, воздействием температурой. Разработанные методики позволяют применять их для оценки сроков службы конструкций, однако нет возможности определения длительной прочности и ползучести.

В работах [6, 7, 8 и др.] изучались характеристики длительной прочности древесины и фанеры на основе термофлуктуационной концепции твердого тела и получены зависимости долговечности и уровня напряжений в материалах. Отмечается повышение предела длительного сопротивления до 60–70 % от разрушающего усилия за счет ступенчатого механизма разрушения. На основе приведенных исследований и полученных результатов разработаны технические условия и основные этапы методики прогнозирования

долговечности фанеры в широком диапазоне основных эксплуатационных параметров (напряжения и температуры) с учетом колебаний температуры и поправок на действие агрессивных сред. Однако результаты работы не подтверждены прямыми экспериментальными методами исследования при действии неизменного усилия на протяжении заданного периода.

Учитывая особенности используемых методов исследований, в СПбГАСУ были произведены поисковые экспериментальные исследования длительной прочности для LVL на растяжение при различных углах волокон к продольной оси образца по ускоренному методу испытаний с различной скоростью приложения нагрузки. Полученные данные сопоставимы с вышеупомянутыми результатами исследований [6, 7, 8], но отличаются характером зависимостей длительной прочности от времени.

Выполнение экспериментальных исследований

На основании вышеизложенного была разработана программа проведения экспериментальных исследований для оценки существующих гипотез сопротивления LVL во времени и методик определения длительной прочности элементов LVL-конструкций при сжатии вдоль волокон.

Программа экспериментальных исследований состояла из нескольких этапов.

Этап 1. Проводились кратковременные испытания для определения разрушающей нагрузки при стандартной скорости нагружения. Полученные данные были исходными для проведения в дальнейшем прямых длительных испытаний.

Этап 2. Проводились испытания с различной скоростью нагружения. Разница в скорости нагружений отличалась на порядок. Определялось время до разрушения и значение прочности.

Этап 3. По результатам кратковременных испытаний проводилась статистическая обработка полученных результатов. Определялось приведенное время испытаний. Строилась зависимость в координатах $\sigma - \lg t$.

Испытания проводились в соответствии с методикой, изложенной в Программе экспериментальных исследований, разработанной

в рамках выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме: «Исследование долговечности бруса клееного многослойного из шпона и обоснование сроков службы для строительных LVL-конструкций».

Перед испытаниями для каждого образца выполнялись измерения геометрических размеров. Все измерения проводились после кондиционирования образцов.

В помещении, где проводились испытания, температура воздуха составляла $+20,2 \div 21,9$ °С, а влажность была в пределах $62 \div 69$ %.

Контроль температуры и влажности осуществлялся при помощи гигрометра психрометрического ВИТ-2.

Количество образцов в серии было равным 10 шт.

Испытания проводились на универсальной электромеханической машине Instron-5989. Схема испытаний на сжатие вдоль волокон и фотография образца в момент проведения испытания приведены на рис. 1.

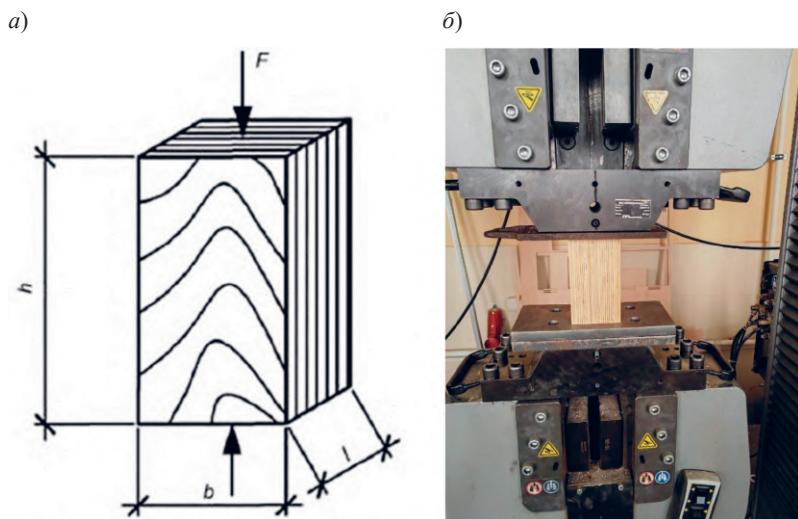


Рис. 1. Размерная схема испытаний образца LVL при определении прочности на сжатие вдоль волокон (а); испытание на сжатие вдоль волокон образца на Instron-5989 (б)

Нагружение осуществлялось до разрушения образца непрерывно действующей нагрузкой со скоростями перемещения нагружающего приспособления 0,02; 0,2; 2 и 60 мм/мин. По результатам испытаний выполнялось графическое построение зависимости «нагрузка-деформация сжатия» для контроля разрушающей нагрузки. Деформация сжатия образца определялась автоматически по перемещению нагружающего приспособления.

При проведении испытаний на кратковременное действие нагрузки все образцы имели хрупкий характер разрушения. Сразу после того, как ломался образец, проводилась фотофиксация и описание характера разрушения. Пример разрушения образца после испытания приведен на рис. 2.



Рис. 2. Фотографии образца № 12 с размерами 75×75×135 мм после испытания на сжатие вдоль волокон со скоростью нагружения 60 мм/мин

После обработки результатов испытаний были получены следующие статистические характеристики, представленные в табл. 1.

На основании данных, полученных при различных скоростях нагружения, было получена регрессионная зависимость длительной прочности LVL при сжатии вдоль волокон от времени действия нагрузки.

Для определения зависимости прочности от времени действия нагрузки необходимо выполнить пересчет времени испытания к времени действия постоянной нагрузки.

Таблица 1

Результаты статистической обработки испытаний на сжатие вдоль волокон образцов LVL при различных скоростях нагружения

Серия испытаний	Скорость нагружения w , мм/мин	Количество наблюдений в серии n , шт.	Среднее значение разрушающей нагрузки F_{max} , кН	Среднее время до разрушения t_{cp} , с	Среднее арифметическое значение прочности σ_{cp} , МПа	Среднее квадратическое отклонение s , МПа	Средняя ошибка среднего арифметического s_x , МПа	Выборочный коэффициент вариации v	Показатель точности среднего значения ξ
30×30×135 мм									
1	60	10	57,35	2,70	62,90	3,539	1,119	0,0563	0,0178
2	2	10	50,49	51,80	55,44	4,407	1,393	0,0795	0,0251
3	0,2	10	46,18	418,00	49,77	2,929	0,926	0,0588	0,0186
4	0,02	10	46,30	3838,13	50,28	2,34	0,828	0,0466	0,0165
75×75×135 мм									
1	60	10	329,15	3,03	57,21	5,793	1,832	0,1013	0,0320
2	2	10	297,79	85,77	52,06	3,114	0,985	0,0598	0,0189
3	0,2	10	279,61	801,84	48,54	3,922	1,240	0,0808	0,0256
4	0,02	10	277,01	8843,24	48,59	3,77	1,192	0,0776	0,0245

Расчет будет выполнен по формуле:

$$\tau = \frac{1}{\alpha \cdot w}, \quad (1)$$

где

$$w = \frac{\sigma}{t}, \quad (2)$$

где t – время испытания, с; σ – скорость нагружения, МПа/с.

Постоянная α равна:

$$\alpha = \frac{2,3 \cdot \lg(w_i/w_{i+n})}{\sigma_i - \sigma_{i+n}}, \quad (3)$$

σ_i и σ_{i+n} – начальная и конечная скорость нагружения в выбранном диапазоне, МПа/с; ω_i и ω_{i+n} – начальное и конечное время до разрушения в выбранном диапазоне, с.

За начальную скорость нагружения принимается 60 мм/мин, за конечную – 0,02 мм/мин.

По результатам расчета постоянная для образцов размером 75×75×135 мм $\alpha = 0,94$, для образцов размером 30×30×135 мм – $\alpha = 0,59$.

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения приведенного времени испытания и определения логарифмической зависимости прочности на сжатие вдоль волокон образцов LVL при различных скоростях нагружения

Размеры образцов, мм	Скорость нагружения, w_i , мм/мин	Приведенное время испытаний τ , с	$\lg \tau$, с	Прочность σ , МПа	Уравнение
30×30	60	0,072	-1,143	62,9	$\sigma = -4,1516 \cdot \lg \tau + 57,002$
	2	1,578	0,198	55,44	
	0,2	14,18	1,152	49,77	
	0,02	128,91	2,110	50,28	
75×75	60	0,056	-1,252	57,21	$\sigma = -2,5851 \cdot \lg \tau + 53,228$
	2	1,747	0,242	52,06	
	0,2	17,51	1,243	48,54	
	0,02	192,97	2,285	48,59	
Все образцы					$\sigma = -3,3259 \cdot \lg \tau + 55,109$

Графическое представление результатов, приведенные в табл. 2, представлено на рис. 3 и 4.

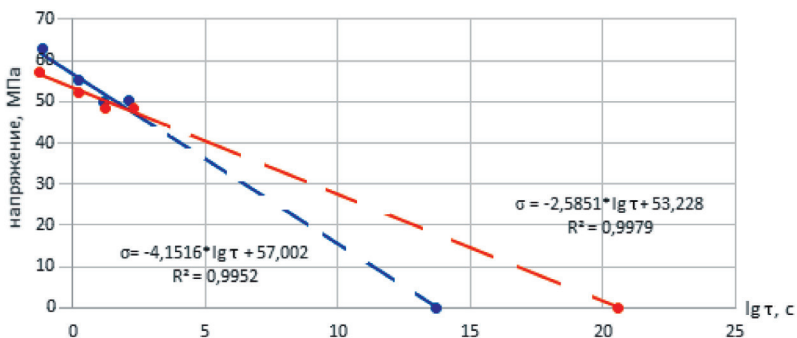


Рис. 3. График зависимостей прочности образцов от времени действия нагрузки при толщинах 30 мм (синяя линия) и 75 мм (оранжевая линия)

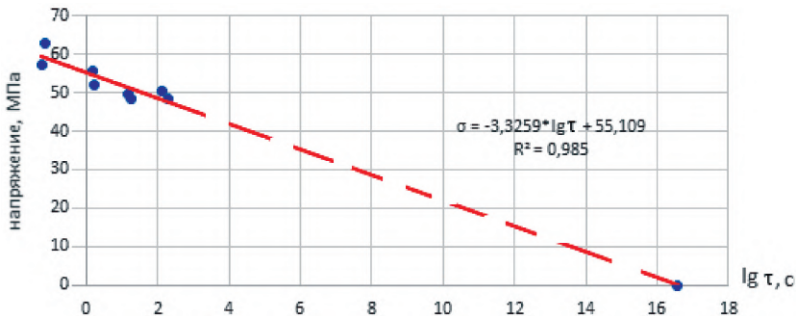


Рис. 4. График зависимостей прочности образцов от времени действия нагрузки при сжатии вдоль волокон для всех полученных значений

Как видно из графиков, если продлить полученные прямые до оси абсцисс при $\sigma = 0$, то значение времени будет равно:

- для образцов толщиной 30 мм $Lg A_1 = 13,73$;
- для образцов толщиной 75 мм $Lg A_2 = 20,59$;
- для всех образцов $Lg A = 16,57$.

Выводы по результатам исследования

1. Установлено, что графическое представление зависимостей длительной прочности от времени действия нагрузки для разных толщин LVL имеет вид «прямого пучка». При этом наблюдается значимое увеличение долговечности при возрастании толщины образцов.

2. Обобщенная зависимость длительной прочности LVL от времени действия нагрузки до разрушения может быть использована для определения расчетных сопротивлений при проектировании несущих деревянных конструкций из LVL при работе их на сжатие вдоль волокон и сроков службы

Литература

1. *Леонтьев Н. Л.* Длительное сопротивление древесины. М.; Л. : Гослесбумиздат, 1957. – 132 с.
2. *Белянкин Ф. П.* Длительное сопротивление дерева. ОНТИ. М. – Л. : Госстройиздат, – 1934. – 39 с.
3. *Хрулев В. М.* Долговечность и контроль качества клеевых соединений древесины в строительных изделиях и конструкциях: Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора технических наук / Новосибир. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева. – Новосибирск : [б. и.], 1968. – 29 с.
4. *Ермоченков М. Г.* Моделирование интенсивного теплового воздействия при сушке, термомодифицировании и торрефикации древесины, прогнозирование ее свойств : диссертация ... доктора технических наук : 05.21.05 / Ермоченков Михаил Геннадьевич; [Место защиты: Сев. (Арктический) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова]. – Мытищи, 2018. – 386 с. : ил.].
5. *Сулейманов А. М.* Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности материалов мягких оболочек строительного назначения : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.23.05 / Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Казань, 2006. – 42 с.
6. *Ярцев В. П., Киселева О. А.* Проектирование и испытание деревянных конструкций: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 128 с.
7. *Сузюмов А. В.* Методика прогнозирования долговечности фанеры в строительных изделиях : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Сузюмов Александр Владимирович. – Воронеж, 2010. – 19 с.
8. *Сашин М. А.* Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. – Тамбов, 2006. – 182 с.

СЕКЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.059.7

Арслан Хамзатович Аджаббаев,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: adzhbak@mail.ru

Arslan Khamzatovich Adzhbak,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: adzhbak@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

PLANNING FEATURES OF RECONSTRUCTION OF EXISTING ENTERPRISES

Если предприятие стремится к развитию и повышению эффективности, техническое перевооружение может быть недостаточным. В таком случае требуется проведение реконструкции, которая позволяет пересмотреть стратегические планы развития, изменить товарную, маркетинговую, технологическую, научную и социальную политику, а также адаптироваться к потребностям рынка и реагировать на его изменения. Таким образом, реконструкция позволяет сохранить миссию предприятия и его специфику в отличие от нового строительства или обычного технического перевооружения.

Существует ряд факторов, влияющих непосредственно на организационно-технологические параметры строительно-монтажных работ. Целью данной статьи является рассмотреть основные факторы, влияющие на продолжительность строительных работ при реконструкции действующего предприятия.

Ключевые слова: реконструкция, планирование, особенности, действующее производство, календарный план.

If a company aims to develop and increase efficiency, technical modernization may not be enough. In this case, reconstruction is required, which allows to revise strategic development plans, change product, marketing, technological, scientific, and social policies, as well as adapt to market needs and respond to its changes. Thus, reconstruction enables to preserve the company's mission and its uniqueness, unlike new construction or regular technical modernization.

There are several factors that directly affect the organizational and technological parameters of construction and installation works. The aim of this article is to consider the main factors that influence the duration of construction works during the reconstruction of an existing enterprise.

Keywords: reconstruction, planning, features, existing production, calendar plan.

Реконструкция существующего предприятия является достаточно сложным и трудоемким процессом, требующий тщательной подготовки и планирования. Правильное планирование реконструкции может существенно сократить сроки ее выполнения, уменьшить финансовые затраты и улучшить качество работы.

Реконструкция существующего предприятия – это система об-новления основных средств на основе технологической, организационной и строительной деятельности, перечень и периодичность которой определяется графиком реконструкции существующего производства [1, с. 12].

Производство строительно-монтажных работ при реконструкции действующих промышленных предприятий имеет ряд особенностей, возникающих вследствие того, что СМР совмещены во времени и пространстве с технологической деятельностью реконструируемого производства и проводятся в условиях сложившегося генерального плана предприятия. Это усложняет организацию и технологию строительно-монтажных работ, затрудняет применение имеющихся в распоряжении строителей и монтажников средств механизации, организацию материально-технического снабжения.

Превышение норм санитарно-гигиенической среды реконструируемого предприятия (пыль, загазованность, шум и т. д.), имеет отрицательное воздействие на санитарно-гигиеническую среду реконструируемого предприятия и это проявляется при производстве работ в действующих цехах, отнесенных к разряду вредных, с большими тепловыделениями, высокой концентрацией пыли в воздухе, источниками шума и вибрации. В таких условиях увеличивается трудоемкость работ, снижается производительность труда, появляются дополнительные издержки строительного производства в результате внедрения мероприятий по технике безопасности и обеспечению нормальных условий работы строителей (теплозащитные экраны,

водяные завесы, ограждение функционирующего технологического оборудования и инженерных коммуникаций и т. д.).

Повышение пожароопасности в зоне проведения строительно-монтажных работ заставляет строителей применять менее прогрессивные методы производства работ, лишает возможности механизировать строительные процессы, что приводит к снижению производительности труда. Пожароопасность не позволяет вести сварочные работы, требует проведения работ по укрупнительной сборке строительных конструкций и технологического оборудования вне территории предприятия.

В зависимости от отраслевой принадлежности и производственной структуры предприятия промышленные производства могут быть организованы с параллельно-последовательным процессом и последовательной непрерывной технологией. При организации производства с последовательной непрерывной технологией предприятие имеет в своем составе цеха по всем видам переделов, в каждом из которых последовательно выполняется операция по переработке сырья в готовую продукцию, и остановка одного из цехов на реконструкцию вызывает прекращение деятельности всего предприятия. При организации производства с параллельно-последовательным технологическим процессом часть цехов функционирует с непрерывной технологией и параллельно с ними действуют цехи, где выполняются все стадии изготовления изделия. Наибольшие трудности для подрядных организаций возникают на предприятиях, организованных с последовательной непрерывной технологией, так как при остановке на реконструкцию цеха задаются кратковременные директивные сроки производства строительно-монтажных работ, что вызывает повышение концентрации материальных, технических и людских ресурсов в зоне реконструкции, отрицательно сказывающееся на результатах производственно-хозяйственной деятельности строительно-монтажной организации. Ограниченное время остановки действующего производства влияет на продолжительность проведения отдельных видов или комплексов работ, вызывает необходимость перенесения строительно-монтажных работ на неблагоприятные смены, диктует сроки производства СМР.

В практике реконструкции это выражается производством работ в ночные смены, в общие выходные дни предприятия и т. п.

Насыщенность зоны реконструкции действующим технологическим оборудованием и инженерными сетями затрудняет применение имеющихся в распоряжении строителей и монтажников средств механизации, усложняет организацию материально-технического снабжения, вынуждает производить дополнительные работы с целью предохранения технологического оборудования от повреждений. Нередко для подачи материалов и конструкций производится частичная разборка существующих ограждений, демонтаж части оборудования и коммуникаций. Если эксплуатационная деятельность предприятия не позволяет демонтировать технологическое оборудование на период проведения СМР в действующем цехе, для перемещения строительных машин с одной стоянки на другую, приходится возводить временные инженерные сооружения для их передвижения. Несвоевременное освобождение участков для проведения строительно-монтажных работ от технологического оборудования и инженерных сетей влечет за собой внутрисменные и целосменные простои бригад, машин и механизмов. В этих условиях трудно так же обеспечить размеры минимально необходимого фронта работ.

Территория большинства промышленных предприятий имеет широкую сеть автомобильных дорог и железнодорожных путей. С одной стороны, это снижает объемы работ по возведению временных транспортных коммуникаций, с другой, при эксплуатации дорог и путей, одновременно подрядной организацией и заказчиком, ограничивает время использования их строителями. Часто доставка строительных конструкций, материалов, оборудования в зону проведения работ возможна только в «окна» работы транспорта действующего предприятия, что нарушает запланированные сроки проведения строительно-монтажных работ. Интенсивное перемещение внутривозовского транспорта нарушает непрерывность производства СМР проводимых возле транспортных коммуникаций, так как работы могут осуществляться только во время перерывов движения транспорта [2, 3].

Стесненность при внутрицеховых работах не позволяет использовать строительные краны и для подъема и перемещения строительных материалов и конструкций используется цеховое грузоподъемное оборудование. В этом случае составляется график его совместной эксплуатации строителями и производителями, которым выделяется определенное время на использование оборудования. Невозможность доставки строительных материалов и монтажа конструкций в течение всей рабочей смены нарушает ритмичность строительного-монтажных работ. При эксплуатации производителями грузоподъемного оборудования над зоной реконструкции приходится прерывать строительный процесс.

Существующие подземные коммуникации не позволяют при инженерной подготовке строительной площадки использовать землеройную технику с полной производительностью, так как в местах пересечений с коммуникациями применять ее невозможно. На действующем предприятии таких пересечений может быть большое количество.

Постоянное наращивание производственных мощностей предприятия без увеличения их территорий привели к повышенной, по сравнению с существующими нормативами, плотности застройки, что создает стесненные условия, производства строительного-монтажных работ. Недостаток свободных площадей на территории предприятия приводит к нерациональному складированию строительных материалов и конструкций. В отдельных случаях стесненность территории строительной площадки не позволяет организовывать не только приобъектные склады, находящиеся в зоне действия кранов, но и промежуточные, устраиваемые в пределах строительной площадки. Строительные организации вынуждены оборудовать перевалочные базы не на территории предприятия, что вызывает потери рабочего и машинного времени. Высокая плотность застройки не позволяет создавать площадки для укрупнения строительных конструкций и технологического оборудования, что ограничивает возможность крупноблочного монтажа. Следствием стесненности строительной площадки является нерациональная организация внутриплощадочных транспортных потоков, что затрудняет

передвижение рабочих, управление строительными машинами и механизмами. Стесненность при производстве строительно-монтажных работ препятствует применению строительной техники, увеличивая тем самым объемы немеханизированных работ.

В результате многократных надстроек и пристроек, здания и сооружения промышленных предприятий со временем приобрели сложную конфигурацию. При реконструкции таких зданий и сооружений усложняются трассы передвижения строительных и монтажных кранов, производится их многократный монтаж и демонтаж, что, в конечном итоге, снижает эффективность применения строительной техники.

Генеральные планы большинства промышленных предприятий формировались на протяжении нескольких десятилетий, что привело к большой разнотипности объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, даже на одном предприятии. При пристройке новых корпусов вплотную к существующим, новая часть часто решалась с иными конструктивными параметрами и здания, являющиеся продолжением друг друга, в настоящее время имеют индивидуальную высоту, ширину, длину и уровни полов всех корпусов находятся на разных отметках.

Отсутствие в большинстве случаев унификации и типизации в конструктивных и планировочных решениях промышленных зданий выражается в невозможности широко использовать типовые элементы (сборные фундаменты, колонны, подкрановые балки, стеновые панели и т. д.), что приводит к увеличению объемов мелкоштучных строительных материалов и снижению степени сборности на отдельных предприятиях.

Таким образом, особенности организации и производства строительно-монтажных работ при реконструкции проявляются в результате влияния факторов не имеющих места, как правило, при новом строительстве и выражаются в нарушении непрерывности и ритмичности строительных процессов, в недостатке площадей для размещения строительных машин и механизмов, складирования необходимого количества строительных материалов и конструкций, в снижении уровня механизации строительно-монтаж-

ных работ, в усложнении транспортных схем доставки строительных конструкций и оборудования к месту монтажа и т. п.

Строительное производство характеризуется множеством параметров, сочетание которых обеспечивает соответствующие технико-экономические показатели производственно-хозяйственной деятельности строительно-монтажных организаций. Отклонение фактических параметров от запланированных в результате воздействия факторов приводит к конечным результатам строительного производства в условиях реконструкции, характеризующимся низкими технико-экономическими показателями.

Сложность проблемы заключается в том, что факторы воздействуют на параметры в самых разнообразных сочетаниях, что затрудняет определение влияния каждого фактора.

При разработке календарных планов реконструкции промышленных предприятий необходимо учитывать, как общие принципы, так и требования действующего предприятия. Цель состоит в том, чтобы минимизировать остановку действующих производственных линий, максимизировать объем работ производства без остановки и последовательно вводить в эксплуатацию завершенные производственные линии, чтобы уменьшить влияние реконструкции на производственную деятельность. Чтобы защитить материальные ценности, оборудование и агрегаты, находящиеся в цехах, устанавливаются перегородки, обеспечивающие защиту от пыли и холодного воздуха.

Литература

1. *Акуленкова И. В.* Эффективность реконструкции жилых зданий (на примере Санкт-Петербурга). Автореф. дис. канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2004. 24 с.
2. *Афанасьев В. А.* Организация и планирование строительного производства: учебное пособие. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 1999 г. 99 с.
3. *Афанасьев В. А.* Проектирование организации строительства сложных комплексов работ: Учеб. пособие. Л. : ЛИСИ, 1981. 56 с.
4. *Ганиев К. Б.* Методы совершенствования и организации строительства при реконструкции действующих предприятий. М. : Сторойиздат, 1991. 180 с.

УДК 658.512.6+004.94

Сергей Владимирович Бовтеев,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

Sergei Vladimirovich Bovteev,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

МЕТОДИКА 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МОНОЛИТНЫХ И СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ

4D MODELING TECHNIQUE FOR THE CONSTRUCTION OF MONOLITHIC AND PRECAST-MONILITHIC BUILDINGS

Проанализирована история появления и развития 4D-моделирования в нашей стране. Показано, что наибольшего эффекта применения 4D-моделей можно достичь при визуализации возведения сборных и монолитных конструкций объектов. Даны предложения по 4D-моделированию строительства сборных и сборно-монолитных зданий в среде современного программного обеспечения SYNCHRO Pro и Autodesk Navisworks. Предложено использование функционала пользовательских визуальных профилей и типов задач для 4D-моделирования возведения монолитных конструкций. Показаны примеры формирования 4D-моделей строительства сборно-монолитных зданий в среде SYNCHRO Pro и Autodesk Navisworks. Рассмотрены перспективы импортозамещения программного обеспечения 4D-моделирования.

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»).

Ключевые слова: 4D-моделирование, имитация календарного плана, визуализация строительства, монолитные конструкции, сборные конструкции.

The history of the creation and development of 4D modeling in our country is analyzed. It is shown that the greatest effect of using 4D models can be achieved when visualizing the erection of prefabricated and monolithic structures of buildings. Proposals are given for 4D modeling of the construction of prefabricated and precast-monolithic buildings in the environment of modern software SYNCHRO

Pro and Autodesk Navisworks. It is proposed to use the functionality of custom visual profiles and task types for 4D modeling of the erection of monolithic structures. Examples of the creation of 4D models for the construction of prefabricated monolithic buildings in the SYNCHRO Pro and Autodesk Navisworks environments are shown. The prospects for import substitution of 4D modeling software are considered.

The article is published based on the results of the research work carried out as part of the competition of research work by scientific and pedagogical workers of SPbGASU (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering”) in 2023.

Keywords: 4D modeling, scheduling simulation, visualization of construction processes, monolithic structure, precast-monolithic structure.

В настоящее время 4D-моделирование применяется многими участниками строительства в целях повышения эффективности организации строительного производства. Предпосылками этому послужили появление и развитие современной компьютерной техники и программного обеспечения и готовность отдельных (хотя и не всех) строительных организаций к цифровой трансформации строительной отрасли. Цифровизация организации строительства имеет огромный потенциал и 4D-моделирование, т. е. синхронизация 3D-модели объекта с календарным графиком его строительства – один из основных компонентов перехода к цифровому управлению (рис. 1).



Рис. 1. Принципиальная схема 4D-моделирования строительного проекта

С другой стороны, с 4D-моделями начали работать позднее, а их распространение до сих пор намного ниже 3D-моделей объектов капитального строительства. Этот факт можно объяснить тем, что строительные организации более инерционны, чем проектно-изыскательские, и далеко не все строители видят выгоду в переходе от традиционных к цифровым способам управления.

Впервые о 4D-моделировании в нашей стране заговорили более десяти лет назад. Но до сих пор не выработана единая терминология,

практически отсутствуют нормативные требования (за исключением СП 333.1325800.2020) и не разработана единая методология применения 4D-моделирования в строительстве.

В одной из первых научных работ [1], опубликованной в 2011 г., С. А. Болотин, А. Х. Дадар и И. С. Птухина для описания процесса 4D-моделирования предложили применять понятие «имитация календарного плана». В диссертации А. М. Эльшейха, защищенной в 2015 г., говорилось о разработке «методики информационного моделирования интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве» [2, с. 5]. Наконец, в нормативном документе СП 333.1325800.2020 (первая версия была СП 333.1325800.2017 была введена в действие с 19 марта 2018 г.) использовано понятие «визуализация процессов строительства»¹.

Отсутствие проработанности темы 4D-моделирования не мешает крупным и инновационным строительным организациям применять данный инструментарий для повышения качества и надежности календарного планирования и принимаемых организационных решений [3]. Так, автор настоящей статьи еще в 2014 г. был назначен на роль руководителя проекта внедрения 4D-моделирования в деятельность крупной организации – оператора программы реновации застроенных территорий ООО «СПб Реновация». Первыми объектами, при строительстве которых применялись 4D-модели, разработанные в программном обеспечении SYNCHRO Pro, были строящиеся сборно-монолитные односекционные многоэтажные жилые дома в квартале «Сосновая Поляна 7-17».

Наибольший эффект от применения 4D-моделей в строительстве, в силу самой специфики данного инструментария, можно получить при моделировании возведения каркаса здания или сооружения. Каркас может быть сборным, сборно-монолитным и монолитным. Если технология сборного каркаса состоит в последовательном монтаже сборных железобетонных элементов с помощью грузоподъемного крана силами звена монтажников, то при исполь-

¹ СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

зовании монолитных конструкций технология строительства заметно усложняется [4].

Задача настоящей статьи – предложить методику 4D-моделирования строительства сборных и сборно-монолитных зданий, которая может быть реализована в среде современного специализированного программного обеспечения.

Наиболее распространенным программным продуктом 4D-моделирования в мире является SYNCHRO Pro [5, 6]. Этот комплекс предоставляет достаточно много инструментов для профессионального моделирования процесса строительства, а также позволяет пользователям добавлять необходимые им настройки для более адекватной визуализации возведения зданий и сооружений.

Инструментами, позволяющими задать разные стили поведения 3D-элементов в зависимости от статуса работы календарного графика, с которой данный элемент был синхронизирован в процессе 4D-моделирования, являются визуальные профили. Различают следующие стадии работ: планируется, выполняется, завершена. SYNCHRO Pro включает пять встроенных визуальных профилей: монтаж, демонтаж, обслуживание, временное использование, нейтральный. Например, если 3D-элемент назначен на работу календарного графика с визуальным профилем «монтаж», то до начала данной работы 3D-элемент не виден в 3D-окне, во время выполнения работы 3D-элемент отображается зеленым цветом, а после выполнения работы 3D-элемент отображается в заданном проектировщиком 3D-модели цвете. Таким образом получается возможность визуализации процесса монтажа конструкции.

Наряду со встроенными визуальными профилями, SYNCHRO Pro предоставляет разработчикам 4D-моделей возможность разработывать пользовательские визуальные профили, используя вместе с тем такие опции, как «направление роста» (growth simulation), т. е. отображение направления развития рабочего процесса и «прозрачность» (transparency interpolation), т. е. изменение прозрачности 3D-элемента (например, от полной прозрачности 3D-элемента в начале выполнения работы до отсутствия прозрачности в конце выполнения работы).

Для моделирования возведения сборных конструкций достаточно применить визуальный профиль «монтаж». Для моделирования возведения монолитных конструкций необходимо создать несколько пользовательских визуальных профилей, таких как «армирование», «опалубка», «бетонирование», «набор прочности», «распалубка». Параметры пользовательских визуальных профилей могут быть такими, как показано в таблице.

Санкционное давление, оказываемое на нашу страну, лишило российских пользователей возможности применения зарубежного программного обеспечения SYNCHRO Pro, однако ряд отечественных IT-компаний в настоящее время в рамках импортозамещения успешно разрабатывают новые программные продукты, ориентируясь именно на функционал SYNCHRO Pro. К такому программному обеспечению можно отнести 7D Modeler и Plan-R.

**Параметры пользовательских визуальных профилей
в SYNCHRO Pro, создаваемых для 4D-моделирования
возведения монолитных конструкций**

Наименование визуального профиля	Во время выполнения работы		После окончания работы	
	Цвет	Прозрачность	Цвет	Прозрач- ность
Армирование	коричневый	от 80 до 20 %	коричневый	0 %
Опалубка	бирюзовый	от 80 до 20 %	бирюзовый	0 %
Бетонирование	оранжевый	от 80 до 0 %	–	–
Набор прочности	пурпурный	от 80 до 20 %	пурпурный	0 %
Распалубка	желтый	от 80 до 20 %	цвет элемента	0 %

Пример использования SYNCHRO Pro для 4D-моделирования строительства сборно-монолитного транспортно-пересадочного узла представлен на рис. 2.



Рис. 2. 4D-анимация строительства транспортно-пересадочного узла в SYNCHRO Pro

Другим широко распространенным среди проектировщиков программным обеспечением является Autodesk Navisworks [7], которое имеет модуль Timeliner, позволяющий формировать 4D-модели. Autodesk Navisworks – намного менее функциональное в области 4D-моделирования программное средство, однако оно имеет очень мощный инструментарий для «сшивки» разных 3D-моделей одного и того же объекта. Поэтому, чтобы не приобретать лицензии других программных продуктов, многие предпочитают пользоваться Autodesk Navisworks и для формирования 4D-моделей. Здесь нет визуальных профилей, их роль выполняют так называемые типы задач, среди которых три встроенных: создание, разрушение, временное использование, а также можно создавать пользовательские типы задач.

Пример применения Autodesk Navisworks для 4D-моделирования сборно-монолитного здания спортивного комплекса показан на рис. 3.



Рис. 3. 4D-анимация строительства спортивного комплекса в Autodesk Navisworks

Посредством 4D-моделирования визуализируется не только процесс строительства здания и сооружения, но и организация объектов строительного хозяйства, традиционно отображаемая на строительном генеральном плане [8]. Таким образом, 4D-модели способны создать цифровые двойники строительной площадки, что приведет к повышению качества управления строительством.

Литература

1. Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С. Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 82–86.
2. Эльшейх А. М. Информационное моделирование интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: Мир, 2015. – 22 с.
3. Кабанов В. Н. Принципы построения информационной модели отдельного строительного процесса // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 64–75.
4. Диско А. И. Исследование истории развития BIM-технологий как инструмента комплексного управления инвестиционным проектом / BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры / Материалы IV Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб., 2021. С. 491–497.

5. Бовтеев С. В., Колесников С. В., Шерстобитова П. А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284.

6. Диска А. И. Применение продуктов SYNCHRO для комплексного управления строительством / BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры / Материалы V Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб., 2022. С. 226–232.

7. Пименов С. И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3. С. 92–104.

8. Плетникова Т. Ю. Методика формирования 4D-модели строительного генерального плана в процессе строительства / BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры / Материалы V Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб., 2022. С. 239–245.

УДК 625.7:323.1

Влада Владимировна Белякова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: belllada_2212@inbox.ru

Vlada Vladimirovna Belyakova,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: belllada_2212@inbox.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

ORGANIZATION OF CONSTRUCTION OF LINEAR FACILITIES ON THE TERRITORY OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Строительство линейных объектов в северных регионах России одна из самых важных, связанных с жизнеобеспечением и обороноспособностью России задач, являющаяся в связи с климатическими и гидрогеологическими условиями одной из самых сложных. Строительство в этих регионах не приемлет типовых решений, и не пропускает ошибок. Задачей этой статьи было осветить основные наиболее важные вопросы, возникающие в автономном Ямало-Ненецком округе при строительстве линейных объектов.

Ключевые слова: дорожное строительство, оттаивающие, вечномёрзлые грунты, вечная мерзлота, дорожное полотно.

The construction of linear facilities in the northern regions of Russia is one of the most important tasks related to the life support and defense capability of Russia, which is one of the most difficult due to climatic and hydrogeological conditions. Construction in these regions does not accept standard solutions, and does not miss mistakes. The purpose of this article was to highlight the main most important issues arising in the autonomous Yamalo-Nenets District during the construction of linear facilities.

Keywords: road construction, thawing, permafrost soils, permafrost, roadbed.

Введение

В России особое значение имеет развитие автомобильных дорог, в частности строительство дорог в условиях вечной мерзлоты, поскольку именно в этих районах сконцентрированы стратегический резерв и экономическая опора страны [1].

В северных регионах России большую часть года господствуют тяжело переносимые холода, когда выпадает незначительное количество осадков ввиду небольшой влажности воздуха. Суровые морозы, крайне низкие температуры, проникновение холодного воздуха в верхние пласты грунтов и почвы способствуют активному развитию вечной мерзлоты. В течение весьма короткого летнего периода грунт успевает насытиться водой на такую глубину, что разезженные колеи быстро превращается в непроходимые и недоступные для проезда места [2].

Задача исследования

На основании проведенного анализа существующих нормативных документов, научно-технических исследований и полученного опыта работы в области дорожного строительства на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, выявить наиболее характерные проблемные вопросы строительства линейных объектов на сложных грунтовых основаниях и обустройства верхнего дорожного покрытия.

Строительство и эксплуатация дорог в условиях вечной мерзлоты – очень сложный процесс, который осуществляется по особым нормам и правилам. Негативное влияние природных явлений на дорожные сооружения в этой зоне обусловлено оттаиванием и промерзанием горных пород. Исходя из этого конструкции земляного полотна необходимо возводить с условием соблюдения теплотехнических расчетов с учетом температурного режима грунтов, их физико-механических свойств и динамики уровня залегания верхнего слоя вечной мерзлоты. Современные технологии отработаны, но периодически дают сбой, все дело в растеплении подземных грунтов, это происходит как из-за глобальных климатических изменений, так и по причине развития городов, роста численности населения и развития инфраструктуры.

Криолитозона на земле занимает порядка 36 млн км² (около 25 % суши), в Северном полушарии вечная мерзлота занимает около 22 млн км², из которых Российская Федерация составляет 11,45 млн км² (более 60 % территории РФ). Толщина замерзших

пород варьируется от 1300 до 1500 м, температура пород на глубинах от 10 до 20 м составляет минус 12–15 градусов, а то и ниже [3]. Отсутствие автомобильной развязки на большей части просторов Сибири и Крайнего севера влечет за собой трудности при развитии этих регионов, страдают логистические цепочки при снабжении населения жизненно необходимыми товарами.

Общая протяженность автомобильных дорог общего пользования на территории Ямало-Ненецкого автономного округа – 2986,2 км, из них:

- протяженность автомобильных дорог общего пользования, находящихся в государственной собственности – 1461,84 км;
- протяженность автомобильных дорог общего пользования, находящихся в муниципальной собственности – 1524,36 км [4].

С каждым годом протяженность автомобильных дорог Ямало-Ненецкого Автономного округа растет, в связи с большим развитием транспортной развязки данной территории не только внутри региона, но и с близлежащими: (рис. 1).

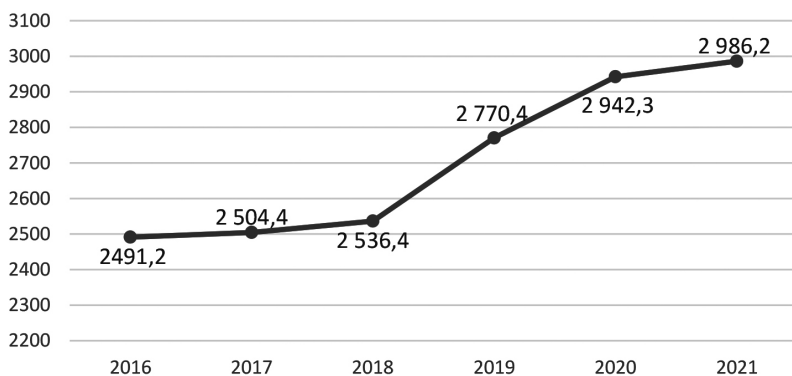


Рис. 1. Протяженность автомобильных дорог общего пользования ЯНАО

Регион расположен в природных зонах арктических пустынь, тундры, лесотундры (север и центр Ямало-Ненецкого автономного округа), тайги (юг Ямало-Ненецкого автономного округа). Природные особенности, суровый резко-континентальный климат,

торфяные болота и увлажненные почвы в данном регионе создают трудности при возведении дорожных покрытий. Для района исследований характерна чрезвычайно сильная заболоченность (до 80 %) и зернистость (до 30 %), а также монотонность рельефа, который имеет очень плоскую болотистую поверхность. Поэтому на Ямале очень активно работают над технологиями защиты от разрушения магистралей, проложенных на вечной мерзлоте. Но из-за деформации насыпи ввиду застоя и изменения грунтов все равно происходит оседание дорожного покрытия (рис. 2).



Рис. 2. Просадка покрытия ввиду деформации уплотнения грунтов

С начала XXI века начался новый этап строительства автомобильных дорог на основе инновационных технологий и ресурсосберегающих материалов. Корректировка, практический опыт прошлых лет является основой для развития науки и повышения стандартов. С точки зрения раннего опыта и перспектив создания транспортной инфраструктуры, необходимо активизировать научные

исследования, что в последующем сократит время для проектирования и строительства дорог в данных регионах и увеличит объемы отремонтированных дорог.

Материалы и методы

Исследуя опыт строительства дорожного полотна на торфяных болотах и в условиях промерзания грунтов, можно отметить, что срок эксплуатации дорожной одежды в разы меньше нормативного, а финансовые затраты на возведение и содержание таких дорог значительно выше. Предположительно, это может быть связано с некорректным проектированием и некачественным проведением инженерно-геологических изысканий, так как, в частности, при проектировании земляных полотен значения проектных характеристик берутся из нормативных документов, в большинстве своем, которые не соответствуют реальным полевым параметрам, ввиду изменений климатических условий.

При возведении дорожного полотна в болотистых местностях должны строго учитываться особые технологические требования. К основным из них относятся [5]:

- основание полотна дороги должно быть устойчивым, выдавливание или подъем слабых грунтов из основания земельного полотна не допускается;
- колебания конструкции от статистического и динамического воздействия транспортной нагрузки должны быть ограничены по амплитуде и частоте;
- отложения основания в период эксплуатации не должны вызывать недопустимых деформаций продольного и поперечного профилей.

В решении проблем строительства автомобильных дорог в болотистой местности, где преобладают слабые почвы и мерзлые грунты существует два подхода. Первый из них представляет собой удаление торфяного основания и его замещение с помощью минеральных грунтов, а именно слабые верхние почвы исключаются из работ, а основная нагрузка переходит на нижележащие, более устойчивые слои [6]. Данный метод характерен более длительно-

ми сроками строительства и большими финансовыми затратами, он используется в том случае если конструкция не допускает значительного проседания основания.

Второй подход, предполагает возведение дорожного полотна с помощью заполнения грунтов [7]. На данный момент второй метод укрепления грунта при проектировании и строительстве дорог в криолитозоне имеет особое внимание, с помощью современных технологий совершенствуется долговечность земляных покрытий. На примере строительной компании «ЮВ и С» можно отследить активное вовлечение инновационных технологий, которые компания использует при строительстве дорог не только в Ямало-Ненецком Автономном округе, но и в ХМАО-Югре [8].

Начиная с 2012 года стали применять технологию укрепления грунтов методом ресайклирования, с помощью комплекса «Ресайклер WR-2500S». Технология ресайклирования используется для выполнения подстилающих и выравнивающих слоев оснований, а также для стабилизации грунта (рис. 3).



Рис. 3. Укрепление грунтов с помощью холодного ресайклинга

Для производства оснований используется либо песок с добавлением портландцемента и стабилизирующими добавками, либо щебень с добавлением вспененного битума или с добавлением портландцемента и стабилизирующими добавками. Работы осуществляются по немецкой технологии и увеличивают срок эксплуатации автомобильных дорог до 30 %. Актуальность использования укрепления грунтов методом ресайклирования обусловлена увеличивающимися объемами строительства автомобильных дорог. Применение в качестве конструктивного слоя дорожной одежды из органоминеральной смеси, уложенной по методу холодного ресайклинга, позволяет повысить прочностные характеристики дорожной одежды и исключить деформационные процессы в рабочем слое земляного полотна [9].

Асфальтобетонное покрытие – это верхняя часть дорожной одежды, которая должна противостоять всем возможным климатическим изменениям, воздействию транспортных средств, сохранять водонепроницаемость для предотвращения проникновения поверхностных вод к основанию и земляному полотну, а также обеспечивать безопасное и благоприятное вождение. Сплошность покрытия играет очень важную роль, так как оно гарантирует более эффективное перераспределение нагрузок от автомобильного транспорта на основание дорожного полотна [10].

В регионах Крайнего Севера возведение автомобильных дорог общего пользования до большинства отдаленных и труднодоступных поселений невозможно даже в долгосрочном периоде из-за высокой стоимости строительства и эксплуатации. Строительство таких дорог существенно ограничено возможностями региональных бюджетов, но внедрение новых технологий в возведение дорожной одежды в условиях Крайнего Севера должно повлиять на ресурсо-, энерго- и трудосбережение. Разработка и широкое внедрение данных технологий обеспечит России продвижение в будущее и поможет образовать новую нишу на мировом рынке. Процесс формирования и развития сети автомобильных дорог в районах Крайнего Севера определяются рядом факторов, которые усложняют протекание этого процесса, а именно высокие затраты на заработную плату,

связанные с необходимостью осуществления выплат полярных надбавок и районного коэффициента работникам в этих регионах [11].

Полученные результаты

Оптимизация минеральной составляющей и процессов формирования структуры материала на стадии уплотнения цементно-грунтовых смесей значительно повышает прочность конструктивных слоев дорожного покрытия.

За последние годы учеными разработаны различные поверхностно-активные добавки, которые активно влияют на формирование и устойчивость дорожно-строительных материалов. Научно-практические исследования по изучению активных добавок и стабилизаторов, как зарубежных, так и отечественных в большинстве случаев показывают положительное влияние на упрочнение грунтов.

Для улучшения результатов при возведении дорожных покрытий необходимо вовлечение строительной лаборатории для контроля качества рецептов асфальтобетонных смесей, проведения входного контроля всех поступающих материалов: щебень, отсев дробления, песок, битум, минеральный порошок, добавки и многое другое. Также необходимо использование современного геодезического оборудования, внедрение в работу систем 3D нивелирования. Ведь залогом долговечности и надежности дорожного полотна является использование материалов, соответствующих нормативным документам и соблюдение всех норм возведения дорожной одежды в условиях вечной мерзлоты.

Вывод

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо продвижение и расширение научно-технических исследований в области разработки и внедрения ресурсосберегающих материалов, конструкций и технологий в транспортном строительстве ЯНАО.
2. Использование экспериментальных инновационных работ по возведению дорожной одежды на болотистой местности и на

территориях вечной мерзлоты играет большую роль в повышении эффективности строительства и увеличении сроков эксплуатации дорожного полотна.

3. Технология стабилизации грунтов с помощью холодного рециркулирования является достойной альтернативой при строительстве автомобильных дорог, которая может обеспечить главный приоритет в скорости и качестве выполняемых работ.

4. Производство опытно-конструкторских работ и разработка методов контроля качества строительства и эксплуатации транспортных сооружений их мониторинг на протяжении всего жизненного цикла является неотъемлемой частью возведения дорог в тяжелых климатических условиях.

5. Учет природных факторов, наличие и характер залегания вечной мерзлоты, необходимо проводить для того, чтобы облегчить настил дорожного полотна и предотвратить любые чрезвычайные ситуации на дорогах.

Литература

1. Перечень поручений по итогам совещания по вопросам дорожного строительства/Путевой навигатор, № 52 (78) 09.2022., С. 16–17 [Электронный ресурс]: <https://www.dropbox.com/s/9bp59snvokonv8e/pn-52-2022%20%287%29.pdf?dl=0/>

2. Клещ П. К. Устройство дорожного полотна в условиях вечной мерзлоты /П. К. Клещ. Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2021. № 3 (345). С. 125–129. – URL: <https://moluch.ru/archive/345/77760/>

3. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования: оценочный отчет / Под ред. О. А. Анисимова. М.: Greenpeace, 2009. 43 с. [Электронный ресурс]: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2020/06/doklad-climate-ru.pdf/>

4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/search?q=%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3/>

5. Рон Мунро. Решение проблем несущей способности дорог с низкой интенсивностью движения, построенных на торфях/ Рон Мунро [Электронный ресурс]: https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Dealing-with-low-bearing-capacity-problems-of-roads-built-on-peat_rus.pdf/

6. *Песоцкий Д. Г.* QFrost – ПО для моделирования теплофизических процессов в грунтах / Д. Г. Песоцкий, М. С. Торгонский. [Электронный ресурс]: <http://www.qfrost.net/>

7. ГОСТ 9758-2012. Межгосударственный стандарт. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний (введен в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 2073-ст). – М.: Стандартинформ, 2014, [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200100905/>

8. Сайт ООО СК «ЮВ и С» [Электронный ресурс]: <https://skuvis.ru/>

9. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации (РОСАВТОДОР). М.: 2002. 25 с. [Электронный ресурс]: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/218.6.1.005-2021.pdf/>

10. *Сиротюк В. В.* доктор технических наук, профессор, Крашенинин Е. Ю., преподаватель, СибАДИ «Особенности конструирования дорожных одежд с армированным асфальтобетонным покрытием в условиях Сибири и Крайнего Севера», [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-konstruirovaniya-dorozhnyh-odezhd-s-armirovannym-asfaltobetonnym-pokrytiem-v-usloviyah-sibiri-i-kraynego-severa/>

11. *Солуянова Т. В., Молоков В. С., Волкова Е. В.* «Особенности строительства и эксплуатации дорог в условиях Крайнего Севера», [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-stroitelstva-i-ekspluatatsii-avtomobilnyh-dorog-v-usloviyah-kraynego-severa/>

УДК 69.051

Анастасия Владимировна Гертней,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: nastya-gertney2014@mail.ru

Anastasiya Vladimirovna Gertnei,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: nastya-gertney2014@mail.ru

ПОТОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ФАСАДОВ ЖИЛЫХ ДОМОВ

IN-LINE ORGANIZATION OF WORK ON THE INSTALLATION OF FACADES OF RESIDENTIAL BUILDINGS

В статье рассматривается возможность изучения потенциала эффективности поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов. Представлены методы визуального моделирования, позволяющие эффективно реализовывать проекты строительной организации. Экономико-визуальная модель способствует формированию элементарной основы рациональных экономических, организационных и технологических решений. Были использованы следующие методы: системный анализ, логико-математическое моделирование, теория систем, экономическое и визуальное моделирование, методы исследования операций, экономико-математические методы. Был изучен опыт использования поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов.

Ключевые слова: поточное производство, устройство, фасады, операции.

The article considers the possibility of studying the efficiency potential of the in-line organization of work on the construction of facades of residential buildings. The methods of visual modeling are presented, which make it possible to effectively implement the projects of a construction organization. The economic-visual model contributes to the formation of an elementary basis for rational economic, organizational and technological solutions. The following methods were used: system analysis, logical and mathematical modeling, systems theory, economic and visual modeling, methods of operations research, economic and mathematical methods. The experience of using the in-line organization of work on the facades of residential buildings was studied.

Keywords: in-line production, device, facades, operations.

Многие строительные проекты включают повторяющиеся операции, которые подвержены различным ограничениям и неопреде-

ленностям. Во время строительных работ в полевых условиях планировщики должны поддерживать и обновлять перспективные графики, которые координируют работу на следующие несколько недель на основе последней достигнутой пропускной способности. Это исследование расширяет традиционный метод линейного планирования, используемый для планирования повторяющихся строительных работ, посредством стохастического моделирования для учета неопределенности в выполнении работ во время полевых работ. Предложенный метод стохастического линейного планирования (SLIM) был реализован и продемонстрирован в работах по устройству фасадов жилых домов.

Линейные строительные проекты относятся к строительным работам, включающим ряд взаимосвязанных действий, которые выполняются последовательно и многократно на протяжении всего срока реализации проекта, например, устройство фасадов жилых домов.

Из-за технических, ресурсных и пространственных ограничений эти повторяющиеся действия, как правило, взаимозависимы, т. е. задержка или медленное выполнение одного действия повлияет на выполнение последующих действий и, в конечном итоге, повлияет на общую продолжительность проекта. [1].

Эффективная координация различных повторяющихся действий и их взаимодействие посредством тщательного планирования имеет решающее значение для успеха проекта. Неправильное планирование может привести к значительным потерям, поскольку рабочие и оборудование простаивают из-за позднего завершения предыдущих задач, ограниченного наличия необходимых ресурсов или других ограничений пространства и времени.

В строительном проекте часто используются два типа диаграмм: основные диаграммы и перспективные графики.

Общий график проекта предоставляет руководству обзор сроков и порядка выполнения проекта. Перспективный график или график с короткими интервалами, график, поддерживаемый во время фактической строительной операции, является дополнением к основному графику, который определяет ежедневные детали объема работ, распределения ресурсов и координации команды проекта на ближайшие несколько недель [1].

Перспективный график должен быть разработан на основе самых последних данных об эффективности проекта и должен регулярно обновляться, чтобы он мог точно отражать текущее состояние проекта и обеспечивать надежный прогноз будущей эффективности проекта. По сравнению с основной диаграммой форвардная диаграмма дает руководителям оперативного уровня более подробное и реалистичное представление о будущей производительности и потенциальных проблемах, что позволяет выявлять и устранять потери и задержки. Таким образом, эффективное прогнозное планирование на основе последних данных о производительности может помочь обеспечить плавный и непрерывный рабочий процесс.

Организация строительного поточного производства включает в себя следующие направления научно-производственной деятельности: организация строительства, планирование строительства и управление строительством.

Планирование – это система временной и пространственной увязки строительно-монтажных работ, а также система снабжения и расхода материально-технических ресурсов.

Основополагающими принципами организации, планирования и управления строительством являются: централизованное управление производственно-хозяйственной деятельностью строительных организаций с максимально возможным расширением их самостоятельности; сокращение сроков строительства объектов, повышение качества строительно-монтажных работ и снижение их стоимости; постоянный рост производительности труда; комплексная механизация и максимально полная автоматизация в строительной отрасли; индустриализация производства; выполнение технологических процессов строительно-монтажных работ; полное обеспечение охраны труда и безопасного выполнения работ; рациональная организация логистики и экономичное использование ресурсов; строгое соблюдение законов и правил.

В состав каждого ремонтно-строительного управления входят четыре-пять участков старших начальников работ. Совокупность таких участков обычно определялось мощностью ремонтно-строительного отдела, включенным в план управления объемом фасад-

ных работ и, соответственно, количеством рабочих, занятых на основном производстве в этом отделении.

Штат строительной площадки обычно состоит из руководителя строительства (ведущего производителя или прораба), прорабов (один или два), оценщика, табельщика и кладовщика [4].

Основной цикл работ может быть разделен на три потока: устройство несущих конструкций каркаса; установка и крепление плит утеплителя; монтаж облицовочных плит и оконных обрамлений.

Комплексные бригады при поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов отвечают за следующие виды работ: монтаж инвентарных лесов, ремонт штукатурки, покраска фасадов, демонтаж лесов.

В состав таких бригад входят: подмости – 3–4, штукатурки – 6–8, маляры – 3–4, всего – 12–16 человек.

Если основные ремонтные работы выполняются неполными сводными бригадами, то все остальные виды ремонтов выполняют специализированными бригадами или подразделениями.

Основными факторами, способствовавшими значительному увеличению потенциала ремонтно-строительных организаций при поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов стали:

1) внедрение большого количества эффективных технологических приемов;

2) полноценная круглогодичная работа на объектах по ремонту фасадов;

3) разработка высокопроизводительных методов организации труда;

4) широкое использование механизмов, станков, усовершенствование бывших в употреблении механизмов, технологического оборудования, строительных лесов, разработка и внедрение новых механизмов;

5) профессиональное развитие и рост производительности труда работников;

6) увеличение мощностей вспомогательных предприятий трестов, что позволило централизованно готовить необходимые для ремонта полуфабрикаты (растворы, шпаклевки, малярные составы, потолочные заготовки, столярные изделия [4].

Основными принципами при поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов при наружной отделке или ремонте здания являются: поточность, параллельное выполнение, технологическая последовательность и максимальная механизация отдельных ремонтных процессов.

Создание потока обеспечивается разделением фасада на захваты примерно одинаковой трудоемкости. Бригада или звено рабочих после проведения ремонта в одном трюме переходит в другой для выполнения той же работы, теми же способами, в течение той же продолжительности.

Размеры ручек при работе с подмостей принимают в пределах 600–800 м². Для лучшего оборота лесов целесообразно делать в них перерывы по границам уловов.

Наличие зазоров позволяет демонтировать леса после окончания работ на данном участке, не дожидаясь их окончания у соседей.

Границы захватов устанавливаются по линиям стержней, пилястр, уступов и глади стен, по линиям откосов оконных проемов или подоконников. При отделке фасадов небольшой площади каждый из них берется в качестве обхвата [5].

Бригады, выполняющие фасадные ремонтные или малярные работы, делятся на звенья, каждое из которых, переходя последовательно из одного захвата в другой, выполняет определенные операции, такие как ремонт штукатурки, грунтование, шпаклевка, покраска и т. д., при этом производство процессов возложено на специализированные единицы измерения.

Основной состав бригад остается постоянным, рабочие без особых причин не переходят из одного звена в другое.

В отдельный поток можно выделить цикл работ по утеплению и облицовке цокольных элементов здания, а также устройство подъездов.

Кроме перечисленного комплекса теплоизоляционных работ не рассматриваются процессы, связанные с утеплением чердачных перекрытий, кровли, вентиляционных швов и других каналов, инженерного оборудования.

Наиболее ответственными периодами являются перенос положения распорных анкеров, направляющих на поверхность фасада жи-

лого здания, определение горизонта монтажа и др. Перечисленный комплекс работ производится геодезистами с использованием достаточно точной лазерной техники. Наиболее эффективным является лазерный нивелир Leica LNA10 с лазером видимого диапазона с возможностью установки вертикальной и горизонтальной плоскостей.

Выполняются различные геодезические перемещения, что снижает погрешности измерений. Особое внимание уделяется оценке вертикальности стен, так как это существенно влияет на качество работ при облицовке.

В результате геодезических работ на фасаде жилого здания несмываемой краской красятся осевые линии расположения направляющих, положения анкеров и кронштейнов, и монтажный горизонт каждого ряда плит. При определении неровностей стен и отклонений от вертикали в местах установки опор указывают параметры отклонения, которые компенсируются.

После завершения цикла работ геодезистов производится утепление и облицовка элементов цокольного этажа. Для обеспечения более эффективной работы теплоизоляции по периметру цокольной части вырывают котлован глубиной 0,4–0,5 м, зачищают поверхности стен. Затем ставятся и раскрепляются анкеры для крепления направляющих. По завершении данного вида работ поверхность стен утепляют. Наиболее эффективным является утепление пенополистирольными плитами типа Styroform, обладающими большими физико-механическими характеристиками. Его крепление осуществляется с помощью дюбелей с возможным плотным прилеганием к поверхности стен. При необходимости проводятся работы, связанные с восстановлением поверхности, а также нанесением гидроизоляционного слоя.

После окончания цикла утепления устанавливаются направляющие и устанавливаются лицевые плиты.

Для улучшения характеристик цокольные панели облицовки выполнены более широкими, с иной цветовой гаммой, чем фасад жилого здания. Обязательным условием является установка вентиляционных отверстий, которые должны совпадать с каналами на фасаде жилого здания. Можно армировать облицовку, заполнив зазор

цементно-песчаным или другим раствором. Верхняя панель облицовки цоколя, как правило, производится с элементом, обеспечивающим отвод атмосферных осадков и сопряжение плит облицовки фасада жилого здания.

Одним из условий, способствующих высокой производительности труда при поточной организации работ по устройству фасадов жилых домов, является выделение достаточных площадей фасадов (рабочего фронта), позволяющих свободно размещать на них рабочих (оборудование или звенья) с прикрепленными к ним механизмами и оборудованием.

Заключение

Поточное строительство – это сочетание оперативных и практических действий в области проектирования и строительства с внедрением принципов и методов бережливого производства в сквозной процесс проектирования и строительства при работах связанных с фасадами жилых зданий.

В отличие от производства, строительство представляет собой производственный процесс, основанный на проектах. Поточная организация работ по устройству фасадов жилых домов предназначена для планирования линейных строительных проектов, содержащих семейство повторяющихся и почти идентичных задач. Она представляет собой повторяющуюся деятельность в виде производственной линии на календарном графике [7].

Литература

1. *Головченко И. В.* Методика выбора оптимальных средств подмащивания при производстве наружных отделочных работ многоэтажных жилых зданий // *Строительство и техногенная безопасность.* 2018. № 13(65). С. 47–53.
2. *Тарасова А. С.* Целесообразность выбора средств подмащивания для организации работ на высоте. // *Актуальные вопросы современной науки и практики/ Сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции.* 2020. С. 206–211.
3. *Дереджи А., Кужин М. Ф.* Разработка организационно-технологических решений производства фасадных работ по технико-экономическим показателям // *Системные технологии.* 2020. № 2(35). С. 9–12.

4. *Шмаков А. Т.* Унифицированные леса, подмости, вышки, люльки, лестницы, стремянки, применяемые в строительстве. – М. : Издательство литературы по строительству, 1972.
5. Современные материалы для отделки фасадов: учеб. пособие / Кавер Н. С. – Москва : Архитектура С, 2005. – 120 с.
6. *Лысенко Е. И., Юдин А. Н.* и др. Современные отделочные и облицовочные материалы: учебно-справочное пособие / Ростов-на-Дону: Феникс, 2003.
7. *Малкаров А. А., Кужин М. Ф.* Выбор организационно-технологических решений производства фасадных работ при строительстве многоэтажных жилых домов // Вестник евразийской науки. 2019. № 5. С. 9–12.
8. *Кужин М. Ф.* Организационно-технологические задачи, решаемые при производстве фасадных работ // Евразийский союз ученых. 2015. № 5–3 (14). С. 108–110.

УДК 658.562.64

Яна Андреевна Головачева,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: golovacheva.00@list.ru

Iana Anrdeevna Golovacheva,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: golovacheva.00@list.ru

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

MODERN SYSTEM OF ASSESSING THE QUALITY OF THE WORK OF A STATE INSTITUTION

Система оценки качества работы государственных учреждений является важным аспектом их работы. Необходимо использовать современные технологии и методы для обеспечения высокой эффективности и качества работы. Разработка эффективной системы оценки качества, прозрачность и своевременность интерактивного обмена информацией между учреждениями и населением являются ключевыми факторами повышения эффективности работы государственных учреждений. В статье рассмотрена существующая система оценки качества работы государственных учреждений на примере Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга. Сделаны выводы о преимуществах и недостатках этой системы и предложены актуальные рекомендации по совершенствованию.

Ключевые слова: система контроля качества, государственное учреждение, дорожное строительство, исполнительный орган государственной власти.

The evaluation system for the quality of work of state institutions is an important aspect of their functioning. It is essential to employ modern technologies and methods to ensure high efficiency and quality of work. Developing an efficient quality assessment system, ensuring transparency, and timely exchange of information between institutions and the public are crucial factors in improving the effectiveness of public institutions. This article focuses on the existing system for evaluating the quality of work of state institutions, with the Committee for the Development of Transport Infrastructure of St. Petersburg serving as an example. The article draws relevant conclusions about the advantages and disadvantages of this system and puts forward recommendations for its improvement.

Keywords: quality control system, government agency, road construction, executive body of state power.

Оценка качества работы государственных учреждений является важным аспектом в обеспечении эффективной работы организации и удовлетворения потребностей жителей и вышестоящих органов. Критерии качества оценки работы могут отличаться в зависимости от области работы, однако в любом случае ключевыми являются высокая скорость и качество предоставления информации о работе и ее результатах [1]. Система оценки качества работы должна быть прозрачной и эффективной для обеспечения достижения поставленных целей.

Целью исследования является изучение системы оценки качества работы государственных учреждений на примере Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Описать текущую систему оценки качества работы Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга (далее – КРТИ).
2. Проанализировать основные проблемы и недостатки существующей системы.
3. Рассмотреть примеры успешного применения новых технологий и методов в оценке качества работы государственных учреждений.
4. Предложить рекомендации по улучшению системы оценки качества работы государственных учреждений на основе анализа современных методов и технологий.

Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга является государственным учреждением, которое занимается организацией и контролем работы по развитию транспортной инфраструктуры города. В соответствии с уставом государственного учреждения, основными целями его деятельности являются обеспечение развития транспортной инфраструктуры в городе, ее модернизация и совершенствование услуг в области транспорта.

Основными задачами КРТИ реализация транспортной политики города, разработка концепции развития транспортной инфраструктуры города, а также координация и контроль за выполнением муниципальных программ в области транспорта [2].

Для того чтобы управлять качеством работы и достигать поставленных целей, КРТИ разработало систему оценки качества работы. Она основывается на анализе всех уровней деятельности Комитета и включает в себя следующие шаги:

1. Определение целей и задач Комитета.
2. Формирование плана работы на год, который включает в себя конкретные показатели оценки качества работы.
3. Ежеквартальный анализ показателей работы Комитета. Для этого составляется отчет о выполнении плана работы, где указываются достигнутые результаты и проблемы, которые возникли в ходе работы.
4. Корректировка плана работы. Если в процессе анализа были выявлены проблемы, то они учитываются при корректировке плана работы.

Основную роль в системе оценки качества работы КРТИ играют ключевые показатели эффективности, которые определяются на основе ключевых задач, определенных уставом государственного учреждения. Ключевые показатели оцениваются на основе собранных данных и отчетов, представленных отделами и сотрудниками КРТИ. Оценка производится ежемесячно и ежеквартально.

Так, например, мониторинг значений общих и индивидуальных ключевых показателей результативности (далее – КПР) исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга (далее – ИОГВ) проводится ежеквартально в соответствии с постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 19.01.2018 № 4 «Об утверждении Порядка оценки деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга» на средствах государственной информационной системы Санкт-Петербурга «Интегрированная система информационно-аналитического обеспечения деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга».

Для визуализации результатов мониторинга далее используются цветовые обозначения, представленные в табл. 1.

За 4 квартал 2022 у КРТИ высокий итоговый балл по общим КПР (4,882 балла), однако средний по индивидуальным КПР (3,625 балла) и самый низкий среди всех ИОГВ, в связи с этим результативность деятельности в целом выше средней, место в рейтинге ИОГВ

последнее. Наибольшее влияние на рейтинговый балл КРТИ оказал низкий балл по индивидуальным КПП 2.2, 2.6, 2.15, 2.17, представленным в табл. 2 [3].

Таблица 1

Цветовые обозначения для визуализации результатов мониторинга

Цвет	Группа ИОГВ по результативности деятельности	Значение рейтингового балла (P)
	4 группа (степень результативности деятельности ИОГВ ниже средней)	$3,0 \leq P < 3,5$
	5 группа (низкая степень результативности деятельности ИОГВ)	$0,0 \leq P < 3,0$

Таблица 2

Показатели, в наибольшей степени повлиявшие на результаты КРТИ

№	Названия индивидуальных КПП	Значение	Балл
2.2	КПП Своевременность подготовки документации по планировке территории в целях размещения объектов капитального строительства в соответствии с компетенцией Комитета (за год)	Документация подготовлена не своевременно	1
2.6	КПП Отклонение индикатора «Протяженность сети автомобильных дорог общего пользования регионального значения в Санкт-Петербурге» от значения, установленного в Государственной программе (за год)	0,83 км (3 481,46 из 3 482,29 км)	1
2.11	КПП Соблюдение сроков строительства объектов Адресной инвестиционной программы по отрасли дорожное хозяйство (за год)	66,667 % (2 из 3 объектов)	2

Окончание табл. 2

№	Названия индивидуальных КПП	Значение	Балл
2.13	КПП Минимизация удорожания объектов АИП в течение срока строительства (за год)	31,841 % (923,4 % изменение сметной стоимости по 4 объектам)	2
2.15	КПП Отклонение индикатора «Прирост протяженности сети автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального, местного значения в Санкт Петербурге в результате строительства новых автомобильных дорог» от значения, установленного в Государственной программе (за год)	0,9 км (9,68 из 10,58 км)	1
2.17	КПП Отклонение индикатора «Количество созданных остановочных пунктов ГПТ» от значения, установленного в Государственной программе (за год)	35 остановочных пунктов (120 из 155 остано- вочных пунктов)	1

Также важным элементом системы оценки качества работы КРТИ является участие общественности в процессе оценки работы учреждения. Граждане могут оставлять свои отзывы, предложения и вопросы на платформе «Наш Санкт-Петербург» и федеральном портале обратной связи, которые затем анализируются в ходе ежемесячного анализа показателей работы. Более того, Комитет проводит регулярные встречи с представителями общественности, где обсуждаются текущие вопросы и проблемы развития транспортной инфраструктуры.

Таким образом, система оценки качества работы Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга основывается на анализе всех составляющих деятельности учреждения и предусматривает участие общественности в процессе оценки ра-

боты. Она позволяет управлять качеством работы и достигать поставленных целей, что в свою очередь обеспечивает развитие транспортной инфраструктуры города.

Кроме того, в системе оценки качества работы КРТИ важное значение придается использованию инновационных технологий и новых методов в работе. Для этого Комитет регулярно проводит обучающие и тренинговые мероприятия для своих сотрудников, а также устанавливает современное оборудование для отслеживания показателей работы.

Несмотря на то, что система оценки качества работы КРТИ имеет развитую структуру и включает в себя ряд ключевых показателей эффективности, она также имеет ряд проблем и недостатков.

Одной из главных проблем является то, что система оценки качества работы государственного учреждения основывается на оценке измеряемых показателей. Данная система не учитывает такие факторы, как качество обслуживания жителей, эффективность взаимодействия с другими государственными учреждениями и т. д. [4].

Другой проблемой является отсутствие мониторинга и контроля за действиями сотрудников государственного учреждения. Это приводит к ухудшению качества работы и увеличению времени выполнения задач.

Для улучшения работы можно предложить следующие рекомендации по усовершенствованию работы государственных учреждений на основе анализа современной системы оценки качества работы Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга:

1. Внедрение новых технологий и инструментов для сбора, обработки и анализа данных, таких как системы распознавания речи и искусственный интеллект.

2. Разработка более эффективной системы мониторинга и контроля качества работы государственных учреждений.

3. Создание механизмов для своевременного реагирования на обнаруженные проблемы и недостатки в работе учреждений.

4. Улучшение системы обратной связи и коммуникации между учреждениями и вышестоящими органами, жителями и депутатами.

Для повышения эффективности работы государственных учреждений многие страны уже давно используют новые технологии и методы оценки качества работы. Например, в Германии для оценки эффективности работы государственных учреждений используется методика Balanced Scorecard (BSC), которая позволяет оценить работу учреждений не только на основе измеряемых показателей, но и на основе оценки качества обслуживания клиентов и других факторов [5].

В США использование технологии Lean Six Sigma позволяет ускорить и улучшить работу государственных учреждений, а также уменьшить количество ошибок и дублирующихся задач [6].

Для улучшения системы оценки качества работы государственных учреждений необходимо использовать современные технологии и методы оценки, такие как BSC и Lean Six Sigma. Важно также учитывать не только измеряемые показатели, но и качество обслуживания клиентов, эффективность взаимодействия со стейкхолдерами и другие факторы.

Не менее важным является внедрение системы мониторинга и контроля за действиями сотрудников государственного учреждения. Это позволит своевременно выявлять и исправлять ошибки, а также улучшить качество [7].

В целом, система оценки качества работы государственного учреждения является необходимым компонентом эффективного управления и достижения поставленных целей. Она позволяет отслеживать результаты работы, выявлять проблемы и вносить коррективы для улучшения эффективности деятельности.

Современная система оценки качества работы государственного учреждения должна учитывать всю сложность и многообразие задач, которые стоят перед ним. Как правило, она предусматривает использование различных методов оценки, включая анализ документов, оценку результатов работы, интервьюирование сотрудников и взаимодействие с заинтересованными сторонами.

Одним из главных преимуществ современных систем оценки качества работы государственных учреждений является возможность оперативно реагировать на изменения в социально-экономической

ситуации и развивать новые стратегии развития. Такие системы помогают управляющим структурам оценивать и адаптироваться к новым условиям быстрее, что позволяет государственным учреждениям стать более гибкими и эффективными [8, 9].

В заключение, хочется отметить, что современная система оценки качества работы государственных учреждений направлена на повышение эффективности выполнения поставленных задач, повышение профессионализма сотрудников, обеспечение качественного обслуживания населения и повышение доверия со стороны граждан. Это очень важный шаг в развитии государства и обеспечении его процветания.

Статья публикуется по промежуточным результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ обучающихся СПбГАСУ в 2023 году.

Литература

1. *Леонова Т. И., Куганов В. Г., Лях А. В.* Оценка качества деятельности государственных органов // ПСЭ. 2013. №4 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-deyatelnosti-gosudarstvennyh-organov> (дата обращения: 18.05.2023).
2. Правительство Санкт-Петербурга : сайт. – URL: <https://krti.gov.spb.ru/> (дата обращения: 18.05.2023).
3. Интегрированная система информационно-аналитического обеспечения деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга. – Санкт-Петербург, 2023. – Титульный лист отчета о результатах мониторинга значений общих и индивидуальных ключевых показателей результативности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга за 4-й квартал 2022 года.
4. Об утверждении Порядка оценки деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга (с изменениями на 5 декабря 2022 года) (редакция, действующая с 1 января 2023 года) : Постановление Правительства Санкт-Петербурга // <https://docs.cntd.ru/document/556311711?section=status>. – 19 января 2018. – № 4.
5. *Müller, K., Draxler, S., & Hofmeister, J.* (2018). Using the Balanced Scorecard for Performance Measurement of Public Institutions: Evidence from Germany. *Administration and Management Review*, 29(1), 19-30.
6. *Filippa, R., & Guadagnini, F.* (2015). Lean Six Sigma for public sector organizations: A literature review. *Total Quality Management & Business Excellence*, 26(11–12), 1245–1258.

7. Царева Л. М. Развитие внутреннего контроля и необходимость его осуществления в бюджетных учреждениях // Стратегия экономического роста в поисках новых возможностей. – 2020. – С. 100–139.

8. Маркова А. А. Методы анализа информационных ресурсов с использованием современных платформ визуализации данных : специальность 1–40 80 02 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание степени магистра технических наук / Маркова Анастасия Александровна. – Минск, 2022. – 6 с.

9. Kettunen P. (2017). From measuring performance to managing quality: embedding quality management principles in central government performance management. *International Review of Administrative Sciences*, 83(1_suppl), 83–100.

УДК 658.5

Кирилл Федорович Дравовский,
магистрант
Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: kiridr@mail.ru

Kirill Fedorovich Drabovskiy,
Master's degree student
Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: kiridr@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ
«БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА» В РАБОТЕ
ОТДЕЛА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТУ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ
ПРЕДПРИЯТИИ**

**APPLICATION OF THE “LEAN MANUFACTURING”
CONCEPT IN THE WORK OF THE DEPARTMENT
OF OPERATION, REPAIR OF BUILDINGS
AND STRUCTURES AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Для эффективной конкурентоспособности в современном мире производству нужно постоянно совершенствоваться. Применяя новые подходы к организации и управлению можно добиваться более значимых результатов. Концепция «бережливого производства» применяется в различных отраслях, в том числе и в строительном производстве, и направлена на повышение ценности конечного продукта строительства. В данной статье исследованы случаи применения такого подхода в отделе эксплуатации, ремонта зданий и сооружений на промышленном предприятии, а также приведены примеры внедрения инструментария концепции в строительной отрасли.

Ключевые слова: бережливое производство, сокращение издержек, оптимизация, эффективность, улучшение, строительное производство.

To compete effectively in today's world, production must constantly improve. Applying new approaches to organization and management it is possible to achieve more significant results. The concept of “lean production” is applied in various industries, including construction production, and is aimed at increasing the value of the final construction product. In this article the cases of application of such approach in the department of operation, repair of buildings and constructions at the

industrial enterprise are investigated, and also examples of implementation of the concept toolkit in the construction industry are given.

Keywords: lean production, cost reduction, optimization, efficiency, improvement, construction production.

Каждое предприятие в любой сфере деятельности стремится из имеющихся ресурсов получить наладить максимально эффективное производство своего продукта. Для этого нужно отслеживать инновации, обращая внимания не только на технологическую составляющую процессов производства, но и на управленческие и организационные аспекты.

Еще в 20–30-х годах прошлого века в СССР начинала свою деятельность научная организация труда (НОТ), в рамках которой изучалось рационализм и повышение эффективности труда. До 80-х годов на предприятиях существовало БРИЗ (бюро рационализаторства и изобретательства) и плано-экономические бюро, которые уделяли внимание исследованием операций и нормированием для реализации экономических функций [1].

В современной же России, используя опыт мировых компаний, активно внедряются инструменты концепции «бережливого производства». Промышленные предприятия входящие в состав Группа ГАЗ, Русал, КАМАЗ, Росатом, ТВЭЛ, ВСМПО-АВИСМА, АВТОВАЗ, АО “ОСК” Магnezит, Северстальавто, ОАО «Производственное объединение «Елабужский автомобильный завод», ФГУП «Производственное объединение «Завод имени Серго» и другие, активно применяют данную концепцию [2].

Бережливое производство – концепция, предполагающая повышение эффективности работы предприятия за счет повышения ценности производимого продукта и сокращения потерь и издержек осуществляемой деятельности. Зародилась в послевоенной время в Японии на предприятии автоконцерна «Toyota». А понятие «бережливое производство» (Lean manufacturing) ввел американский управленец Джон Крафник в 1988 году.

Нормативно регулируется следующими документами: ГОСТ Р 56020-2020 Бережливое производство. Основные положения и словарь. ГОСТ Р 56906-2016 Бережливое производство. Организация

рабочего пространства (5S). ГОСТ Р 56407-2015 Бережливое производство. Основные методы и инструменты.

Потери включают в себя любую деятельность или работу, на которую затрачиваются ресурсы, но при этом она не приносит дополнительной ценности окончательному продукту.

Потери, чаще всего встречающиеся, в строительной отрасли можно увидеть на рис. 1 [3].

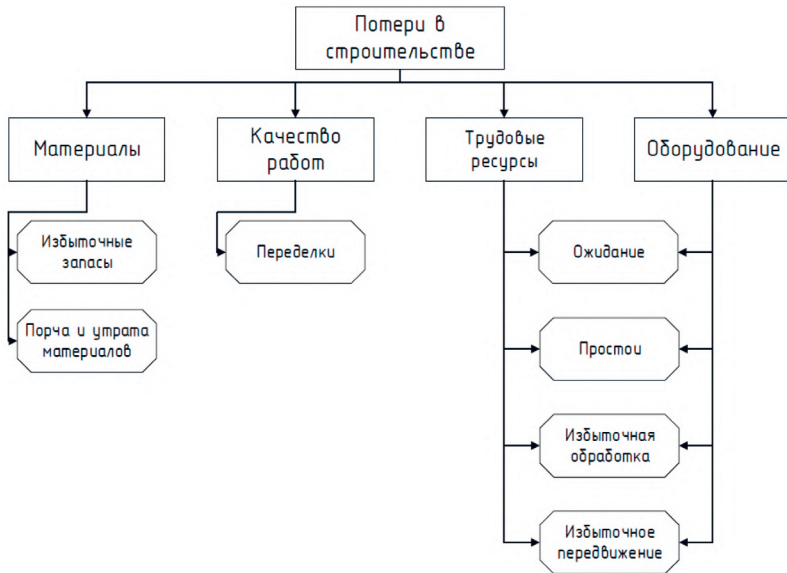


Рис. 1. Виды потерь в строительстве

На ПАО СЗ «Северная верфь» (входящий в состав АО «ОСК») последние несколько лет также активно внедряется концепция «бережливого производства». В частности, в отделе эксплуатации, ремонта зданий и сооружений (ЭРЗиС) каждый год создается и исполняется некоторое количество предложений по улучшению (ППУ) производства относительно деятельности отдела. Отдел занимается обеспечением поддержания промышленных зданий и сооружений в рабочем состоянии согласно ПОТ РО 14000-004 и выполняет

ремонтно-строительные работы «хозяйственным» способом на предприятии.

Например, для сокращения избыточных транспортировки материала и передвижений работников, было предложено производить обработку материала (обрезку рулонов линолеума) в одном помещении с местом его хранения. То есть, убрав из технологического процесса перемещение рулонов линолеума, как не приносящего ценности действия, было сокращено время проведения работ до 30 минут (рис. 2).

Еще одно инициированное предложение – для сокращения временных затрат на производство строительных работ по возведению ограждений, которые могли иметь различную конфигурацию и требовали индивидуальный подход к реализации, что приводило к необходимости иметь различный инструмент для работы, материалы и квалификацию рабочих, было предложено сотрудниками конструкторского бюро создать типовой проект ограждений для применения его на территории предприятия (рис. 3).

Также, с технологической точки зрения строительства можно отметить опыт внедрение инструментов «бережливого производства» в ходе реконструкции транспортной развязки на пересечении МКАД с Липецкой ул. на примере процесса извлечения стального шпунта Ларсен-5УМ экскаватором с навесным вибропогружателем. Где путем сокращения временных издержек технологических операций было достигнуто выполнения показателя извлечения шпунта в 30 ед. при раннем показателе в 11 ед., что привела к повышению рентабельности от отрицательного процента до положительного в 58 % [4].

Используя инструментарий концепции разработана программа для оптимального расходования арматурных стержней на рязанском заводе ЖБИ-3 [5]. Исследован технический эффект от применения «бережливого производства» на предприятии сборного железобетона за счет более рационального использования отсевов камнедробления в производстве самоуплотняющегося мелкозернистого бетона [6]. А также, в рамках сокращения издержек – использование молотых отходов газобетона для снижения себестоимости, повышения прочности изделий [7].

Название ППУ:	Совмещение работ из разных помещений в одно	Подразделение:	Отдел ЭРЗиС	Дата регистрации	№
До улучшения:					
<p>До внедрения улучшения приходилось переносить рулоны линолеума из складского помещения в кладовую для последующего нарезок. Приходилось совершать лишние движения, постоянно перемещая рулоны из одного помещения в другое, для совершения работ.</p>					
После улучшения:					
<p>После улучшения кладовую по нарезки линолеума обустроили в складском помещении, позволяя выполнять нарезку прямо на месте, не переноса их в другие помещения, тем самым устранив лишние движения и ускорив рабочий процесс.</p>					
Предлагаемое улучшение					
Проблема		Предлагаемое улучшение		Результат	
<p>2 отдельных помещения для выполнения работ, связанных с 1 ресурсом.</p>		<p>Существует складское помещение для выполнения работ по нарезке линолеума. Согласно отдельным инструкциям для укладки рулонов линолеума в складском помещении чтобы уменьшить использование зоны хранения и обязательны работы от отгружаемых рулонов.</p>		<p>Выполнение работ происходит в одном помещении. Это убрав лишние движения и ускоряет рабочий процесс.</p>	
До		Цель		После	
<p>Вес 1 рулона доходит до 100 кг, задержка рабочего процесса доходит до 30 минут на 1 рулон</p>					

Рис. 2. Предложение по оптимизации помещений

Название ППУ	Унификация заборов и ограждений	Подразделение	Отдел ЭРЭС	Дата регистрации	№
<p>До улучшения:</p> <p>Заборы и ограждения заводских площадок на территории завода имеют разную конфигурацию, внешний вид и технические характеристики. Из этого следует, что каждый случай строительного-ремонтных работ приводит к более долгому поиску требуемой документации, многочисленным замерным мероприятиям, осложнению согласований между структурными подразделениями завода.</p>					
<p>После улучшения:</p> <p>Сокращение времени на обращение к документации, производство работ и согласования, ввиду унификации и типизации решений по конфигурации новых или вновь возводимых ограждений. А также, единство внешнего вида.</p>					
<p>Проблема</p> <p>Частный индивидуальный подход проектных и строительных работ к каждой конструкции - повышение трудоемкости и трудозатрат, времени на реализацию работ. Неоднородный внешний вид.</p>					
<p>Предлагаемое улучшение</p> <p>Создание проектного бюро отдела 421 единой типовой конфигурации для новых или вновь возводимых ограждений.</p>					
<p>Результат</p> <p>Сокращение времени проведения работ и решения вопросов, связанных с ограждениями и заборами.</p>					
<p>До</p>			<p>Цель</p>		
<p>После</p>			<p>После</p>		

Рис. 3. Предложение по унификации заборов и ограждений

Концепция «бережливого производства» как метод эффективного управления и совершенствования производства применим во многих отраслях промышленности. В частности, умелым и осознанным использованием ее инструментов, в различных сферах строительной отрасли, можно добиться получения выгоды в трудовых ресурсах, сокращения временных затрат на выполнение работ и повышения качества продукции, что повлечет за собой экономически положительную динамику организации или предприятия.

Литература

1. Брит Н. В. Научная организация труда: новая версия / Н. В. Брит, Т. О. Кладова // Проблемы социально-экономического развития Сибири. – 2020. – № 1(39). – С. 9–12. – DOI 10.18324/2224-1833-2020-1-9-12. – EDN PJZKGD.
2. Бадыкшианова Р. М. Бережливое производство. Результаты применения lean-концепции на российских предприятиях / Р. М. Бадыкшианова, Е. Е. Богоявленская. – Текст : непосредственный // Инновационная экономика : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2016 г.). – Казань : Бук, 2016. – С. 71–74. – URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/218/11158>.
3. <https://journalpro.ru/articles/upravlenie-stroitelstvom-berezhliivy-podkhod/>
4. Шишова Л. С. Практика использования инструментов бережливого производства в транспортном строительстве / Л. С. Шишова, А. Н. Прокопов // Транспортное дело России. – 2023. – № 1. – С. 187-189. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_187. – EDN KBVFFA.
5. Зуева Е. С. Оптимизация расхода арматурных стержней – один из принципов бережливого производства / Е. С. Зуева, Н. В. Корягина, О. В. Тихонова // Новые технологии в учебном процессе и производстве : Материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17–19 апреля 2019 года. – Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», 2020. – С. 472–474. – EDN DIAYVG.
6. Касторных Л. И. Технологические решения для организации бережливого производства на предприятиях сборного железобетона / Л. И. Касторных, А. В. Каклюгин, В. Д. Черепанов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 8(68). – С. 175–187. – EDN UWMMWI.
7. Джусоев Г. Т. Использование метода бережливого производства при производстве автоклавного газобетона / Г. Т. Джусоев, А. З. Ефименко // Научные тенденции: вопросы точных и технических наук : сборник научных трудов по материалам VI международной научной конференции, Санкт-Петербург, 12 мая 2017 года. – Санкт-Петербург: ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. – С. 40–41. – DOI 10.18411/spc-12-05-2017-13. – EDN ZCTWMT.

8. ГОСТ Р 56020-2020 Бережливое производство. Основные положения и словарь.

9. ГОСТ Р 56906-2016 Бережливое производство. Организация рабочего пространства (5S).

10. ГОСТ Р 56407-2015 Бережливое производство. Основные методы и инструменты.

УДК 69.051

Артур Владимирович Зангиев,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: artur.zangiev@gmail.com

Artur Vladimirovich Zangiev,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: artur.zangiev@gmail.com

ДЕМОНТАЖ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

DISMANTLING OF BUILDINGS IN CONDITIONS OF DENSE URBAN DEVELOPMENT

В условиях строительства в плотной городской застройке, всегда встает вопрос сохранности расположенных в непосредственной близости зданий и сооружений, и организации повышенных мер безопасности при производстве демонтажных и монтажных работ. Для этого производится геотехнический мониторинг расположенных на расстоянии 30 метровой зоны зданий и грунтов, оценка влияния проводимых демонтажных работ на экологическую обстановку для представления понимания их воздействия на охраняемые здания. На стадии демонтажа фундаментов и зданий, геотехнический мониторинг проводится с целью обеспечения безопасности и только специализированными в данной области компаниями, которые занимаются геотехническими исследованиями и технологиями, включая проектирование и целый комплекс работ.

Ключевые слова: организация строительства, стесненные городские условия, жилые объекты, обследование, технологические решения, динамический мониторинг.

In the conditions of construction in dense urban areas, there is always a question of the safety of buildings and structures located in the immediate vicinity, and the organization of increased security measures during the dismantling and installation works. For this purpose, geotechnical monitoring of buildings and soils located at a distance of 30 meters is carried out, assessment of the impact of ongoing dismantling works on the environmental situation is carried out to provide an understanding of their impact on protected buildings. At the stage of dismantling foundations and buildings, geotechnical monitoring is carried out in order to ensure safety and only by companies specialized in this field that are engaged in geotechnical research and technology, including design and a whole range of works.

Keywords: organization of construction, cramped urban conditions, residential facilities, survey, technological solutions, dynamic monitoring.

Подготовка к демонтажу (сносу) фундаментов и зданий производится в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 апреля 2019 г. № 509 «Об утверждении требований к составу и содержанию проекта организации работ по сносу объекта капитального строительства».

Прежде чем приступить к работам по демонтажу здания, производится выведение здания из эксплуатации. Необходимо обязательно провести полное обследование общего технического состояния здания. Основными требованиями к обследованию являются соблюдение технических регламентов и нормативно технической документации. Обследование технического состояния демонтируемых зданий производится с целью получения необходимых исходных данных для разработки ПОС и ПОД [2].

Максимально тщательно в демонтируемых зданиях, особенно в условиях плотной городской застройки, обследуются несущие строительные конструкции; и предусматриваются следующие мероприятия:

- изучение и анализ документации, полученной при обследованиях, проведенных ранее, проектной документации;
- определяются типы отходов и их количество, на них составляются паспорта и, если это необходимо, определяется класс опасности отходов;
- определяются необходимые мероприятия по оградительным приспособлениям под конструкциями здания;
- выявление наиболее опасных и аварийных участков.

По результатам указанных мероприятий производится определение способности здания нести нагрузки, а также общее техническое состояние здания. Принимается решение о методах безопасного производства работ по демонтажу. Определяется возможность обрабатывать и/или утилизировать отходы прямо в зоне проведения демонтажных работ.

Указанные в ПОД мероприятия по выведению демонтируемого объекта из эксплуатации производятся в следующем порядке:

- отключаются и демонтируются\выносятся наружные инженерные сети, для чего получают технические условия ресурсоснабжающих\эксплуатирующих организаций, с последующим подтверж-

дением в виде актов об отключении здания от инженерных сетей, подписанными организациями, выдавшими технические условия;

- демонтируются внутренние инженерные системы и оборудование.

Вводы (выпуски) инженерных сетей, отключенные от магистральных наружных сетей, обычно демонтируются параллельно с демонтажем фундаментов.

На объектах и сооружениях производства выполняется демонтаж технологического оборудования, согласно требований паспортов и инструкций завода изготовителя, каждого конкретного демонтируемого оборудования.

Основным документом при демонтаже зданий и сооружений является проект организации работ по демонтажу. В данном проекте определяются методы и способы демонтажа, такие как:

- поэлементный демонтаж;
- комплексное обрушения здания;
- поэтапное понижение здания;
- комбинированный способ.

Во всех вариантах учитывается максимальная безопасность проведения работ и соблюдение экологических требований.

Порядок работ и их последовательность, включающая в себя меры по недопущению неконтролируемого обрушения конструкций демонтируемого здания на различных участках. Также рассматривается использование продуктов демонтируемого здания в качестве материалов для будущего строительства, например, как отсыпка котлована и их дальнейшая утилизация.

Требования к составу и содержанию проекта организации демонтажа приведены в Постановлении Правительства Российской Федерации от 26 апреля 2019 г. № 509 «Об утверждении требований к составу и содержанию проекта организации работ по сносу объекта капитального строительства» и Постановлении Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Для демонтажа здания, принимая за основу проект организации демонтажа разрабатывается проект производства работ. В данном

разделе определяются и описываются технологические процессы, необходимое оборудование и полный перечень мероприятий по безопасности. Данный раздел является развитием ПОД.

В проект производства работ по демонтажу здания входит:

- генеральный план;
- план участка работ включая прилегающую территорию;
- календарный график производства работ;
- описываются мероприятия по вывозу строительного мусора с объекта;
- необходимое количество средств механизации, инструментов и оборудования для демонтажа;
- технологическая карта демонтажа;
- маршрут вывоза строительного мусора;
- охрана труда и окружающей среды;
- промышленная безопасность.

В календарном графике производства работ обозначаются сроки демонтажа, а также последовательность выполнения работ; определяется необходимая потребность в средствах механизации и количестве рабочих; определяется срок вывоза строительного мусора.

Проект производства работ утверждается генеральной подрядной организацией. Отдельные разделы проекта производства работ по демонтажным работам, утверждаются подрядными организациями, выполняющими данные работы. Проект производства работ направляется на объект перед началом мероприятий по сносу здания.

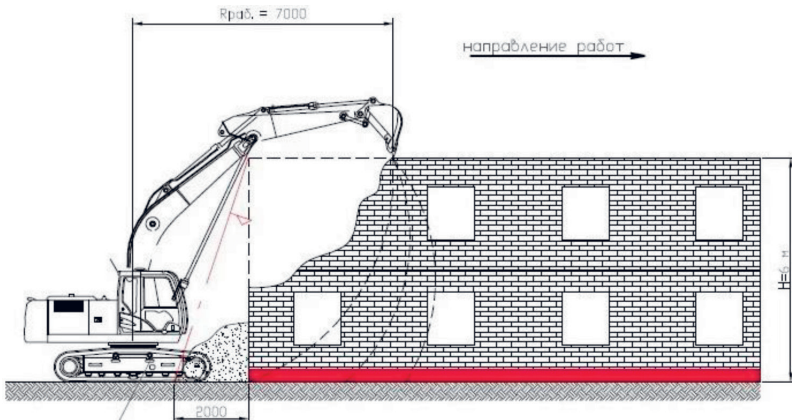
До выдачи разрешения на демонтаж, на объекте возможно проводить подготовительные работы, такие как – выкорчевывание деревьев и кустарников, просушка участка и его планировка, установка ограждения, устройство строительного городка, организация временных дорог, подключение к временным сетям электроснабжения и водоснабжения, а также водоотведения. Дополнительно решается производство работ по устройству пробных свай и шпунтового ограждения, а так же вынос инженерных сетей попадающих в зону производства работ.

Механизированная разборка фундаментов производится в основном экскаваторами с применением ковша и гидромолота. Экскаватор,

двигаясь вдоль оси фундамента, разбирает фундаменты на отдельные куски и перемещает их в отвал. По окончании разборки подземной части здания производится погрузка строительных отходов от фундаментов в автотранспорт, и вывозка на место размещения/использования строительных отходов.

Механизированная разборка подземной части здания производится в следующей последовательности: откопка оснований здания, дробление фундаментов, погрузка строительного мусора в самосвалы, вывоз строительного мусора на свалку.

Механизированная разборка зданий (см. рис.) производится поэтапно:



Механизированная разборка здания

- механизированная разборка здания;
- вывоз строительных отходов от разборки;
- планировка площадки после разборки.

При демонтаже зданий и сооружений чаще всего используют гусеничные экскаваторы так как имеют большую проходимость, более маневренны и устойчивы, на их передвижение в наименьшей степени влияет поверхность, по которой необходимо передвигаться, в отличие от колесных экскаваторов. Этот факт является основным

преимуществом при сносе здания, когда вокруг множество обломков от демонтируемого здания. Для колесного же экскаватора потребуется предварительная расчистка зоны производства работ, в противном случае он просто не сможет подъехать к основанию здания.

При сносе небольших зданий возможно использовать минимальное количество экскаваторов, так как один такой экскаватор в виду возможности оперативной замены навесного оборудования, такого как ковш, гидравлический молот или гидравлические ножницы, может выполнять в одиночку поставленные задачи. Процедура по замене навесного оборудования занимает несколько минут. Гидравлические ножницы в основном используют для демонтажа металлоконструкций и кровельных конструкций. Ковш – является более универсальным инструментом, им производится демонтаж стен, откопка фундаментов и кровли; производится погрузка мусора в самосвалы. Гидравлический молот в основном применяют для демонтажа железобетонных перекрытий и стен, лестничных маршей и дробления фундаментов.

В случае если демонтаж небольших зданий предусматривается на большой территории зачастую используют бульдозеры, с их помощью возможна быстрая расчистка территории посредством перемещения строительного мусора в место погрузки на самосвалы. А также зачастую бульдозеры используются, когда до момента сноса здания необходимо приступить к строительству нового объекта на освобожденной территории.

При механизированной разборке здания в условиях плотной городской застройки, проводится динамический мониторинг за параметрами колебаний конструкций охраняемых объектов. Исследование сооружений на действие сейсмических волн является очень сложной и комплексной по своей природе. Динамические свойства охраняемого здания при демонтаже в условиях плотной городской застройки, а также величины внешних сил влияют на эффект действия внешних сил на это здание.

Конструктивные элементы внутри здания, такие как стены, каркас, перегородки двери и т. д., получают перегрузки при демонтаже строения в 30 метровой зоне. Данные перегрузки зависят от силы

внешнего воздействия, а также от динамических свойств охраняемого здания в общем и каждого конструктивного элемента.

В виду большой сложности колебательных процессов, необходимо фиксировать три кинематических параметра этих процессов одновременно, таких как скорость, ускорение и смещение. Каждый из этих параметров предоставляет данные присущие только ему и содержит свойства исследуемых явлений. Таким образом получаются полные и актуальные данные о сейсмических воздействиях при демонтаже зданий на охраняемый объект.

Для получения информации о колебаниях в нескольких точках и по нескольким параметрам, применяются многоканальные сейсмоприемники. Использование таких приемников дает возможность сравнивать движения грунта в различных точках одновременно.

Сейсмоприемник устанавливался на охраняемых объектах в непосредственной близости к месту проведения работ по разборке фундаментов зданий, разборке демонтируемого здания.

Оценка измерений колебаний проводится в соответствии со следующими нормативными документами:

1. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых.
2. ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и
3. городской застройки. ВСН 490-87, М., 1988.
4. Вибрационная безопасность. Общие положения. ГОСТ 12.1.12-90.
5. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий СН 2.2.4/2.1.8.566-96, М., 1997.
6. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. ТСН 50-302-2004, СПб., 2004.

По результатам динамического мониторинга составляется отчет с указанием всех характеристик защищаемых объектов, а также оборудования применяемого для контроля, с последующими выводами об оказании влияния различных видов работ на охраняемые объекты.

По завершению демонтажа здания в условиях плотной городской застройки подготавливается уведомление о завершении производства работ по сносу объекта капитального строительства.

Демонтаж (снос) зданий в стесненных городских условиях требует тщательной разработки проекта организации строительства. Проект организации демонтажа обязательно дополняется проектом производства работ. Демонтаж зданий требует усиленных мер по контролю (мониторингом) за состоянием охраняемых объектов и организационно-технологических решений.

Литература

1. *Кужин М. Ф.* Исследование организационных вопросов сноса и демонтажа зданий жилищно-гражданского назначения в условиях реновации городских территорий. *Инженерный вестник Дона*, 2021 3 с.
2. *Коптилова А. С.* Особенности строительства в условиях плотной городской застройки // Молодой ученый. 2017. № 49. С. 59–61.
3. *Идиятишина Э. Н., Фомин Н. И.* Сравнительный анализ методик оценки технического состояния жилых зданий для признания их аварийными и подлежащими сносу // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 1 *Инженерный вестник Дона*, 2016.
4. *Чебанова С. А., Николаева Ю. С.* О необходимости восстановления нарушенных при строительстве территорий // Научные исследования высшей школы в области строительства и архитектуры: сб. ст. Междунар. практ. конф. (5 фев. 2018 г., г. Новосибирск). Уфа, 2018. С. 138–140.
5. *Вильман Ю. А.* Технология строительных процессов и возведения зданий. Современные прогрессивные методы. Москва: АСВ, 2013. 336 с.
6. *Прыкина Л. В., Горячев О. М., Бунькин И. Ф.* Организационно технические основы возведения жилых зданий в стесненных условиях // *Механизация строительства*. 2009. №1. с. 37–41.
7. *Горячев О. М., Прыкина Л. В.* Особенности возведения зданий в стесненных условиях. М.: Academia, 2003. 272 с.
8. *Бутенко Е. А.* Организация городского строительства. ВолгГАСУ. 2015 г. 34–41 с.

УДК 69.059

Екатерина Сергеевна Занина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: zanina.e.s@yandex.ru

Ekaterina Sergeevna Zanina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: zanina.e.s@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ТИПОВЫХ ЗДАНИЙ В РАЙОНАХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ

SPECIFICS OF ORGANIZING THE RECONSTRUCTION OF TYPICAL RESIDENTIAL BUILDINGS IN DENSELY BUILT-UP AREAS

В последние годы плотность населения в городах только увеличивается, что приводит к необходимости использовать зоны уже существующей застройки более эффективно. На этом фоне реконструкция зданий, эксплуатационные характеристики которых находятся в пригодном состоянии, становится все более актуальной. Однако, в условиях плотной застройки возникают сложности, которые должны быть учтены при ее организации. В данной статье проанализированы особенности организации реконструкции жилых типовых зданий в условиях плотной застройки.

Ключевые слова: типовая серия, советская застройка, реконструкция, жилищный фонд, пятиэтажная застройка, модернизация.

In recent years, population density in cities has only increased. This leads to the need to use the areas of existing buildings more efficiently. Against this background, the renovation of buildings whose performance characteristics are in a suitable condition is becoming increasingly important. However, difficulties arise in the context of dense built-up areas. They have to be taken into account in its organization. In this article, the question of organizing the refurbishment of typical residential buildings in densely built-up areas will be discussed.

Keywords: typical series, USSR building, reconstruction, housing stock, five-story building, modernization.

На сегодняшний день каждый второй гражданин России живет в типовом многоквартирном доме, построенном в Советском Союзе в эпоху индустриального жилищного строительства.

Десятилетия эксплуатации таких зданий привели к их техническому устареванию, а в некоторых случаях и моральному. Типовые дома советского периода постепенно ветшают и отпавляются под снос, уступая место многоэтажным новостройкам.

Однако, помимо сноса, есть еще одно решение проблемы эффективного использования зоны существующей застройки – реконструкция многоквартирных домов советского периода. Благодаря реконструкции дома можно превратить в жилье высокого качества, которое соответствует потребностям современных жителей мегаполисов.

Статистика показывает, что в последние годы в России были проведены значительные работы по реконструкции жилых домов типовых серий. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, в 2021 году было реконструировано более 383,4 тысячи жилых домов общей площадью 114,4 миллионов квадратных метров [1]. Это на 5 % больше, чем в предыдущем году.

По словам научного руководителя ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» А.С. Кривова [2] в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» планируется ежегодное улучшение жилищных условий 5 млн семей, которое может обеспечиваться несколькими способами, в том числе к ним могут быть отнесены проведение капитального ремонта, санации, модернизации, реконструкции жилья, прежде всего за счет повышения энергоэффективности зданий.

Зарубежные данные также говорят о том, что реконструкция типовых домов популяризируется в европейских и западных странах.

Так, по статистическим данным Гарвардского объединенного центра жилищных исследований [3], в США ожидается увеличение рынка реконструкции жилья на 17 % относительно 2021 года.

По прогнозам, после 2022 года рынок ремоделирования жилья продолжит расти. В Германии на протяжении трех десятилетий ежегодно вручают премию Deutsche Bauernpreis [4] за лучшие проекты качественного и в то же время экономичного жилья, как нового строительства, так и реконструируемых типовых домов.

Вопросы реконструкции в условиях плотной застройки рассматривались в научных работах из разных областей, таких как градо-

строительство, архитектура, инженерное строительство, экономика и др. Например, в работе «Особенности реконструкции жилой застройки» авторы Цуканов В. В. и Бурдинов Д. Т. [5] рассматривают вопрос выбора эффективных методов и способов реконструкции многоквартирных жилых домов старого фонда.

Также в работе «Проблемы реконструкции в стесненных условиях городской застройки» авторы Якушев Н. М. и Красноперова Т. Ю. [6] рассматривают проблемы плотной застройки центральной части российских городов и возможность реконструкции зданий в стесненных условиях. Многие другие научные исследования также рассматривали вопросы реконструкции жилых домов, в том числе с точки зрения укрепления конструкций, сохранения архитектурных ценностей и энергоэффективности.

Заключительным этапом по теме исследования особенностей организации реконструкции жилых типовых зданий в районах плотной застройки будет являться разработка практических рекомендаций и предложений по оптимизации процесса.

Процесс реконструкции жилых домов в условиях плотной застройки имеет свои особенности, которые могут повлиять на продолжительность и успешность проекта.

Одной из основных особенностей является необходимость соблюдения строгой дисциплины и планирования при выполнении работ. В связи с тесным расположением зданий, а также наличием противопожарных и санитарных норм, требуется проведение масштабных инженерных работ с использованием специального оборудования. Ограниченность территории часто приводит к использованию ручного инструмента и в такой ситуации крайне важно выполнение мероприятий по технике безопасности, которые необходимо предусмотреть в технологической карте, разрабатываемой на подобные виды работ в обязательном порядке. Кроме того, необходимо учитывать негативное влияние на жителей домов, ограничивая при этом шум и пыль, а также обеспечивая безопасность прохожих в непосредственной близости к территории реконструкции, например, ограждение площадки строительства, маркировка территории, использование защитных экранов и т. д.

При производстве реконструкционных работ необходимо учитывать особенности зданий, такие как возраст, конструктивные особенности и прочность фундамента, чтобы избежать повреждения несущих конструкций. Также необходимо выявить скрытые работы, такие как коррозия металлических конструкций, скрытые трещины и т. д. Проведение полного обследования здания перед началом работ является существенным моментом во избежание непредвиденных проблем. Важно выбрать технологии и материалы, применяемых в процессе реконструкции. Они должны учитывать особенности здания, обеспечивать его долговечность, а также быть экологически безопасными.

В значительной части российских городов реконструкция многоквартирных жилых домов носит проблемный характер. Это связано как с геологической ситуацией – «слабым грунтом», так и жестким законодательным регламентом. Поэтому реконструкция многоквартирных домов предусматривает усиление несущих конструкций существующих зданий, использование щадящих технологий и комплексное обследование существующего здания.

Для выполнения основных работ по реконструкции необходима инженерная подготовка. Например:

- необходимость увеличить несущую способность основания под ленточным фундаментом требует установки наклонных буронабивных, буроинъекционных или вдавливаемых свай, что требует специальной техники и оригинальных технологий;
- при расширении площади опоры фундамента отметка дна котлована под дополнительный элемент не может быть ниже отметки подошвы существующей конструкции во избежание выпирания грунта. Для откопки котлованов в высокоплотных районах застройки потребуются предварительная установка шпунтовых рядов, закрепляющих вертикальные стенки мест выемки грунта;
- для установки дополнительных проемов в несущих стенах, необходимости увеличения площади опирания плит перекрытия, для устройства каркаса мансардного этажа целесообразно применение металлоконструкций эффективного стального гнутого про-

филя. Такие усилительные элементы имеют небольшой вес, позволяющий минимизировать дополнительные нагрузки на фундамент.

Необходимо использовать эффективные методы управления стройкой, такие как планирование и координация работ, контроль качества и сроков выполнения работ, управление бюджетом и прочее. Реконструкция должна проводиться с учетом комплексного подхода, включающего различные аспекты, такие как изменение планировки помещений, улучшение инженерных систем, энергоэффективность и т. д.

Нужно предугадывать проблемы и риски, которые могут возникнуть при проведении реконструкционных работ. Они могут включать в себя:

- ограниченное пространство для размещения оборудования и материалов, что может затруднить проведение работ;
- нарушение статического равновесия зданий при проведении реконструкции, особенно в случае устаревших зданий, что может привести к повреждению зданий и домов;
- риск причинения вреда окружающим зданиям и объектам, так как реконструкция может влиять на фундаменты и другие элементы соседних зданий;
- нарушение экологической безопасности, так как реконструкция может привести к выбросу опасных веществ и загрязнению окружающей среды;
- нарушение требований безопасности труда при проведении работ, так как ограниченное пространство может создавать опасные условия;
- увеличение стоимости работ из-за необходимости использования дополнительных технологий и методов работы в условиях плотной застройки.

Для оптимизации процесса реконструкции жилых типовых зданий в условиях плотной застройки можно использовать следующие практические рекомендации и предложения:

- проанализировать пространственную среду и особенности жилого квартала, где будет проходить реконструкция. Как правило, в плотно застроенных районах проекты требуют хорошего

понимания среды, наличия точной проработки проектной документации и геодезических изысканий;

- определить потребности в техническом оборудовании и материалах, а также разработать план согласования, чтобы сократить до минимума негативное влияние на жилые дома во время реконструкции;

- учитывать экологические аспекты, такие как утилизация отходов и выброс остатков строительных материалов. Это поможет предотвратить возможное загрязнение окружающей среды во время реконструкции и создать благоприятные условия для проживания жителей рядом с объектом работ;

- разработать план мероприятий по безопасности труда и обеспечению безопасности во время проведения работ. Это включает риск-оценку, оценку требуемого оборудования и экипировки, а также организацию аварийных служб, работу с медиабезопасностью и информирование жителей;

- следить за планированием и сроками реконструкции, контролировать работу подрядчиков, чтобы оптимизировать сроки проекта и свести к минимуму дополнительные затраты;

- для минимизации рисков и оптимизации процесса реконструкции важно подготовить полный комплект документов в соответствии с нормативно-правовой базой, поставленными задачами и требованиями заказчика.

Исходя вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Ключевые особенности планирования и организации реконструкционных работ в условиях плотной застройки связаны с учетом комплексного подхода, особенностей зданий, безопасности, выбором технологий и материалов, а также использованием эффективных методов управления стройкой.

2. При проведении реконструкции в условиях плотной застройки, важно принимать во внимание данные проблемы и риски, и разрабатывать соответствующие планы мероприятий для минимизации рисков и уменьшения возможных отрицательных последствий.

3. Одним из главных путей оптимизации является своевременное и правильное планирование работ. Также очень важно прово-

дить экологическую оценку структурных изменений и выстраивать хорошие коммуникации с жителями и администрацией района.

В заключении можно сказать, что реконструкция жилых домов в условиях плотной застройки является сложным процессом. Однако, если выполнить все работы в соответствии с требованиями и нормами, реконструкция позволит улучшить условия жизни жителей и повысить комфортность проживания в доме.

Литература

1. Строительство в России. – Текст: электронный // Росстат: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13227> (дата обращения: 25.04.2023).
2. *Кривов А. С.* О реконструкции жилого фонда в национальном проекте «Жилье и городская среда» / А. С. Кривов. – Текст: электронный // УРТ: [сайт]. – URL: <https://urtmag.ru/public/829/> (дата обращения: 25.04.2023).
3. *Mariotti T.* Home Remodeling Statistics: Trends and ROI (2023) / Т. Mariotti. – Текст: электронный // RubyHome: [сайт]. – URL: <https://www.rubyhome.com/blog/home-remodeling-stats/> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Deutscher Bauherrenpreis Hohe Qualität – Tragbare Kosten im Wohnungsbau. – Текст: электронный // BDA-Bundesverband: [сайт]. – URL: <http://www.deutscherbauherrenpreis.de/> (дата обращения: 25.04.2023).
5. *Цуканов В. В.* Особенности реконструкции жилой застройки / В. В. Цуканов, Д. Т. Бурдинов. – Текст: непосредственный // Бюллетень науки и практики. – 2020. – № 5. – С. 286–290.
6. *Якушев Н. М.* Проблемы реконструкции в стесненных условиях городской застройки / Н. М. Якушев, Т. Ю. Красноперова. – Текст: непосредственный // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. – Ижевск : ИННОВА, 2016. – С. 875–878.

УДК 69.051

Ксения Алексеевна Козлова,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: ksenia_alekseevna_99@mail.ru

Kseniya Alekseevna Kozlova,

Master's degree student

(Saint-Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: ksenia_alekseevna_99@mail.ru

ВЛИЯНИЕ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

INFLUENCE BIM MODELING ON THE CONSTRUCTION CONTROL PROCESS

Безопасность зданий и сооружений зависит от проведения строительного контроля над всеми видами строительного-монтажных работ. Строительный контроль позволяет обеспечить своевременную реализацию проекта, соответствие возводимого объекта проекту и утвержденной смете, соблюдение строительных норм и правил при выполнении работ, соответствие материалов государственным стандартам и нормам, а также дает подтверждение безопасности строительного-монтажных работ. Для строительного контроля также можно применять BIM-технологии. По данным Минстроя России внедрение технологий информационного моделирования позволяет на 30 % сократить затраты на строительство и эксплуатацию, снизить ошибки и погрешности в проектной документации до 40 %, сократить сроки проектирования на 20–50 %, уменьшив совокупное время на разработку проекта архитекторов и технологов на 10–20 %, сократить сроки строительства на 10 %, и в целом сжать сроки реализации проекта до 50 %. Кроме того, благодаря BIM-технологиям в 6 раз уменьшается время на проверку модели, в 4 раза снижается планирование погрешности бюджета, а также срок координации участников строительства и согласование проектных изменений сокращается до 90 %.

В статье рассматривается применение BIM-технологии в России, жизненный цикл здания и то, каким образом внедрение технологий информационного моделирования объектов капитального строительства позволит оптимизировать и получить наибольшую эффективность при проведении строительного контроля.

Ключевые слова: строительство, контроль, качество, строительного-монтажные работы, строительный контроль, жизненный цикл, BIM-технологии, информационное моделирование, программное обеспечение.

The safety of buildings and structures depends on construction control over all types of construction and installation work. Construction control allows us to

ensure timely implementation of the project, compliance of the constructed facility with the project and the approved estimate, compliance with building codes and regulations when performing work, compliance of materials with state standards and norms, and also provides confirmation of the safety of construction and installation work. BIM technologies can also be used for construction control. According to the Ministry of Construction of Russia, the introduction of information modeling technologies makes it possible to reduce construction and operating costs by 30 %, reduce errors and inaccuracies in design documentation by up to 40 %, reduce design time by 20–50 %, reducing the total time for project development by architects and technologists by 10–20 %, reduce construction time by 10 %, and overall reduce project implementation time to 50 %. In addition, thanks to BIM technologies, the time for checking the model is reduced by 6 times, budget error planning is reduced by 4 times, and the time for coordinating construction participants and approving design changes is reduced by up to 90 %.

The article discusses the use of BIM technology in Russia, the life cycle of a building, and how the introduction of information modeling technologies for capital construction projects will allow optimization and the greatest efficiency in carrying out construction control.

Keywords: construction, control, quality, construction and installation works, construction control, life cycle, BIM technologies, information modeling, software.

BIM (Building Information Model) – с английского переводится как информационное моделирование здания. Применение технологии информационного моделирования заключается в трехмерном проектировании и создании цифровых 3D моделей зданий. Данные технологии изначально начали применять для решения расчетных задач в строительстве, с помощью нескольких программ автоматизированного проектирования и черчения, а также сметных расчетных комплексов. Сейчас BIM-технологии представляют собой целые системы управления: от проектирования зданий, сооружений, инженерных коммуникаций до автоматизации систем контроля объектов государственного надзора.

Таким образом, технологии информационного моделирования можно применять и при осуществлении строительного контроля. При его автоматизации все контрольные проверки могут выполняться в электронном виде с помощью просмотра 3D модели, благодаря чему, присутствие контролирующих органов на строительной площадке не обязательно.

Для того чтобы отслеживать возможные отклонения от проекта, необходимо при выполнении строительно-монтажных работ проводить лазерное сканирование объекта в режиме реального времени, а также в обязательном порядке фиксировать скрытые работы, обновляя информацию обо всех проведенных работах в программе BIM-моделирования. Также информационная модель должна отображать информацию об отклонениях от проекта, обнаруженных при проведении приемочного контроля, чтобы, не теряя время, согласовывать решения о необходимых изменениях с заказчиком и проектировщиком в виртуальном пространстве [1].

Работа с информационной моделью предполагает сбор, хранение обработку всей имеющейся информации о здании: архитектурной, конструктивной, организационной, технологической, экономической и иной информации, чтобы 3D модель здания рассматривалась как единый комплекс.

Основными составляющими успешной и эффективной информационной модели являются: актуальные и достоверные данные о здании, продуманная и организованная структура данных, классификация и правильное определение взаимосвязей между отдельными частями проекта, понятный и удобный интерфейс управления данными, возможность доступа и работы с моделью для всех участников проекта, а также возможность передачи информации во внешние системы для дальнейшей работы с 3D моделью [2].

На рис. 1 представлена структурная схема BIM-технологии, включающая все этапы жизненного цикла объекта: от самых ранних концепций до рабочего проектирования, строительства, эксплуатации и демонтажа.

Сейчас BIM-технологии в России чаще всего используют при проектировании. Это позволяет выявить всевозможные коллизии (например, пересечение инженерных систем) и в интерактивном режиме согласовать со всеми участниками проекта и скоординировать их исправление.

Применяются 3D модели и на следующем этапе – для строительного мониторинга и контроля. Это позволяет получать актуальную информацию о текущем состоянии каждого объекта и сфор-

мировать точную аналитическую, статистическую и финансовую отчетность о ходе работ.



Рис. 1. Жизненный цикл здания

Реже всего сейчас BIM-модель используется при эксплуатации объектов. Но именно этот этап жизненного цикла здания является самым важным и продолжительным, так как в этот период можно получить наибольшую эффективность от использования информационной модели. При своевременном заполнении модели актуальными данными с самого начала проектирования объекта, в дальнейшем, регулярно обновляя информацию, можно отслеживать текущее состояние здания, его конструкций, состояние инженерных систем и оборудования. Кроме того, BIM-модель будет не просто базой данных, но и наглядной средой визуализации, а также позволит сократить расходы на последующую эксплуатацию здания до 35 % [3].

Заказчики инвестиционно-строительных проектов чаще всего сталкиваются с такими проблемами строительной отрасли как: превышение бюджетов, неправильное прогнозирование сроков, задержки поставок оборудования и материалов, качество строительства. Многие заказчики считают, что затраты на жизненный цикл

объекта и все расходы, возникающие во время эксплуатации объекта намного больше, чем затраты на этапе строительства. Однако именно заказчики и эксплуатирующие организации получают наибольшую выгоду от использования 3D модели здания, поэтому для них важно понимание пользы от применения технологий информационного моделирования к их проектам, преимущества среди конкурентов при внедрении BIM-технологии, а также соответствие современным требованиям рынка [4].

Таким образом, чтобы минимизировать превышение бюджетов, более точно спрогнозировать сроки окончания строительства, своевременно организовывать поставки материалов и оборудования, а также отслеживать качество строительства, необходимо внедрять BIM-технологии в проведение строительного контроля над реализацией инвестиционно-строительных проектов. Рассмотрим подробнее, каким образом внедрение технологий информационного моделирования объектов капитального строительства позволит оптимизировать и получить наибольшую эффективность при проведении строительного контроля.

1. Контроль за затратами на строительство.

Основной проблемой при строительстве является увеличение стоимости проекта, то есть перерасходование средств, заложенных сметой на реализацию проекта. В среднем две трети завершённых проектов превышают свою изначальную сметную стоимость на 80 %. На этапе окончания строительства мы имеем возможность оценить точность составления изначальной сметы, которая может зависеть от изменений на рынке, наличия инфляции в период между оценкой стоимости проекта и его реализацией, внесения изменений в проект и проблем качества выполнения строительного-монтажных работ.

Технологии информационного моделирования позволяют более точно определить и просчитать объемы работ, что имеет важное значение для определения стоимости проекта и, как следствие, снижения финансовых рисков. Это наиболее важно на начальной стадии проектирования, когда принятые решения сильно влияют на дальнейшую стоимость строительства.

2. Контроль сроков реализации проекта.

Работа с информационной моделью упрощает внесение изменений в проект и ускоряет процесс обновления проектной документации, а перефабрикация строительных конструкций на основе данных модели значительно сокращает продолжительность всего проекта от его утверждения до завершения строительства и ввода объекта в эксплуатацию. Все участники инвестиционно-строительных проектов стремятся укладываться в график строительства, но только использование цифровых информационных моделей позволяет лучше реагировать на непредвиденные обстоятельства и оставаться в графике производства работ за счет возможностей планирования, предоставляемых 4D-моделями.

3. Наглядное представление объекта строительства.

Основное преимущество использования технологии информационного моделирования заключается в том, что модель в трехмерном пространстве изначально позволяет воспринимать объект капитального строительства как единое целое, способствуя лучшему и более наглядному пониманию проектных решений всеми участниками инвестиционно-строительного проекта. Таким образом, четкая трехмерная визуализация объекта строительства является очень важным преимуществом использования технологии информационного моделирования.

4. Улучшение планирования строительства.

Планирование, управление и мониторинг необходимы на всех этапах жизненного цикла объекта. Использование технологий информационного моделирования необходимо для того, чтобы улучшить процесс контроля качества планирования на стадии проектирования, а затем, на стадии строительства процесс проведения строительного контроля, который включает в себя: анализ ситуации на строительной площадке, контроль сроков строительства и стадии завершения работ, анализ объемов выполнения строительного-монтажных работ и их качества, а также охрана труда. BIM-модель синхронизируется с календарным графиком строительства и, благодаря его анализу, можно выявлять ошибки планирования, визуально устанавливать пересечения ресурсов календарно-сетевого графика, получать

аналитические данные о потребности в материалах, загрузке кранов и доставке ресурсов на строительную площадку.

5. Повышение качества управления и контроля за строительством.

Использование единого источника информации – среды общих данных – гарантирует эффективное взаимодействие между всеми сторонами, участвующими в строительстве, позволяет повторно использовать проверенные, согласованные и актуальные данные и обмениваться ими без потерь и искажений. Используемое программное обеспечение обеспечивает доступ к этим данным для всех элементов проекта через внутреннюю базу данных. Эта информация может использоваться для оказания помощи в управлении проектом на всех его стадиях. Технология информационного моделирования обеспечивает большую степень контроля и максимальную прозрачность всего процесса реализации проекта. BIM-технологии позволяют повысить вероятность реализации проекта в установленный срок и снизить риски превышения сметы проекта.

6. Улучшение коммуникаций и процесса принятия решений.

Применение BIM-технологии способствует улучшению коммуникаций между всеми участниками инвестиционно-строительного проекта, так как они более информированы обо всех принятых решениях касательно проекта, благодаря предоставлению достоверной, актуальной и своевременной информации. Процесс изучения моделей объектов в виртуальной среде позволяет легче и быстрее согласовывать проектные решения, а также анализировать, проверять и оценивать их качество. Улучшение коммуникаций между участниками строительного проекта сильно ускоряет процесс принятия решений, устранения дефектов и способствует решению основных проблем заказчика, таких как сроки и стоимость строительства, безопасность эксплуатации, функциональность, эстетика и комфорт здания.

В строительстве необходим постоянный контроль над всеми строительно-монтажными работами, так как от этого будет зависеть дальнейшая безопасность зданий и сооружений. Осуществление технического надзора объектов строительства с помощью BIM-

технологий приводит к уменьшению рисков для инвесторов и повышению безопасности зданий и сооружений. BIM-модель содержит достоверную информацию об особенностях объектов строительства. Кроме того, к информационной модели имеют доступ все участники строительства, вне зависимости от их местоположения, что позволяет собрать все обнаруженные дефекты и замечания в единой информационной системе (рис. 2).

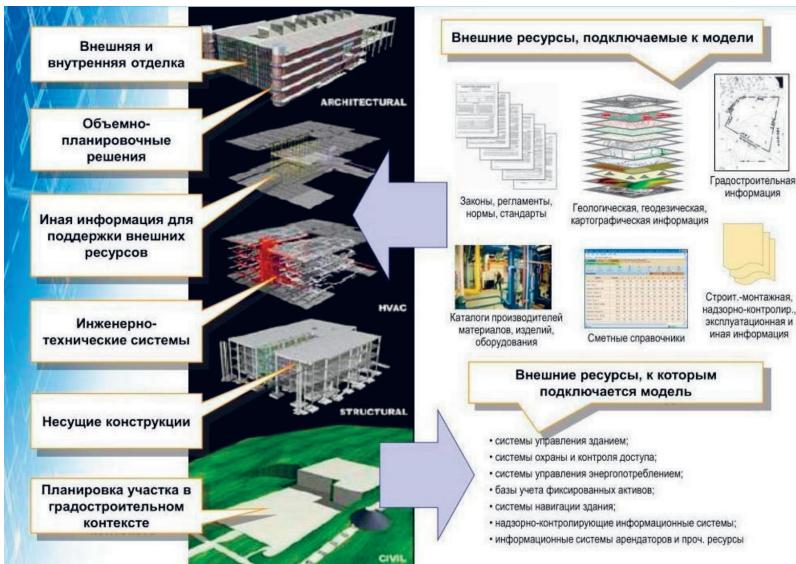


Рис. 2. Состав информационной модели строительного объекта

«СтройКонтроль» – облачное решение для контроля качества выполнения строительных работ, позволяющее в едином пространстве всем участникам инвестиционно-строительного проекта отслеживать процесс выполнения работ и выдавать распоряжения кому-либо с помощью мобильных устройств. Данный программный комплекс разработан первой IT-компанией в реестре российского ПО, которая внедряет облачные программные продукты для строительства и эксплуатации – «Мобильные решения для строительства».

Главными преимуществами использования программного комплекса «СтройКонтроль» являются контроль сроков строительства, способствующий увеличению скорости устранения нарушений в 7 раз; снижение дополнительных затрат, благодаря чему, можно сэкономить от 1 % до 5 % от СМР на дополнительных работах; а также контроль за подрядчиками, позволяющий зафиксировать 100 % выявленных нарушений при выполнении строительно-монтажных работ.

При использовании данного облачного решения можно существенно упростить процесс взаимодействия всех участников строительства, устранения замечаний в режиме реального времени, последующей приемки работ. Кроме того, программный комплекс позволяет автоматизировать операционный и приемочный контроль, работу с чертежами и документацией, сбор фактов со строительной площадки.

Программа «СтройКонтроль» предполагает работу с актуальной рабочей документацией, так как блок документации позволяет работать с BIM, поддерживает 9 форматов чертежей: DWF, SVG, PDF, XPS, JPG, JPEG, BMP, TIFF, PNG; а интеграция с PDM системой гарантирует актуальность чертежей, исключая человеческий фактор.

Среди наиболее выгодных инструментов и функциональных возможностей можно отметить возможность хранения всех сформированных документов в системе, список участников строительного проекта с разделением по ролям, формирование различных графиков с цифровыми данными о проекте, фотофиксацию прямо из приложения и прикрепление файлов с геопозицией, отметку мест нарушений на рабочих чертежах, а также выбор исполнителя замечания из списка участников и отметка статуса замечания: открыто/выполнено/проверено.

Программный комплекс может использоваться в жилищном, гражданском, промышленном, транспортном, инфраструктурном, нефтегазовом строительстве, работает на всех устройствах: персональных компьютерах, планшетах и смартфонах, как в онлайн, так и оффлайн режиме, что позволяет работать даже на удаленных

объектах. А также, данное облачное решение создано и основано на нормах российского строительного законодательства.

Таким образом, привлечение компетентной службы технического контроля, оптимальная организация работы службы материально технического снабжения и применение современных компьютерных технологий (BIM) позволят в значительной степени решить такие проблемы строительства как безопасность строительства и дальнейшей эксплуатации объекта, соблюдение сроков строительства и как следствие снижение нормы накладных расходов, снижение процента потерь материалов заложенного сметой, минимизация ошибок возникающих при стыковке различных разделов проекта, контроль всего процесса строительства как на этапе проектирования и строительства, так и в дальнейшей эксплуатации возводимого объекта строительства.

Рассмотрев применение BIM-технологии в России, жизненный цикл здания и то, каким образом внедрение технологий информационного моделирования объектов капитального строительства позволит оптимизировать и получить наибольшую эффективность при проведении строительного контроля, мы определили, как привлечение BIM-моделирования влияет на процесс проведения строительного контроля:

1. Контроль за затратами на строительство, точное определение объемов работ и улучшение процесса составления сметы, снижение финансовых рисков.

2. Контроль сроков реализации проекта, сокращение продолжительности всего проекта, нахождение в графике производства работ за счет возможностей планирования, предоставляемых 4D-моделями.

3. Наглядное представление объекта строительства в виде модели в трехмерном пространстве, улучшенное понимание проектных решений всеми участниками проекта.

4. Улучшение планирования, контроля и мониторинга строительства, проведение анализа ситуации на строительном объекте, контроль сроков и выполненных объемов работ, а также анализ качества строительного-монтажных работ и охраны труда.

5. Повышение качества управления и контроля за строительством, эффективное взаимодействие всех участников строительства, доступ к этим данным для любого элемента проекта.

6. Улучшение коммуникаций и процесса принятия решений, предоставление достоверной, актуальной и своевременной информации.

Литература

1. Соколов Н. С., Михайлова С. В. Организация технического надзора с помощью BIM-технологий при строительстве нефтеперерабатывающего завода. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), № 4 (73), 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-tehnicheskogo-nadzora-s-pomoschyu-bim-tehnologiy-pri-stroitelstve-neftepererabatyvayuschego-zavoda/viewer/>

2. Талапов В. В. О некоторых принципах, лежащих в основе BIM. // Известия вузов. Строительство, № 4(688), 2016. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26323041_74672067.pdf/

3. Шуйкова В. И. Уровень внедрения BIM-технологий в России. // Инновации. Наука. Образование. № 34, 2021. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46320455_31211526.pdf/

4. Куневич С. Н., Пащинский И. М. Преимущества информационного моделирования для заказчика. // Молодой ученый. Сборник статей X Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2023. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50230469_12235391.pdf/

5. Статья № 53. // «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/5cbb8e792a7a0d3653cf7ccce0de76f92e1d08d8/

6. «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства» // Постановление Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 468. – URL: <https://base.garant.ru/12176727/>

7. Методология строительного контроля. // Модуль СПбГАСУ. – URL: <https://filer.spbgasu.ru/mnt/ofslow/file/box/ipk/БИ-03%200820/Модуль%202.%20Методология%20строительного%20контроля%200820.pdf/>

УДК 65.012.26.69

Федор Феликсович Марков,

магистрант

Василя Касимовна Нefeldова,

канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: markovff@gmail.com,

vkn7@mail.ru

Fedor Felixovich Markov,

Master's degree student

Vasilya Kasimovna Nefeldova,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: markovff@gmail.com,

vkn7@mail.ru

КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ: ПРИНЦИПЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ

INTEGRATED TERRITORIAL DEVELOPMENT: PRINCIPLES OF EFFECTIVE PROJECT IMPLEMENTATION

В настоящей научной статье рассматриваются принципы эффективной реализации проектов по комплексному развитию территорий. Комплексное развитие представляет собой системный подход к планированию и реализации проектов, охватывающих различные сферы жизни на определенной территории. В статье анализируются ключевые принципы, необходимые для успешной реализации таких проектов, и предлагаются рекомендации по их применению. Исследование основано на анализе существующих проектов комплексного развития территорий и опыте их внедрения.

Ключевые слова: комплексное развитие территорий, принципы, эффективная реализация проектов, системность и целостность, участие и вовлеченность заинтересованных сторон.

This scientific article discusses the principles of effective implementation of projects on integrated development of territories. Integrated development is a systematic approach to the planning and implementation of projects covering various spheres of life on a particular territory. The article analyzes the key principles necessary for the successful implementation of such projects and offers recommendations on their application. The study is based on the analysis of existing projects of integrated development of territories and the experience of their implementation.

Keywords: integrated development of territories, principles, effective implementation of projects, consistency and integrity, participation and involvement of stakeholders.

Федеральным законом от 30 декабря 2020 года № 494 «О внесении изменений в Градостроительный Кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий», направленным на обновление жилищного фонда и обеспечение нового уровня городской среды, предусматривается реализация различных программ обновления городской застройки с привлечением внебюджетных источников. В настоящее время заинтересованные лица, в том числе застройщики, изучают обновленный Градостроительный кодекс Российской Федерации с целью его практического применения. В профессиональной среде есть понятный интерес к различным видам комплексного развития территорий [2]. Комплексное развитие территорий является важной стратегической задачей для обеспечения устойчивого социально-экономического прогресса. Оно предполагает не только развитие отдельных секторов, но и создание благоприятной инфраструктуры, улучшение качества жизни населения и охрану окружающей среды. В данной статье мы обсудим ключевые принципы, которые необходимо учесть при реализации проектов комплексного развития территорий, и предложим рекомендации для их эффективного применения.

Инициация принципов должна быть аргументирована с позиции трех ключевых точек, в частности, определения основных факторов успеха реализации проекта, проектного пути погружения и сравнения с зарубежными аналогами на уровне эффективности и воплощения в жизнь [5].

Принцип системности и целостности является фундаментальным при реализации проектов комплексного развития территорий. Он предполагает рассмотрение территории как единой системы, где все аспекты развития взаимосвязаны и взаимозависимы. В данном разделе статьи мы рассмотрим три ключевых принципа, связанных с системностью и целостностью проектов комплексного развития территории.

1. Определение общей стратегической цели проекта комплексного развития территории: первым шагом при разработке проекта комплексного развития территории является определение общей стратеги-

ческой цели. Эта цель должна быть ясно сформулирована и отражать потребности и приоритеты территории. Например, целью может быть создание инновационного экономического центра, улучшение качества жизни населения или сохранение и развитие природных ресурсов. Определение общей стратегической цели позволяет выстраивать все последующие шаги проекта в соответствии с ней.

Разработка механизмов взаимодействия и сотрудничества между различными секторами и заинтересованными сторонами: комплексное развитие территорий требует участия и сотрудничества различных секторов, организаций и групп заинтересованных сторон. Важно создать механизмы взаимодействия, которые обеспечат эффективное сотрудничество между ними. Это может включать создание координационных органов, партнерских соглашений или сетей для обмена информацией и опытом. Такой подход позволяет объединить ресурсы и экспертизу различных сторон и обеспечить согласованность и согласие при реализации проекта.

Учет взаимосвязи и взаимозависимости различных аспектов развития территории: при разработке проекта комплексного развития территории необходимо учитывать взаимосвязь и взаимозависимость различных аспектов развития. Например, экономическое развитие может повлиять на социальную сферу, а изменения в экологической среде могут оказать влияние на экономику. Важно анализировать и понимать эти взаимосвязи, чтобы принимать обоснованные решения и достигать сбалансированного развития территории. Например, при планировании инфраструктурных проектов необходимо учитывать их воздействие на окружающую среду и общественное благополучие.

Принцип системности комплексного развития территорий предполагает, что рассматриваемый объект является элементом иерархической системы, должен рассматриваться как развивающаяся системная целостность и как элемент более высокого процесса культурно-исторического развития которая, в свою очередь, может быть подсистемой более высокого уровня [6].

Принцип системности и целостности является важным при реализации проектов комплексного развития территорий. Определение

общей стратегической цели, разработка механизмов взаимодействия и сотрудничества, а также учет взаимосвязи и взаимозависимости различных аспектов развития позволяют создать эффективные и устойчивые проекты. Дальнейшие исследования и практическая реализация проектов должны учитывать эти принципы для достижения успешного комплексного развития территорий.

2. Принцип устойчивого развития

Устойчивое развитие территорий – модный термин, которым оперируют многие законодательные акты, в том числе и Российские. Его можно встретить в таких нормативно-правовых актах, как Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» или даже постановлении Правительства Российской Федерации от 12.06.2008 № 450 «О Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации». При этом определение используемого термина встречается лишь в Градостроительном кодексе Российской Федерации, согласно которому устойчивое развитие территорий – обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений. Как можно отметить, законодательно устойчивое развитие отнесено, в основном, к градостроительной деятельности [1].

Устойчивое развитие территорий предполагает такую деятельность, которая обеспечивает наиболее эффективное использование территории, а также такую, в результате которой подготавливается и утверждается документация по планировке территории и направленная на подготовку необходимых для жизнедеятельности граждан объектов [4].

Принцип устойчивого развития является ключевым при реализации проектов комплексного развития территорий. Он подразумевает учет социальных, экономических и экологических аспектов развития, а также стремление к рациональному использованию ресурсов и продвижению зеленого и экологически ответственного

развития. В данном разделе статьи мы рассмотрим три принципа, связанных с устойчивым развитием проектов комплексного развития территорий.

2.1. Интеграция социальных, экономических и экологических аспектов в проект: устойчивое развитие территорий требует интеграции социальных, экономических и экологических аспектов в рамках проекта. Это означает учет потребностей и интересов населения, создание благоприятных условий для экономического развития и одновременное сохранение окружающей среды. Например, проект может предусматривать развитие социальной инфраструктуры, создание рабочих мест, а также меры по охране природных ресурсов и снижению выбросов загрязняющих веществ.

2.2. Рациональное использование ресурсов и энергии: при разработке проекта комплексного развития территории важно стремиться к рациональному использованию ресурсов и энергии. Это включает эффективное использование земли, водных ресурсов, энергии и других природных ресурсов. Проекты должны быть спроектированы с учетом принципов энергоэффективности, использования возобновляемых источников энергии, а также снижения отходов и повышения эффективности использования ресурсов.

2.3. Продвижение зеленого и экологически ответственного развития: устойчивое развитие территорий требует продвижения зеленого и экологически ответственного развития. Это включает охрану природных экосистем, биоразнообразия, а также учет аспектов климатической устойчивости. Проекты могут включать создание экологических парков, использование экологически чистых технологий, развитие общественного транспорта и поддержку экологических инициатив и программ.

Принцип устойчивого развития является фундаментальным при реализации проектов комплексного развития территорий. Интеграция социальных, экономических и экологических аспектов, рациональное использование ресурсов и энергии, а также продвижение зеленого и экологически ответственного развития способствуют созданию устойчивых и благоприятных условий для развития территорий. Дальнейшие исследования и практическая реализация проектов

должны учитывать эти принципы для достижения устойчивого и удовлетворяющего потребностям населения развития территорий.

3. Принцип участия и вовлеченности заинтересованных сторон.

Все больше осознается необходимость вовлечения населения в городское планирование, что позволит учитывать мнение горожан при принятии градостроительных решений и избегать городских конфликтов. Если раньше все градостроительные решения, политика в области планирования развития территории и благоустройства определялась органами власти, а население просто принимало реализацию проектов как факт, то в современных реалиях все чаще обозначается важность участия населения в жизни города и решение городских вопросов [3].

Принцип участия и вовлеченности заинтересованных сторон является ключевым при реализации проектов комплексного развития территорий. Он подразумевает активное включение населения, сообществ и других заинтересованных сторон в процесс планирования и реализации проекта. В данном разделе статьи мы рассмотрим три принципа, связанных с участием и вовлеченностью заинтересованных сторон.

3.1. Проведение консультаций и диалога с населением и сообществами: одним из ключевых аспектов принципа участия и вовлеченности является проведение консультаций и диалога с населением и сообществами. Это позволяет получить обратную связь, выявить потребности и ожидания населения, а также принять во внимание мнения и предложения сообществ при разработке и реализации проекта. Консультации и диалог могут проводиться через общественные слушания, опросы, фокус-группы и другие формы взаимодействия.

3.2. Учет мнений и предпочтений населения при принятии решений: принцип участия и вовлеченности также предполагает учет мнений и предпочтений населения при принятии решений. Это означает, что решения, связанные с развитием территории, должны быть основаны на реальных потребностях и предпочтениях населения. Например, при планировании новых объектов инфраструктуры или услуг необходимо учитывать предпочтения населения в отношении их местоположения, доступности и качества.

3.3. Содействие активному участию граждан в процессе планирования и реализации проекта: принцип участия и вовлеченности предполагает содействие активному участию граждан в процессе планирования и реализации проекта. Это может быть достигнуто путем создания механизмов и структур, которые позволяют гражданам принимать участие в принятии решений, предлагать идеи и инициативы, а также участвовать в мониторинге и оценке реализации проекта. Например, можно организовывать общественные комитеты или рабочие группы, в которых граждане и представители сообществ могут принимать активное участие.

Принцип участия и вовлеченности заинтересованных сторон играет важную роль в реализации проектов комплексного развития территорий. Проведение консультаций и диалога с населением, учет мнений и предпочтений населения, а также содействие активному участию граждан позволяют создать проекты, отвечающие потребностям и ожиданиям населения, а также способствуют укреплению доверия и легитимности проекта в глазах общества. Дальнейшие исследования и практическая реализация проектов должны учитывать эти принципы для достижения успешного и включающего развития территорий.

4. Принцип экономической эффективности

Принцип экономической эффективности играет важную роль в реализации проектов комплексного развития территорий. Он предполагает оценку экономической целесообразности проекта, разработку механизмов финансирования и привлечения средств, а также мониторинг и оценку результатов проекта с точки зрения экономической эффективности. В данном разделе статьи мы рассмотрим три принципа, связанных с экономической эффективностью проектов комплексного развития территорий.

4.1. Оценка экономической целесообразности проекта и его потенциала для привлечения инвестиций: перед началом реализации проекта комплексного развития территории необходимо провести оценку его экономической целесообразности. Это включает анализ ожидаемых экономических выгод, стоимостей, рисков и потенциала для привлечения инвестиций. Экономическая оценка помогает

определить, насколько проект является финансово и экономически устойчивым, а также способным привлечь необходимые ресурсы для реализации.

4.2. Разработка механизмов финансирования и привлечения средств для реализации проекта: для успешной реализации проекта комплексного развития территории необходимо разработать эффективные механизмы финансирования и привлечения средств. Это может включать поиск и привлечение государственных и частных инвестиций, использование финансовых инструментов, таких как гранты, кредиты, партнерства и т. д. Разработка устойчивых и гибких финансовых механизмов позволяет обеспечить финансовую устойчивость и успешную реализацию проекта.

4.3. Мониторинг и оценка результатов проекта с точки зрения экономической эффективности: после реализации проекта важно осуществлять мониторинг и оценку его результатов с точки зрения экономической эффективности. Это позволяет оценить достигнутые экономические показатели, эффективность использования ресурсов, степень достижения поставленных экономических целей и ожидаемых выгод. Мониторинг и оценка помогают выявить проблемные места и внести корректировки в проект с целью повышения его экономической эффективности.

Принцип экономической эффективности играет важную роль в реализации проектов комплексного развития территорий. Оценка экономической целесообразности, разработка механизмов финансирования и привлечения средств, а также мониторинг и оценка результатов проекта с точки зрения экономической эффективности являются ключевыми аспектами этого принципа. Дальнейшее исследование и практическая реализация проектов должны учитывать эти принципы для достижения устойчивого и успешного развития территорий.

Комплексное развитие территорий требует системного подхода и учета различных аспектов, связанных с экономикой, социальной сферой, экологией и управлением. В настоящей статье были представлены ключевые принципы эффективной реализации проектов комплексного развития территорий, а также рекомендации для

их применения. Дальнейшие исследования и практические проекты должны учитывать эти принципы для достижения устойчивого и успешного развития территорий.

Литература

1. *Дударева А. А.* Использование принципов устойчивого развития при комплексном развитии территорий: Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» № 2, 2018. С. 203–205.
2. *Кирсанов А. Р.* Виды комплексного развития территорий: Имущественные отношения в РФ № 4 (235) 2021. С. 84–89.
3. *Мальшикина Д. А.* Формы общественного участия в формировании городской среды: Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. № 1. 2022. С. 85–95.
4. *Николаенкова А. А., Ведьманова О. О.* Принципы устойчивого развития территорий городских поселений: Электронная наука. 2021. С. 1–8.
5. *Оглоблин В. А.* Современные принципы градостроительной политики: International Journal of Humanities and Natural Sciences. vol. 6–1 (57), 2021. С. 227–229.
6. *Перькова М. В., Вайтенс А. Г., Баклаженко Е. В.* Классификация градостроительных конфликтов: Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. № 12. 2018. С. 83–90.

УДК 69.059.7

Ксения Георгиевна Парфенова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ks.skly@yandex.ru

Ksenia Georgievna Parfenova,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: ks.skly@yandex.ru

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РИСКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

ANALYSIS OF THE RISK PLANNING AND CONTROL SYSTEM FOR THE CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Строительство является одной из ведущих отраслей на мировом рынке, которое с каждым годом дополняется новыми тенденциями и инновациями как с точки зрения проектирования объектов, непосредственного возведения зданий и сооружений, применения новых строительных материалов и многих других составляющих. При этом появляется потребность в разработке наиболее усовершенствованных систем планирования и контроля рисков, которые помогут спрогнозировать и учесть определенные факторы на различных стадиях строительного производства. В статье рассмотрены характерные особенности систем планирования и контроль рисков на примере производственного здания для предварительного ознакомления с существующей спецификой.

Ключевые слова: риск, планирование, системы планирования, контроль рисков, инвестиционно-строительный проект, управление проектами, строительный контроль.

Construction is one of the leading industries in the world market, which is supplemented every year with new trends and innovations both in terms of the design of facilities, the direct construction of buildings and structures, the use of new building materials and many other components. At the same time, there is a need to develop the most advanced risk planning and control systems that will help predict and take into account certain factors at various stages of construction production. The article discusses the characteristic features of planning systems and risk control on the example of an industrial building for preliminary acquaintance with the existing specifics.

Keywords: risk, planning, planning systems, risk control, investment and construction project, project management, construction control.

Возведение того или иного объекта всегда будет сопровождаться определенным рядом рисков, возникающих на различных стадиях строительного производства.

Система управления рисками – это единый механизм выявления, управления и контроля рисков, а также их причин и возможных последствий.

Создание и эффективное функционирование такой системы является важной задачей для строительных организаций; в число этих задач входит обеспечение комплексности, дифференциации рисков для каждого этапа строительства путем их заблаговременного выявления, достоверности, обновляемости и единообразия информационной базы для принятия управленческих решений [1].

Проанализировав существующие методы управления рисками, следует рассмотреть наиболее подходящую структуру системы внутреннего контроля:

- методы прогнозирования, в частности имитационное моделирование, которое позволяет моделировать технико-экономические характеристики проекта, несмотря на финансовые и временные затраты и необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов

- методы сбора информации (например, экспертные оценки, интервью, опросы): следует использовать, когда на этапе подготовки инвестиционного проекта требуется независимая оценка определенных видов рисков;

- методы оценки: могут быть использованы для расчета вероятности как потерь, так и выгод, при этом учитывается не только влияние каждого риска в отдельности, но и их совокупное воздействие.

Оценка рисков на всех этапах ИСП является неотъемлемой частью строительства или реконструкции любого объекта капитального строительства. Неучет потенциальных рисков на любом этапе жизненного цикла объекта может нанести большой ущерб проекту в целом.

Например, строительный проект может быть недо- или перефинансирован, или строительно-монтажные работы могут отклониться от рабочей документации. В качестве пояснительной таблицы см. рисунок.

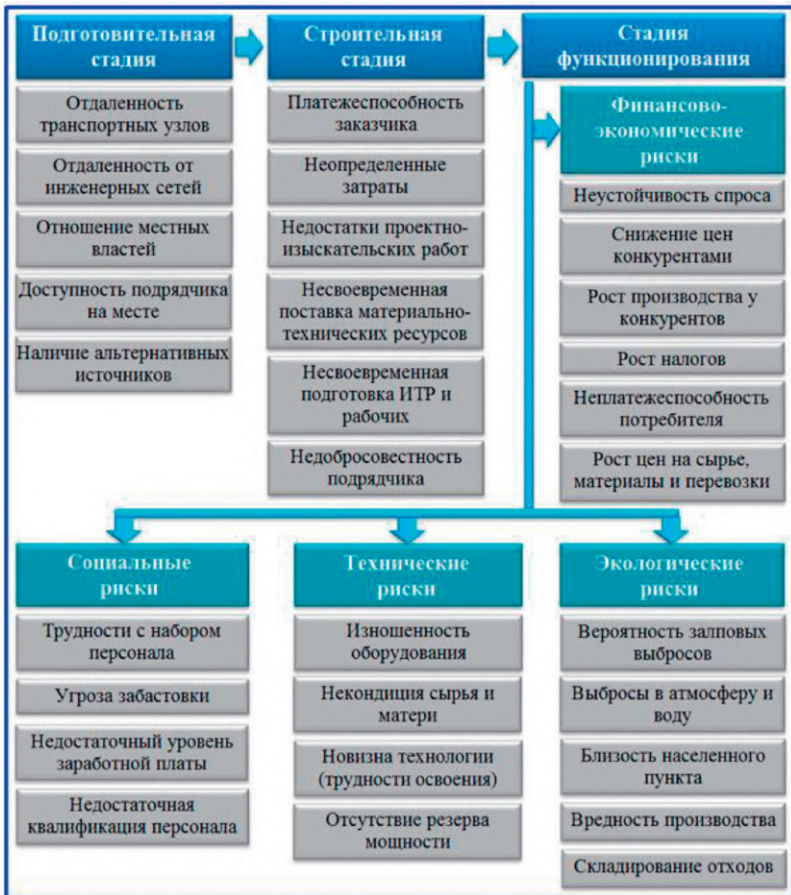


Рис. 1. Схемы потенциальных рисков при строительном производстве

В инвестиционно-строительных проектах можно выделить три фазы:

1. Подготовка и разработка проекта – на этом этапе основные риски сосредоточены в работе генерального проектировщика. Как правило, для выполнения отдельных частей проектной и рабочей

документации привлекаются субподрядчики, причем каждая из этих организаций работает независимо друг от друга [2, 3].

2. Строительство – на этапе строительства возводятся здания и сооружения. Основным риском на этом этапе является неправильное планирование всего строительства. Кроме того, строительство всегда сопряжено с рядом рисков, связанных с выполнением строительно-монтажных работ надлежащего качества и с соблюдением норм охраны труда и техники безопасности.

3. Эксплуатация строительного объекта – этап эксплуатации является последним этапом ИСП. Действовавшие в период строительства контракты завершаются. Вступает в силу договор между владельцем объекта и обслуживающей организацией.

Для того, чтобы обеспечить максимальное функционирование системы планирования, необходимо провести тщательный анализ этой системы и выявить все возможные риски.

Система планирования – это совокупность взаимосвязанных согласований и зависимостями друг от друга процессов планирования [4].

На примере производственного здания, при планировании существует ряд методов, которые позволяют предоставить подробную и адекватную оценку бюджета:

- связь между источниками и потребностями в ресурсах обеспечивается балансовым методом. Балансовый метод предполагает составление таблиц, соответствующих предложению ресурсов, их потребностям, производственным планам и т. д.;
- изучение количественного масштаба и динамики факторов, непосредственно влияющих на предварительные показатели, используется для оценки показателей в методике учетно-плановых расчетов и анализа в строительной отрасли;
- при необходимости разработки экономических альтернатив применяется экономико-математическое моделирование, позволяющее учесть зависимости между количественными параметрами и основными факторами в условиях ограниченных ресурсов [5];
- метод графического анализа: способ визуализации результатов экономического анализа;

- программно-целевой метод;
- индикативное планирование.

Отсюда можно сделать вывод, что для разработки полного плана строительной деятельности, управляющие анализируют конечную цель и определяют необходимые для ее достижения шаги.

Литература

1. *Анфилатов В. С.* Системный анализ в управлении / В. С. Анфилатов. М. : Финансы и статистика, 2017. 368 с.
2. *Бовтеев С. В.* Классификации и параметры рисков строительных проектов / Бовтеев С. В., Хурейни Н. К. Р. // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 6 (89). С. 79–86.
3. *Бондаренко Н. И.* Методология системного подхода к решению проблем: история, теория, практика. СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та экономики и финансов, 1997. 388 с.
4. *Волкова В. Н., Денисов А. А.* Теория систем: Учебник для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2006. 511 с.
5. *Заграновская А. В.* Системный анализ деятельности организации. Практикум: Учебное пособие 2019 г. / А. В. Заграновская. СПб.: Лань, 2019. 200 с.
6. *Попов, В. Н.* Системный анализ в менеджменте: Учебное пособие / В. Н. Попов. М. : КноРус, 2018. 240 с.

УДК 658.5:624.05

Михаил Евгеньевич Петелин,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: p.mikhail25@yandex.ru

Mikhail Evgenievich Petelin,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: p.mikhail25@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К 3D-МОДЕЛИ И КАЛЕНДАРНО-СЕТЕВОМУ ГРАФИКУ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ С 4D-МОДЕЛЬЮ

DEFINITION OF REQUIREMENTS FOR 3D-MODEL AND CALENDAR SCHEDULE TO OPTIMIZE THE WORK WITH THE 4D-MODEL

В данной статье рассмотрены требования к методам разработки 3D-модели и календарно-сетевому графику, позволяющие оптимизировать процесс 4D-моделирования строительного производства. Проанализированы этапы создания 4D-модели, рассмотрены различные инструменты для формирования данных моделей и способы их применения. Путем применения моделирования на практике, изучения научно-технической литературы, интервьюирования специалистов, работающих с информационными моделями, выявлены проблемы, возникающие в процессе разработки четырехмерной модели. Приведены различные способы решения возникающих в процессе проектирования проблем путем корректировки и формирования отдельных этапов проектирования, добавления новых функций в программное обеспечение.

Ключевые слова: 4D-моделирование, визуализация строительства, 3D-моделирование, календарно-сетевой график, классификация, синхронизация, информационная модель, совместная работа, управление проектами.

In this article the requirements to the methods of development of 3D-model and calendar-network schedule, allowing to optimize the process of 4D-modeling of construction production, are considered. The stages of 4D-model creation are analyzed, various tools for the formation of these models and ways of their application are considered. By designing, studying scientific and technical literature, interviewing specialists working with information models the problems arising in the process of 4D-modeling have been revealed. Various ways of solving problems arising in the process of modeling by adjusting and shaping individual design steps, adding new features to the software are given.

Keywords: 4D modeling, construction visualization, 3D modeling, scheduling, classification, synchronization, information model, collaboration, project management.

4D-модель строительства – это инструмент, который позволяет увидеть процесс строительства на всех этапах в пространстве и времени. Он создается на основе 3D-модели здания и календарного графика строительства. Четвертым измерением в этой модели является время.

Такое представление строительства позволяет визуально смоделировать работы на строительной площадке, показывая процесс строительства в динамике. Использование этой модели обосновано не только на этапе проектирования, но и на каждом этапе строительства. Она помогает управлять проектом, планировать сроки работы, предотвращает ошибки и конфликты, а также помогает в принятии важных стратегических решений [1].

В целом, 4D-модель позволяет сократить время и затраты на строительство, за счет улучшения взаимосвязи между различными этапами производства, а также улучшения планирования времени и ресурсов. Она также способствует тесной и более полной коммуникации между всеми участниками проекта и снижению рисков, что может повлиять на результаты работ [2].

Целью данной статьи является выявление возможных способов формирования 3D-модели и календарного графика, которые позволят оптимизировать процесс 4D-моделирования.

Для достижения данной цели необходимо изучить инструменты программного обеспечения для формирования 3D-моделей, календарных графиков и 4D-моделей; проанализировать процесс формирования 4D-моделей и применяемые для этого способы с последующим выявлением этапов, нуждающихся в доработке.

Одним из этапов формирования 4D-модели является назначение элементов 3D-модели на работы календарного графика. Однако при редактировании исходных файлов в соответствующих программах и актуализации данных в 4D-модели, связь между работами и элементами, которые были изменены, нарушается, что вынуждает выполнять данную работу снова.

Такую проблему можно решить путем формирования системы кодировки элементов и работ графика, которая позволит упростить процесс синхронизации [3]. Такой код должен присваиваться как одному элементу, так и группе элементов, устраиваемых в рамках одной работы.

Система кодировки должна предусматривать возможность формирования иерархической структуры, которая позволит сохранить изначальный код элемента при увеличении его уровня детализации. Код должен быть назначен не в зависимости от параметров элемента, которые могут меняться, например, при переводе модели от проектной к рабочей стадии, а в зависимости от его функционального назначения и этапа, на котором будет выполняться работа по устройству данного элемента.

Необходимыми условиями при реализации данного метода будет формирование перечня кодировок для работ календарного графика и элементов 3D-модели, и организация совместной работы проектировщиков и планировщиков строительного проекта, для согласования назначаемых кодировок.

Также необходима возможность назначения кодировок в соответствующих программах для формирования 3D-модели и календарного графика. Например, в ПО для планирования проектов MS Project данная функция реализована через специальные настраиваемые поля, в которые вводится код работы, соответствующий выполняемым на ней элементам. В программе для формирования 3D-модели Autodesk Revit, существуют специальные классификаторы, позволяющие с помощью сформированных плагинов присваивать элементам коды по заданным параметрам [4].

В последствии, после загрузки календарного графика и 3D-модели в программу для 4D-моделирования необходима функция синхронизации кодов, принадлежащих работам графика и соответствующих кодов элементов модели. В программном обеспечении Navisworks данная функция реализована с помощью создания специальных правил, позволяющих связать элементы с задачами по категории, в данном случае по коду классификатора (рис. 1).

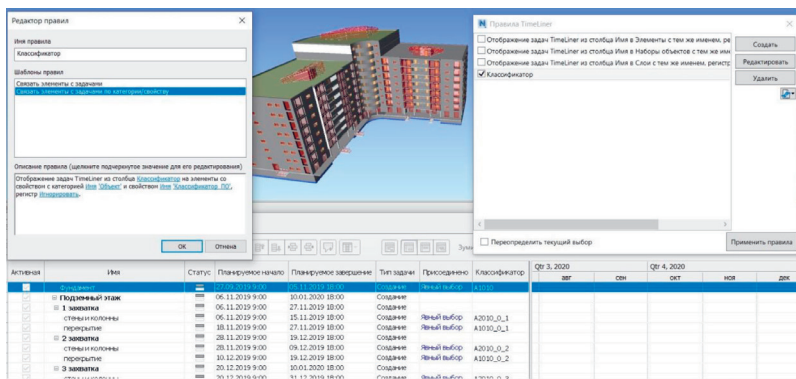


Рис. 1. Создание правил для автоматического назначения элементов на работу в ПО Navisworks

При разработке 3D-модели проектировщики формируют «Диспетчер проекта», представляющий из себя иерархическую структуру всех элементов модели, которая позволяет упростить процесс навигации, анализа и редактирования.

В диспетчере проекта отдельной категорией выступают семейства, используемые в модели. Именно они формируют дерево элементов, представленное в программе для 4D-моделирования. Так реализовано, например, при экспорте модели из программного обеспечения Revit в Navisworks.

При условии, что проектировщики будут уделять внимание тому факту, что в дальнейшем на базе разрабатываемой ими модели, будет формироваться 4D-модель, процесс разработки значительно упростится. Например, если все семейства будут привязаны к соответствующему уровню, и разделены по конструктивным группировкам, навигация и редактирование 4D-модели станут более эффективными (рис. 2).

Еще одной сложностью при формировании 4D-модели является грамотная синхронизация в программе с календарным графиком и 3D-моделью.

Одним из способов избежать подобных трудностей с календарным графиком является его формирование в программе, поддер-

Другим способом синхронизации календарного графика с 4D-моделью, является создание связи между исходным файлом, созданным в сторонней программе и этим же файлом, загруженным в программу для 4D-моделирования в поддерживаемом формате. В таком случае, при изменении календарного плана, потребуется обновление данной связи, с повторной синхронизацией графика в программном обеспечении для 4D-моделирования.

При проектировании комплекса зданий с несколькими объектами итоговая объединенная информационная модель будет содержать очень большой объем информации, что повлечет за собой значительное снижение скорости ее обработки в программе для 4D-моделирования. Одним из вариантов решения данной проблемы является разработка дополнительной модели с более низким уровнем детализации. Однако, при таком способе, помимо временных затрат на проектирование, снизится качество 4D-модели.

Альтернативным вариантом станет функция, которая позволит создавать в программе для 4D-моделирования межпроектные связи. То есть формировать 4D-модель не на основе объединенной 3D-модели всего комплекса, а на основе файлов с отдельно разработанными объектами, связанными между собой [6].

В разных программах для 4D-моделирования связь с 3D-моделью может быть реализована разными способами. В таких программах как Synchro Pro и Navisworks, трехмерное представление реализовано через ссылку на файл с общей информационной моделью, с возможностью обновить связи после внесения изменений, что повлечет за собой актуализацию 3D-вида в программе для 4D-моделирования [7]

Однако, далеко не для всех элементов информационной модели требуется высокая детализация при формировании 4D-модели. Детализация элементов необходима до уровня, соответствующего работам календарного графика. То есть при создании четырехмерного пространства детализация 3D-модели должна быть достаточной, для того чтобы один элемент был назначен не более чем на одну работу. Чтобы реализовать данный метод необходимо перед импортом модели в программу для 4D, сформировать дерево элементов, согласно календарно-сетевому графику и организационно-технологическим решениям [8].

Таким образом, для оптимизации 4D-моделирования в первую очередь необходима организация совместной работы всех участников формирования информационной модели. При таком подходе к работе все сложности при проектировании можно будет устранить еще до начала их формирования. В частности, у инженеров ПОС будет возможность предварительно обсудить с конструкторами все нюансы принятой организационной схемы. Которые в последствии будут учтены при разработке архитектурных и конструктивных решений.

Работа выполнена по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ обучающимися СПбГАСУ в 2023 году.

Литература

1. *Бовтеев С. В.* Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей / С. В. Бовтеев, С. В. Колесников, П. А. Шерстобитова // Управление проектами и программами. – 2020. – № 4. – С. 276-284. – EDN НРКХVB.
2. *Sloot R. N. F. Heutink A. Voordijk J. T.* Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies. *Automation in Construction*, 106:102881, 2019.
3. *Каракозова И. В.* Классификация и кодирование элементов для нужд строительной отрасли / И. В. Каракозова // Строительные материалы. – 2016. – № 12. – С. 64-67. – EDN XHFQFN.
4. *Пученков И. С.* Обработка информации в BIM среде с помощью Дупато на примере работы с классификатором / И. С. Пученков // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 414–424. – DOI 10.23968/BIMAC.2020.054. – EDN DUJTDТ.
5. *Бовтеев С. В.* Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства / С. В. Бовтеев // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 81–87. – DOI 10.23968/BIMAC.2020.009. – EDN EVWFOA.
6. *Кривошейцева Е. А.* 4D моделирование зданий с использованием Autodesk Navisworks / Е. А. Кривошейцева, М. Н. Корницкая // Ползуновский альманах. – 2022. – № 1. – С. 94–96. – EDN HLQWZG.

7. Погребной А. А., Петелин М. Е., Фуртаева А. А. Определение функциональных и технических требований к системам 4D-моделирования строительного производства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VI Международной научно-практической конференции. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 369–377. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.051.

8. Болотин С. А. Формирование графика комплексной застройки территории с использованием Revit и Microsoft Project // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международной научно-практической конференции. СПб. : СПбГАСУ, 2019. С. 53–58. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.009.

УДК 658.5:624.05

Арсений Александрович Погребной,
магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: arseniyaleksandrovich.pogrebnoy@
mail.ru

Arseniy Aleksandrovich Pogrebnoy,
Master's degree student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: arseniyaleksandrovich.pogrebnoy@
mail.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

IDENTIFICATION OF THE NECESSARY FUNCTIONALITY FEATURES OF 4D MODELLING SYSTEMS FOR BUILDING PRODUCTION

В данной статье обоснована актуальность использования 4D-моделей при планировании строительного производства. Приведены потенциальные положительные эффекты от применения четырехмерных моделей. Рассмотрена необходимость в создании качественного отечественного программного обеспечения, способного полностью заменить импортные аналоги. Обозначены необходимые функциональные возможности разрабатываемых систем 4D-моделирования строительного производства, выявленные путем сбора информации из научно-технической литературы, интервьюирования специалистов по календарно-сетевому планированию в строительстве и синтеза полученных данных. Приведен сравнительный анализ наиболее известных российских программных продуктов, позволяющих создавать 4D-модели.

Ключевые слова: ТИМ, 4D-моделирование, управление проектами, импортозамещение, программное обеспечение, визуализация строительства, календарно-сетевое планирование.

This article justifies the relevance of using 4D models in construction production planning. Potential positive effects of applying four-dimensional models are presented. The need for creating high-quality domestic software capable of fully replacing imported analogs is discussed. Necessary functional capabilities of the developing 4D modeling systems for construction production, identified through collecting information from scientific and technical literature, interviewing specialists in calendar-network planning in construction, and synthesizing the obtained data,

are outlined. A comparative analysis of the most well-known Russian software products for creating 4D models is provided.

Keywords: BIM, 4D modeling, import substitution, software, construction visualization, construction scheduling, project management.

В течение последнего десятилетия во многих развитых и развивающихся государствах стремительно набирает популярность 4D-моделирование – информационное моделирование строительного производства, имеющее четвертое измерение – время, благодаря которому становится возможным детально спланировать возведение объектов, сократить сроки строительства, снизить вероятность допущения ошибок при планировании, а также разработать высокоэффективные стратегии снижения рисков [1]. Развивается 4D-моделирование и в Российской Федерации. Наиболее часто применялись в РФ программные продукты SYNCHRO Pro от корпорации Bentley Systems и Navisworks от компании Autodesk [2]. Однако с 2022 года после введения иностранными государствами санкций против РФ указанное программное обеспечение стало недоступно в нашей стране. Кроме того, еще до ухода из нашей страны перечисленного выше ПО, при работе в нем инженерам следовало учитывать, что зарубежные программы для BIM-моделирования привязаны к определенным системам стандартизации и нормативного обеспечения проектирования и строительства [3]. Самым оптимальным выходом из сложившейся ситуации является создание высококачественного отечественного программного обеспечения, отвечающего всем запросам специалистов, осуществляющих управление проектами. На данный момент времени уже вышли и находятся на стадии доработки программы для визуализации строительства, наиболее известными из которых являются 7D Modeler от компании ООО «Открытые ТИМ системы», Plan-R от компании ООО «Цифровые практики», АДЕПТ: BIM от ГК «АДЕПТ». Процесс работы в приведенных отечественных программных продуктах проиллюстрирован на рис. 1–3 соответственно. Чтобы российские системы для 4D-моделирования строительного производства смогли не только заменить покинувшие РФ программы, но и составить им конкуренцию на международном рынке, необходимо сформулиро-

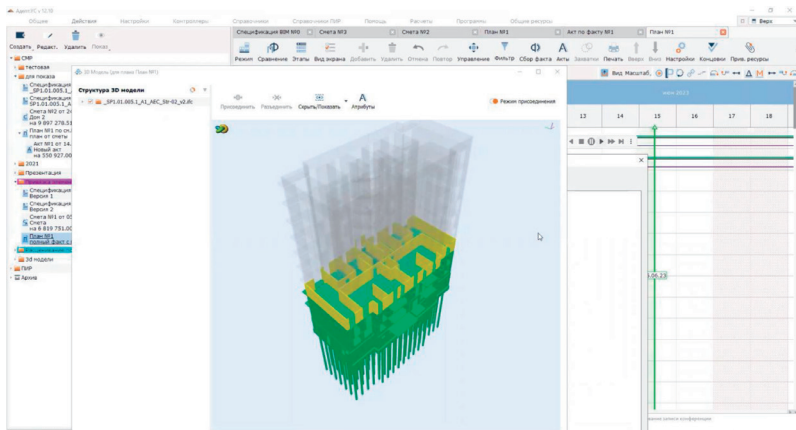


Рис. 3. Планирование строительного производства в программе АДЕПТ: BIM

В целях определения необходимых функциональных возможностей систем, позволяющих создавать четырехмерные модели, была проанализирована научно-техническая литература, описывающая создание 4D-моделей и дальнейшую работу с ними, а также научно-техническая литература прямо или косвенно раскрывающая необходимые возможности ПО для формирования таких моделей. Помимо этого, были проинтервьюированы инженеры, имеющие опыт в планировании и визуализации строительных проектов, на предмет запросов к функционалу программ для 4D-моделирования. Для окончательного формулирования требований к функционалу программных комплексов, позволяющих создавать четырехмерные модели, были проведены синтез и обобщение полученной информации.

В результате проведенного исследования определены следующие необходимые функциональные возможности систем 4D-моделирования строительного производства:

1. Выделение различными цветами различных операций, осуществляемых с одним и тем же трехмерным элементом.
2. Интерполяция прозрачности 3D-элемента, позволяющая отображать завершенность рабочих процессов.

3. Симуляция роста 3D-элемента, которая также дает возможность увидеть степень завершенности той или иной работы.
4. Объединение 3D-элементов в группы для отображения направления развития строительных процессов.
5. Создание простых 3D-элементов для условных обозначений на строительном генеральном плане.
6. Нарезка 3D-элементов на отдельные части, позволяющая делить конструкции на захватки без прибегания к помощи конструкторов и редактирования исходной 3D-модели.
7. Создание 3D-путей движения машин и механизмов, которое дает возможность отобразить движение строительной техники по объекту и предотвратить аварийные ситуации.
8. Возможность создания сечений и прозрачных конструкций для отображения работ внутри здания во время 4D-анимации.
9. Фильтрация 3D-элементов, упрощающая их назначение на работы календарного графика [4,5].
10. Выявление пространственно-временных коллизий [6].
11. План-фактный анализ, отображаемый на диаграмме Ганта и 4D модели, позволяющий вовремя выявить проблемы и найти пути их решения без потерь во времени и бюджете [7].
12. Синхронизация с 3D-моделью и календарным графиком для возможности обновления составляющих 4D-модели без утраты данных.
13. Объединение различных 3D-моделей в одном файле.
14. Объединение различных 4D-моделей посредством использования ссылок на исходные файлы, позволяющее спланировать строительство не только одного объекта, но и целого комплекса зданий [8].
15. Возможность быстрого создания качественных календарных графиков с нуля непосредственно в программе для 4D-моделирования.
16. Выделение цветом, штриховкой или другими визуальными эффектами тех 3D-элементов, которые назначены на лежащие на критическом пути задачи.
17. Наличие библиотеки 3D-элементов, необходимых для визуализации строительной площадки.

В таблице представлен сравнительный анализ Российского ПО на предмет соответствия выявленному необходимому функционалу по состоянию на конец мая 2023 года.

**Сравнительный анализ отечественного ПО
для 4D-моделирования**

Порядковый номер требования	Наименование программного продукта		
	7D Modeler	Plan-R	АДЕПТ: BIM
1	+	-	+
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	+	-	-
6	-	-	-
7	+	-	-
8	+	-	-
9	+	+	+
10	+	-	-
11	-	+	-
12	-	-	-
13	-	-	+
14	+	-	-
15	-	+	-
16	-	-	-
17	-	-	-
Итого:	7/17	3/17	3/17

В заключение стоит отметить, что российские программные комплексы развиваются, и все большее количество инструментов для эффективного управления проектами становится доступно планировщикам строительного производства.

При учете всех перечисленных в данной статье необходимых функциональных возможностей разработчиками российских программных продуктов, отечественное ПО сможет полностью заместить ушедшие из России импортные аналоги, а визуальное планирование строительного производства продолжит развиваться в нашей стране, что в перспективе приведет к повышению качества, снижению себестоимости и сокращению сроков производства строительной продукции.

Работа выполнена по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ обучающимися СПбГАСУ в 2023 году.

Литература

1. *Sloot R. N. F. Heutink A. Voordijk J. T.* Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies. *Automation in Construction*, 106:102881, 2019.
2. *Диско А. И.* Исследование истории развития BIM-технологий как инструмента комплексного управления инвестиционным проектом // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 491–497. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.062.
3. *Болотин С. А.* Формирование графика комплексной застройки территории с использованием Revit и Microsoft Project // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 53–58. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.009.
4. *Бовтеев С. В.* Применение 4D моделей в строительстве // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Материалы IV Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрГАХУ, 2021. С. 32.
5. *Бовтеев С. В.* Требования к функциональным возможностям программного обеспечения 4D-моделирования // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Материалы V Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрГАХУ, 2022. С. 12.
6. *Эльштейн А. М.* 4D визуализация рабочих пространств в ходе строительства // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 276.

7. *Диско А. И.* Применение продуктов SYNCHRO для комплексного управления строительством // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры / под ред. А. А. Семенова. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2022. С. 226–232.

8. *Погребной А. А., Петелин М. Е., Фуртаева А. А.* Определение функциональных и технических требований к системам 4D-моделирования строительного производства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VI Международной научно-практической конференции. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 369–377. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.051.

УДК 69.059.25

Егор Алексеевич Поляков,
магистрант
Василя Касимовна Нefeldова,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Egorianderr@yandex.ru

Egor Alekseevich Polyakov,
Master's degree student
Vasilya Kasimovna Nefeldova,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Egorianderr@yandex.ru

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE OF CAPITAL REPAIRS

На протяжении очень продолжительного времени вопросы капитального ремонта жилья на территории нашей страны всегда отходили на второй план. Это повлекло за собой повсеместные тенденции стремительного износа жилых зданий как физического, так и морального. В связи с этим жилищный фонд поэтапно становился не пригоден для полноценного использования в качестве постоянного жилья нашими гражданами. Таким образом мы оказались на пороге «жилищного» кризиса ввиду того, что постепенно возведенные какое-то время назад постройки приходят в аварийное состояние. Так как понадобилось решать проблему, образовавшуюся в связи с плачевным состоянием жилищного фонда, государству понадобился надежный, долгосрочный и эффективный план стратегического развития концепции улучшения состояния жилищного фонда нашей страны. Для того, чтобы реализовать этот план максимально плодотворно, необходимо изучить и проанализировать отечественный и зарубежный опыт в сфере капитального ремонта.

Ключевые слова: капитальный ремонт, жилищный фонд, аварийное жилье, износ, ремонтно-строительные работы.

For a very long time, the issues of capital repairs of housing on the territory of our country have always receded into the background. This led to widespread trends of rapid deterioration of residential buildings, both physical and moral. In this regard, the housing stock gradually became unsuitable for full-fledged use as permanent housing by our citizens. Thus, we found ourselves on the threshold of a “housing” crisis due to the fact that buildings gradually erected some time ago are falling into disrepair. Since it was necessary to solve the problem that arose in connection with the deplorable state of the housing stock, the state needed a reliable, long-term

and effective strategic development plan for the concept of improving the state of the housing stock of our country. In order to implement this plan as fruitfully as possible, it is necessary to study and analyze domestic and foreign experience in the field of capital repairs.

Keywords: capital repairs, housing stock, emergency housing, wear and tear, repair and construction work.

Под конец двадцатого века вопрос о необходимости мероприятий по капитальному ремонту жилых зданий, находящихся в состоянии аварии, встал наиболее остро. В этот период переход общедомового имущества в негодное состояние был крайне быстр, значительно опережав темпы осуществления стратегий, запущенных в ремонтно-строительные работы по капитальному ремонту на тот момент. Физический износ конструкций, инженерных систем и других объектов общего имущества многоквартирных домов определяется путем их технического обследования визуальным способом (по внешним признакам износа) [1].

Превые шаги по осуществлению капитального ремонта по большей части пришлось на жилые и гражданские объекты Санкт-Петербурга и Москвы, так как финансирование в этих городах было значительно выше, чем у остальных городов, и определённую роль сыграл статус этих городов для государства, который представлял культурную, историческую или архитектурную ценность для общестственности. Не смотря на это, через несколько лет организация работ по капитальному ремонту жилого фонда перешла на республики, районные центры и прочие крупные города государства.

В период проведения таких работ в Москве был создан специальный управляющий орган, который стал называться ГлавМосРемонт. Это объединение выполняло роль главного управления по вопросам капитального ремонта по всей стране. Состояло это управление из двадцати ремонтно-строительных объединений и десяти специальных, которые были в состоянии сравнить масштабы работ по капитальному ремонту жилищного фонда с объемами производства нового строительства.

Огромным толчком для решения проблемы ветхого состояния отечественного жилого фонда стали программы капитального ре-

монта многоквартирных жилых домов в регионах. Реализация программ такого типа была прописана в рамках принятого нормативного документа Федерального закона № 185-ФЗ «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства»[2].



Рис. 1. Комплексная бригада по капитальному строительству СУ-235
стройтреста № 37 Лавренчука Д. Ф.



Рис. 2. Комплексная бригада по капитальному строительству СУ-235
стройтреста № 37 Лавренчука Д. Ф.

Вышеупомянутые программы находились в работе в течении пяти лет начиная с 2008. При анализировании официальную статистику[3], мы увидим, что в этот период на мероприятия по капитальному строительству было вложено порядка 300 миллиардов рублей. Основную часть этой суммы представляли собой средства упомянутого Фонда содействия реформированию. Предоставлены средства от фонда были в виде имущественного вноса.

За эти пять лет отремонтировали около 150 тысяч многоэтажных многоквартирных жилых зданий, что составляет около 5 % процентов от общего количества. Количество жильцов составляло порядка 20 миллионов человек. По площади отремонтированная территория составляет около полумиллиарда квадратных метров. Наиболее крупная сумма была потрачена в 2009 году и составляет около 110 миллиардов рублей.

На данный момент существует основной документ, с помощью которого регулируется сфера капитального ремонта на территории Российской Федерации, в котором содержатся правовые нормы

Федеральный закон от 25 декабря 2012 года «О внесении изменений в Жилищный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации»[4].

В соответствии с Жилищным кодексом Российской Федерации «Капитальный ремонт общего имущества в многоквартирном доме» в перечень услуг и (или) работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме, оказание и (или) выполнение которых финансируются за счет средств фонда капитального ремонта, который сформирован исходя из минимального размера взноса на капитальный ремонт, установленного нормативным правовым актом субъекта Российской Федерации, включены:

1. Ремонт внутридомовых инженерных систем электро-, тепло-, газо-, водоснабжения, водоотведения;
2. Ремонт или замену лифтового оборудования, признанного непригодным для эксплуатации, ремонт лифтовых шахт;
3. Ремонт крыши;
4. Ремонт подвальных помещений, относящихся к общему имуществу в многоквартирном доме;
5. Ремонт фасада;
6. Ремонт фундамента многоквартирного дома.

Основной проблемой из-за которой происходит на сегодняшний день сдерживание темпов капитального ремонта общего домового имущества в многоквартирных домах является дефицит финансовых ресурсов. Были изучены и проанализированы формы и методы решения этой проблемы в развитых странах, а также в странах с переходной экономикой.

В этих странах существует четыре основных способа финансирования затрат на техническую эксплуатацию многоквартирных домов и, в частности, на проведение капитального ремонта общего имущества:

1. Специально образуемые резервные фонды объединений собственников помещений, сформированные за определённый период времени в одном многоквартирном доме или в группе многоквартирных домов, если все они входят в ассоциацию собственников помещений;

2. Целевые взносы собственников помещений непосредственно на капитальный ремонт общего имущества;

3. Финансовая поддержка на возвратной или невозвратной основе, которая может предоставляться государственными или местными органами власти на проведение конкретных ремонтно-эксплуатационных мероприятий (различные виды ремонтно-строительных работ, работы, направленные на сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов и др.);

4. Кредиты, предоставляемые объединениям, ассоциациям собственников помещений или непосредственно собственникам помещений на тех или иных условиях.

Вся недвижимость в Финляндии, входящая в состав многоквартирного дома (общее домовое имущество, а так же принадлежащие собственникам помещения) является собственностью так называемой жилищной компании, представляющей собой объединение собственников помещений в конкретном многоквартирном доме. Для управления такой компанией создан высший орган управления, представляющий собой собрание собственников долей.

Количество голосов каждого из дольщиков компании соответствует размеру его доли (по площади) в этом многоквартирном доме. Размер доли в подавляющем большинстве случаев определяется площадью помещений, принадлежащих участнику компании на правах собственности.

Следует отметить, что абсолютное большинство собственников помещений в многоквартирных домах в зарубежных странах с рыночной экономикой понимают, что покупатели жилья в этих странах приобретают не жилую единицу саму по себе, а жилую единицу как часть многоквартирного дома. Поэтому техническое состояние общего имущества и многоквартирного дома в целом определяет стоимость помещений, принадлежащих собственникам в многоквартирных домах. Поэтому все мероприятия капитального характера, которые направлены на улучшение технического состояния и эксплуатационных характеристик многоквартирных домов, оплачиваются собственниками помещений в установленные сроки и в полном объёме.

В Эстонии по инициативе государства для кредитования работ капитального характера в многоквартирных домах (капитальный ремонт, модернизация, реконструкция и др.) созданы специализированные гарантийные агентства, которые за вполне приемлемую плату (1...1,5 % от суммы поручительства) предоставляют поручительства по кредитам объединений и ассоциаций собственников помещений в многоквартирных домах или уполномоченных этими объединениями (ассоциациями) специализированных управляющих компаний [5]. Гарантийные агентства несут полную ответственность перед кредитующими финансовыми организациями и государством не только за своевременный возврат заёмных средств, но также и за качество и эффективность кредитуемых мероприятий. Примерно такие же гарантийные агентства были созданы в Литве и в Словении.

К моменту получения кредита на капитальный ремонт или другие ремонтно-эксплуатационные мероприятия капитального характера кредитующие финансовые организации в качестве обязательного условия для получения кредита выдвигают требование о поступлении текущих регулярных платежей собственниками помещений в многоквартирных домах на счёт объединения (ассоциации) собственников помещений или привлечённой управляющей компании, открытый в организации-кредиторе на полный срок кредитования.

Литература

1. СП 368.1325800.2017 «Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта» Дата введения 26.05.2018 г.
2. О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства: Федеральный закон от 21.07.2007 № 185 -ФЗ (ред. от 29.07.2017) [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс» Режим доступа: www.consultant.ru/
3. Российский статистический ежегодник. 2015: Стат. сб. / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2015. 728 с.
4. О внесении изменений в Жилищный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации: Федеральный закон от 25.12.2012 № 271-ФЗ (ред. от 29.06.2015) [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс» Режим доступа: www.consultant.ru/
5. Макаров И. М. Теория выбора и принятия решения / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская [и др.]. М.: Наука, 1982. 327 с.

УДК 624.154

Анастасия Михайловна Самарина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: aprouzina@gmail.com

Anastasiia Mikhailovna Samarina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: aprouzina@gmail.com

АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF PILES MANUFACTURED USING DISCHARGES-PULSED TECHNOLOGY

В данной статье проведен анализ несущей способности сваи, изготовленной с использованием разрядно-импульсной технологии (РИТ). Основной целью нашего исследования является анализ и сравнение несущей способности буронабивной сваи и сваи-РИТ. Расчет данных свай был выполнен вручную. Несущая способность сваи, установленной в грунт, зависит от метода забивки и установки сваи, конструктивных особенностей сваи, а также от механических свойств грунта.

Ключевые слова: несущая способность, буронабивная свая, разрядно-импульсная технология.

This article presents an analysis of the bearing capacity of piles manufactured using discharge-pulsed technology (DPT). The aim of this study is to compare and analyze the bearing capacity of driven piles and DPT piles. The calculations for both types of piles were performed manually. The bearing capacity of a pile depends on several factors, such as the method of installation, the design of the pile, and the mechanical properties of the soil.

Keywords: bearing capacity, bored pile, discharge-pulse technology.

В строительстве высотных зданий и сооружений одной из важнейших задач является увеличение несущей способности фундаментов и снижение осадок. Для решения этой проблемы все чаще применяют РИТ-технология, которая основана на разрядно-импульсном методе. Это позволяет значительно уменьшить размеры

поперечных сечений несущих конструкций и, в итоге, снизить затраты на возведение зданий и сооружений.

Изготовление свай-РИТ (см. рис.) начинается с применения технологии изготовления буровых свай, а также использования традиционных материалов, таких как бетон, песок, щебень, цемент и некоторые добавки, включая арматурную сталь. Сначала формируется скважина, которая затем заполняется бетонной смесью. Затем в скважину загружается электродная система, и на определенной глубине производится серия электрических разрядов импульсного тока высокого напряжения, известная как разрядно-импульсная обработка (РИО) [1].

Для обработки бетонной смеси или цементного раствора в настоящее время применяют генератор импульсных токов, или ГИТ. Он состоит из трансформатора, выпрямителя, накопителя энергии, коммутатора и блока управления. Излучатель энергии устанавливается в скважину, заполненную бетонной смесью, после чего присоединяется к генератору импульсных токов. Однократный разряд приводит к мгновенному оседанию бетонной смеси в скважине. Это объясняется тем, что в момент электрического взрыва в зоне разряда образуется камеральная полость, а затем грунт вокруг камеральной полости уплотняется, что приводит к увеличению диаметра тела сваи в этом месте.

При проведении электрических взрывов создаются зоны уплотнения оптимального размера, что позволяет увеличить несущую способность грунта под нижним концом сваи. Как правило, основную разрядно-импульсную обработку выполняют в основании сваи, что способствует уплотнению грунта.

Кроме того, созданные при помощи электрических взрывов камуфлетные уширения в основании и вдоль сваи позволяют оптимально использовать сопротивление грунта, создавая условия для функционирования системы «свая-грунт» как единого геотехнического массива [2][3]. Помимо этого, результаты лабораторных испытаний показали, что бетон, обработанный по технологии разрядно-импульсной обработки (РИТ), обладает высокой водонепроницаемостью и коррозионной стойкостью [4]. Выполненные

в соответствии с этой технологии сваи, как говорилось выше, приобрели наименование сваи-РИТ.

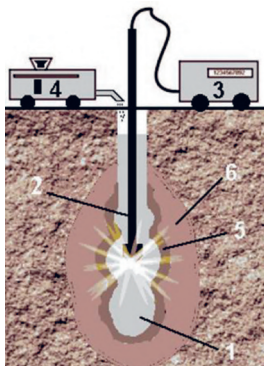


Схема устройства сваи с использованием разрядно-импульсной технологии [5]. Условные обозначения: 1 – форма сваи в месте разряда; 2 – проводник напряжения; 3 – разрядная станция; 4 – бетононасос; 5 – цементный грунт; 6 – уплотненный грунт.

При изготовлении сваи с использованием РИТ технологии на дно скважины спускают 2 электрода, а также по мере подачи бетонной смеси электроды начинают поднимать, далее через определенные расстояния осуществляют подачу напряжения на эти электроды, в последствии чего происходит пробой межэлектродного промежутка с взрывообразным преобразованием электрической энергии, тем самым в свою очередь передает давление на грунт, что и уплотняет его.

В результате серии взрывов в точке подачи напряжения объем сваи-РИТ увеличивается, что благотворно влияет на ее сцепление с грунтом и приводит к его уплотнению. Динамические нагрузки, возникающие за пределами зоны обработки, не оказывают значительного отрицательного воздействия на укрепляемые конструкции и смежные здания и сооружения. Порядок операций может быть изменен в соответствии с проектными решениями, условиями и пожеланиями Заказчика.

Технология свай-РИТ позволяет сократить объем земляных работ до минимума, не причиняя неудобств жителям близлежащих зданий и не нанося вреда окружающей застройке. Благодаря этому достигается значительная несущая способность свай при минимальном объеме изымаемого грунта и короткой длине свай. Устройство свай-РИТ может применяться в различных грунтовых условиях и позволяет проводить работы на ограниченных площадках в пределах густонаселенных городских зон.

Для формирования свай с использованием разрядно-импульсной технологии применяется электродная система, которая устанавливается в скважине и соединена коаксиальным кабелем с генератором импульсных токов, создающим электрические разряды высокого напряжения. При выполнении работ с использованием данной технологии рекомендуется соблюдать меры безопасности и применять напряжение не выше 10 кВ.

Для более точного определения несущей способности свай по грунту на площадке строительства применяются полевые испытания грунтов натурными сваями. Этот метод является более надежным и дает возможность учесть геологические особенности данной площадки. В настоящее время было проведено большое количество натуральных испытаний несущей способности свай с применением разрядно-импульсной технологии на разных объектах с различными геологическими условиями.

При применении разрядно-импульсной технологии для устройства свай необходимо учитывать ее многочисленные достоинства, которые описаны ниже.

Во-первых, сваи, созданные с использованием разрядно-импульсной технологии, обладают высокой несущей способностью и надежностью, что позволяет использовать их в высотных зданиях, включая более 30-этажные.

Во-вторых, благодаря высокой управляемости технологического процесса, возможно точное выполнение свай-РИТ с установленными параметрами.

В-третьих, применение разрядно-импульсной технологии позволяет снизить сейсмическое воздействие на близлежащие здания и сооружения.

В-четвертых, стоит отметить, что несущая способность корня грунтового анкера-РИТ превосходит прочность стального троса.

В-пятых, использование скважин малых диаметров при устройстве свай-РИТ с высокой несущей способностью позволяет сократить объем вывозимого грунта и расход бетона, что особенно важно при работе в подвалах, сооружениях гражданской обороны и в центре города.

В-шестых, следует отметить экологическую безопасность данной технологии.

В-седьмых, благодаря возможности уплотнения сложно удаляемого рыхлого грунта в забое буровой скважины и формированию зоны уплотнения под нижним концом сваи, размеры которой могут превышать размеры зоны уплотнения у нижнего конца забивной сваи, данная технология представляет собой оптимальный выбор.

В-восьмых, для укрепления фундамента применяются висячие сваи, которые устанавливаются с использованием разрядно-импульсной технологии и опираются на песок. Они приближаются к сваям-стойкам, чья несущая способность ограничивается прочностью материала ствола сваи.

В-девятых, для улучшения строительных свойств грунтов, которые в значительной мере определяют несущую способность основания, используются специальные методы.

В-десятых, при использовании данных свай максимально возможно увеличивается и полностью используется несущая способность грунтового массива.

И, наконец, в-одиннадцатых, для достижения максимальной несущей способности применяются сваи из материалов, обладающих высокой прочностью.

Стоит отметить, что сваи с применением РИТ-технологий обходятся дороже, чем забивные сваи. Однако, следует учитывать, что использование таких свай оправдано в случаях, когда забивка невозможна, например, из-за запрета на динамические воздействия или большого шума. Также это может быть необходимо в случаях, когда в грунте присутствуют техногенные включения или слой песка, который невозможно пробить без лидерных скважин.

Важно отметить, что сваи, изготовленные по РИТ-технологиям, обладают большей несущей способностью по грунту, чем забивные сваи. Это позволяет получить небольшое уменьшение стоимости свайного основания.

Рассмотрев все перечисленные преимущества применения свай с использованием разрядно-импульсной технологии, предлагаем перейти к изучению и анализу их несущей способности.

Для анализа несущей способности свай был произведен расчет буронабивной сваи и сваи с использованием разрядно-импульсной технологии со следующими характеристиками [7]:

1) буронабивная свая: длина $l = 15$ м и диаметр $d = 0,3$ м;

2) свая-РИТ: длина $l = 15$ м и диаметр $d = 0,3$ м.

В основании – глина с индексом текучести $I_L = 0,2$.

Буронабивная свая и свая с использованием разрядно-импульсной технологии относятся к висячим сваям, а это следует, что их несущую способность определяем по формуле [8]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{R,R} RA + u \sum \gamma_{R,f} f_i h_i),$$

где γ_c – коэффициент условий работы свай в грунте, равный 1; для буронабивной сваи $\gamma_{R,R} = 1$, для сваи-РИТ $\gamma_{R,R} = 1,3$; $R = 1650$ кПа; $A = 0,071$ м²; $u = 0,94$ м; $f_i h_i = 388,8$ кПа; для буронабивной сваи $\gamma_{R,f} = 0,6$, для сваи-РИТ $\gamma_{R,f} = 1,1$.

Используя вышеописанные расчетные схемы, подставляем данные в формулу и вычисляем несущую способность сваи:

$$F_{D1} = 1 * (1 * 1650 * 0,071 + 0,94 * 0,6 * 388,8) = 336,43 \text{ кН};$$

$$F_{D2} = 1 * (1,3 * 1650 * 0,071 + 0,94 * 1,1 * 388,8) = 554,31 \text{ кН}.$$

Таким образом, опираясь на выполненные расчеты можно сделать вывод, что несущая способность свай с использованием разрядно-импульсной технологии выше, чем несущая способность буронабивной сваи в 1,65 раз, что составляет около 40 %.

С учетом вышеизложенных проведенных исследований, можно перечислить следующие выводы и выявленные преимущества:

1. Несущая способность свай, изготовленных с применением разрядно-импульсной технологии, выше, чем у буронабивных свай на 40 % при одинаковой длине и диаметре ствола.
2. Увеличение несущей способности грунта естественного сложения в зоне действия РИТ-технологии.
3. Снижение объема выбуренного грунта, вывозимого в отвал.
4. Возможность применения РИТ-технологии при усилении оснований и фундаментов.
5. Получение максимально возможной несущей способности свай с использованием разрядно-импульсной технологии, по сравнению с буронабивной сваей, при одинаковом диаметре и длине.

Литература

1. *Галимурова О. В.* Изготовление буронабивных свай при помощи разрядно импульсной технологии / Н. Э. Урманшина, О. В. Галимурова, И. Р. Галимнуров // *Материалы международной научной технической конференции «Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук»*, Уфа, УГНТУ, 2018, с. 92–94.
2. *Кубецкий В. Л.* Применение свай-РИТ в фундаментах высотных зданий / В. Л. Кубецкий, В. Я. Еремин // *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 240–245.
3. *Буданов А. А.* «Исследование напряженно-деформированного состояния маловлажного песчаного грунта вокруг свай-РИТ». Диссертация кандидата технических наук. – Москва, 2006. – 216 с.
4. *Соколов Н. С., Викторова С. С.* Разрядное устройство для изготовления буровой набивной сваи / Н. С. Соколов, С. С. Викторова // *Вестник Чувашского университета*. – 2017. – № 3. – С. 152–158.
5. *Зверев Д. С.* Использование разрядно-импульсной технологии (РИТ) / Д. С. Зверев, Д. А. Бунтов, Г. А. Кафидов // *Ростовский научный журнал*. – 2017. – № 6. – С. 308–315. – EDN YTTYML.
6. *Урманшина Н. Э., Галимурова О. В., Галимнуров И. Р.* Устройство свайных фундаментов разрядно импульсной технологией / Н. Э. Урманшина, О. В. Галимурова, И. Р. Галимнуров // *Материалы международной научной технической конференции «Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук»*, Уфа, УГНТУ, 2018, с. 94–97.
7. СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. [Электронный ресурс] // *Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]*. – АО «Кодекс», 2020. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084538>. – Загл. с экрана.

УДК 658.5:624.05

Дмитрий Александрович Фурсов,
магистрант
Чейнеш Очур-ооловна Бахтинова,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: dmifural@gmail.com

Dmitriy Aleksandrovich Fursov,
Master's degree student
Chejnesh Ochur-oolovna Bahtinova,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: dmifural@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОЭТАЖНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ В РОССИИ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LOW-RISE HOUSING CONSTRUCTION FROM CLT PANELS IN RUSSIA

В данной статье проанализирован зарубежный и отечественный опыт строительства из CLT-панелей. Приведено описание технологии CLT, а также указаны ее основные преимущества и недостатки. Приведено краткое сравнение характеристик CLT с основными технологиями малоэтажного домостроения. Предложены методы устранения основных недостатков строительства из CLT-панелей, проанализированы перспективы развития данной технологии строительства в России с целью повышения эффективности малоэтажного домостроения. Приведены рекомендации для скорейшего внедрения CLT-технологии в строительную отрасль. Статья будет полезна для специалистов в области организации и технологии строительства, а также отечественных предприятий, исследующих новые возможности в малоэтажном домостроении.

Ключевые слова: деревянное домостроение, CLT панели, ДПК, малоэтажное деревянное домостроение, малоэтажное строительство, перекрестно клееная древесина.

This article analyzes the foreign and domestic experience of construction from CLT panels. The description of the CLT technology is given, as well as its main advantages and disadvantages are indicated. A brief comparison of the characteristics of CLT with the main technologies of low-rise housing construction is given. The methods of eliminating the main disadvantages of construction from CLT panels are proposed, the prospects for the development of this construction technology

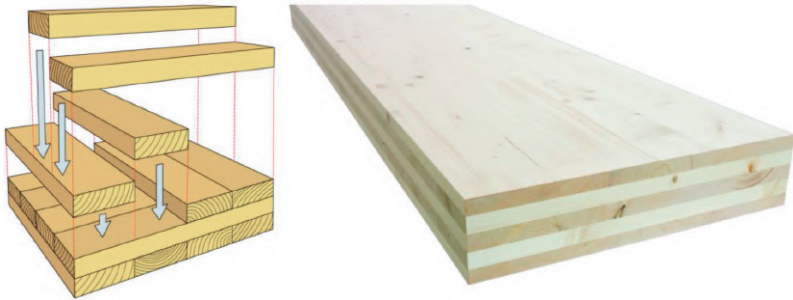
in Russia in order to increase the efficiency of low-rise housing construction are analyzed. Recommendations are given for the speedy introduction of CLT technology in the construction industry. The article will be useful for specialists in the field of organization and technology of construction, as well as domestic enterprises exploring new opportunities in low-rise housing construction.

Keywords: wooden house construction, CLT panels, CLT, low-rise wooden house construction, low-rise construction, cross-laminated timber.

В строительной сфере постоянно ведется поиск решений по оптимизации процесса возведения зданий и сооружений, начиная с цепи поставок, заканчивая монтажом и отделкой объектов строительства. Огромный упор делается на уменьшение сроков выполнения работ, ведь чем больше продолжительность строительства, тем сложнее контролировать соответствие выполняемых работ, корректное расходование бюджета и рабочих ресурсов. Сборные *CLT*-панели заводского изготовления позволяют существенно снизить продолжительность строительства, не снижая конструктивных характеристик объекта. Из-за простого монтажа возведение конструкций из *CLT* требуют куда меньших рабочих ресурсов, а также машин и механизмов. Остро встающий вопрос о сохранении окружающей среды, уменьшении углеродного следа в строительстве также может быть решен путем применения материала из поперечно склеенной древесины.

Целью данной статьи является оценка возможности применения *CLT* панелей в жилом малоэтажном домостроении (до 4-х этажей). В качестве методов исследования используются анализ зарубежного и отечественного опыта строительства, описание *CLT* и ее сравнение с наиболее используемыми материалами при возведении современных малоэтажных зданий до 4-х этажей.

CLT (cross-laminated timber) – относительно новый материал для зарубежного рынка и новый для отечественного. Последние годы технология поперечного склеивания древесины получила большое развитие за рубежом, а российские компании пытаются перенять европейский опыт строительства из этого материала. Основа *CLT* – доска из хвойных пород древесины (ель, сосна), поперечно уложенные друг на друга и склеенные под прессом (см. рис.).



Структура и внешний вид CLT-панели

Основными потребителями *CLT*-панелей являются страны ЕС и Северной Америки: Австрия, в которой эта технология и получила развитие. Швейцария, Швеция, Германия, Норвегия, США и Канада. Ежегодно потребность в использовании материала возрастает на 20–25 % [1–2]. В ЕС была введена программа «Деревянная Европа», согласно которой до 2020 года доля деревянного домостроения на рынке недвижимости должна составить 80 % [3]. За разработку *CLT*-технологии приступили в 1980-х годах в Австрии, а уже в 1990-х появились первые возведенные дома. К 2000-м годам европейские страны принялись к высотному строительству по уже отработанной технологии – в 1996 был возведен жилой дом высотой в 8 этажей [4].

Перспектива развития мало- и многоэтажного домостроения из *CLT*-панелей подтверждается уже имеющимися объектами: десятиэтажный дом «Форте» в Мельбурне (Австралия), проект сорока четырехэтажного здания «Big Wood» в Чикаго, жилой дом «Мюррей Гроу» в Лондоне и еще множество примеров по всей Европе, Австралии и Северной Америки [5].

Технология возведения домов из ДПК (древесины поперечно клееной) в России используется сравнительно недавно, а основное направление – ИЖС до 2-х этажей, что не может полностью раскрыть все преимущества материала. На данный момент в РФ разрешено строительство деревянных домов только до 3-х этажей, но в 2017 году подведомственные организации Минстроя России

и ТК 465 «Строительство» начали разработку двух сводов правил для проектирования жилых и общественных зданий этажностью более трех этажей с применением древесных материалов [6]. Более того, были получены специальные технические условия на строительство четырехэтажных домов из CLT в городе Сокол, которые на данный момент уже возведены.

Новые своды правил «Дома жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства» и «Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства» должны регулировать процессы, связанные со деревянным домостроением административных, жилых и общественных зданий, кроме большепролетных помещений [7].

10 февраля 2023 года по итогам совещания по вопросам лесопромышленного комплекса президентом РФ был утвержден перечень поручений. Пр-562, п.16) гласит о необходимости «обеспечить выделение в 2023 и 2024 годах из федерального бюджета средств в объеме до 10 миллиардов рублей ежегодно на строительство деревянных малоэтажных жилых зданий с использованием отечественных деревянных домокомплектов заводского изготовления в целях осуществления мероприятий по переселению граждан из аварийных домов» [8].

Уже сейчас на некоторых российских предприятиях по производству CLT панелей, где были проведены испытания, получены различные сертификаты соответствия. Опытные данные позволяют выделить ключевые достоинства CLT-панелей по сравнению с традиционными материалами для малоэтажного домостроения, некоторые из них представлены в табл. 1.

1. Огнестойкость.

Так, несущие стены толщиной 100, 160 и 220 мм при вертикальной нагрузке 10 000 кг/пог. м. обеспечивают степень огнестойкости REI60. Плиты перекрытия толщиной 160 и 220 мм при равномерно распределенной вертикальной нагрузке 1500 кг/м² также обеспечивают предел огнестойкости REI60, что соответствует I степени огнестойкости конструкции зданий, а класс пожарной опасности конструкций из CLT составляет K1 [9].

2. Теплотехнические характеристики.

Из-за разнонаправленных волокон древесины и практически полного отсутствия пор после прессования по коэффициенту теплопроводности поперечно склеенная древесина превосходит пустотный кирпич в 7,5 раз, имея показатель теплопроводности равным 0,082 Вт/(м·°С).

3. Удельная прочность.

При эквивалентной прочности с тяжелым железобетоном плотность *CLT*-панелей составляет всего 500 кг/м³, а низкий удельный вес конструкции позволяет использовать менее трудоемкие и дорогие фундаменты и возводить здания на более слабых основаниях без их усиления [10–11].

CLT является безусадочным материалом: в плоскости панели деформации отсутствуют, поперек–0,24мм на 1м длины

4. Скорость монтажа и логистика.

CLT-панели являются изделиями заводского изготовления, что значительно сокращает время на монтаж на строительной площадке. Размеры панелей ограничены заводскими характеристиками оборудования: до 18 м в длину и до 3,6 в ширину. Все проемы и отверстия под коммуникации могут быть устроены еще на стадии производства.

По скорости строительства и используемым ресурсам дома из *CLT*-панелей превосходят все существующие на данный момент технологии, применяемые в жилом малоэтажном домостроении. Для возведения конструктивной части дома из *CLT*-панелей на 100 м² требуется всего лишь автокран, бригада из 4 человек и около двух рабочих смен.

Из-за заводского изготовления и малого веса элементов из *CLT* доставка может осуществляться любым видом транспорта, так как при производстве можно задать любые габариты элементов, что увеличивает гибкость в планировании поставок.

5. Экологичность.

Ламели *CLT*-панелей – древесина хвойных пород, используется полиуретановый клей, не содержащий формальдегида. Углеродный след на всем этапе производства значительно меньше, чем при

строительном цикле из железобетона, газобетона, кирпича [12]. А экологичность самого материала и «чистота» строительной площадки позволяют возводить здания и сооружения в особых природоохранных зонах, что невозможно при использовании классических строительных материалов.

Таблица 1

Сравнение характеристик CLT с традиционными материалами малоэтажного домостроения

Показатель	CLT	Керамический кирпич	Газобетон	Железобетон
Плотность, кг/м ³	500–550	1600–1800	400–800	от 2500
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,082	0,6–0,95	0,1–0,14	1,69
Паропроницаемость, Мг/(м·ч·Па)	0,025	0,14–0,17	0,11–0,2	0,03
Усадка, мм/м длины	0,24	0,05–0,1	0,5	до 5
Класс пожарной опасности конструкции	K1	K0	K0	K0
Скорость возведения стен здания 100 м ² , дн.	1–2	от 30	от 15	от 30

Из недостатков строительства из *CLT*-панелей можно выделить высокую стоимость материала и слабо проработанную нормативную базу, в связи с чем возникают сложности при проектировании и прохождении государственных экспертиз. Более того, на данном этапе для конструкций из *CLT*-панелей не получены сертификаты соответствия классу пожарной опасности K0, что обязует в строящемся объекте использовать лифтовые шахты и лестничные марши из уже сертифицированных материалов.

Предложения по устранению недостатков *CLT*-панелей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Методы устранения недостатков CLT-панелей

№ п/п	Недостаток	Методы устранения
1	Высокая стоимость материала	Использование досок более низшего сорта во внутренних слоях панели; комбинирование с другими строительными материалами (возведение только несущих конструкций из <i>CLT</i>)
2	Высокая стоимость логистики из-за удаленности производств	Унификация размерной линейки панелей, переход к модульному строительству с созданием объектов складирования
3	Чувствительность к атмосферным воздействиям	Использование защитного покрытия от солнечного излучения

Стоимость материала оправдывается на этапе отделки, монтажа, устройстве коммуникаций. Поверхности абсолютно ровные и не требуют дополнительной обработки, а при желании и отделки. Максимально исключен человеческий фактор, а скорость монтажа позволяет экономить огромное количество трудовых и денежных ресурсов. Комбинированная технология возведения малоэтажных построек позволит исключить все возможные недостатки при строительстве [13].

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что отсутствие полных регулирующих норм и правил не позволяет раскрыть весь потенциал материала [14]. И хотя в перспективе *CLT* может быть востребовано во всех сферах строительной отрасли, все возможности *CLT*-панелей на данный момент ограничены только малоэтажным строительством и ИЖС. При тщательной и скорейшей проработке нормативной базы, строительство из *CLT*-панелей сможет покрыть множество потребностей в государственных программах переселения, создании инфраструктуры для туризма и отдыха, решить проблему скорости строительства объектов гражданской инфраструктуры.

Литература

1. Cross laminated timber (CLT): overview and development / R. Brandner, G. Flatscher, A. Ringhofer [et al.] // Holz als Roh- und Werkstoff. – 2016. – Vol. 74, № 3. – P. 331–351.
2. Ван-Хо-бин Е. А. Перспективы строительства высотных зданий из CLT-панелей в России / Е. А. Ван-Хо-бин // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2016. – Т. 3. – С. 213–217.
3. Современные технологии возведения многоэтажных деревянных домов / Л. А. Коклюгина, А. В. Коклюгин, Л. Р. Гимранов, Г. А. Никифоров // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 1 (47). – С. 231–238.
4. Дементьев Д. А. Современный опыт строительства многоквартирных деревянных домов в зарубежных странах / Д. А. Дементьев // Архитектура и современные информационные технологии. – 2020. – № 1(50). – С. 95–108.
5. Мавлюбердинов А. Р. Технологические особенности возведения многоэтажных жилых зданий из CLT-панелей / А. Р. Мавлюбердинов, Д. Н. Хоцянян // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 1(43). – С. 219–225.
6. Даутов Р. Р. Условия для развития в строительной отрасли России плит из перекрестно-клееной древесины (CLT-панелей) / Р. Р. Даутов // Инновационные аспекты развития науки и техники: Сборник статей III Международной научно-практической конференции, Саратов, 23 декабря 2020 года / НОО «Цифровая наука». – Саратов: НОО «Цифровая наука», 2020. – С. 29–34.
7. Минстрой России расширяет условия для проектирования деревянных объектов выше трех этажей // Минстрой России URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-rasshiryaet-usloviya-dlya-proektirovaniya-derevyannykh-obektov-vyshe-trekh-etazhey/> (дата обращения: 20.05.2023).
8. Пр-562, п.16). – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70764/>
9. Гилетич А. Н. Пожарная безопасность многоэтажных зданий из деревянных конструкций / А. Н. Гилетич, И. Р. Хасанов, А. А. Makeев // Пожарная безопасность. – 2014. – № 2. – С. 116–125.
10. Коновалов М. А. Использование деревянных конструкций в качестве альтернативной замены железобетонным конструкциям в многоэтажном здании / М. А. Коновалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 6. – С. 17–24.
11. Results from blast tests of full-scale cross-laminated timber structures / Mark K. Weaver, Charles Newberry, Casey O’Laughlin, Lisa Podesto, Под ред. Mark K. Weaver. Glendale, CA: Karagozian & Case, 2017.
12. Erol Karacabeyli. Sylvain Gagnon Canadian CLT Handbook. SP-532. Pointe-Claire, QC: FPInnovations, 2019.

13. Techno-Economic Analysis for Manufacturing Cross-Laminated Timber / Kristin Brandt, Alex Wilson, Donald Bender, James D. Dolan, Michael P. Wolcott, 14(4). Washington: BioResources, 2019.

14. *Погорельцев А. А.* Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины / А. А. Погорельцев, К. П. Пятикрестовский // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 3. – С. 35–41.

УДК 69.055.7

Вера Михайловна Челнокова,

канд. техн. наук, доцент

Татьяна Андреевна Захарова,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: ver-m@list.ru,

zakharova-ta@mail.ru

Vera Mikhailovna Chelnokova,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Tatiana Andreevna Zakharova,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: ver-m@list.ru,

zakharova-ta@mail.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АУТСОРСИНГА НА ЛОГИСТИКУ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ANALYSIS OF THE IMPACT OF OUTSOURCING ON THE LOGISTICS OF THE CONSTRUCTION PRODUCTION

Целью данной статьи является изучение логистики, как неотъемлемой части строительного производства, ее особенностей и, проблем. Также проведено исследование строительной логистики в России, преимуществ аутсорсинга в данной области. Низкий уровень развития логистики в строительстве, как важнейшей отрасли экономики, и необходимость ускорения темпов ее развития делает данную тему достаточно актуальной.

Ключевые слова: логистика, строительство, аутсорсинг, логистические потоки, отрасль.

The purpose of this article is to study logistics as an integral part of the construction industry, its features and problems. Also, a study was made of construction logistics in Russia, the advantages of outsourcing in this area. The low level of development of logistics in construction, as the most important sector of the economy, and the need to accelerate the pace of its development makes this topic quite relevant.

Keywords: logistics, construction, outsourcing, logistics flows, industry.

Введение

В сфере строительства актуальность такой науки, как логистика, в настоящее время не вызывает никаких сомнений. Для изучения особенностей и значимости строительной логистики сперва необходимо ознакомиться с понятиями логистики, как в целом, так и в строительной отрасли.

«Логистика – наука об управлении материальными и связанными с ними информационными, финансовыми, сервисными и другими потоками с целью оптимизации функционирования хозяйственных систем на основе эффективного использования всех видов ресурсов» [1]. «Логистика строительства – это наука и практическая деятельность, направленные на материально-техническое обеспечение строительного производства путем управления материальными, информационными и финансовыми потоками с целью возведения объекта с оптимальными затратами ресурсов и реализации его на рынке недвижимости» [2].

В условиях рыночной экономики строительная отрасль, по сравнению с другими, больше зависит от логистики. Это объясняется следующими факторами:

- территориальная рассредоточенность объектов;
- широкая номенклатура строительных материалов и изделий;
- разные объемы материальных ресурсов в разные этапы строительства;
- финансовая независимость всех участников строительства;
- необходимость в рациональном использовании материальных ресурсов с целью оптимизации строительных процессов.

Тем не менее, существует немало проблем, связанных с логистикой в строительной отрасли (рис. 1).



Рис. 1. Основные проблемы логистики

Строительная логистика в России

На данный момент в нашей стране довольно низкий уровень строительной логистики. Это объясняется рядом причин:

1. Обширная территория государства и концентрация производств и логистических терминалов в центральных районах страны. Это значительно затрудняет доставку грузов в отдаленные районы и складское хранение на этих территориях. Также нельзя отрицать недостаточное финансирование на развитие регионов, что влечет за собой и отставание логистических услуг. Поэтому общий уровень логистики в России находится на низком уровне. По рейтингу Logistics Performance Index (LPI), проводимому Мировым банком среди 160 стран мы занимаем лишь 75 место (табл.). В топ-5 стран данного рейтинга вошли Германия, Швеция, Бельгия, Австрия и Япония [3].

2. Проблема руководящего звена. Менеджеры среднего и высшего звеньев строительной сферы воспринимают логистику, как второстепенную отрасль, не влияющей на доходы предприятия. Это говорит об их недостаточных знаниях о концепциях современной логистики. Отсюда же вытекает проблема с нехваткой опытных кадров, так как руководство не желает платить те деньги, которые требуют квалифицированные специалисты.

3. Не стоит забывать и про ситуацию в мире. По данным InfraOne потери российских транспортных компания от ограничений в связи с коронавирусом на начало мая 2022 года составляют 230,3 млрд рублей [4]. Уход зарубежных компаний с российского рынка, а также изменение привычных цепочек поставок вынуждают логистические компании сокращать объемы аренды складских помещений и оптимизировать существующие пространства. Это, безусловно, не может не сказываться на строительной отрасли.

Россия в рейтинге LPI

Показатели	Уровень таможенного обслуживания	Качество логистической инфраструктуры	Уровень организации поставок	Качество оказания услуг	Уровень отслеживания и контроля грузов	Своевременность поставки грузов	Общая оценка
Оценка (место в рейтинге)	2,42 (97)	2,78 (61)	2,64 (96)	2,75 (71)	2,65 (97)	3,31 (66)	2,76 (75)

Логистика и аутсорсинг

Наиболее эффективным решением проблем логистики в строительной отрасли является передача логистических функций на исполнение специализированным компаниям. Под аутсорсингом понимается делегирование непрофильных задач, ранее выполняющихся своими силами, сторонним компаниям на базе договора. Также необходимо отметить, что с передачей функций происходит и передача рисков. Компания-аутсорсер самостоятельно выбирает инструменты, с помощью которых будет исполнять свои обязательства, прописанные в договоре. Из этого можно сделать вывод, что главной задачей аутсорсинга является сосредоточение всех сил на основном виде деятельности организации и делегирование смежных, но занимающих не последнее место, функций профессиональным компаниям.

С целью увеличения авторитета компании и привлечения новых партнеров и клиентов не стоит забывать об одном из важнейших инструментов продвижения бизнеса – положительном имидже компании, уровень которого, несомненно, повышает внедрение аутсорсинга. Концепция системы аутсорсинга и роль логистики в организации строительного бизнеса представлена в виде схемы (рис. 2) [6].

На основании данной схемы можно прийти к выводу, что логистические системы непосредственно объединены с аутсорсингом. Продуктивность развития бизнеса зависит от способности создать результативные стратегии участия в рынке, надежной конкурентоспособности и эффективной коммуникации. Аутсорсинг в логистике продолжает набирать обороты, и появляется все больше компаний, оказывающих логистические услуги на профессиональном уровне. В связи с этим существует необходимость классификации этих предприятий. В настоящее время существует пять уровней логистических услуг:

- 1 PL относится к полностью независимой логистике. Этот уровень означает, что грузовладелец сам реализовывает все логистические функции с использованием собственных ресурсов;
- 2 PL подразумевает частичный аутсорсинг логистики. Специализированные компании предоставляют только технику и предлагают складские услуги;
- 3 PL – это комплекс логистических услуг. Заказчик по-прежнему сам планирует логистическую деятельность организации,

но компании-аутсорсеру переходит выполнение большего количества функций, чем на нижних уровнях;

- 4 PL предполагает полный логистический аутсорсинг. На данном уровне аутсорсер целиком вовлечен в логистическую работу клиента, он сам выполняет все функции логистики в компании заказчика, осуществляет все бизнес-процессы и цепи поставок;

- 5 PL – «Виртуальная» логистика». На данном уровне компания-исполнитель предоставляет полный спектр услуг посредством информационных технологий. Она обладает всей необходимой информацией о рыночной ситуации клиента и может организовать наилучшие транспортные варианты для движения материалов, рабочей силы, денег и других потоков, даже если у него нет своих ресурсов, задействованных в этой реализации [7].

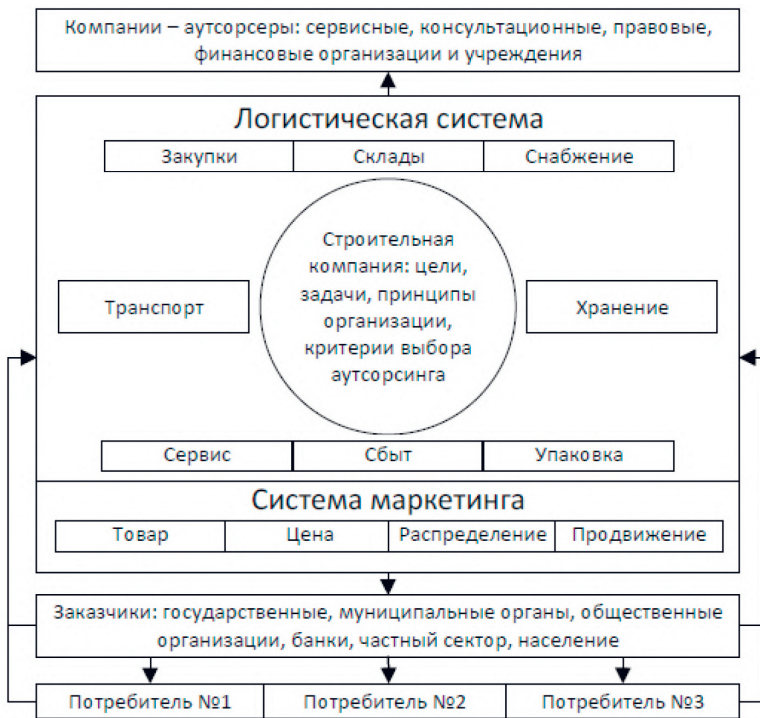


Рис. 2. Концепции аутсорсинга строительной компании

Краеугольным камнем аутсорсинга, как явления в целом, составляет то, что компании-аутсорсеры имеют множество контрагентов в виде заказчиков. Из-за большого опыта компании и накопленной базы знаний всегда можно ожидать высокого уровня работы. Аутсорсеры всегда быстро реагируют на изменения законодательства и требования рынка, всегда предлагают множество решений в этом направлении.

Однако из-за множества заказчиков следует и другая сторона компаний-аутсорсеров – невозможность правильно распределить нагрузку на собственные кадровые ресурсы. Множество контрагентов такой компании постоянно генерируют работу, которые нужно выполнять. Поток этих работ не всегда равномерный, т. к. компании-аутсорсеры не всегда могут предсказать всех рисков. Приход новых заказчиков или уход старых не всегда прогнозируемый. Из этого появляются недостатки такого вида партнерства – сорванные сроки или недостаточно качественно выполненная работа в периоды высоких нагрузок.

К преимуществам аутсорсинга логистических услуг можно отнести то, что компания-заказчик может сфокусироваться на своем основном виде деятельности, повысить уровень организации и оперативность в принятии решений, ликвидировать расходы на наем специализированного персонала и его обучение, ну и, конечно, нельзя не отметить практичность дистанционного сотрудничества с партнерами. В условиях кризиса важность этих преимуществ значительно возрастает.

К недостаткам же относится риск невыполнения аутсорсером своих обязанностей, что повлечет за собой потерю финансов и времени на поиск нового партнера и включение его в работу, а также нельзя исключать риск утечки информации конкуренту вследствие недобросовестности.

Но, если правильно подходить к выбору аутсорсинговой логистической компании, придерживаясь ряда критериев, способствующих оптимальному выбору логистического провайдера, то избежать вышеперечисленного вполне возможно. Необходимо отличать аутсорсинг от субподряда. Отличительной чертой субподряда является

нацеленность на снижение затрат и краткосрочное сотрудничество, ограничивающиеся периодом возведения одного здания. При этом контроль осуществляется заказчиком, который также несет все материальные и логистические расходы и риски. В то время как аутсорсинг направлен на повышение эффективности, не ограничен конкретным объектом, полностью заменяет собственное ведомство и самостоятельно несет все расходы и риски. Поэтому можно сделать вывод о превосходстве аутсорсинга над субподрядом.

Выводы

Россия открыта к развитию в сфере логистики, в том числе и строительной. Отечественным компаниям важно не только получить конкурентноспособные преимущества за счет снижения цены и повышения качества услуг, но и повысить собственную экономическую устойчивость в условиях кризиса. С этой задачей может помочь справиться активное внедрение аутсорсинга. Однако, для этого необходимо принимать во внимание не только известные в мире трудности перехода, но и такие особенности государства, как слабая культура договорных отношений, консервативность рынка и несовершенство законодательства.

Литература

1. Логистика и управление цепями поставок: учебник для академического бакалавриата / Под ред. В. В. Щербакова. – М.: Юрайт, 2015. – 582 с.
2. Дюкова О. М. Логистика строительства: современное понимание и тенденции. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016. – 116 с.
3. Индекс эффективности логистики [Электронный ресурс] URL: <https://lpi.worldbank.org/>
4. Исследовательское подразделение InfraOne [Электронный ресурс] URL: <https://infraoneresearch.ru/>
5. Карпова Н. П., Федечкина И. В. Концепции взаимодействия контрагентов в цепях поставок // Вестник Самарского государственного экономического университета. – Самара, 2017. – № 4 (102). – 60).
6. Тускаева З. Р. Оптимизация вопросов управления строительством с помощью аутсорсинга / З. Р. Тускаева, О. А. Вахрушев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 5. – С. 98–104. – EDN RAFFGL.

7. *Авдеева В. А.* Аутсорсинг – логистический резерв строительной организации / В. А. Авдеева, А. А. Хрусталеv // *Modern science and technology* : Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 20 февраля 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. – С. 65–68. – EDN YTUZHV

УДК 658

Максим Юрьевич Гляков,
канд. техн. наук, старший преподаватель
Никита Владимирович Курашев,
курсант
(Военный институт
(инженерно-технический) ВА МТО)
E-mail: makas_39@bk.ru,
nikita.kurashev@mail.ru

Maxim Yurievich Glyakov,
PhD in Sci. Tech., senior lecturer
Nikita Vladimirovich Kurashev,
cadet
(Military Institute
(Engineering and Technical) MAL)
E-mail: makas_39@bk.ru,
nikita.kurashev@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ
И ВТОРИЧНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
СТРОИТЕЛЬНОГО МУСОРА В РОССИИ**

**APPLICATION OF TECHNOLOGIES FOR PROCESSING
AND RECYCLING OF CONSTRUCTION WASTE IN RUSSIA**

В статье приведен анализ использования инновационных технологий по переработке и вторичного использования строительных отходов, а также рассмотрены недостатки использования данных технологий в России. Приведено описание и положительный эффект рециклинга и технологии «умный снос», который позволят усовершенствовать систему переработки и вторичного использования строительного мусора в России.

Ключевые слова: строительный мусор, переработка, утилизация, рециклинг, технология «умный снос», строительные материалы.

The article provides an analysis of the use of innovative technologies for the processing and recycling of construction waste, as well as the disadvantages of using these technologies in Russia. The description and positive effect of recycling and “smart demolition” technology, which will improve the system of recycling and recycling of construction debris in Russia, are given.

Keywords: construction waste, recycling, recycling, recycling, smart demolition technology, building materials.

В последнее время при строительстве, реконструкции, реновации объектов инфраструктуры приобретает актуальность, перерастающая с каждым годом в масштабную проблему, такая тема, как утилизация и переработка строительного мусора. Возведение новых зданий и сооружений, торговых комплексов, снос пришедших в непригодное состояния зданий – все это приводит к непрерывно-

му увеличению объемов строительного мусора, который вывозится в места утилизации для переработки, захоронения или сжигания.

В России ежегодно образуется 18–20 млн тонн строительных отходов. В соответствии с классификатором Минжилкомхоза РСФСР 1989 г. [1] при сносе, реконструкции и новом строительстве зданий и сооружений образуется около 20-ти видов отходов. Образующие отходы состоят из кирпича, железобетона, бетона, дерева, гипсокартона, утеплителя, раствора и т. д.) и в процессе развития технологии строительства их, становится возможно, использовать в переработанном виде в качестве нового сырья для получения строительных материалов различного применения.

Строительный мусор – это битый кирпич, старая кафельная плитка, куски бетона, штукатурка, обрывки обоев, старый линолеум, двери, прочие обрезки и остатки стройматериалов. Также к нему относятся продукты сноса, капитального ремонта, реновации, реставрации, реконструкции сооружений. Также в процессе ремонта и стройки на объектах образуется большое количество отходов. Обломки стен, покрытий, кровли, деревянных перегородок – это далеко не полный перечень боя, который требуется собрать и вывезти на утилизацию. Некоторые материалы, утратившие потребительские качества, могут быть переработаны и использованы вторично.

Вступившие в нашей стране в силу новые правила обращения с отходами привели к значительным изменениям в отрасли. Важным изменением стало выделение строительного мусора из состава ТКО. В результате этой реформы строительный мусор нельзя выбрасывать в мусорные контейнеры. Его основное отличие от ТКО – более однородный состав, что облегчает сортировку и переработку.

Порядок обращения с отходами регламентируется рядом нормативно-правовых актов:

1. Федеральные законы: № 7-ФЗ, 89-ФЗ, 96-ФЗ, 458-ФЗ;
2. СанПиН 42-128-4690-88;
3. Постановление Правительства РФ № 957.

В документах прописаны все правила и требования к подрядчикам, оказывающим услуги, дана классификация всем видам лома, определены методы и технологии переработки строительных отходов.

На рис. 1 представлена общая классификация строительного мусора.

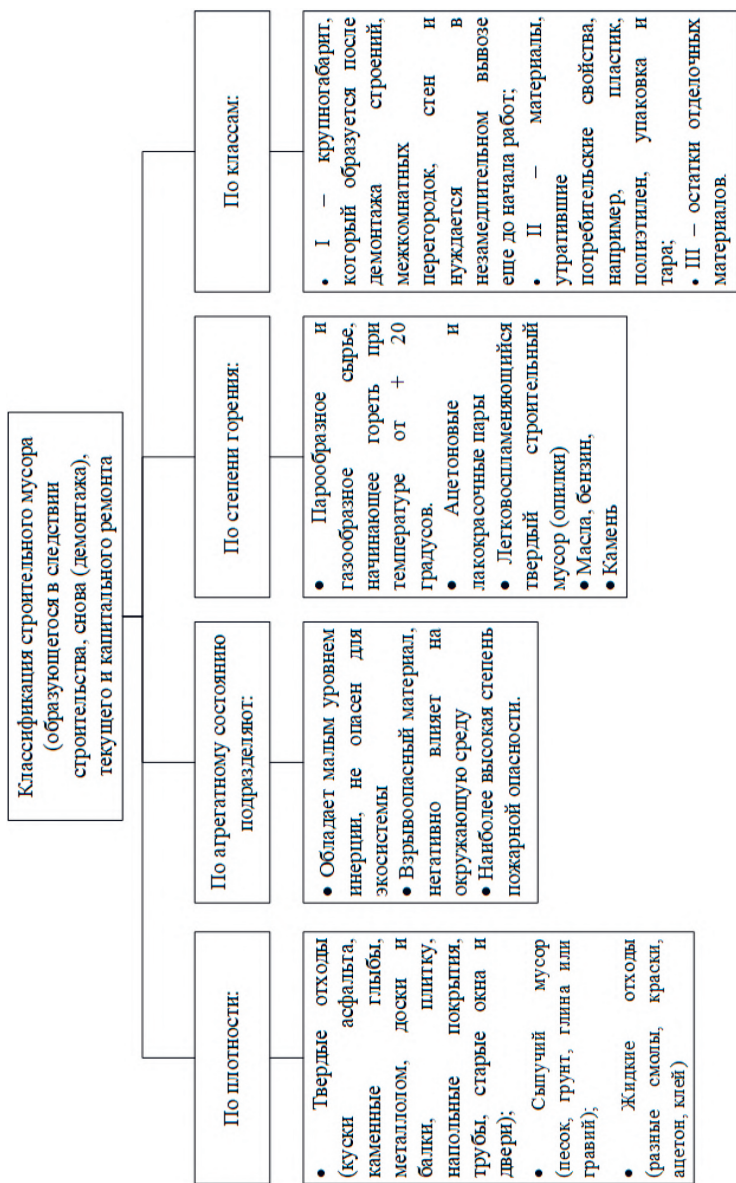


Рис. 1. Классификация строительного мусора

Ежегодно в России образуется более 70 миллионов тонн строительных отходов. В соответствии с данными Росприроднадзора [2], в 2021 г. в стране образовалось 71,3 млн тонн подобного мусора. Однако, на переработку было отправлено всего 22 % от общего количества строительных отходов (примерно 15,5 млн тонн), а процент использования вторичных отходов не превысил 1 %.

27 декабря 2019 г. вступил в силу ФЗ № 473-ФЗ «О внесении изменений в Жилищный кодекс Российской Федерации и Федеральный закон «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства» в части переселения граждан из аварийного жилищного фонда», в связи с этим, по программе «Ветхое жилье» в России под снос приходится 19,24 миллиона м² жилых помещений [3], в результате сноса которых будет образовано тысячи тонн строительного мусора. На рис. 2 и 3 представлена динамика увеличения объема строительных отходов и снос домов по программе реновации в г. Москве.

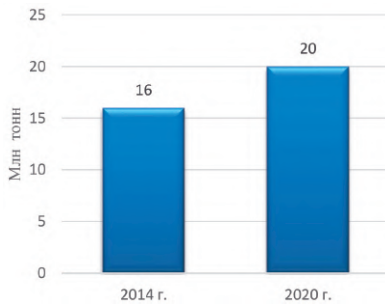


Рис. 2. Объем строительных отходов

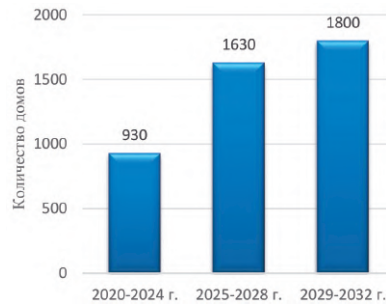


Рис. 3. Динамика сноса домов по программе реновации жилищного фонда в г. Москве

В связи с этим на сегодняшний день в строительной отрасли, в частности, в системе переработки и утилизации строительных отходов, необходимо провести качественные преобразования и внедрение инновационных технологий с целью повышения качества эффективности переработки строительных отходов для их вторичного использования. Так, например, в России перерабатывается только

примерно 10 % от всех строительных отходов, тогда как в одной из передовых стран по переработки строительного мусора, этот показатель достигает 90 %. Данное соотношение поясняется диаграммой, приведенной на рис. 4.

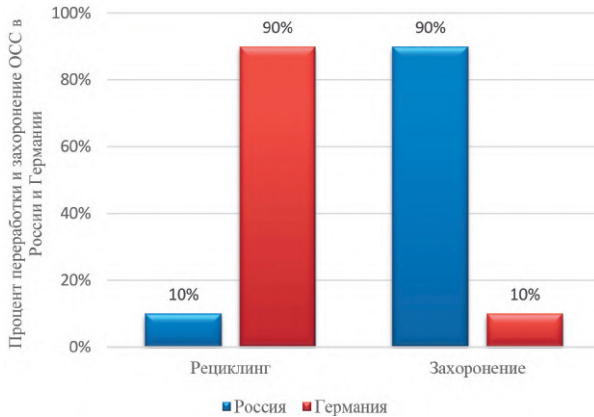


Рис. 4. Соотношение показателей переработки строительных отходов России и Германии

В связи с этим на сегодняшний день в строительной отрасли, в частности, в системе переработки и утилизации строительных отходов, необходимо провести качественные преобразования и внедрение инновационных технологий с целью повышения качества эффективности переработки строительных отходов для их вторичного использования.

Инновационным методом для переработки строительных отходов является рециклинг. Рециклинг – вид технологии, позволяющий перерабатывать материалы и повторно запускать их в производство [4]. Переработанное сырье повторно используется по своему прямому назначению, это отличает данный процесс от утилизации. При этом технология учитывает целесообразность применения вторичного использования материала с точки зрения экономики, если затраты превысят рентабельность, то подбирается иной метод переработки. Рециклинг как отрасль повторного применения отхо-

дов представляет собой замкнутую многоступенчатую структуру, сочетающую сбор, логистику, переработку и сбыт. На рис. 5 представлен процесс рециклинга, раскрытый на каждом этапе переработки по данным [4].

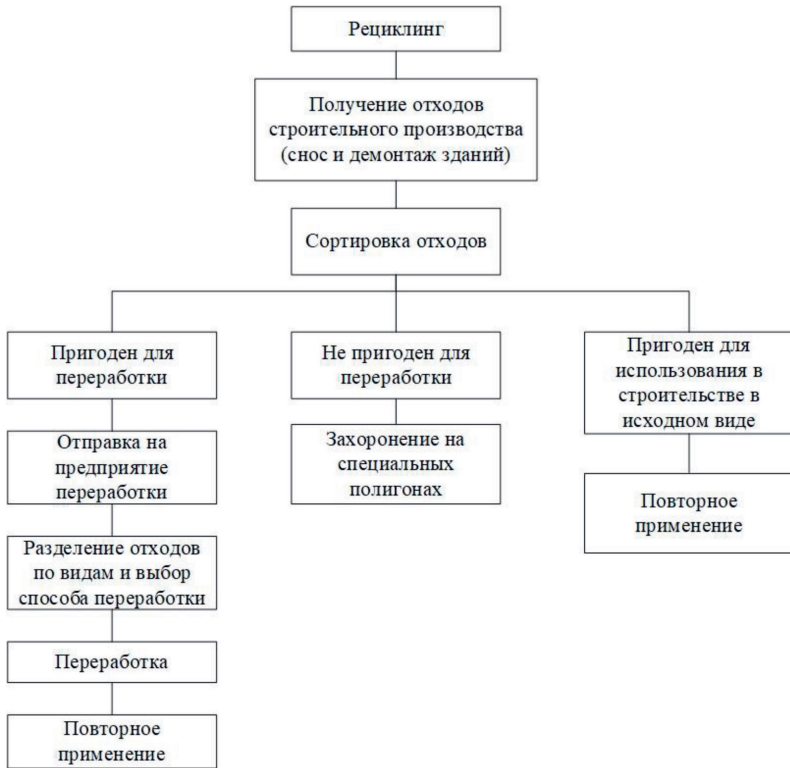


Рис. 5. Процесс рециклинга

Рециклинг является основой малоотходного или безотходного производства. Цель предотвращения и минимизации возникновения строительных отходов является первоопределяющим значением при распределении финансирования в ходе строительства объекта инфраструктуры и в процессе проведения текущего или капитального

ремонта, а также при реконструкции. Так как при возникновении больших объемов строительных отходов учитывается не только их переработка в местах утилизации, но и оплата грузового транспорта, оплата рабочих и топлива, что является немаловажным критерием экономических затрат.

Таким образом, оптимальное решение с точки зрения экономического состояния является вторичное использование переработанных строительных отходов, способные заменить покупные строительные материалы. Также вторичное использование строительных отходов минимизирует негативное воздействие на окружающую среду путем меньшего их складирования на специальных полигонах. На рис. 6 представлена иерархия обращения со строительными отходами по «лестнице Линсинка» [5, с. 17], раскрывающая распределение наиболее предпочтительных способов к наименее предпочтительным.



Рис. 6. Иерархия обращения со строительными отходами

Внедрение рециклинга в систему строительной отрасли в качестве элемента, предназначенного для переработки строительных

отходов с целью создания вторичного сырья для его дальнейшего использования, является не только элементом оснащения строительной площадки дополнительными строительными материалами, но и является важным критерием экологичного строительства и экономической составляющей, позволяющей экономить на некоторые строительные материалы. То есть развитие рециклинга предполагает повышение производственных мощностей. Положительный эффект применения рециклинга строительных отходов раскрыт на рис. 7.

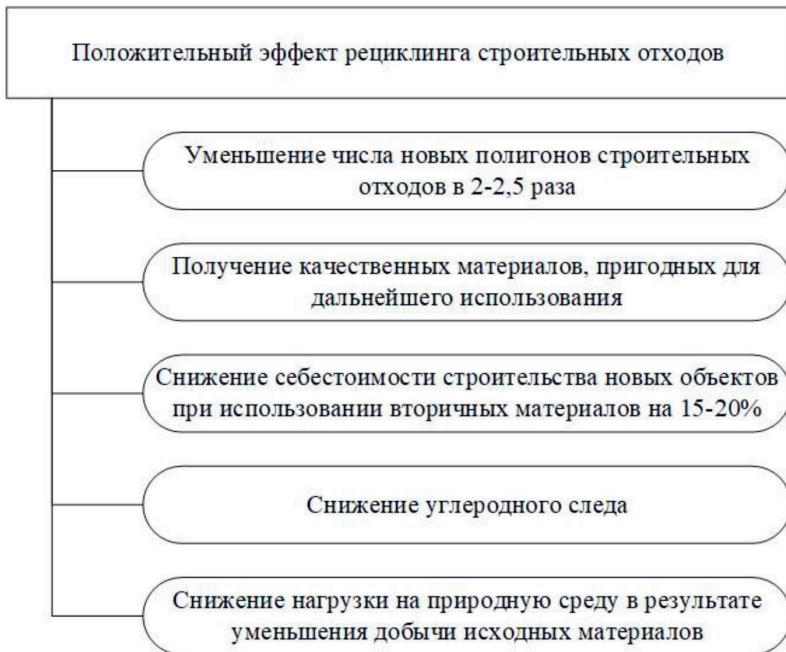


Рис. 7. Положительный эффект при применении технологии рециклинга строительных отходов

На сегодняшний день все чаще находит свое применение подход «умный снос». Отмечается, что способ подразумевает максимально возможное использование или переработку материалов после сноса. Сносимые в рамках реновации дома будут разбираться

на строительные материалы, а появившиеся отходы – сортировать и проходить три вида исследований.

Разборка и утилизация здания проходит по технологии «умного сноса», который станет стандартом в рамках программы реновации. После отключения от инженерных коммуникаций на I этапе осуществляется поэлементная разборка здания с разделением отходов по группам для перемещения на специализированные полигоны, дальнейшей переработки и возможного повторного использования (фаянс – отдельно, столярные изделия – отдельно и т. д.).

Согласно этому принципу, максимально возможный объем материалов, появившихся после сноса, будут переработаны или повторно использованы. Причем перерабатываемые отходы пройдут бактериологические, токсико-химические и радиационные исследования.

Отходы сноса будут рассортированы согласно классу опасности Федерального классификационного каталога отходов (ФККО) и размещены в бункерах-накопителях. Раздельный сбор осуществляется преимущественно механизированным способом. Предельный срок хранения образующихся отходов на площадке не должен превышать 7 календарных дней.

Так, по данным [6], после разбора пятиэтажки образуется порядка 5 тыс. тонн различных материалов. Из них 98 % отходов относятся к самому безопасному V классу отходов. 2 % относятся к IV классу отходов (малоопасные отходы, в основном отходы теплоизоляционных материалов). Отходов высоких классов опасности при сносе дома не образуется.

После разбора дома на его месте останется только железобетонный остов, который будет демонтировать экскаватор-разрушитель с помощью гидроразрывных устройств, начиная с верхних уровней.

Демонтированные конструкции доставляются на полигоны, где их ломают на более мелкие фрагменты и перерабатывают методом дробления. Остатки армирования (металлолом) отделяются и направляются на переработку.

Количество образующейся пыли при сносе будут снижать с помощью гидропушек, распыляющих воду под большим давлением. Также во время сноса со стороны жилой застройки будут возводить шумозащитную стенку-сетку, чтобы уменьшить шум от работ.

Последовательность процессов, выполняемых по технологии «умный снос» представлена на рис. 8, используемая при расчете по программе [7, 8].



Рис. 8. Последовательность процессов технологии «умный снос»

Представленный в статье анализ развития технологий по переработке строительных отходов раскрывает актуальную тему качества переработки строительного мусора и его вторичного использования. Данное направление в России не реализовано в полном объеме, что не позволяет качественно использовать вторичное сырье в строительной отрасли.

Положительный эффект при применении рециклинга и технологии «умный снос», которые раскрыты в статье, позволят повысить

качество переработки строительных отходов и вторичное использование строительных материалов.

Литература

1. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР от 5 января 1989 г. № 8 «Об утверждении и введении в действие правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда».

2. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления [электронный ресурс] URL.: <https://https.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения 13.04.2023 г.).

3. Федеральный закон от 30.12.2020 № 494-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий».

4. *Байрак А. Н.* Повышение эффективности рециклинга твердых коммунальных отходов (на материалах г. Новосибирска). Барнаул, 2022. – 129 с.

5. Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries / U.S. EPA, 2020. – URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/master_swmg_10-20-200.pdf (дата обращения 13.04.2023 г.).

6. Реновация Москвы [электронный ресурс] URL.: <https://tass.ru/ekonomika/5480617> (дата обращения 13.04.2023 г.).

7. *Кацеев Р. Л., Саркисов С. В., Гляков М. Ю., Тимеев И. С., Курашев Н. В.* Программа для ЭВМ «Программа расчета объема строительных отходов по технологии «умный снос» RU 2 023 615 763 от 17.03.2023 г.

8. *Кацеев Р. Л., Саркисов С. В., Гляков М. Ю., Тимеев И. С., Курашев Н. В.* Программа для ЭВМ «Программа расчета объемов строительных отходов при демонтаже зданий и сооружений» RU 2 023 615 630 от 16.03.2023 г.

УДК 332.81

Евгений Олегович Добрышкин,
канд. техн. наук
Никита Владимирович Курашев,
курсант
(Военный институт
(инженерно-технический) ВА МТО)
E-mail: edobryshkin@mail.ru,
nikita.kurashev@mail.ru

Evgeniy Olegovich Dobryshkin,
PhD in Sci. Tech.
Nikita Vladimirovich Kurashev,
cadet
(Military Institute
(Engineering and Technical) MAL)
E-mail: edobryshkin@mail.ru,
nikita.kurashev@mail.ru

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**ANALYSIS OF THE STATE OF THE HOUSING STOCK
OF SAINT-PETERSBURG**

В статье проведен анализ состояния жилищного фонда Санкт-Петербурга, раскрывающий количество объектов жилищного фонда, относящихся к аварийному состоянию, с приведенными диаграммами по годам постройки объектов аварийного фонда Санкт-Петербурга и распределением этих объектов по районам города. Результат анализа раскрывает актуальную тему своевременного определения физического износа строительных конструкций с целью недопущения возникновения аварийного состояния объектов жилищного фонда Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: объекты жилищного фонда, аварийный фонд, физический износ, жилищный фонд Санкт-Петербурга.

The article analyzes the state of the housing stock of St. Petersburg, revealing the number of housing stock objects related to the emergency condition, with the diagrams given by the years of construction of the objects of the emergency fund of St. Petersburg and the distribution of these objects by districts of the city. The result of the analysis reveals an urgent topic of timely determination of physical wear of building structures in order to prevent the occurrence of an emergency condition of housing stock facilities in St. Petersburg.

Keywords: housing stock objects, emergency fund, physical wear and tear, housing stock of St. Petersburg.

Санкт-Петербург является крупнейшим городом севера Европы, вторым по величине городом России. Совокупность географических,

экономических, политических и культурных особенностей города выделяет его среди других крупнейших городов мира, делая его уникальным. Вместе с тем Санкт-Петербург – это мегаполис, имеющий весь комплекс проблем, присущих крупным городам страны.

Жилищный фонд Санкт-Петербурга составляет 149 млн. м² [1] и весьма различен по своей структуре и качественным характеристикам. В настоящее время в Санкт-Петербурге насчитывается более 20 тысяч многоквартирных домов [1]. Значительную часть жилого фонда – около 6500 домов (35 % от всего жилищного фонда Санкт-Петербурга) составляют кирпичные и блочные дома 1957–1970 гг. постройки (так называемые «Хрущевки»).

В табл. 1–2 приведены данные характеристик жилищного фонда городов федерального значения Российской Федерации (г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Севастополь) по состоянию на конец 2021 г. [1]

Таблица 1

Общая площадь жилых помещений по состоянию на конец 2021 г.

Город	Общая площадь жилых помещений, тыс. м ²	Общая площадь жилых помещений, приходящихся в среднем на одного жителя, м ²
г. Москва	282 334,5	22,3
г. Санкт-Петербург	149 876,2	27,9
г. Севастополь	12 137,3	23,2

На основе приведенных данных в табл. 1–2 можно сделать вывод, что жилищный фонд Санкт-Петербурга представляет собой развитую систему объектов жилой инфраструктуры, имеющую высокую плотность населения.

Застройка Санкт-Петербурга формировалась на протяжении более 300 лет и представляет собой городскую инфраструктуру, состоящую, главным образом, из многоквартирных жилых домов, что составляет 125 220 062,16 м² жилой площади и 22 000 домов (2 364 997 квартир) [2].

Таблица 2
Общая площадь жилых помещений по формам собственности по состоянию на конец 2021 г., тыс. м²

Город	Частный	В том числе в собственности:		Государственный	В том числе в собственности:	
		граждан	юридических лиц		субъектов РФ	муниципальный
г. Москва	259 055,4	255 299,4	3 756,0	23 029,0	18 785,9	183,1
г. Санкт-Петербург	140 126,0	139 769,7	356,3	9 750,2	8 162,3	-
г. Севастополь	9 198,0	9 181,2	16,8	2 939,2	2 524,5	-

Около 22 % от всей совокупности многоквартирных жилых домов представлена объектами дореволюционной постройки, и еще 50 % объектов – это здания, построенные в период реализации массовых программ жилищного строительства. В табл. 3 приведены данные о структуре жилищного фонда в Санкт-Петербурге, объекты которого введены в эксплуатацию до 1990 г. [3].

Ретроспективный анализ показывает, что в 2006 г. площадь ветхого и аварийного жилищного фонда в Санкт-Петербурге составляла 580,78 тыс. м², в том числе ветхий жилищный фонд составлял 235,1 тыс. м², а аварийный – 345,6 м². Таким образом, удельный вес ветхого и аварийного жилищного фонда в общей площади всего жилищного фонда составлял 0,6 %. К 2010 году удельный вес этих показателей увеличился на 0,1 %, а общее количество ветхого и аварийного жилищного фонда увеличилось на 176,4 тыс. м². На современном этапе снижение значения удельного веса аварийных и ветхих объектов в общей структуре жилищного фонда в Санкт-Петербурге связано с вводом в эксплуатацию новых жилых домов, а также проведением ремонтных работ с целью устранения физического износа жилых зданий.

В ходе проведенного анализа было определено, что в 2021 г. аварийного жилищного фонда в Санкт-Петербурге насчитывалось примерно 264 196 м² (261 дом) [4], в том числе жилищный фонд дореволюционной постройки составил около 59,91 %, жилищный фонд 1921–1945 гг. – 34,14 %. [5]. Несмотря на высокие показатели объема ввода новых объектов жилой инфраструктуры посредством нового строительства, задача по обеспечению населения жильем в соответствии с установленными техническими и санитарно-эпидемиологическими нормами по настоящее время в полной мере не решена. Данный факт объясняется тем, что значительная часть населения России продолжает проживать в помещениях, не соответствующих современным объемно-планировочным требованиям, требованиям по инсоляции помещений и нормированию жилой площади на одного проживающего. Таким образом, кроме физического, объекты жилищной инфраструктуры характеризуются также и моральным износом.

Таблица 3

**Структура домов по количеству строений и общей площади,
введенных в эксплуатацию до 1990 г. в Санкт-Петербурге**

Номер группы качественной характеристики	Группа качественной характеристики	Количество строений, тыс. шт.		Общая площадь, тыс. м ²	
		абсолютное значение	относительное значение	абсолютное значение	относительное значение
1	2	3	4	5	6
1.	Дома дореволюционной постройки, прошедшие комплексный капитальный ремонт	2569	11,5	4766,60	6,1
2.	2	3	4	5	6
3.	Дома дореволюционной постройки, не прошедшие капитальный ремонт	5052	22,7	9160,75	11,7
4.	Дома постройки 1918–1930 гг. категории «Конструктивизм»	304	1,4	623,53	0,8
5.	Дома постройки 1931–1956 гг. категории «Сталинские»	1982	8,9	5500,25	7,0
6.	Дома постройки 1957–1970 гг. категории «Хрущевки кирпичные»	3545	15,9	9085,13	11,6

Окончание табл. 3

Номер группы качественной характеристики	Группа качественной характеристики	Количество строений, тыс. шт.		Общая площадь, тыс. м ²	
		абсолютное значение	относительное значение	абсолютное значение	относительное значение
7.	Дома постройки 1957–1970 гг. категории «Хрущевки панельные»	2699	12,1	10299,39	13,1
8.	Дома постройки 1970–1980 гг. кирпичные	1186	5,3	5856,77	7,5
9.	Дома постройки 1970–1980 гг. панельные	1607	7,2	16839,82	21,5
10.	Дома построенные после 1980 года категории «Новое строительство», кирпичные	602	2,7	3688,88	4,7
11.	Дома построенные после 1980 года категории «Новое строительство», панельные	989	4,4	12127,51	15,5
12.	Дома деревянные	1456	6,5	288,80	0,4
13.	Дома постройки 1945–1948 гг. категории «Немецкие»	291	1,3	186,66	0,2
Итого		22 282	100	78 424,1	100

В табл. 4 приведены аварийные дома в Санкт-Петербурге с указанием адреса, года постройки, площади и количества жителей [6].

Таблица 4

Аварийные дома в Санкт-Петербурге

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
1.	ул. Садовая, д. 61, к. А, Б	1875	4158	–
2.	ул. 11-я Красноармейская, д. 7	1879	5316	–
3.	наб. Обводного канала, д. 114, к. 3	1885	339	–
4.	наб. Обводного канала, д. 116, к. 2	1885	570	–
5.	ул. Лабутина, д. 3, к. Г	1899	2956	–
6.	пр-кт. Римского-Корсакова, д. 95	1846	734	–
7.	пр-кт. Римского-Корсакова, д. 115	1908	–	–
8.	ул. Бронницкая, д. 17, к. А	1897	2060	–
9.	ул. Звенигородская, д. 7, к. А	1890	624	–
10.	ул. Серпуховская, д. 2/68	–	1982	–
11.	наб. Бумажного канала, д. 12	1917	–	–
12.	наб. Бумажного канала, д. 16	1917	–	–
13.	ул. Курляндская, д. 37, к. В	1896	1394	–
14.	пр-кт. Нарвский, д. 15, к. 2	1905	2242	–
15.	наб. Обводного канала, д. 128	1875	6984	–
16.	пр-кт. Рижский, д. 23	1905	13529	–
17.	пр-кт. Рижский, д. 46, к. Г	1917	3100	–
18.	пр-кт. Рижский, д. 70, к. Р	1902	4999	–
19.	ул. Шкапина, д. 22	1917	1318	3
20.	ул. Шкапина, д. 24	1917	2483	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
21.	ул. Шкапина, д. 36-40, к. А	1914	3364	33
22.	ул. Шкапина, д. 42	1912	3674	37
23.	пр-кт. Вознесенский, д. 36, к. А	1868	2211	–
24.	линия. Кадетская В.О., д. 21, стр. А	1916	879	–
25.	наб. Макарова, д. 14, стр. Б	1917	18	–
26.	ул. Репина, д. 27	1910	1888	–
27.	наб. Выборгская, д. 53, к. А	1917	1407	–
28.	пр-кт. 2-й Муринский, д. 31, к. А	1914	2538	–
29.	пр-кт. Тихорецкий, д. 1, к. 1, стр. А	1933	3635	179
30.	пр-кт. Тихорецкий, д. 5, к. 1, стр. Г	1933	2982	–
31.	пр-кт. Непокоренных, д. 9, к. 2	1949	1442	63
32.	пр-кт. Непокоренных, д. 9, к. 3Е	–	1510	75
33.	пр-кт. Непокоренных, д. 9, к. 3Е	1947	1503	26
34.	пр-кт. Непокоренных, д. 9, к. 4А	1948	1105	26
35.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 1	1930	3465	11
36.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 2	1930	2225	–
37.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 3	1930	2881	–
38.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 4	1930	2709	–
39.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 5	1930	2258	–
40.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 7	1930	4414	–
41.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 8	1930	6375	–
42.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 9	1930	3918	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
43.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 10	1930	2672	–
44.	пр-кт. Кондратьевский, д. 40, к. 11	1930	6334	–
45.	пр-кт. Стачек, д. 172	1917	4066	250
46.	ул. Зои Космодемьянской, д. 6, к. 2	1895	4862	–
47.	ул. Калинина, д. 2, к. 2	1917	695	22
48.	ул. Калинина, д. 10, к. А	1880	1514	–
49.	ул. Калинина, д. 16, к. А	1951	508	–
50.	ул. Калинина, д. 18, к. А	1890	1919	–
51.	ул. Оборонная, д. 15, к. Д	1931	5853	–
52.	ул. Промышленная, д. 8, к. А	1949	595	–
53.	ул. Турбинная, д. 9	1931	6821	–
54.	пер. Урюпин, д. 2/6, к. А	1900	872	–
55.	ул. Швецова, д. 4, к. А	1936	1823	–
56.	ул. Гусева, д. 5, к. 6, лит. А	1948	487	27
57.	ул. Магнитогорская, д. 53, к. А	1952	761	–
58.	пр-кт. Косыгина, д. 17, к. 1	2006	18268	290
59.	дор. В Рыбацкое, д. 4, стр. А	–	–	–
60.	дор. В Рыбацкое, д. 6, стр. А	–	–	–
61.	дор. В Рыбацкое, д. 10, стр. А	–	–	–
62.	дор. В Рыбацкое, д. 12, стр. А	–	–	–
63.	дор. В Рыбацкое, д. 14, стр. А	–	–	–
64.	дор. В Рыбацкое, д. 18, стр. А	–	–	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
65.	дор. В Рыбацкое, д. 20, стр. А	–	–	–
66.	пр-кт. Екатерининский, д. 15, к. А	1959	443	–
67.	пр-кт. Екатерининский, д. 17, к. А	1941	92	–
68.	пр-кт. Пискаревский, д. 142, к. 2	1917	–	–
69.	пр-кт. Пискаревский, д. 142, к. 5	1956	–	–
70.	пр-кт. Пискаревский, д. 142, к. 6	1959	–	–
71.	пр-кт. Пискаревский, д. 142, к. 8	1956	–	–
72.	пр-кт. Пискаревский, д. 142, к. 9	1956	–	–
73.	ш. Революции, д. 12, к. 1	1948	1406	93
74.	ш. Революции, д. 12, к. 3	1949	536	29
75.	ш. Революции, д. 12, к. 6	1948	1401	64
76.	ш. Революции, д. 12, к. 7	1948	545	18
77.	ш. Революции, д. 12, к. 8	1948	1388	74
78.	ш. Революции, д. 12, к. 9	1948	1388	74
79.	ш. Революции, д. 12, к. 10А	1948	546	3
80.	ш. Революции, д. 12, к. 11	1949	544	31
81.	пр-кт. Шафировский, д. 15	1958	847	–
82.	пр-кт. Шафировский, д. 15, стр. А	1958	–	–
83.	ул. 1-я Жерновская, д. 15	1927	–	–
84.	ул. 2-я Жерновская, д. 20	1927	–	–
85.	ул. 2-я Жерновская, д. 26	1917	–	–
86.	ул. 2-я Жерновская, д. 58, стр. А	1896	–	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
87.	ул. 2-я Поперечная (Ново-Ковалево), д. 14	1948	–	–
88.	линия. 3-я (Ново-Ковалево), д. 10, стр. А	1949	–	–
89.	ул. 3-я Поперечная (Ново-Ковалево), д. 9, стр. А	–	–	–
90.	линия. 5-я (Ново-Ковалево), д. 15/16, стр. А	1949	–	–
91.	линия. 5-я (Ново-Ковалево), д. 20, стр. А	1958	–	–
92.	линия. 5-я (Ново-Ковалево), д. 22, стр. А	1958	–	–
93.	линия. 5-я (Ново-Ковалево), д. 24, стр. А	1958	–	–
94.	линия. 5-я (Ново-Ковалево), д. 26, стр. А	1958	–	–
95.	ул. 6-я Жерновская, д. 13	1906	–	–
96.	ул. Беломорская, д. 20, стр. А	–	–	–
97.	ул. Братская, д. 2, стр. А	–	–	–
98.	ул. Братская, д. 4	1937	1077	–
99.	ул. Братская, д. 4, стр. А	–	–	–
100.	ул. Братская, д. 6, к. А	1936	544	–
101.	ул. Братская, д. 6, стр. А	–	–	–
102.	ул. Братская, д. 28, стр. А	1914	–	–
103.	ул. Братская, д. 30, стр. А	–	–	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
104.	ул. Братская, д. 32, стр. А	–	–	–
105.	ул. Братская, д. 33, стр. А	1914	–	–
106.	ул. Братская, д. 35, стр. А	1917	–	–
107.	ул. Братская, д. 37, стр. А	1914	–	–
108.	ул. Зарубинская, д. 6	1917	–	–
109.	ул. Камышинская, д. 22, стр. А	–	–	–
110.	ул. Камышинская, д. 32, стр. А	–	–	–
111.	ш. Капсьюльное, д. 35, стр. А	–	–	–
112.	ш. Капсьюльное, д. 36	1863	877	–
113.	ш. Капсьюльное, д. 36, стр. А	–	–	–
114.	ш. Капсьюльное, д. 37	1917	338	–
115.	ш. Капсьюльное, д. 37, стр. А	–	–	–
116.	ш. Капсьюльное, д. 39, к. А	1917	215	–
117.	ш. Капсьюльное, д. 39, стр. А	–	–	–
118.	ул. Ковалевская, д. 3	1941	–	–
119.	ул. Ковалевская, д. 13, стр. А	–	–	–
120.	ул. Лесопарковая, д. 12, стр. А	1914	–	–
121.	ул. Лесопарковая, д. 23, стр. А	1914	–	–
122.	ул. Лесопарковая, д. 27, стр. А	1914	–	–
123.	ул. Лесопарковая, д. 29, стр. А	1914	–	–
124.	ул. Лесопарковая, д. 52, стр. А	1914	–	–
125.	ул. Лесопарковая, д. 54, стр. А	1914	–	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
126.	пер. Мельничный, д. 5	1961	–	–
127.	ш. Революции, д. 108	1917	–	–
128.	ул. Ржевская, д. 29, стр. А	–	–	–
129.	ул. Ржевская, д. 33, стр. А	1861	–	–
130.	ш. Рябовское, д. 104	1947	–	–
131.	ш. Рябовское, д. 107, стр. А	1937	–	–
132.	ш. Рябовское, д. 115, стр. А	–	–	–
133.	ул. Федоровская, д. 16	1917	–	–
134.	ул. Федоровская, д. 22	1917	–	–
135.	ул. Федоровская, д. 24, стр. А	1917	–	–
136.	ул. Челябинская, д. 12	1951	–	–
137.	ул. Челябинская, д. 63	1917	–	–
138.	ул. Бабанова, д. 6, к. А	1956	205	–
139.	ул. Железнодорожная, д. 1, к. А	1949	78	–
140.	ул. Железнодорожная, д. 3, к. А	1947	67	–
141.	ул. Интернациональная, д. 11	1950	328	–
142.	ул. Интернациональная, д. 33, к. 1А	1959	269	–
143.	ул. Интернациональная, д. 35, к. А	1959	282	87
144.	пр-кт. Ленина, д. 15	1917	138	–
145.	ул. Молодежная, д. 7а, к. А	1958	468	–
146.	ул. Молодежная, д. 9а, к. А	1958	469	–
147.	ул. Молодежная, д. 11, к. А	1958	466	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
148.	ул. Молодежная, д. 13, к. А	1958	462	–
149.	ул. Молодежная, д. 14, к. А	1960	493	–
150.	ул. Пролетарская, д. 3а/2, к. А	1957	390	–
151.	ул. Республиканская, д. 1, к. А	1917	308	–
152.	ул. Республиканская, д. 7, к. А	1917	133	–
153.	б-р. Российский, д. 8, к. А	1959	636	35
154.	ул. Социалистическая, д. 7, к. А	1917	259	–
155.	ул. Тамбасова, д. 19, к. 5	1959	635	–
156.	ул. Тамбасова, д. 21, к. 4А	1959	354	–
157.	линия. 4-я В.О., д. 51, стр. А	1854	1889	–
158.	линия. 9-я В.О., д. 46, стр. А	1917	2629	–
159.	линия. 9-я В.О., д. 46, стр. Б	1917	1880	–
160.	ул. Бабушкина, д. 18	1926	1033	16
161.	ул. Бабушкина, д. 39, к. 1В	1950	938	–
162.	ул. Бабушкина, д. 43, к. 1А	1951	939	–
163.	ул. Балтийская, д. 41	1910	2401	–
164.	ул. Большая Десятинная, д. 15	1916	221	–
165.	ул. Большая Подъяческая, д. 24, к. А	1870	4942	–
166.	ш. Волхонское, д. 108, к. 5А	1993	139	–
167.	ш. Волхонское, д. 110	–	–	–
168.	пер. Константиновский (Горелово), д. 9	1950	64	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
169.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 3А	1958	239	–
170.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 4А	1958	233	–
171.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 5А	1959	240	–
172.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 6А	1959	240	–
173.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 7А	1958	240	–
174.	ул. Красная (Старо-Паново), д. 14, к. 8А	1960	236	–
175.	ул. Летняя (Горелово), д. 3, к. 2А	1953	73	–
176.	ул. Совхозная (Старо-Паново), д. 11, к. А	1959	372	–
177.	ул. Совхозная (Старо-Паново), д. 13, к. А	1957	78	–
178.	ул. Совхозная (Старо-Паново), д. 14, к. А	1961	451	–
179.	ул. Совхозная (Старо-Паново), д. 16, к. А	1961	452	–
180.	ул. Совхозная (Старо-Паново), д. 16, к. В	1961	455	5
181.	ш. Петергофское, д. 82, к. 1А	1990	566	–
182.	ш. Петергофское, д. 82, к. 2А	1991	651	–
183	ш. Петергофское, д. 82, к. 3А	1992	652	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
184.	ш. Петергофское, д. 82, к. 4А	1992	652	–
185.	ш. Петергофское, д. 82, к. 5А	1993	650	–
186.	ш. Петергофское, д. 82, к. 6А	1993	651	–
187.	ул. Чекистов, д. 3	1917	596	–
188.	ул. Чекистов, д. 9	1917	615	–
189.	ул. Киевская, д. 8, к. А	1917	1845	–
190.	пр-кт. Московский, д. 204, к. 2А	1917	298	–
191.	ул. Пилотов, д. 25, к. А	1937	4742	–
192.	ул. Крупской, д. 14, к. Б	1948	943	–
193.	ул. Сортировочная-Московская, д. 30, к. А	1961	664	–
194.	ул. Цимбалина, д. 11, к. А	1910	1587	–
195.	ул. Цимбалина, д. 25, к. А	1936	1095	–
196.	ш. Южное, д. 31, к. А	1929	402	–
197.	ш. Южное, д. 36	1917	3411	–
198.	пр-кт. Обуховской Обороны, д. 42, к. 2А	1902	3943	–
199.	ул. Седова, д. 89, к. 3А	1948	1312	–
200.	ул. Седова, д. 91, к. 2	1946	579	–
201.	ул. Седова, д. 91, к. 3	1946	580	–
202.	ул. Седова, д. 91, к. 4	1946	579	–
203.	ул. Седова, д. 93, к. 5А	1947	575	–
204.	ул. Седова, д. 99, к. 5А	1952	790	–

Продолжение табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
205.	ул. Блохина, д. 6/3	1881	–	–
206.	пр-кт. Большой П.С., д. 28	1906	–	–
207.	пер. Петровский, д. 4, к. А	1916	–	–
208.	ул. Александровская (Лахта), д. 12	–	–	7
209.	ул. Граничная, д. 15	–	–	2
210.	ул. Колодезная, д. 11	–	–	7
211.	ул. Коммунаров (Ольгино), д. 22	1946	–	10
212.	пр-кт. Коннолахтинский, д. 17	–	–	26
213.	пр-кт. Лахтинский, д. 70	1974	83	7
214.	пр-кт. Лахтинский, д. 85 б	1962	313	–
215.	пр-кт. Лахтинский, д. 85 д	1956	395	–
216.	пр-кт. Лахтинский, д. 106	–	–	97
217.	ул. Лесная (Ольгино), д. 33	1958	128	9
218.	ул. Михайловская (Лахта), д. 4	–	–	31
219.	ул. Первомайская (Ольгино), д. 16	1912	150	11
220.	ул. Хвойная, д. 16А	–	–	9
221.	ул. Дибуновская, д. 30	1950	961	–
222.	пр-кт. Приморский, д. 32, к. А	1917	1348	–
223.	ул. Заповедная, д. 47	1946	380	–
224.	ул. Заповедная, д. 49	1946	388	3
225.	ул. Малая Десятинная, д. 10	1961	233	14
226.	ул. Новоорловская, д. 56	1917	380	3

Продолжение табл. 4

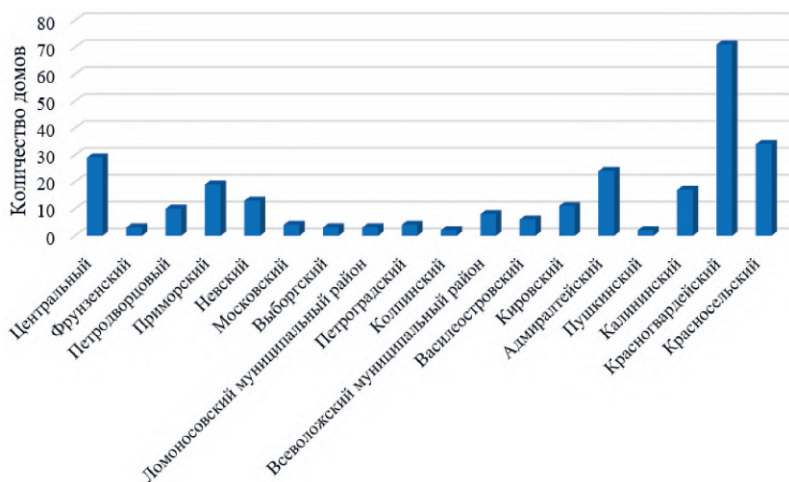
№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
227.	ул. Чистяковская, д. 3	1962	333	15
228.	ул. Железнодорожная, д. 17, к. А	1960	148	–
229.	ул. Боровая, д. 47, к. Б1, Б2	1893	1245	80
230.	ул. Дубровская, д. 5, к. А	1951	1612	–
231.	наб. Обводного канала, д. 62, к. А1, А2	1902	517	–
232.	ул. Прилукская, д. 25, к. А	1938	981	–
233.	ул. Боровая, д. 19, к. А	–	–	–
234.	ул. Боровая, д. 20, стр. А	1868	–	–
235.	ул. Боровая, д. 34/24, к. А	–	–	–
236.	ул. Боровая, д. 34/24, к. Б	–	–	–
237.	ул. Константина Заслонова, д. 8, к. Б	1813	671	29
238.	ул. Константина Заслонова, д. 8, стр. А	1813	–	–
239.	пр-кт. Лиговский, д. 117, к. В	1882	710	14
240.	пр-кт. Лиговский, д. 117, к. Г	1882	1328	35
241.	пр-кт. Лиговский, д. 117 (дубль 1), к. В	1882	692	–
242.	пр-кт. Лиговский, д. 117 (дубль 1), к. Г	1882	1320	–
243.	пр-кт. Лиговский, д. 141, к. Б	1897	480	15
244.	пр-кт. Лиговский, д. 141, к. И	1876	286	14
245.	пр-кт. Лиговский, д. 141, к. Л	1897	567	10

Окончание табл. 4

№ п/п	Адрес	Год постройки	Площадь, м ²	Жители
246.	пр-кт. Лиговский, д. 141 (дубль 1), к. Б	1897	469	–
247.	пр-кт. Лиговский, д. 141 (дубль 1), к. И	1876	286	–
248.	пр-кт. Лиговский, д. 141 (дубль 1), к. Л	1897	567	–
249.	ул. Печатника Григорьева, д. 14, к. А	1873	1362	86
250.	ул. Печатника Григорьева, д. 14 (дубль 1), к. А	1873	1235	–
251.	ул. Тюшина, д. 6, к. А	–	–	–
252.	ул. Тюшина, д. 6, к. Б	–	–	–
253.	пер. Щербаков, д. 17/3	–	–	–
254.	ул. Гончарная, д. 11а, к. Б	1867	829	–
255.	пр-кт. Лиговский, д. 110, к. Г	–	–	–
256.	ул. Тележная, д. 21	1902	1481	–
257.	ул. Тележная, д. 29, к. А	1901	1549	–
258.	ул. Тележная, д. 29, к. Г	1901	653	–
259.	ул. Кирочная, д. 18	1917	234	–
260.	ул. Кирилловская, д. 23	1907	1704	–
261.	ул. Красного Текстильщика, д. 13	1850	1550	–

Данные, приведенные в таблице 4, раскрывают количество аварийных объектов жилищного фонда в Санкт-Петербурге, что соответствует 261 зданию, 69 из которых были построены в дореволюционное время (до 1917 г.), 34 зданий – во время революции (1917 г.),

111 зданий – в советское время (1917 г. – 1991 г.), 7 домов – в пост-советское время (с 1991 г.), по 40 домам информация о дате постройки отсутствует. Соотношение домов по годам постройки представлено на рисунке. По данным таблицы 4 площадь аварийного фонда Санкт-Петербурга составляет 264 196 м², что составляет 17 % от общего жилищного фонда города. Также в аварийном фонде проживает 2105 жителей. На рис. представлена диаграмма распределения объектов аварийного жилищного фонда по районам Санкт-Петербурга. На основе данной диаграммы можно сделать вывод о том, что в числе первых районов по наибольшему количеству аварийных объектов жилищного фонда являются: Красногвардейский, Красносельский и Центральный районы. В первую очередь, это обусловлено наличием исторических зданий с нетипичными архитектурными и планировочными решениями, а также плотностью застройки районов, что затрудняет своевременно выявить физический износ строительных конструкций.



Распределение аварийных объектов жилищного фонда по районам Санкт-Петербурга

Сложность современного обнаружения физического износа строительных конструкций и повреждений зданий обусловлены не до-

статочным надзором за их техническим состоянием [7]. Проведение капитального ремонта и реконструкции некоторых объектов жилищного фонда усложняются разнообразным архитектурным стилем, имеющий свои архитектурные и планировочные решения, в частности, в соответствии с [8] в домах, в которых проводится капитальный ремонт или реконструкция, должно быть сохранено культурное наследие. Так, к примеру, жилой дом по адресу ул. Кирочная, д. 18 относится к архитектурному стилю эклектика, в свою очередь, дом по адресу ул. Кирилловская, д. 23 – модерн. Все это доказывает необходимость исключительного подхода при проведении текущего и капитального ремонта, а также реконструкции к каждому объекту жилищного фонда Санкт-Петербурга с исключением использования типичных организационно-технологических методов.

Литература

1. Государственная статистика жилищного фонда Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL.: https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya (дата обращения 10.04.2023 г.).
2. Жилищный фонд Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL.: <https://dom.mingkh.ru/sankt-peterburg/> (дата обращения 10.04.2023 г.).
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс, Раздел «Основные фонды»]. URL: <http://www.gks.ru>. (дата обращения 10.04.2023 г.).
4. Аварийные дома в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. URL: <https://gosjkh.ru/ehouses/sankt-peterburg/sankt-peterburg> (дата обращения 10.04.2023 г.).
5. Аварийный фонд на территории города Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reformagkh.ru/relocation/programs/houses?sf=2276347&page=1&housePerPage=15> (дата обращения 10.04.2023 г.).
6. Аварийные дома Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://gosjkh.ru/ehouses/sankt-peterburg/sankt-peterburg?page=11> (дата обращения 10.04.2023 г.).
7. *Гляков М. Ю., Курашев Н. В., Васильев А. А.* Роль анализа технического состояния объектов инфраструктуры в системе управления эксплуатацией зданий и сооружений // в сборнике: Экономика и управление: тенденции и перспективы. Материалы III Межвузовской ежегодной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2022. – С. 53–61.
8. Закон Санкт-Петербурга от 09.04.2020 № 163-48 «О реставрации, капитальном ремонте и приспособлении для современного использования жилищного фонда исторического центра Санкт-Петербурга».

СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ

УДК 691.1

Иоанна Станиславовна Паражинскаяйте,
студент

Лариса Юрьевна Матвеева,

д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: anna.parazhinskayte@mail.ru,

lar.ma2011@yandex.ru

Ioanna Stanislavovna Parazhinskayte,
student

Larisa Yurievna Matveeva,

Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: anna.parazhinskayte@mail.ru,

lar.ma2011@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА БИТУМОВ И МАСТИК

THE EFFECT OF MODIFIERS ON THE PROPERTIES OF BITUMEN AND MASTICS

В статье рассмотрено влияние модифицирующих добавок на характеристики битумов и битумных композитов. Показано, что введение углеродных наномодифицирующих добавок способствует повышению вязкости и влияет на основные технологические показатели битумных материалов. Углеродные наномодификаторы способствуют увеличению температуры размягчения и повышению плотности и прочности битумов. Модификаторы на основе синтетических каучуков и полимеров способны придавать битумам дополнительную эластичность, удлинение при растяжении и способность к обратимым деформациям в расширенном диапазоне температур. Применение каучуков и углеродных наномодификаторов позволяет управлять свойствами битумных вяжущих в широком диапазоне основных характеристик.

Ключевые слова: битумные материалы, углеродный наномодификатор, модифицирующие добавки, синтетический низкомолекулярный каучук, адгезия, свойства.

The article considers the influence of modifying additives on the characteristics of bitumen and bitumen composites. It is shown that the introduction of carbon nanomodifying additives increases the viscosity and affects the main technological parameters of bitumen materials. Carbon nanomodifiers help to increase the soften-

ing temperature and increase the density and strength of bitumen. Modifiers based on synthetic rubbers and polymers are capable of giving bitumen additional elasticity, elongation under tension and the ability to reversible deformations in an extended temperature range. The use of rubbers and carbon nanomodifiers allows you to control the properties of bitumen binders in a wide range of basic characteristics.

Keywords: bitumen materials, carbon nanomodifier, modifying additives, synthetic low molecular weight rubber, adhesion, properties.

Большой объем строительных работ с использованием битумных материалов и мастик в нашей стране требует улучшения качества этих материалов и повышения их эффективности в строительстве. Необходимы такие материалы, которые соответствовали бы различным условиям эксплуатации объектов и в разных климатических зонах, обеспечивая надежность и долговечность строительных конструкций [1]. Поэтому очень важно научиться управлять свойствами материалов на основе битумов с целью их максимального эффективного использования и с учетом конкретных эксплуатационных условий и факторов внешней среды.

Гидроизоляционные материалы на основе битумных веществ используются для защиты строительных изделий и конструкций от воздействия влаги, водных растворов и агрессивных газообразных факторов среды. Влагозащитную гидроизоляцию устраивают для обеспечения водонепроницаемости подземных, подводных и наземных сооружений, таких, как подвалы, кровли зданий, тоннели метрополитена, колодцы, резервуары и бассейны накопления отработанных сточных вод и др. Противокоррозионная гидроизоляция с использованием битумных мастик выполняет функцию не только обеспечения непроницаемости влаги, но и, в первую очередь, для защиты конструкций от химически агрессивных сред и газов.

Гидроизоляционные битумные материалы предназначены в основном для защиты конструкций от проникновения влаги, они отличаются от остальных материалов повышенными характеристиками по водонепроницаемости и водостойкости, в том числе, к воздействию и агрессивных водных сред [2].

В настоящее время в России отсутствуют стандартные методики, позволяющие устанавливать качество строительных материалов

на основе битумов (как самих битумов, так и мастик) применительно к условиям их использования и эксплуатации. Таким образом, возникают множественные нарекания потребителей битумной продукции в адрес производителей этих материалов. А проблема, в том числе, может быть в использовании данных материалов не совсем по их прямому назначению.

Прочный гидроизоляционный слой, как правило, имеет значительную толщину и, следовательно, существенный вес. В среднем, вес битумной гидроизоляции составляет около $8,5 \text{ кг/м}^2$. Высокая степень нагрева под воздействием солнечных лучей гидроизоляционного слоя кровли приводит к размягчению и даже возможно плавлению битума, что влечет за собой уменьшение толщины слоя и снижения его прочности. При длительном воздействии ультрафиолетовых лучей битум утрачивает гибкость, теряет эластичность и трескается. Это также все происходит и при отрицательных температурах [2, 3].

Следовательно, в современном строительстве существует проблема повышения эффективности и качества материалов на основе битумов. Для решения данной проблемы необходимы анализ и обобщение имеющихся научных данных с целью разработки задач по решению указанной проблемы, причем не только в строительстве, но и во многих других областях промышленности, где находят применение битумные материалы, например, для обеспечения коррозионной защиты трубопроводов для перекачивания жидкостей, заполнения различных пустот и зазоров в процессе монтажа элементов конструкций в машино-, судо- и авиастроении и др. [4, 5].

Готовая и удобная к использованию битумная мастика представляет собой мелкодисперсную эмульсию (или суспензию) битума в воде или какой-либо другой органической жидкости. Свойства битумных мастик в большой степени зависят от степени дисперсности, т. е. от размеров микрочастиц битума. Очевидно, что размеры битумных частиц могут достаточно широко меняться в значительных пределах. Например, установлено, что в традиционных широко используемых битумных эмульсиях размеры частиц колеблются от 100 до 2000 нм. Помимо размеров частиц битума, также имеет

значение и характер их распределения в дисперсионной среде, который, в свою очередь, также зависит от множества прочих факторов. К этим факторам относятся: 1) применяемое для изготовления мастики промышленное оборудование, в том числе, режимы работы смесителей и диспергаторов; 2) химическая природа используемого эмульгатора; 3) типы, виды и количества различных модифицирующих добавок и другое.

В литературе [6] имеются сведения о том, что размерность частиц дисперсной фазы (т. е. частиц битума) оказывает непосредственное влияние на способность эмульсий к расслоению, особенно, при длительном ее хранении. Скорость процесса расслоения и его масштабы зависят как от типа самой эмульсии, качества ее приготовления, так и от конкретного вида определяющего компонента – эмульгатора, его содержания в системе, а также, от ряда некоторых прочих факторов. Отсюда становится понятной сложность решения задачи по установлению в такой многофакторной сложной системе каких-либо закономерностей. С другой стороны, к настоящему времени научными исследованиями уже однозначно установлено, что с увеличением содержания частиц битума в эмульсии, а это означает: с увеличением вязкости системы повышается ее агрегативная устойчивость. Таким образом, при относительно малом содержании эмульгатора (например, до 0,4 %, как было замечено авторами [6]), возможна коагуляция частиц, т. е. их агрегация с увеличением размеров. В битумных эмульсиях с большим содержанием эмульгатора (например, начиная от 1,2 %), коагуляция и агрегация практически отсутствует. Все эти явления так или иначе свидетельствуют о том, что с увеличением степени дисперсности частиц битума вязкость эмульсии в целом, а также, ее агрегативная устойчивость – увеличиваются.

Экспериментальными исследованиями [6, 7] установлено, что с увеличением среднего размера битумных частиц в эмульсии также увеличивается скорость ее расслоения. Это объясняется повышением средней массы частиц битума. Известно, что масса частиц влияет на эффективность отталкивающего действия электростатических сил эмульгатора (одинаково заряженные частицы с увеличением

массы в большей степени начинают сопротивляться силам оттаивания, т. к. сказывается эффект притяжения масс).

В отношении адгезионных свойств битумов и битумных мастик многочисленными экспериментальными исследованиями, выполненными с различными видами битумных эмульсий, установлено, что адгезионные свойства жидких эмульсий мало зависят от дисперсности битумной составляющей. Адгезия же наполненного минеральными порошками битума зависит от состава горной породы, т. е. от химического состава минеральной составляющей в наполненных битумно-минеральных смесях. Адгезия также, зависит от химической природы, количественного содержания, типа и качества эмульгатора, выполняющего функцию поверхностно-активного вещества [6, 7].

По вопросу применения ПАВ в битумных эмульсиях и мастиках в научных источниках нет единого мнения. Одни исследователи считают, что использование ПАВ не эффективно, и необходимо более тщательно подходить к выбору материала для образования устойчивых адгезионных связей при соединении его с битумом. По мнению других ученых, ПАВ улучшают сцепление битума с поверхностью субстрата. Но, в то же время, было замечено, что, к примеру, в составе асфальтобетона должного эффекта ПАВ не дают. Поэтому в дорожном строительстве более эффективно и рационально использовать добавки – активаторы наполнителя, в частности, активные минеральные порошки.

Тем не менее, большинство исследователей приходят к мнению, что все-таки использование ПАВ в технологиях по приготовлению битумно-минеральных мастик не только является необходимым, но и обязательным.

Несмотря на многочисленные положительные результаты работы с добавками, все же, еще существуют проблемы в отношении битумных эмульсий и мастик, которые в настоящее время необходимо решать. Например, за счет использования ПАВ можно обеспечить решение нескольких важных задач: улучшить физико-технические характеристики битума, повысить его устойчивость и, возможно, адгезионные свойства. Это дает особенно заметный по-

ложительный эффект при соответствующей технической модернизации и автоматизации битумного производства [7].

Рядом исследователей было отмечено, что в настоящее время эффективными модифицирующими добавками для битумов являются такие, которые имеются на строительном рынке, т.е. вполне доступны и недороги. При этом, существует мнение, что все же должны применяться ПАВ, которые не разрушаются при повышенных температурах приготовления смеси и хорошо совместимы с битумом при перемешивании на стандартном оборудовании. В то же время, в литературных источниках достоверных сведений об устойчивости битумных вяжущих, модифицированных поверхностно-активными веществами и добавками и о материалах на их основе – не достаточно. И более того, имеющиеся отдельные сведения в научных изданиях по влиянию ПАВ на битумы – довольно противоречивы.

Следует учитывать, что используемые для модификации битумов добавки должны быть не токсичны, физически и химически устойчивы и при хранении не придавать битуму хрупкости в течение длительных сроков эксплуатации.

Авторами [8] было показано, что технический углерод (тех. углерод), состоящий из агрегированных наночастиц различного строения, является активным и весьма полезным наполнителем. Так было установлено положительное влияние тех. углерода в битумной системе в роли антиоксиданта.

Известно, что частицы тех. углерода имеют довольно сложную структуру, состоящую из различных графитовых псевдокристаллитов в окружении частиц аморфного углерода. Также известно и ранее установлено, что частицы тех. углерода соединяются между собой в кластеры и цепочки, и/или образуют более сложные разветвленные структуры. Удельная поверхность и величина частиц тех. углерода колеблется в широких пределах: так диаметр частиц тех. углерода может составлять от 9 до 600 нм; средняя удельная поверхность порядка $\sim 90\text{--}100\text{ м}^2/\text{г}$, а некоторые отдельные виды тех. углерода могут иметь удельную поверхность до $250\text{ м}^2/\text{г}$ и выше.

Значительная химическая реакционная способность тех. углерода связана с особенностями его структуры, которая обладает очень

большой поверхностной энергией. Как правило, крайние атомы углерода в углеродных решетках и цепях образуют активные функциональные группировки, присоединяя кислород, гидроксильные, карбонильные группы, водород и другие химические элементы [9, 10].

Модифицирующая способность и структурирующая роль тех. углерода, как потенциального эффективного модификатора битумов, объясняется его относительно высокой дисперсностью, высокой адсорбционной способностью и большой химической активностью с учетом возможности образования активных функциональных группировок [11].

На основании данных литературных источников можно сделать вывод о том, что технический углерод (а также его некондиционные формы) может быть эффективно использован в качестве модифицирующей добавки к битумным материалам для улучшения адгезионных характеристик, увеличения теплостойкости и трещиностойкости, повышения устойчивости к старению. Технический углерод может успешно применяться и как модифицирующая структурообразующая добавка к нефтяным гудронам и жидким битумам в качестве высокодисперсного наполнителя для кровельных гидроизоляционных материалов, битумных мастик и композитов на битумной основе.

В работах [12, 13] авторами было показано, что для приготовления битумных эмульсий часто применяют два основных типа эмульгаторов – анион- и катионактивные. Предпочтительный тип эмульгатора индивидуален и зависит от химического и группового состава конкретного битума. Для большинства Российских регионов более эффективен оказался анионактивный эмульгатор, к тому же, как выяснилось, он хорошо совместим с карбонатными минеральными горными породами, часто применяемыми в качестве наполнителей.

В работе [14] авторами установлено, что введение коллагеновой добавки (отход кожевенного производства) в битумное вяжущее позволяет изменять температуру размягчения, пенетрацию (глубину проникновения иглы), вязкость и дуктильность (растяжимость) битума. Добавка коллагена препятствует слипанию смоли-

стых и асфальтовых частиц битума в структуры большего размера, что в общем повышает связность и устойчивость битума и материалов на его основе.

Авторами в статье [15] дана оценка влияния углеродного наномодификатора на реологические свойства битума. В частности, авторами отмечается, что было установлено влияние углеродного наномодификатора на предельную (максимальную) температуру эксплуатации битума: так было обнаружено увеличение температуры размягчения битума с добавкой наномодификатора. Таким образом, наномодифицированный битум, по мнению авторов, характеризуется меньшей чувствительностью к повышенной температуре.

Установленные таким образом свойства наномодифицированного битума можно соотнести с изменениями его морфологии, обусловленными углеродным наномодификатором. Установлено, что микродобавка 0,3 % масс. углеродного наномодификатора позволила повысить допустимую максимальную температуру применения битума на 6° (увеличив ее, в частности, с 58° до 64 °С).

Также авторами [15] были исследованы реологические свойства битума, модифицированного наноуглеродом, проведено сравнение с характеристиками исходного образца битума. Были замечены изменения реологических свойств битума в условиях его модификации полимерными добавками с наноуглеродными частицами. Изменение реологического поведения материала связано с количеством присутствующих в нем углеродных нанотрубок, нанопластин, наноконусов и других наноуглеродных структур, их качеством и количеством. Битумно-полимерное комплексное вяжущее рассматривалось авторами как многофазный гетерогенный композиционный материал, в котором матрицей, т. е. связующей средой служит битум, а распределенной в нем дисперсной фазой – синтетический полимер.

Авторами в работе [15] также оценивалась эффективность применения мелкодисперсных шлаков и битумно-полимерного вяжущего совместно с различными адгезионными добавками. Эти исследования проводились целью повышения качества поверхностной обработки конструкций. По мнению исследователей, чтобы повысить эксплуатационные характеристики материалов на основе битумов,

битумное вяжущее должно быть эластичным в широком диапазоне температур, а этим требованиям может удовлетворять только модифицированный битум, структуру которого можно изменять в нужном направлении в зависимости от заданных конкретных условий эксплуатации. Таким образом было показано, что модифицированные битумы обладают улучшенными эксплуатационными и повышенными физико-механическими характеристиками по сравнению с исходными – немодифицированными. С помощью наномодификации возможно расширение интервала пластичности битума.

Важным открытием, описанным в научной литературе, является установленная эффективность модификации битумных эмульсий отечественными синтетическими латексами и каучуками. Так с целью получения эффективного битумно-полимерного вяжущего была проведена модификация битума синтетическим латексом марки СКС-65-ГП с добавлением анионноактивных битумных эмульсий путем их механического совмещения. Обнаружена и подтверждена экспериментально хорошая совместимость указанного латекса с битумной эмульсией. Добавка латекса понижает вязкость битумной эмульсии при сохранении ее дисперсности и устойчивости. Структура битумно-полимерной мастики, полученной на основе модифицированной латексом битумной эмульсии, может быть представлена как 2-х фазная гетерогенная система, в которой мелкие частицы синтетического каучука распределены более-менее равномерно в объеме битума. Было показано, что наличие в битуме молекул синтетических полимеров увеличивает теплостойкость, а также улучшает такие характеристики (повышает), как твердость, эластичность, морозостойкость. Прочность сцепления (адгезия) битума с поверхностью минерального наполнителя при этом также увеличивается. Установлена и высокая эффективность битумно-водных эмульсий при условии их модификации синтетическими латексами в качестве комплексного связующего для асфальтобетона. В работе показано, что введение добавки синтетического латекса улучшает технологические и эксплуатационные свойства «холодного» асфальтобетона, который не уступает по своим эксплуатационным характеристикам асфальтобетону, укладываемому по «горячей» технологии.

Авторами [16] показано, что битумы по своему вещественному составу представляют собой довольно сложную смесь углеводородов различного химического строения. Исследования с фиксацией фазовых изображений на оптических фотографиях показали, что битумная масса не является однородной. На оптических отображениях в режиме фазового контраста отчетливо видны различия в плотности отдельных морфологических образований битумов – элементов структуры. Так общеизвестно, что асфальтены представляют собой высокомолекулярные ассоциаты, имеющие блочное слоистое строение, склонные к образованию кластеров и укрупненных агломератов. На оптических отображениях хорошо заметны ячеистые так называемые «сотоподобные» структуры (напоминающие по виду пчелиные соты). Показано, что чем большее в битуме количество ячеистых структур и чем больше их размеры, тем выше вязкость битума. Данные исследования помогают понять пути воздействия на структуру битумов с целью управления их свойствами и характеристиками.

В ходе исследовательской работы [17] авторами были обозначены требования к модифицирующим добавкам, которые надо принимать во внимание и учитывать при разработке материалов на основе битумов в строительную практику с целью улучшения характеристик битумов. Так авторами, в частности, отмечено, что модификация битумов полимерными материалами позволяет значительно повысить долговечность дорожных асфальтобетонов. Повышение характеристик битумного вяжущего не редко напрямую зависит от количества полимеров в битуме и их качества.

Анализируя литературные данные [18] можно сделать вывод о том, что модификация битумов довольно часто используемым для улучшения свойств синтетическим сополимером бутадиен-стирола (СБС) при улучшении ряда характеристик практически не влияет на адгезию битума к минеральным наполнителям, что, в общем, является неожиданным, учитывая химическое строение бутадиен-стирола, имеющего полярные группы. Но это может быть связано с более сильными адгезионными свойствами других функциональных группировок, присутствующих в структуре битумов.

Существующие в настоящее время требования по защите строительных конструкций, в частности, кровли жилых и промышленных зданий битумными материалами нуждаются в модернизации. Модернизировать необходимо битумные материалы с целью улучшения их физико-химических и эксплуатационных характеристик, а также, необходимо модернизировать технологии проведения работ по обустройству гидроизолирующих покрытий.

Модернизация гидроизоляционных материалов на основе битумов заключается в формировании более совершенной структуры, обеспечивающей улучшение характеристик и повышение стабильности и устойчивости битумов к внешним факторам окружающей среды.

Большинство исследователей склоняются к выводу, что применение ПАВ в системах на основе битумов позволяет повысить стабильность, агрегативную устойчивость и дисперсность, что положительно сказывается на свойствах битумных материалов.

Современным перспективным методом управления структурой и свойствами битумов и композитов на их основе является структурная модификация, в том числе, наномодификация. В качестве наномодификаторов можно использовать хорошо совместимые с битумом доступные формы технического углерода, в том числе, различные формы наноуглерода. Наномодификация битума за счет адсорбционной способности и химической активности углеродных наночастиц технического углерода позволяет улучшить основные характеристики и повысить адгезию битума к минеральным наполнителям.

Для улучшения битумов с целью повышения эксплуатационных характеристик и расширения температурного интервала использования, а также, с целью улучшения склеивающей способности и адгезии целесообразно использовать добавки синтетических каучуков, латексов и полимеров определенного химического строения.

Литература

1. *Ярцев В. П., Ерофеев А. В.* Эксплуатационные свойства и долговечность битумно-полимерных композитов / Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ГГТУ», 2014. 80 с.
2. *Мурафа А. В., Макаров Д. Б., Аюпов Д. А.* Технология гидроизоляционных материалов / Метод. ук. для студентов направл. подг. 08.03.01 «Строительство» /

Сост.: А. В. Мурафа, Д. Б. Макаров, Д. А. Аюпов. – Казань: Изд-во Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КазГАСУ). 2015. 48 с.

3. Полимерная мембрана ПЛАСТФОИЛ – гидроизоляционный материал нового поколения / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12. С. 19–21.

4. Слободкина К. Н., А.А. Рудаков А. А., Макаров Т. В., Вольфсон С. И. Маслобензостойкие герметизирующие композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука и тиокола / Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 5. С. 12–14.

5. Ахмедгараева А. Р., Музафаров А. Р., Султанов А. А. и др. Влияние адгезионных добавок на свойства термоплавких герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука / Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 10. С. 36–38.

6. Коротков А. В., Котлярский Э. В. Влияние количества эмульгатора на дисперсность и вязкость битумной эмульсии / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 10. С. 24–25.

7. Ярмолинская Н. И., Лазарева Т. Л. Влияние поверхностно-активных добавок на адгезионные свойства дорожного битума / Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: межвузовский сборник научных трудов. – Хабаровск: изд-во Тихоокеанского гос. Университета. 2012. № 12. С. 94–98.

8. Проконец В. С. Битумные композиции с добавкой агрегатов наночастиц / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 5. С.16–17.

9. Зуев В. П., Михайлов В. В. Производство сажи / В. П. Зуев, В. В. Михайлов. М. : Химия. 1970. 289 с.

10. Пиотровский К. Б. Старение и стабилизация синтетических каучуков и стабилизаторов / К. Б. Пиотровский, З. Н. Тарасова. – М. : Химия. 1980. 264 с.

11. Соколов Ю. В. Исследование структуры и свойств концентрированных битумных мастик на основе битумов и технического углерода / Ю. В. Соколов, В. Д. Галдина, М. С. Цеханович, А. И. Жолос // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 10–11.

12. Макаров Д. Б. Битумные эмульсии дорожного назначения на основе анионоактивных эмульгаторов / Автореферат дисс. канд техн. наук: спец. 05.23.05 – Строительные материалы и изделия. 2003. КазГАСА, Казань. 22 с.

13. Мурафа А. В., Хозин В. Г., Макаров Д. Б., Рахматуллина А. П. Комбинированное эмульгирование – эффективный способ получения новых анионоактивных битумно-водных эмульсий // Известия Казанской гос. архитектурно-строительной академии (КазГАСА). 2003. № 1. С. 65–67.

14. Рудаков Е. О., Урханова Л. А., Шадрин Н. В., Борисова А. А. Структурно-морфологический анализ битумного вяжущего, модифицированного коллоидной добавкой / Строительные материалы. Нанотехнологии в строительстве. 2019. № 10. С. 25–29.

15. Шиман Л. Ю., Шиман А. А., Стицына Н. Г., Лобач А. С. Влияние присутствия углеродного нанокompозита на реологические характеристики дорожного битума / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века № 12. 2011. С. 20–22.

16. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 145. Iss. 1–2, pp. 42–82.

17. Емельянычева Е. А., Абдуллин А. И. Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам/ Вестник казанского технологического университета. 2003. Т. 16. № 3. С. 198–204.

18. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / Пер. с франц. Под редакцией В. А. Золоторева, В. И. Братчуна. Харьков: изд-во ХНАДУ. 2003. 229 с.

УДК 691.311-41:691-405.8

Юрий Алексеевич Строгонов,
студент
Марина Владимировна Мокрова,
старший преподаватель
Лариса Юрьевна Матвеева,
д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: tichroma0@gmail.com,
mokrova2017@yandex.ru,
lar.ma2011@yandex.ru

Yury Alekseevich Strogonov,
student
Marina Vladimirovna Mokrova,
senior lecturer
Larisa Yurievna Matveeva,
Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: tichroma0@gmail.com,
mokrova2017@yandex.ru,
lar.ma2011@yandex.ru

СТРУКТУРА И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО ГАЗОГИПСА

STRUCTURE AND ACOUSTIC PROPERTIES OF CELLULAR GASOGYPSE

Представлены и описаны исходные материалы, методика изготовления образцов ячеистого газогипса – материала для внутреннего обустройства акустических панелей жилых и общественных зданий. Приведены акустические свойства – коэффициент звукопоглощения в широком частотном диапазоне. Показано, что материал с учетом его отличных экологических свойств и пожарной безопасности можно использовать в качестве эффективного конструкционно-отделочного, тепло- и звукоизоляционного материала, а также для изготовления отделочных тепло- и звукоизоляционных стеновых штучных изделий внутренних ограждающих конструкций.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, газообразователь, модификатор структуры, синтетический латекс, порообразование, звукопоглощение.

The source materials are presented and described, as well as the technique for manufacturing samples of cellular gas gypsum – a material for the internal arrangement of acoustic panels in residential and public buildings. Acoustic properties are given – the sound absorption coefficient in a wide frequency range. It is shown that the material, taking into account its excellent environmental properties and fire safety, can be used as an effective structural and finishing, heat and sound insulating material, as well as for the manufacture of finishing heat and sound insulating wall piece products of internal enclosing structures.

Keywords: gypsum binder, blowing agent, structure modifier, synthetic latex, porosity, sound absorption.

Комфорт современного жилища – это совокупность благоприятных условий, таких, например, как комфортный температурно-влажностный режим, акустический комфорт, пожарная безопасность, чистота воздуха и др. Комфорт жилья обеспечивается современными строительными технологиями и материалами. На сегодняшний день комфортабельность является одной из ведущих характеристик при выборе места проживания и строения, в котором комфорт достигается, в том числе, благодаря использованию высокотехнологичных и эффективных строительных материалов нового поколения.

При выборе строительных материалов всем этим условиям в полной мере отвечает гипс. Гипс – распространенный и хорошо известный с древних времен строительный материал, который используется не только в строительстве, но и во многих сферах жизни человека, например, в медицине, также для изготовления форм для отливок фарфоровых и фаянсовых изделий, создания скульптур и др. Гипс по-прежнему занимает значительное место и в строительной отрасли [1, 2].

Разновидность поризованного гипсового материала – ячеистый газогипс можно использовать в жилищном строительстве в качестве эффективного конструкционно-отделочного, тепло- и звукоизоляционного материала.

Ячеистый газогипс, как любой гипсовый камень, является абсолютно экологически чистым материалом, демонстрирует хорошие эксплуатационные показатели, такие, как достаточно хорошая для отделочных материалов прочность и низкая плотность, малая теплопроводность, негорючесть, относительно прочих отделочных материалов – низкая себестоимость. Гипсовые материалы и изделия можно эффективно использовать в жилищном строительстве в качестве отделочных тепло- и звукоизоляционных стеновых материалов и штучных изделий внутренних ограждающих конструкций [3].

Ячеистый газогипс – камень с сообщающимися открытыми порами различной конфигурации является хорошим звукопоглощающим материалом. Под звукопоглощением будем понимать процесс преобразования энергии звуковых волн в тепловую энергию при распространении звука в среде или при падении звука на границу двух сред. Наиболее отчетливо процесс звукопоглощения наблюдается в тех случаях, когда на границе с воздушной средой помеща-

ют материалы, у которых способность превращать колебательную энергию звуковой волны в тепловую энергию выражена наиболее сильно. Проблема звукопоглощения почти всегда решается за счет применения перфорированных материалов, применяемых для облицовки стен и потолков: лицевые элементы подвесных потолков на основе гипса и минеральной ваты.

Звукоизоляция – это снижение уровня шума, проникающего в помещения извне. В качестве звукоизолирующих материалов в комфортном жилищном строительстве часто применяются звукоизоляционные материалы на основе минеральной или стекловаты, а также ячеистые материалы на основе синтетических полимеров и пластмасс (пенополистирол, пенополиэтилен, пенополиуретан и др.). Но в этом случае также вполне возможно использование высокоэффективного поризованного негорючего гипсового материала, т. е. газогипса.

На сегодняшний день во внутреннем обустройстве в жилищном строительстве используются лицевые элементы подвесных потолков на основе гипса – гипсовые плиты и гипсокартонные листы. Придание им дополнительной тепло- и звукоизоляционной функции сделает эти изделия еще более эффективными.

Теплоизоляционную способность отделочного строительного гипса можно повысить за счет создания развитой замкнутой (закрытой) пористости гипсового камня. Для повышения звукоизолирующих свойств необходима структура с открытой сообщающейся пористостью. Оба эти вида пористости можно сочетать в гипсовом камне, управляя процессом газообразования. Развитую открытую пористость без существенного снижения прочностных характеристик гипсового камня можно обеспечить введением газообразователя совместно с волокнистым нанонаполнителем.

Наномодификатор поможет укрепить структуру стенок пор гипсового камня, поскольку известно влияние наночастиц на формирование кристаллитов и их уплотнение в случаях с различными минеральными вяжущими, в том числе, с гипсовыми [4–6].

В качестве структурирующей микродобавки может быть использована волокнистая наноцеллюлоза. Количество газообразователя и упрочняющей микродобавки необходимо подобрать и уточнить в рецептуре акустического гипсового материала с целью создания

сообщающейся открытой укрупненной пористости гипсового камня, обладающего к тому же требуемыми физико-механическими характеристиками.

Целью данной работы является разработка наномодифицированных составов акустического газогипса с улучшенными характеристиками. В рамках исследования поставлены следующие задачи:

1) Литературный обзор научных исследований по модификации гипсовых материалов.

2) Выбор добавок и структурного наномодификатора для акустического газогипса.

3) Разработка оптимального состава газогипса с наномодифицирующими добавками.

4) Исследование характеристик разработанного акустического газогипса.

5) Разработка рекомендаций для потребителей отделочного гипсового материала с функцией звукоизоляции.

В работе в качестве исходного материала был использован гипс строительный марки Г-6, произведенный в соответствии с ГОСТ 125-2018 Пешеланским гипсовым заводом. Базовым затворителем гипсового вяжущего служила водопроводная вода питьевая по ГОСТ 23732-2011. В воде растворяли кристаллическую лимонную кислоту и синтетический бутадиенстирольный латекс. Для создания пористой структуры гипсового камня в качестве газообразователя применяли пищевую химически чистую кристаллическую лимонную кислоту. При взаимодействии лимонной кислоты с карбонатами минералов Пешеланского гипсового вяжущего выделяются газообразные продукты (CO_2), что приводит к образованию пор в гипсовом камне.

Для повышения устойчивости гипсового теста и обеспечения его поризованной структуры в процессе газообразования использовали синтетический бутадиенстирольный латекс в виде 1 % полимерной эмульсии в воде.

Из литературных источников известно, что гипсовый камень в процессе кристаллизации из пересыщенного раствора способен наследовать, т. е. повторять форму субстрата и сопутствующих примесей.

Для создания волокнистоподобной кристаллической структуры решено было использовать волокнистую наноцеллюлозу марки

Betulium. Для гипса данный модификатор практически не применялся. Товарная наноцеллюлоза Betulium представляет собой суспензию 2 % масс. целлюлозных нановолокон в воде. Диаметр волокон от 20 до 100 нм. Получают волокнистую наноцеллюлозу путем комплексной переработки древесины хвойных пород.

В ходе работы были изготовлены образцы газогипса с использованием комплекса наномодифицирующей и структурирующей добавок. Образец поризованного гипсового камня с использованием указанных добавок представлен на рис. 1.

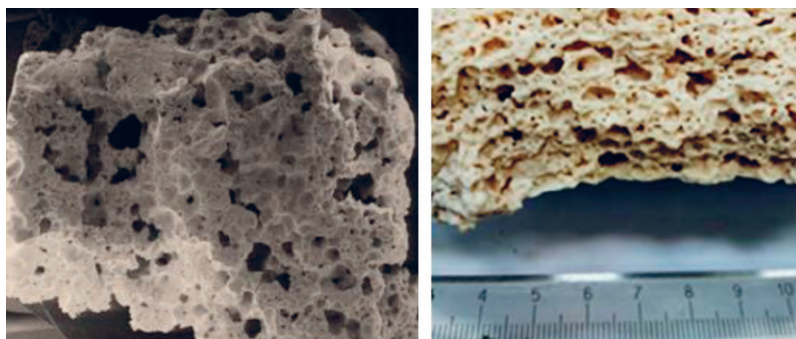


Рис. 1. Макроструктура газогипса, полученного с использованием газообразователя лимонной кислоты и бутадиенстирольного латекса

В процессе работы были изготовлены образцы газогипса. Количество газообразователя и модификаторов были определены и оптимизированы в предыдущих исследованиях [7]. Были изготовлены образцы 3-х различных составов, отличающихся модифицирующими добавками, и также испытан образец исходного немодифицированного промышленного гипса Г-6 без газообразователя для определения его исходных характеристик и сравнения результатов. Изготовленные образцы газогипса для исследований (табл. 1).

Составы образцов:

- гипс немодифицированный (контрольный образец);
- газогипс немодифицированный (ЗВ3);
- газогипс модифицированный добавкой наноцеллюлозного модификатора (ЗВ1);

- газогипс модифицированный комплексной микродобавкой на-ноцеллюлозного модификатора и бутадиенстирольного латекса (ЗВ2).

Таблица 1

Состав образцов газогипса с модифицирующими добавками

Образцы, шифр	Компоненты материала, г			
	Гипс	Газообразователь	Латекс	Наноцеллюлозы, %
Контрольный	1000	–	–	–
ЗВ3	1000	10	–	–
ЗВ2	1000	10	5	0,025
ЗВ1	1000	10	–	0,025

В табл. 2 представлены физико-механические характеристики, а также плотность и пористость полученных образцов газогипса.

Заметно, что с уменьшением плотности прочность гипса уменьшается. Наименьшей плотностью и, соответственно, наибольшей пористостью обладает образец, модифицированный латексом и наноцеллюлозой (ЗВ2).

На рис. 2 представлены фотографии образцов для акустических испытаний, изготовленных в виде цилиндров диаметром 100 мм и толщиной 20 мм: 1 – ЗВ1; 2 – ЗВ2; 3 – ЗВ3. Можно заметить, что пористость у образца ЗВ2 выражена более сильно.

Таблица 2

Характеристики образцов газогипса с модифицирующими добавками

Образцы, шифр	Характеристика, показатель			
	Плотность, кг\м ³	Пористость, %	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа
Контрольный	1262	55	4,5	9,4
ЗВ3	858	69	3,6	4,5
ЗВ2	797	72	1,7	1,9
ЗВ1	849	70	1,8	4,1

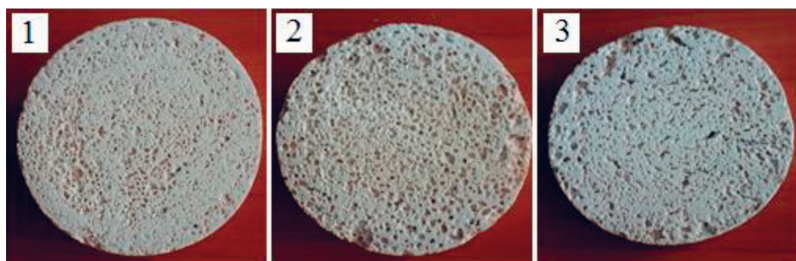


Рис. 2. Образцы газогипса для акустических испытаний

В табл. 3 и на рис. 3 представлены результаты измерения нормальных коэффициентов звукопоглощения при различных частотах.

Определение коэффициента звукопоглощения выполнено в соответствии с ГОСТ 16297-80. Коэффициенты звукопоглощения определяли в диапазоне 125–2500 Гц. По результатам измерения 5 образцов каждого вида были рассчитаны средние значения коэффициентов звукопоглощения, значения которых представлены в табл. 3.

Результаты определений коэффициента звукопоглощения при различных частотах отражены графически на рис. 3. Можно заметить, что образец ЗВ2 обладает наилучшими коэффициентами звукопоглощения, особенно в частотах 125, 500 и 1000 Гц.

Таблица 3

Коэффициенты звукопоглощения образцов газогипса

Частота, Гц	Наименование образцов и коэффициенты звукопоглощения			
	ЗВ3	ЗВ2	ЗВ1	К
125	0,36	0,42	0,38	0,27
250	0,97	0,92	0,71	0,58
500	0,87	0,98	0,68	0,53
1000	0,85	0,94	0,67	0,59
2000	0,87	0,83	0,70	0,51

Объяснить полученные результаты можно исследованиями структуры гипсового камня. При анализе морфологических различий

полученных образцов газогипса было обнаружено, что микродобавка наноцеллюлозы оказывает существенное влияние на кристаллическую структуру гипсового камня.

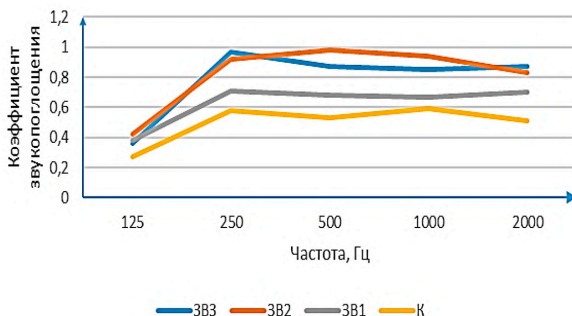


Рис. 3. Зависимости коэффициентов звукопоглощения от частоты звука и состава образцов газогипса

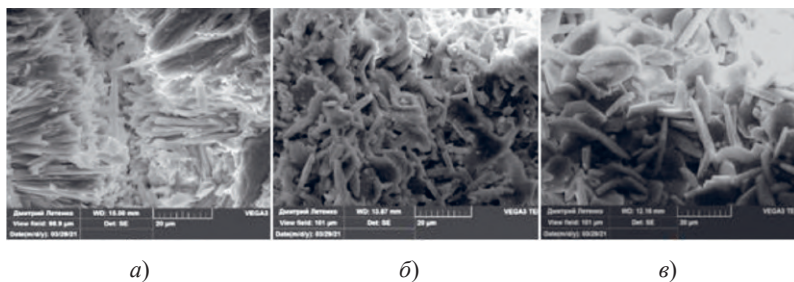


Рис. 4. Электронные микрофотографии кристаллической структуры образцов газогипса: *а* – немодифицированного; *б* – модифицированного добавкой наноцеллюлозы; *в* – модифицированного комплексной микродобавкой наноцеллюлозы и бутадиенстирольного латекса

Отчетливо выраженная столбчатая и перисто-игльчатая форма кристаллов наблюдается у немодифицированного образца (рис. 4, *а*).

В присутствии наноцеллюлозы образуется большое количество складчатых кристаллообразований, состоящих из коротких равномерных по толщине волокноподобных кристаллов и округлых по форме пластин (рис. 4, *б*).

Общий вид морфологической картины модифицированного гипсового камня напоминает по форме клубки наноцеллюлозных волокон. Короткие кристаллы образуют извилистые сростки, среди которых размещены пластины круглой формы. Перистая структура отсутствует (рис. 4, б).

При наличии в составе гипсового камня одновременно бутадиенстирольного латекса и наноцеллюлозы характер кристаллической структуры меняется. В структуре гипсового камня также заметны плоские и гексагональные пластины с четко выраженными гранями шестиугольника (рис. 4, в). Обнаруженные морфологические изменения кристаллической структуры гипсового камня показывают, что в процессе кристаллизации гипс способен наследовать формы сопутствующих веществ и примесей. Это явление носит название – эпитаксия, т. е. закономерное нарастание одного кристаллического материала на другом. Различают гетероэпитаксию, когда вещества подложки и нарастающего кристалла различны (процесс возможен только для химически не взаимодействующих веществ), и гомоэпитаксию, когда они одинаковы. Для гипса в нашей системе с двумя видами модификаторов обнаружены оба вида эпитаксии: гомоэпитаксия – кристаллические образования кристаллов гипса на волокнах целлюлозы и видоизмененные кристаллы гипса под воздействием стирольных шестичленных циклов – гетероэпитаксия.

В результате выполнения настоящего исследования были сделаны следующие выводы:

1. В работе показана возможность применения газообразующей добавки – лимонной кислоты для получения акустического газогипса с открытой развитой пористостью. Добавку можно применять для снижения плотности и улучшения звукоизолирующих свойств гипсового камня.

2. Установлено, что нановолокнистая целлюлоза может быть эффективная для улучшения звукоизолирующих свойств за счет влияния на кристаллическую структуру гипсового камня.

3. Показано, что в сочетании с бутадиенстирольным латексом эффективность звукоизолирующих свойств поризованного гипса, модифицированного нановолокнистой целлюлозой, может быть повышена за счет формирования высокоразвитой пористой структуры

гипсового камня с меньшей средней плотностью, в то же время, удовлетворяющего требованиям по прочности.

4. Подтверждено методом электронной микроскопии свойство гипса наследовать кристаллическую структуру субстрата. Таким образом, установлено, что гипсу присуще свойство эпитаксии, т. е. закономерного нарастания одного кристаллического материала на другом. В системе гипс+нановолокнистая целлюлоза+бутадиенстирольный латекс при кристаллизации из раствора обнаружены явления гетероэпитаксии, когда кристаллические структуры подложки и нарастающего кристалла различны и гомоэпитаксии, когда они одинаковы – появление шестиугольных пластинчатых кристаллов наподобие стирольных структур.

Литература

1. *Тросницкий В. Б.* и др. Потенциал применения гипса в промышленности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. – 2005. – № 7. – С. 25.
2. *Петропавловская В. Б.* Малоэнергоёмкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности/ В. Б. Петропавловская, А. Ф. Бурьянов, Т. Б. Новиченкова // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 8–9.
3. *Бурьянов А. Ф.* Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 30–32.
4. *Королев Е. В., Баженов Ю. М., Береговой В. А.* Модифицирование строительных материалов нанопуглеродными трубками и фуллеренами // Строительные материалы. Наука. – 2006. – № 8. – С. 2–4.
5. *Mokrova M., Matveeva L., Letenko D.* Research on Structure and Properties of Gypsum with Additives of Latex and Carbon Nanoparticles / Book, Contemporary Problems of Architecture and Construction. – London. – Im-print CRC Press. – Pages 4. <https://doi.org/10.1201/9781003176428>.
6. *Matveeva L. Yu., Letenko D. G., Mokrova M. V.* Influence of Carbon Nanomodifier on the Structure and Properties of the Modified Gypsum Binder // MSF. – 2020. – №992. – С. 233–237.
7. *Мокрова, М. В.* Повышение теплозащитных свойств гипсовых строительных материалов и изделий / М. В. Мокрова // Вестник гражданских инженеров, 2021. – № 2(85). – С. 134–141. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-134–141.

УДК 691.55

Мария Васильевна Ступак,

аспирант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: stupack.marya@yandex.ru

Maria Vasilievna Stupak,

postgraduate student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: stupack.marya@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ САНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ НА ОСНОВАНИИ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

THE FORMATION OF SANITIZING PROPERTIES OF PLASTERS BY USING A MIX OF POROUS FILLERS

Санирующие штукатурные смеси активно применяются при реставрации каменных конструкций, подверженных воздействию солевой коррозии. При этом до сих пор не разработаны научно обоснованные критерии подбора составов подобных материалов. В настоящей статье рассмотрены принципы проектирования штукатурных санирующих смесей, направленные на получение материала, отличающегося эффективностью в части защиты кирпичных кладок от солевой коррозии. Исследовано и проанализировано влияние цементно-известкового вяжущего и пористых заполнителей на формирование требуемой структуры и свойств санирующей штукатурки. Установлены ключевые показатели качества и предложены методы для их оценки.

Ключевые слова: санирующая штукатурка, солевая коррозия, пористые заполнители, цементно-известковое вяжущее, впитываемость поверхности, капиллярная проводимость.

Sanitizing plaster mixtures are used in the restoration of stone structures that have been damaged by salt corrosion. At the same time, scientifically based criteria for selecting the compositions of such materials have not yet been developed. This article discusses the principles of designing sanitizing plasters, which make it possible to obtain an effective material for protecting brickwork from salt corrosion. The influence of cement-lime binder and porous aggregates on the structure and properties of sanitizing plaster has been investigated and analyzed. Key quality indicators are established and methods for their evaluation are proposed.

Keywords: sanitizing plaster, salt corrosion, porous aggregates, cement-lime binder, surface absorption, capillary absorption.

Образование высолов на поверхности каменных конструкций довольно частое явление, которое можно наблюдать не только на длительно эксплуатируемых зданиях и сооружениях, но и на современных постройках. Возникая в результате присутствия в кирпичной кладке избыточной влаги и водорастворимых солей, высолы не только ухудшают эстетический облик сооружений, но также являются прямым признаком протекания коррозионных процессов внутри керамического кирпича [1, 2, 3, 4].

Разработка технических решений, направленных на предотвращение развития солевой коррозии, является важной научно-практической задачей, позволяющей продлить эксплуатационный ресурс каменных конструкций. Одним из таких решений на сегодняшний день является применение saniрующих штукатурных смесей [5, 6]. Использование данного материала входит в состав комплекса работ по реконструкции и реставрации кирпичных кладок, зачастую представляющих собой массивные толстостенные конструкции, с целью снижения в них остаточной влажности и солевой нагрузки.

Несмотря на то, что saniрующие штукатурки достаточно известны на рынке строительных материалов и имеют широкое практическое применение, нерешенным остается ряд вопросов. На сегодняшний день отсутствуют научно обоснованные рекомендации по подбору составов сухих saniрующих смесей с учетом их функционального назначения, не сформированы обязательные требования к saniрующим штукатурным растворам. В связи с чем свойства данных штукатурок декларируются производителями в очень широких пределах без достаточного обоснования, что затрудняет выбор наиболее эффективного материала для конкретных условий применения. Кроме того, наблюдается недостаток информации относительно ключевых параметров и методов их оценки, напрямую связанных с механизмом saniрования, которые отражают эффективность защитных свойств saniрующих составов применительно к солевой коррозии. Принято считать, что основным критерием эффективности является пористость. Однако, очевидно, что механизм массопереноса водных растворов солей из структуры керамического кирпича в структуру saniрующей штукатурки обусловлен наличием системы порового пространства с оптимальными пока-

зателями перколяции, которая также должна быть способна сдерживать выход солей на лицевую поверхность. Данные аспекты пока недостаточно проработаны.

Все вышеперечисленное обуславливает актуальность исследований направленного формирования структуры и свойств сухих штукатурных смесей для санирования, позволяющих получить материал, отличающийся технико-экономической и эксплуатационной эффективностью в части защиты кирпичных кладок от солевой коррозии. Для решения обозначенных проблем был проведен комплекс экспериментальных исследований, направленный на:

- выявление принципов проектирования составов saniрующей штукатурных смесей;
- определение ключевых показателей качества saniрующей штукатурок, на основании которых можно судить об эффективности материала с учетом его функционального назначения;
- разработку методов прямой оценки ключевых показателей качества.

Принцип работы saniрующей штукатурки заключается в массопереносе водных растворов солей из кирпичной кладки в штукатурный слой. Чтобы обеспечить данный перенос, штукатурный раствор должен обладать высокой впитывающей способностью. Одновременно с этим необходимо ограничить скорость капиллярной проводимости раствора и увеличить показатель паропроницаемости с целью предотвращения выхода солей на лицевую поверхность. Кроме того, следует создать условия для свободной кристаллизации солей. Поэтому в структуре saniрующего материала должен быть обеспечен достаточный объем как более мелких, так и более крупных капилляров, по сравнению со структурой керамического кирпича [7]. По этой причине, сформировать оптимальное поровое пространство saniрующей штукатурки представляется наиболее возможным за счет применения сложного вяжущего и смеси пористых заполнителей.

На первом этапе исследований проводилась разработка контрольного состава с применением сложного вяжущего. В качестве основных компонентов были выбраны портландцемент и гидратная известь.

Капиллярные поры цементного камня обуславливают его способность к самопроизвольному впитыванию воды без приложения давления за счет капиллярного подсоса. Размеры радиусов данных пор находятся в диапазоне от 10 нм до 100 мкм, предположительно этому же интервалу соответствуют размеры пор в структуре керамического кирпича [8, 9]. Таким образом, благодаря сходству размеров радиусов капиллярных пор, может быть достигнут перенос водных растворов солей из кирпичной кладки в штукатурный слой. Однако применение цементных штукатурок для влажных и засоленных кладок, вследствие их малой паропроницаемости, ведет к локализации влаги и увеличению транспорта солевых растворов в вышележащие области [4].

Введение в состав штукатурной смеси гидратной извести позволяет увеличить показатель паропроницаемости, как показано на рис. 1. Последующие исследования влияния добавки извести на изменение капиллярного поглощения и параметров пористости цементно-песчаных растворов, представленные на рис. 2 и в табл. 1, позволили установить, что ее оптимальное количество составляет 6 % от массы сухих компонентов. При таком процентном соотношении обеспечивается равномерное распределение извести в растворной матрице, так как последующее увеличение ее содержания приводит к снижению капиллярного водопоглощения и показателя однородности размеров открытых капиллярных пор.

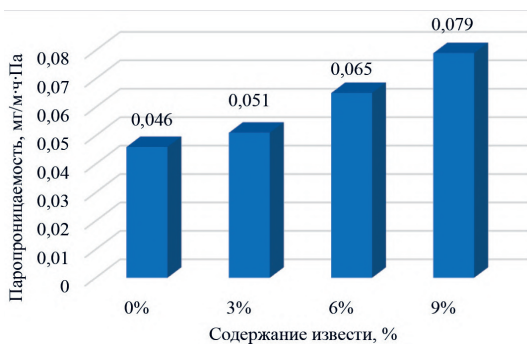


Рис. 1. Влияние добавки извести на изменение величины паропроницаемости

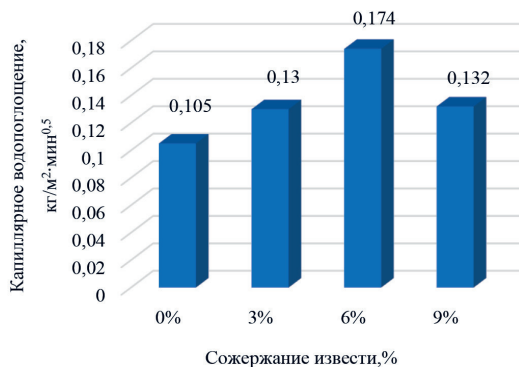


Рис. 2. Влияние добавки извести на изменение величины капиллярного водопоглощения

Таблица 1

Влияние добавки извести на параметры пористости

№ состава	Показатель среднего размера капиллярных пор λ	Показатель однородности размеров открытых капиллярных пор
1 состав (контрольный)	2,91	0,55
2 состав (известь 3 %)	3,01	0,59
3 состав (известь 6 %)	2,93	0,61
4 состав (известь 9 %)	3,53	0,57

В соответствии с полученными результатами разработан контрольный состав, представленный в табл. 2, на основе цементно-известкового вяжущего с кварцево-полевошпатовым песком в виде заполнителя. Для улучшения технологичности растворной смеси в качестве наполнителя использовался микрокальцит марки КМ-100.

Таблица 2

Контрольный состав штукатурной смеси на основе сложного вяжущего

Компонент сухой смеси, производитель	Расход компонента, % массы смеси
ПЦ ЦЕМ I, 42,5 Н производства ООО «Холсим (Рус) СМ»	17
Гидратная известь FELS, 1 сорт, производства ООО «Фельс Известь»	6
Микрокальцит КМ-100, производства ООО «Эверст»	5
Кварцево-полевошпатовый песок фракции 0–2,5 мм, Мкр. = 2,12	72

На следующем этапе с целью регулирования скорости капиллярной проводимости в полученный контрольный состав вводились пористые заполнители. Оценивалось их влияние на формирование структуры и свойств санирующей штукатурки, а также определялись ключевые показатели качества данного материала. В качестве пористых заполнителей использовались перлитовый песок марки М75 и гранулированное пеностекло фракции 0,1–4 мм. Исследование проводилось методом математического планирования с помощью двухфакторного трехуровневого эксперимента. План эксперимента представлен в табл. 3. Переменными факторами выбраны расходы перлита и пеностекла в % от объема песка. Показатели капиллярного поглощения, поверхностного поглощения, солестойкости, предела прочности при сжатии и средней плотности исследовались как ключевые показатели качества.

На основании полученных данных построены регрессионные модели, с помощью которых установлено, что наиболее значимыми показателями качества являются капиллярное и поверхностное поглощение.

Поверхностное поглощение определяет впитывающую способность санирующей штукатурки, за счет чего обеспечивается перенос водных растворов солей из кирпичной кладки в штукатурный

слой. Капиллярное поглощение способствует движению водных растворов солей в объеме saniрующего материала, за счет чего увеличивается поверхность испарения и создаются условия для кристаллизации солей.

Из графиков, представленных на рис. 3 и рис. 4, видно, что введение в состав смеси перлитового песка способствует увеличению поверхностного поглощения вследствие его высокой водопотребности. Одновременно с этим наблюдается снижение капиллярного поглощения в результате нарушения однородности капиллярных пор. Таким образом, можно добиться высокой впитывающей способности и ограниченной скорости капиллярной проводимости штукатурного раствора. Однако введение перлита не обеспечивает условия для свободной кристаллизации солей, что может спровоцировать их вынос на лицевую поверхность.

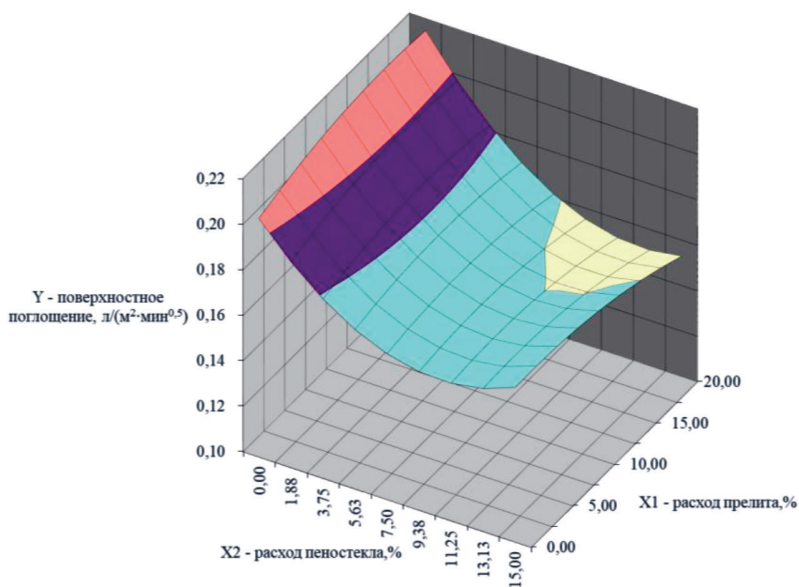


Рис. 3. Зависимость поверхностного поглощения штукатурного раствора от расхода пористых заполнителей

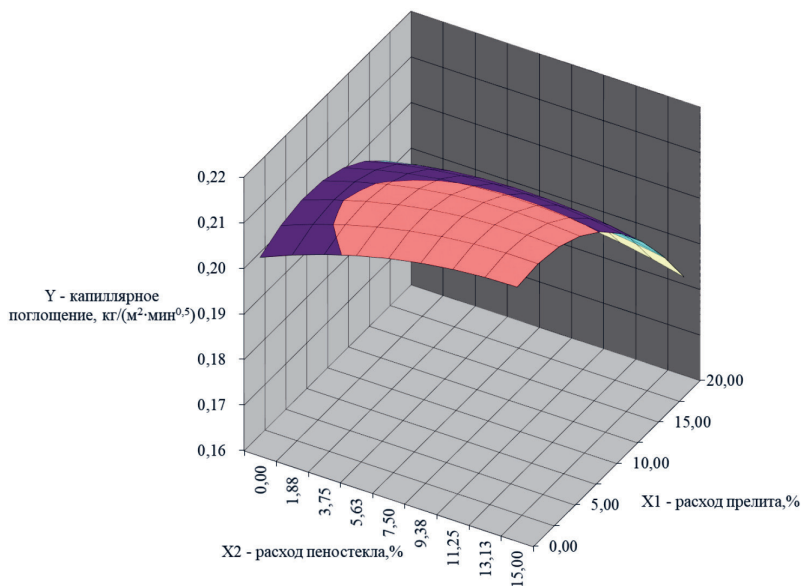


Рис. 4. Зависимость капиллярного поглощения штукатурного раствора от расхода пористых заполнителей

При введении гранулированного пеностекла снижается величина как поверхностного, так и капиллярного поглощения, что может стать причиной отложения солей в контактной зоне между кирпичным основанием и saniрующим материалом. При этом благодаря своей крупнопористой структуре гранулы пеностекла создают необходимый объем сферических пустот для кристаллизации солей. Таким образом вследствие разнонаправленного действия пористых заполнителей, рекомендуется их совместное применение в составе saniрующей штукатурки, что позволит обеспечить перемещение зоны испарения в штукатурный слой и блокирование солей в поровом пространстве материала.

Поскольку капиллярное и поверхностное поглощение определяют главную способность штукатурного слоя – поглощать водные растворы солей из кирпичной кладки, оценку данных характеристик

следует производить явным способом. В связи с чем были разработаны прямые методы оценки.

Определение капиллярного поглощения производилось в соответствии со стандартной методикой, изложенной в ГОСТ Р 58277. Стандартный метод испытаний предполагает осуществлять насыщение образцов в водной среде. Однако в кирпичной кладке мы имеем дело с миграцией растворов солей. В связи с чем был проведен сравнительный анализ величин капиллярного поглощения при насыщении образцов водой и водным раствором $NaCl$ 5 %-ной концентрации. Испытаниям подвергался разработанный контрольный состав с добавлением в него пористых заполнителей в количестве 5 % от объема песка. Результаты анализа представлены на рис. 5.

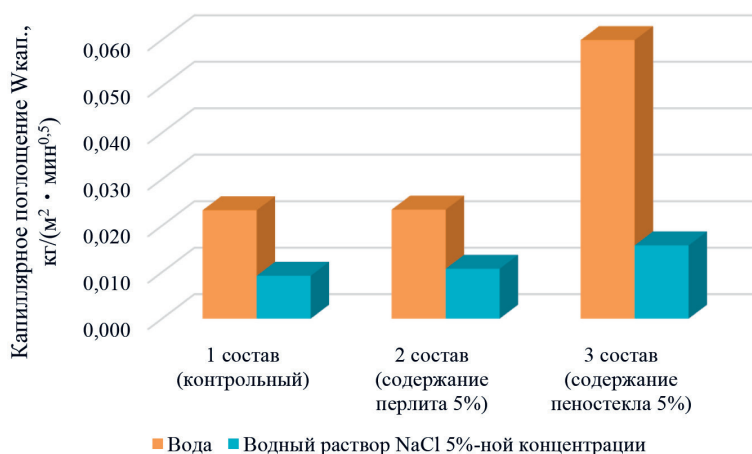


Рис. 5. Сравнительный анализ величин капиллярного поглощения при насыщении образцов водой и водным раствором $NaCl$

Из графика видно, что скорость капиллярного поглощения при насыщении образца в солевом растворе значительно ниже, по сравнению с образцом, насыщаемым в воде. Исходя из этого представляется целесообразным для оценки капиллярного поглощения санитарующих штукатурок использовать водный раствор $NaCl$ 5 %-ной концентрации взамен воды.

Оценку поверхностного поглощения предлагается проводить с помощью применения специального прибора – трубки Карстена и водного раствора NaCl 5%-ной концентрации. Данный метод наиболее точно моделирует работу системы «солевой раствор-санирующий состав». Испытания проводятся на образцах размерами 100×100×30 мм, к поверхности которых с помощью герметика крепится трубка Карстена и заполняется солевым раствором. Затем в течение 30 минут отслеживается изменение уровня жидкости, после чего в соответствии с формулой (1) вычисляется величина поверхностного поглощения $W_{\text{пов.}}$, л/(м²·мин^{0,5}):

$$W_{\text{пов.}} = K \cdot V, \quad (1)$$

где, V – объем солевого раствора, поглощаемого в течение принятого времени испытания, л; K – коэффициент впитываемости поверхности.

Коэффициент впитываемости поверхности вычислялся по следующей формуле:

$$K = 1 / (S \cdot \sqrt{t}), \quad (2)$$

где, S – площадь впитывания, определяемая по величине внутреннего диаметра колокола трубки Карстена, м²; t – время проведения эксперимента, мин.

Результаты, полученные в ходе исследования, свидетельствуют о том, что впитываемость поверхности санирующей штукатурки обеспечивается за счет структуры цементно-известкового вяжущего. Введение в состав штукатурного раствора смеси пористых заполнителей позволяет ограничить капиллярную проводимость и создать условия для свободной кристаллизации солей, тем самым предупреждая высолообразование на лицевой поверхности. Использование в составе смеси гидратной извести, повышает паропроницаемость, что также предотвращает выход солей наружу. Кроме того установлено, что в качестве основных показателей качества стоит рассматривать поверхностное поглощение и капиллярное поглощение, так как они определяют основной механизм действия санирующих штукатурок.

Литература

1. *Ibraeva Y., Tarasevskii P., Zhuravlev A.* Salt corrosion of brick walls // International Science Conference SPbWOSCE-2016 «SMART City». 2017. Vol. 106 (2017). URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710603003>.
2. *Инчик В. В.* Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. СПб. : СПбГАСУ, 1998. 324 с.
3. *Григорьев Д. С.* Исследование влияния способов формирования порового пространства на свойства санирующей штукатурки // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 139–145.
4. *Фрессель Ф.* Ремонт влажных и поврежденных солями строительных сооружений. М. : Пэйнт-Медиа, 2006. 320 с.
5. *Берестяный А. Л.* Система реставрационных штукатурок Siltek // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 22–23.
6. *Урецкая Е. А., Плотникова Е. М.* Ремонт влажных и поврежденных солями строительных конструкций // Сухие строительные смеси. 2011. № 1. С. 32–35.
7. *Харитонов А. М., Ступак М. В., Иванова Т. А.* Санирующие сухие смеси: требования к материалу и особенности подбора состава // Цемент и его применение. 2022. № 1. С. 114–116.
8. *Штарк И, Вихт Б.* Цемент и известь. Киев : Оранта, 2008. 469 с. Ройль Х. Руководство по защите и санированию строительных сооружений: причины повреждений, методы диагностики, возможности санирования. СПб. : Квинтет, 2013. 372 с.

УДК 543.275.1

Кирилл Михайлович Шепелин,

студент

Евгения Владимировна Малащенко,

студент

Сергей Александрович Черевко,

старший преподаватель

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: shepkill308@gmail.com,

jeniamal@yandex.ru,

c3a@bk.ru

Kirill Mikhailovich Shepelin,

student

Evgeniia Vladimirovna Malashchenko,

student

Sergei Aleksandrovich Cherevko,

senior lecturer

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: shepkill308@gmail.com,

jeniamal@yandex.ru,

c3a@bk.ru

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

DEVELOPMENT OF INSTRUMENTAL METHODS FOR MONITORING HUMIDITY OF BUILDING STRUCTURES

Чрезмерное увлажнение строительных конструкций, а также активная миграция влаги вызывает деструктивные процессы строительных материалов, что в свою очередь приводит к снижению строительно-технических характеристик самой конструкции. Данное явление наиболее ярко проявляется при использовании материалов с развитым поровым пространством. Типичным представителем подобного типа материалов является керамический кирпич. Значительный опыт использования керамического кирпича для создания ограждающих конструкций говорит о необходимости контроля состояния влажности. Наличие влаги в объеме материала приводит к развитию коррозионных процессов с различными механизмами протекания. Отдельное место среди данных процессов занимает биологическая коррозия. Прогнозирование вероятности протекания коррозионного процесса данного типа возможно через оценку показателя активности воды.

Принятые методы измерения влажности не всегда позволяют достаточно полно оценить миграционные процессы, что затрудняет оценку вероятности возникновения биологического повреждения. Измерительная база требует актуализации в соответствии с современными представлениями по представленной тематике. Данная работа посвящена развитию измерительной базы для

проведения измерения и мониторинга влажности строительных конструкций. Предложенная методика позволяет не только определять температурно-влажностные показатели, но и способствует количественной оценке возможности развития биологической коррозии.

Ключевые слова: влажность, активность воды, биологическое повреждение, кирпичная кладка, методы контроля.

Excessive moisture of building structures, as well as active moisture migration causes destructive processes in building materials, which in turn leads to a decrease in the construction and technical characteristics of the structure itself. This phenomenon is most pronounced when using materials with a developed pore space. A typical representative of this type of material is ceramic brick. Significant experience in the use of ceramic bricks to create building envelopes, as well as data on the long-term operation of these structures, indicates the need to control the state of humidity. The presence of moisture in the bulk of the material leads to the development of corrosion processes with different activity mechanisms. Biological corrosion occupies a separate place among these processes. Predicting the probability of a corrosion process of this type is possible through an assessment of the water activity index.

The accepted methods for measuring humidity do not always allow a sufficiently complete assessment of migration processes, which makes it difficult to assess the likelihood of biological damage. The measuring base requires updating in accordance with modern ideas on the subject presented. This work is devoted to the development of a measuring base for measuring and monitoring the humidity of building structures. The proposed method allows not only to determine the temperature and humidity indicators, but also contributes to a quantitative assessment of the possibility of biological corrosion development.

Keywords: humidity, water activity, biological damage, brickwork, control methods.

Процесс накопления кирпичной кладкой влаги приводит к различным деструктивным физическим, физико-химическим и химическим процессам, именуемым коррозией. Отдельное место среди данных негативных воздействий занимает биологическая коррозия, проявляющаяся в результате повреждений строительных материалов продуктами жизнедеятельности живых организмов, таких как бактерии, грибы, мхи, лишайники и микроорганизмы, поселяющихся на поверхности конструкций и нарушающих сцепление составляющих компонентов минеральных стройматериалов [1, 2]. В статье «факторы влияния влажности на строительные материалы» [3]

показана важность недопущения переувлажнения керамических кирпичей и необходимость корректного отслеживания их температурно-влажностного состояния с целью предотвращения дальнейшего разрушения конструкций.

Согласно данным существующей литературы, было выявлено, что вероятность возникновения различных факторов биологического повреждения коррелируется с повышением показателя активности воды.

Активность воды регламентирует степень доступность воды для химических реакций и микроорганизмов. Использование процентного содержания воды в теле материала для определения вероятности возникновения биологического повреждения не допустимо в виду нахождения большей части воды в связанном состоянии, недоступном для живых клеток. Формула для определения активности воды следующая:

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{OB}{100} = \frac{П_2}{П_1 - П_2}$$

где, P – давление пара жидкости; P_0 – давление пара дистиллированной воды; OB – относительная влажность; $П_1$ – число молей растворителя; $П_2$ – число молей растворенного вещества.

Процесс биологического повреждения строительных материалов исследовался большим количеством ученых [4, 5, 6, 7, 8], но развитие нормативной базы, например, разработанный в 2022 году силами ООО «БиоспейсСтрой» совместно с СПбГАСУ, СПбГУ и ФАУ «РосКапСтрой» ГОСТ Р 70005-2022 «Сохранение объектов культурного наследия от биопоражений», толкает на дальнейшие исследования в данном ключе.

Принимая во внимание вышесказанные положения, целью текущего исследования является развитие разработка методики определения и мониторинга влажностных процессов с целью прогнозирования возможности возникновения биологической коррозии в кирпичной кладке.

Модельные исследования производились с использованием рядовых полнотелых керамических кирпичей марки 1НФ по ГОСТ

530-2012. На ложковой части образца № 1 были выполнены отверстия \varnothing 1,8 см и глубиной 10,0 см, 7,0 см и 4,0 см (схема представлена на рисунке 1), в которых непосредственно на этапе проведения эксперимента размещались датчики измерения влажности. На постельной части образца № 2 было выполнено устройство ПВХ коробки, в которой также располагался датчик (см. рис. 2).



Рис. 1. Общий вид образца № 1

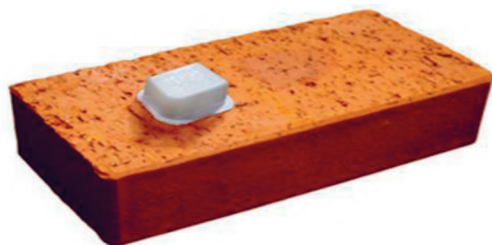


Рис. 2. Общий вид образца № 2

Перед началом эксперимента было выполнено водонасыщение имеющихся образцов в течение суток.

После водонасыщения образцы размещались на пластиковых цилиндрических подставках в оптимальных лабораторных условиях при относительно постоянной температуре и относительной влажности воздуха с целью обеспечения равномерного испарения влаги во всех плоскостях керамических кирпичей и в указанные на рисунках 1, 2 места помещались датчики влажности и температуры для фиксации необходимых показателей.

Для расчета активности воды выполнялись измерения относительной влажности и температуры керамических кирпичей и окружающего воздуха при помощи созданного в рамках эксперимента прибор на основе платы ARDUINO и подключенному к ней датчиков температуры и влажности DHT22, а также влагомер ADA ZHT 70 (определение показателей влажности на поверхности объектов исследования в точках 1–6 рис. 3).

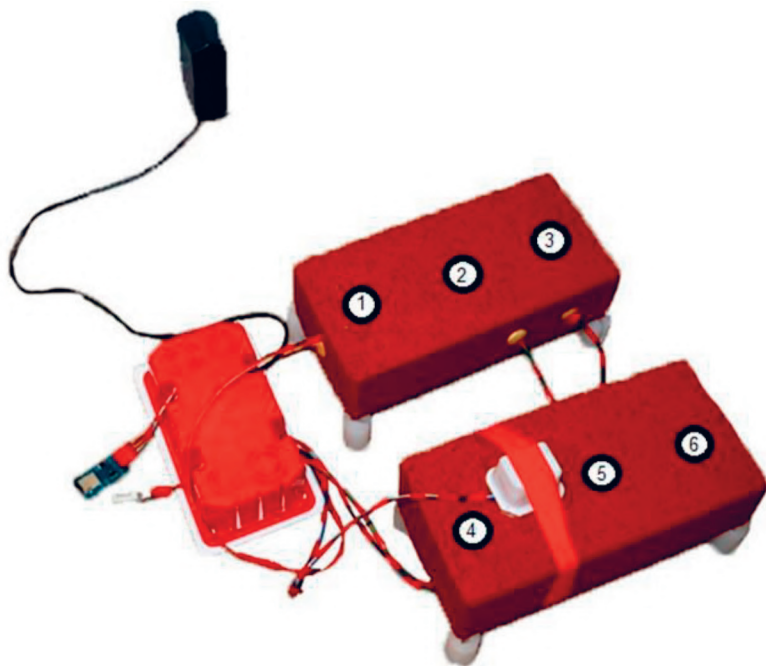


Рис. 3. Общий вид установки для исследования влажностных процессов

В ходе эксперимента данные с расположенных датчиков загружались на подключенную SD-карту каждые 10 минут, для контроля полноты испарения влаги с поверхности кирпича производились измерения влагомером ADA ZHT 70 два раза в сутки с одинаковой периодичностью в течение 2-х недель.

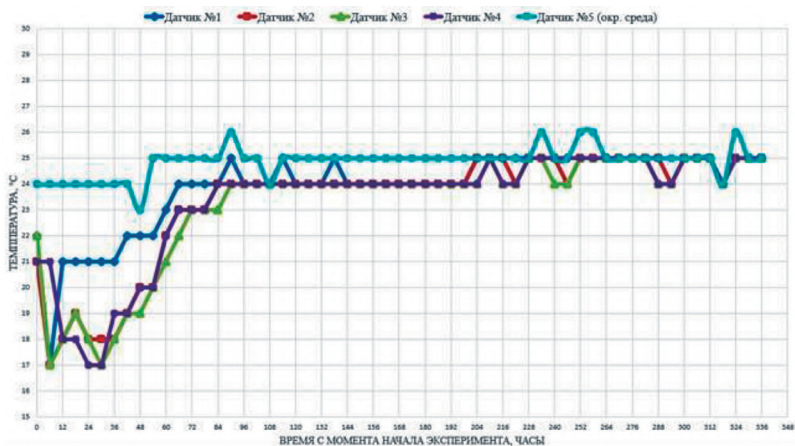


Рис. 4. Измерение температуры образцов и окружающего воздуха датчиками DHT22 в течение 7 суток

Анализ графической зависимости, расположенной на рисунке 4 показывает, что стабилизация температурного режима образцов и окружающего воздуха произошла на 4–5 сутки с момента начала эксперимента.

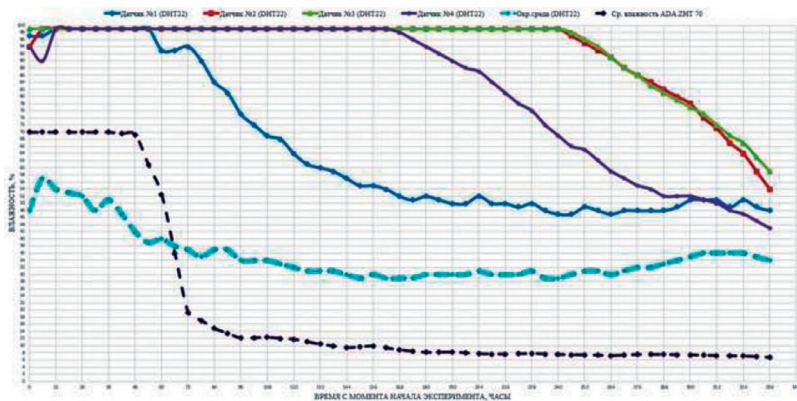


Рис. 5. Изменение относительной влажности образцов в течение 2-х недель

По результату проведенной обработки приборной базы для измерения относительной влажности и температуры в целях дальнейшего прогнозирования биологического повреждения в кирпичной кладке по результатам расчета показателя активности воды следует вывод о возможности использования данной методики с целью мониторинга исследуемых показателей. Исследование полученных зависимостей, представленных на рис. 5, позволяет зафиксировать работоспособность представленного метода измерений, выявить неравномерность изменения влаги и оценить различия в показателях влажности образцов в зависимости от различных факторов, таких как геометрического расположения регистраторов, поверхностного испарения воды из пор материала глубины их расположения в теле материала и т. д. Традиционно используемые влагомеры не позволяют полноценно предоставить данные в силу невозможности оценить действительную относительную влажность непосредственно в теле образцов.

С целью приведения модельного эксперимента к более реальным условиям эксплуатации конструкции следует устранить возможность испарения влаги со внутренних поверхностей, полученных в результате устройства отверстий, с использованием современных методов герметизации и выполнить повторные исследования. Дальнейшая развитие приборной базы с целью определения оптимального метода мониторинга влажностных процессов для прогнозирования возможности возникновения биологической коррозии включает в себя дальнейшее продолжение экспериментов.

Литература

1. Физико-технические основы эксплуатации наружных кирпичных стен гражданских зданий: учеб. Пособие/ В. И. Леднев, И. В. Матвеева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2005. – 160 с.
2. *Калинин, В. М., Сокова, С. Д.* Оценка технического состояния зданий: учебник. – М.: ИНФА-М, 2006. – 268 с.
3. *Шепелин К. М.* Факторы влияния влажности на строительные материалы // Научное издание. Серия «Строительство». Том 1. Сборник статей магистрантов и аспирантов. Выпуск 6. 2023 г.
4. *Macher J. M., Mendell M. J., et al.* (2014). "Indoor Dampness and Mold as Indicators of Respiratory Health Risks, Part 5: Comparison of a Moisture Meter

and a Water Activity Sensor to Determine the Dampness of Gypsum Wallboard.” *Indoor Air* 2014, Hong Kong.

5. *Adams R. I., Chen W., Kumagai K., Macher J. M., Mendell M. J.* Relating measured moisture of gypsum board to estimated water activity using moisture meters, *Building and Environment* (2018).

6. *Tracking Moisture in Buildings with Water Activity* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pittcon.org/wp-content/uploads/2016/02/Aqualab_Tracking-Moisture-in-Buildings-with-Water-Activity.pdf, свободный. Дата обращения: 04.03.2021.

7. *Pasanen A.-L., Juutinen T., Jantuner M. J., Kalliokoski P.* Occurrence and Moisture Requirements of Microbial Growth in Building Materials // *International Biodeterioration & Biodegradation* 30. 1992.

8. *Уряшева Н. Н.* Взаимодействие микроорганизмов с каменными строительными материалами // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 65–71.

СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ **СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

УДК 692

Глеб Владимирович Бурло,

студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: gleb.burlo@yandex.ru

Gleb Vladimirovich Burlo,

student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: gleb.burlo@yandex.ru

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ANALYSIS OF FOUNDATION CONSTRUCTION TECHNOLOGIES IN LOW-RISE BUILDINGS

Цель данного исследования – обзор различных видов фундаментов, используемых при возведении малоэтажных жилых многоквартирных домов. В настоящей статье приведена классификация фундаментов, анализ их достоинств и недостатков и особенности их применения. Фундаменты являются главными несущими элементами любого здания или сооружения, так как они воспринимают нагрузку от вышележащих конструкций и передают ее на основание. Как показывает практика, при строительстве малоэтажных зданий, применяются различные виды фундаментов, особенностью строительства таких зданий, за частую является отсутствие инженерно-геологических исследований грунта.

Ключевые слова: технологии устройства, малоэтажное строительство, фундамент, ленточный фундамент, свайный фундамент, плитный фундамент.

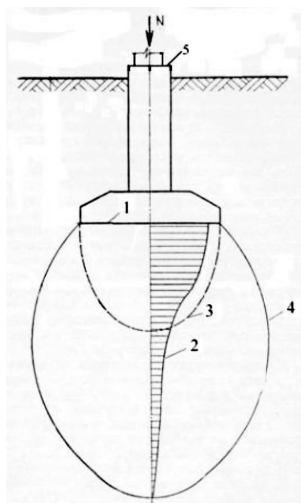
The purpose of this study is to review various types of foundations used in the construction of low-rise residential single-family houses. This article presents the classification of foundations, the analysis of their advantages and disadvantages and the features of their application. Foundations are the main load-bearing elements of any building or structure, as they perceive the load from the overlying structures and transfer it to the base. As practice shows, in the construction of low-rise buildings, various types of foundations are used, a feature of the construction of such buildings is often the lack of engineering and geological studies of the soil.

Keywords: technologies construction, low-rise construction, foundation, ribbon foundation. pile foundation, slab foundation.

В современном малоэтажном строительстве фундаменты играют ключевую роль в обеспечении надежности и устойчивости зданий. Разнообразие технологий устройства фундаментов предоставляет разработчикам и строителям широкий выбор вариантов, учитывая особенности почвы, климатические условия и конкретные требования проекта. В данном анализе рассматриваются основные технологии устройства фундаментов в малоэтажном строительстве, их преимущества и недостатки, а также сферы применения каждого варианта.

Основание фундамента представляет собой массив грунта, расположенный под фундаментом и непосредственно воспринимающий через него нагрузки от здания или сооружения [1].

Эти нагрузки вызывают в основании напряженное состояние, как показано на рисунке, которое при достижении определенного уровня может привести к деформациям, как самого основания, так и фундамента.



- Основание здания: 1 – подошва фундамента;
 2 – эпюра распределения вертикальных напряжений в грунте;
 3 – зона наибольших напряжений; 4 – граница области напряжений;
 5 – обрез фундамента

Фундамент является основой любого здания и его надежность, и прочность играют решающую роль в обеспечении безопасности и долговечности сооружения.

В малоэтажном строительстве, где здания имеют небольшую высоту и кажутся менее сложными, выбор оптимальной технологии устройства фундамента является необходимым шагом для успешного завершения проекта.

Основные технологии устройства фундаментов

Ленточный фундамент

Ленточный фундамент является наиболее распространенной технологией устройства фундаментов в малоэтажном строительстве. Он представляет собой бетонные полосы, расположенные по периметру здания и обеспечивающие равномерное распределение нагрузки на грунт.

Свайный фундамент

Свайные фундаменты предназначены для передачи нагрузки на плотные грунты, расположенные (иногда) на значительной глубине [2]. Свайный фундамент состоит из свай, объединенных сверху системой плит или балок, называемых ростверком. Различают низкий, повышенный и высокий ростверк, которые в плане могут быть в виде лент, кустов или свайного поля.

Свайные фундаменты применяются в тех случаях, когда грунты основания представлены насыпью большой мощности, торфами, илистыми отложениями, связными грунтами в текучем и текуче-пластичном состоянии. Применение свайных фундаментов может быть также обусловлено требованиями повышения устойчивости, уменьшения осадок, крена как собственно самого фундамента, так и всего сооружения [3].

Плитный фундамент

Плитный фундамент применяется в случаях, когда грунт имеет достаточную несущую способность и распределенная нагрузка от здания невелика. Эта технология нашла широкое применение благодаря своей надежности и простоте.

Плитный фундамент представляет собой жесткую структуру, расположенную на поверхности грунта, и служит опорой для всего здания. Такая подушка выполняет функцию равномерного распределения нагрузки от здания на грунт, а также служит дополнительной защитой от промерзания.

Процесс устройства плитного фундамента начинается с проведения маркировки под здание. Затем производится выкопка котлована, в котором будут размещены бетонные плиты. Глубина выкопки зависит от требований проекта и свойств грунта [5].

В настоящее время выбор наиболее оптимального конструктивного решения фундамента осуществляется, как правило, путем технико-экономического сравнения вариантов устройства фундаментов по следующим показателям: экономической эффективности, материалоемкости, необходимости выполнения работ в сжатые сроки, величинам предельных осадок и их неравномерностей, возможности выполнения работ в зимнее время и т. п. [4].

В заключении стоит отметить, что выбор технологии устройства фундаментов в малоэтажном строительстве должен быть определен индивидуально, учитывая конкретные условия и требования проекта.

Каждая из рассмотренных технологий имеет свои преимущества и недостатки, которые следует учитывать при выборе оптимального варианта для конкретной недвижимости. Надежность, устойчивость и экономичность являются основными факторами, которые следует принимать во внимание при проектировании и строительстве фундамента.

Литература

1. *Стефанович М. Ю.* Малоэтажное жилищное строительство особенности и проблемы развития в России // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 505–507.
2. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений: учеб. пособие / В. К. Федулов, Л. Ю. Артемова. – М.: МАДИ, 2015. 84 с.
3. *Субботин О. С.* Характерные особенности строительства малоэтажных жилых зданий // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 53. С. 248–252.
4. *Ворона-Сливинская Л. Г., Макаридзе Г. Д.* Анализ конструктивных и технологических особенностей применения несъемной опалубки для устройства

монолитных перекрытий объектов малоэтажного строительства. *Перспективы науки*. 2019. № 10 (121). С. 141–144.

5. Основания и фундаменты / А. Б. Пономарев, А. В. Захаров, Д. Г. Золотозубов, С. В. Калошина : учеб.-метод. пособие – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015 – 318 с.

УДК 681.5

Валентина Алексеевна Леонтьева,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: valentina.leonteva.95@mail.ru

Valentina Alekseevna Leonteva,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: valentina.leonteva.95@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ «УМНЫЙ ДОМ», ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ЕЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

SMART HOME TECHNOLOGY, OPERATING PRINCIPLES AND ITS ADVANTAGES

Система «Умный дом» – это уже повседневная реальность, которая становится современной нормой жизни, которая обеспечивает своего владельца комфортом и безопасностью.

В настоящей статье рассмотрены вопросы, связанные с применением технологии «Умный дом». Технология быстро развивается, появляются новые дополнительные функции и возможности для ее реализации, например, такие как управление при помощи голосовых команд.

Цель статьи – провести исследование взаимодействия основных компонентов и принципов работы «Умного дома», включая последние инновации.

В результате исследования проведен анализ протоколов и сценариев, по которым работает «Умный дом», а также приведены примеры реализации подсистем «Умного дома» и выделены преимущества данной технологии.

Ключевые слова: умный дом, технологии, управление, протокол, сценарий.

The Smart Home system is already an everyday reality, which is becoming a modern norm of life, which provides its owner with comfort and safety.

This article discusses issues related to the use of Smart Home technology. Rapidly developing technologies have created new additional functions and capabilities for its implementation, such as control using voice commands.

The purpose of the article is to conduct a study of the interaction of the main components and principle of operation of the Smart Home, including recent innovation.

As a result of the study, an analysis of the protocols and scenarios by which the Smart Home operates was carried out, and examples of the implementation of the “Smart Home” subsystem are presented and the advantages of this technology are highlighted.

Keywords: smart home, technology, operation, protocol, scenario.

Введение

Современные передовые технологии окружают человека, позволяя повысить качество и комфорт в повседневной жизни. Технологический прогресс активно внедряется в домашний быт, создавая условия для безопасного, уютного проживания, будь то квартира или загородный дом.

Система умного дома дает безграничные возможности сделать свою жизнь максимально удобной благодаря удаленному управлению инженерными и коммуникационными узлами современного дома [5].

Термин «Умный дом» произошел от английского «smart home» и подразумевает автоматизированную совместную работу разных домашних устройств, которые способны выполнять бытовые задачи при получении информации от человека на узел управления или вообще без прямого участия человека. Иными словами, система сама руководит процессами, избавляя владельца от многочисленных рутинных дел.

Smart home – инновационная система, прогрессирующая с каждым днем, позволяющая автоматизировать домашние процессы. Она объединяет все имеющиеся коммуникации дома в единое целое, а управление ими происходит с единого центра команд (узлы управления). Дом можно запрограммировать и настроить в соответствии с желаниями и возможностями владельца, ведь главная задача «умного дома» заключается в обеспечении безопасности и комфорта пользователя [1].

Особенности устройства умного дома

«Умный дом» или автоматизированная система управления зданиями (АСУЗ) состоит из нескольких узлов, каждый из которых отвечает за реализацию конкретной задачи, а в совокупности обеспечивает точное функционирование всей системы.

Как показано на рис. 1, любой умный дом включает в себя:

1. Контроллер – основное оборудование, которое связывает все блоки в единое целое. С его помощью происходит управление другими устройствами, включенными в цепь.

2. Датчики – оборудование, получающее данные о происходящем вокруг и о состоянии техники. Полученная информация пере-

дается контроллеру. На основании этих сведений выполняются соответствующие действия.

3. Активаторы – исполнители, отвечающие за автоматизацию различных процессов, и выполняют полученные команды. Такими устройствами являются реле, светодиодные блоки, диммеры.

4. Узлы управления – устройство, на которое подаются команды. [2]

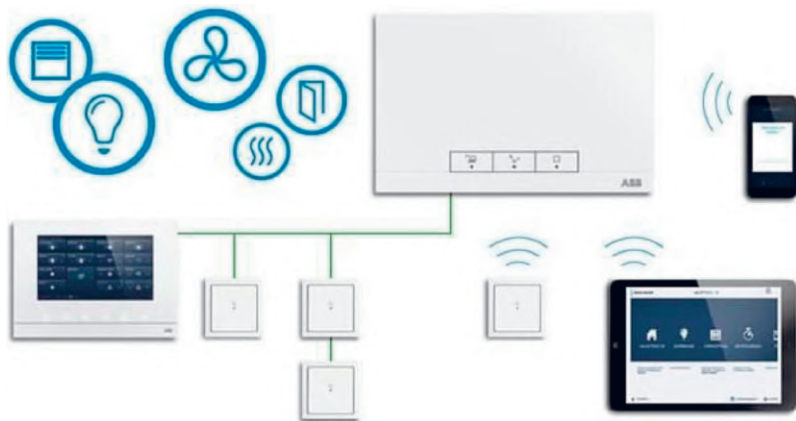


Рис. 1. Структурная схема «Умного дома»

Кроме основных приборов для работы умного дома существуют подсистемы, которые расширяют его функциональность. Речь идет о таких подсистемах, как система безопасности, электроснабжения и электроосвещения, контроля управления доступом, климата и т. д.

На рис. 2 наглядно показаны примеры реализации различных подсистем.

Система безопасности отвечает за бесперебойную работу сигнализации, контролирует противопожарные модули, следит за состоянием коммуникационных систем. Она же своевременно оповещает владельца о неисправности системы или других внештатных ситуациях.

Система электроснабжения и электроосвещения позволяет через главное устройство следить за показателями счетчиков и потраченной

электроэнергии. Кроме того, можно регулировать параметры работы розеток и осветительных приборов. Розетки можно включать и выключать удаленно, а в случае с освещением, еще и менять режим работы по желанию.



Рис. 2. Подсистемы «Умного дома»

Система контроля и управления доступом отвечает за удаленное открытие ворот на придомовую территорию или открытие входных дверей. Так же система может сообщить владельцу о том, что кто-то пытается открыть дом без его ведома, и подать сигнал системе безопасности.

Климатический контроль позволяет следить за температурой и состоянием воздуха в помещении не только во время нахождения собственника в доме, но и удаленно в соответствии с заданными сценариями.

В умный дом можно внести любые технологии и подсистемы, его возможности неограниченны, которые зависят от желаний и возможностей владельца. [3]

Взаимодействие элементов и используемые протоколы

Протокол «умного дома» – это язык (набор инструкций), который позволяет различным устройствам взаимодействовать друг с другом и выполнять поставленные задачи, как показано на рис. 3.



Рис. 3. Взаимодействие элементов «Умного дома»

Обмен и взаимодействие данных происходит посредством беспроводной связи и с помощью проводной технологии:

1. Проводная технология. Управление реализуется с помощью радиоканала переключателей на панели управляющего устройства. Такой вид удобен в эксплуатации, имеет высокую надежность и повышенную степень устойчивости к помехам. Поэтому скорость передачи необходимой информации передается быстро и на любые расстояния. Минус проводной модификации – трудоемкий монтаж и интеграция, огромный объем работы. Стоимость такой технологии будет выше, чем беспроводная система, а для подключения и расширения функций дома потребуется помощь квалифицированного специалиста.

2. Беспроводная технология. Простой процесс монтажа, хорошее качество предоставляемых услуг, отличается удобством. Работает при помощи мобильных устройств (*Bluetooth, Wi-Fi, home, apple*), а также других схожих шлюзов и расширений. Беспроводной умный дом уступает проводной модификации: меньший радиус действий, передатчики уязвимы перед помехами, легко взламываются хакерами [4].

С появлением беспроводных технологий стали востребованы универсальные проекты, которые задействованы в различных стандартах связи.

Сейчас существует несколько протоколов умного дома, которые имеют свои характеристики. Самые популярные протоколы включают в себя *Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave*:

1. Протокол *Wi-Fi*. Наиболее популярный протокол в строительной сфере. Он дает возможность подключить большое количество устройств к интернету и управлять ими через приложение на ноутбуке или телефоне. Данный протокол имеет высокую скорость передачи данных.

2. Протокол *Bluetooth*. Имеет короткий радиус действия, чаще всего используется для связи между персональными девайсами в помещении.

3. Протокол *ZigBee*. Он также относится к беспроводной технологии, построен на сети из небольших электронных чипов (датчики *RF*), благодаря которым он работает на больших расстояниях не теряя качество связи. Датчики *RF* необходимо подключить к роутеру или контроллеру.

4. Протокол *Z-Wave*. Управляет устройствами в доме, используя радиочастотные сигналы. Совместим со многими девайсами и имеет большой радиус передачи данных. Преимущество *Z-Wave* в том, что сигналы можно ретранслировать различными устройствами через друг друга, увеличивая желаемый радиус передачи [6].

Варианты работы системы

В зависимости от своей модификации «умный дом» может работать по двум сценариям, их можно совместить, а можно выбрать

один из двух. В одном случае необходимо участие человека, в другом – нет.

В первом варианте человек отдает команду на выполнение какого-либо действия, а функциональные возможности дома обеспечивают выполнение команды. Информация поступает на центральный контроллер, а контроллер, после переработки данных, отправляет сигнал на конкретное устройство.

Во втором варианте заранее настроенные владельцем сценарии позволяют обойтись без участия человека. В данном случае управление на себя берут различные датчики.

Например, кондиционер будет сам включаться и выключаться, поддерживая заданную температуру по сценарию. Или же кофеварка в определенное время начнет готовить кофе хозяину, или телевизор будет включаться на нужном канале в нужное время. При срабатывании датчиков движения во время отсутствия владельца дома, контроллер активирует сигнализацию, либо камеры наблюдения, отправляя изображение владельцу на телефон.

Можно настроить самые разные сценарии. Все зависит от используемых технологий, функционала устройств и пожеланий конкретного пользователя.

Управлять системой можно с телефона, планшета, ноутбука – это так называемая технология контроля рабочих параметров, которая работает через бесплатное приложение. С ее помощью происходит отслеживание состояния системы вне зависимости от своего местонахождения.

Также для управления можно использовать специальный пульт или сенсорную панель. Панель устанавливается в доме и имеет многоканальный формат. Таким образом, с одного гаджета происходит контроль всей системы.

Не так давно появился еще один вид управления – это голосовой контроль. Управление домом и его функциями только с помощью голосовых команд, исключая кнопки и опции выбора. Такое управление настроено на работу не только с единичными командами, но и на работу с разными сценариями.

Заключение

Умный дом – это дом, который оснащен системами автоматизации и управления, позволяющими контролировать и управлять различными устройствами внутри дома. Это может быть управление освещением, отоплением, кондиционированием воздуха, безопасностью, аудио-видео системой, электроприборами и многим другим [2].

Системы умного дома работают на основе сенсоров, датчиков и программного обеспечения, которые собирают информацию о состоянии дома и его окружающей среды. Эта информация обрабатывается и используется для управления различными устройствами в доме.

Преимущество «умного дома» – это повышение удобства и комфорта жизни домочадцев. Например, управление освещением и температурой помещений может быть автоматизировано таким образом, чтобы создать оптимальные условия для работы, отдыха и сна. Кроме того, системы умного дома позволяют управлять различными устройствами из любой точки мира через интернет, что делает жизнь еще более удобной.

Еще одним не менее важным преимуществом умного дома является повышение безопасности. Системы видеонаблюдения и датчики движения позволяют контролировать доступ к дому и предотвращать несанкционированный доступ. Кроме того, системы умного дома могут оповещать обитателей дома о возможных угрозах, таких как пожар или наводнение, что позволяет своевременно принимать меры по их предотвращению.

В целом, умный дом – это инновационное решение, которое позволяет создать комфортные и безопасные условия для жизни. Системы умного дома могут быть установлены как в новостройках, так и в уже существующих домах, что делает их доступными для широкой аудитории.

Литература

1. Дементьев А. Д. «Умный дом» XXI века – Москва: Litres, 2022. – 100 с.
2. Free home abb: <https://freehomeabb.ru/info/umnyy-dom-osobennosti-i-preimushchestva/>
3. Харке В. Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникации в жилищном строительстве – Москва: Техносфера, 2006. – 288 с.
4. Невмержицкий В. Л. Умные дома / Управление инновациями: теория, методология, практика – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, 2020. – 9 с.
5. Voskresenskaya E., Vorona-Slivinskaya L., Achba L. Strategic priorities for development of housing construction and renovation sector. В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018. 2019. С. 05010.
6. CCTV institute: <https://cctvinstitute.co.uk/smart-home/>
7. Михайлов С. С. Основные принципы работы «Умного дома» [Статья] / С. С. Михайлов // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2022. – № 8. – С. 7.

УДК 69.05

Марина Романовна Никитина,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: malishewa.marina2014@yandex.ru

Marina Romanovna Nikitina,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: malishewa.marina2014@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БЕТОННЫХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

IMPROVING QUALITY CONTROL WHEN CARRYING OUT CONCRETE WORK IN CONSTRUCTION

Необходимость в проведении исследований для выявления мер для улучшения строительного контроля, а в следствии и улучшения качества строительства в целом является актуальной задачей для строительной отрасли и индустриализации в целом. В данной статье произведен анализ вопроса о совершенствовании строительного контроля и надзора при реализации бетонных строительно-монтажных работ на строительной площадке, предложены пути решения данной проблемы с упором на введение BIM-технологий. В работе рассмотрены сдерживающие факторы, влияющие на качество этапов строительного контроля и выявлены тенденции развития строительного контроля в обозримом будущем.

Ключевые слова: строительный контроль, надзор, автоматизация, строительство, BIM-технологии.

The need to conduct research to identify measures to improve construction control, and consequently improve the quality of construction in general, is an urgent task for the construction industry and industrialization in general. This article analyzes the issue of improving construction control and supervision during the implementation of concrete construction and installation work on a construction site, and suggests ways to solve this problem with an emphasis on the introduction of BIM technologies. The work examines the limiting factors affecting the quality of construction control stages and identifies trends in the development of construction control in the foreseeable future.

Keywords: construction control, supervision, automation, construction, BIM-technologies.

Бетонные и железобетонные изделия занимают большой процент по применению среди материалов для возведения строительных конструкций. Предметный анализ данных Росстата по производственным показателям промышленности строительных материалов дает возможность взвешенной оценки процентного применения тех или иных материалов [5]. На сегодняшний день среди основных строительных материалов для несущих конструкций, таких как дерево, металл, кирпич – бетон и соответственно железобетон занимает лидирующее место по выпуску (см. таблицу 1)

Таблица 1

Выпуск основных видов строительных материалов, изделий и конструкций за январь-июнь 2023 года (выборочно)

	Основные виды строительных материалов, изделий и конструкций	2023	% к 2022
1	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные цементы, млн т	28,5	101,4
2	Бетон готовый к заливке (товарный бетон), млн куб. м	27,4	119,2
3	Гранулы, крошка и порошок; галька, гравий, млн куб. м	163,8	110,9
4	Дома деревянные заводского изготовления, тыс. кв. м общей площади	111,1	108,1
5	Плиты древесностружечные, тыс. усл. куб. м	5339	103,0
6	Блоки и прочие изделия сборные строительные, млн куб. м	12,7	100,9
7	Гранит, песчаник и прочий камень, млн т	43,0	99,0
8	Плиты из цемента, бетона, искусственного камня, млн кв. м	17,9	98,4
9	Кирпич керамический неогнеупорный строительный, млн усл. кирпичей	2559	96,0
10	Пески природные, млн куб. м	114,7	89,9

Окончание табл. 1

	Основные виды строительных материалов, изделий и конструкций	2023	% к 2022
11	Кирпич строительный (включая камни) из цемента, бетона или искусственного камня, млн усл. кирпичей	990,9	85,5
12	Блоки стеновые силикатные, млн усл. кирпичей	2164	85,2
13	Плиты древесноволокнистые, млн усл. кв. м	309,0	84,3
14	Фанера, тыс. куб. м	1586	83,6

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что контроль выполнения бетонных работ занимает весомый процент от контроля строительных изделий и конструкций из других материалов, а так как тенденция растет не первый год, то исследование вопроса о совершенствовании контроля качества при проведении бетонных работ является важной компонентой для развития строительной отрасли и улучшения качества конструкций в целом.

Для того что бы понять, как можно усовершенствовать данный предмет исследования, вспомним стадии контроля производства работ и выделим в них части для анализа [6].

Этапы строительного контроля проводятся согласно Постановлению Правительства № 468 (см. табл. 2):

Таблица 2

Этапы строительного контроля

№	Этап	Описание
1	Входной контроль	Проверка полноты и соблюдения установленных сроков выполнения подрядчиком входного контроля и достоверности документирования его результатов.
2	Контроль складирования и хранения	Проверка выполнения подрядчиком контрольных мероприятий по соблюдению правил складирования и хранения продукции, а также достоверности документирования его результатов.

Окончание табл. 2

№	Этап	Описание
3	Контроль технологических операций	Проверка полноты и соблюдения установленных сроков выполнения подрядчиком контроля последовательности и состава технологических операций по строительству объектов и достоверности документирования его результатов.
4	Освидетельствование скрытых работ и промежуточная приемка	Совместное освидетельствование скрытых работ и промежуточная приемка строительных конструкций, влияющих на безопасность объекта и участков сетей инженерно-технического обеспечения.
5	Проверка соответствия законченного объекта требованиям	Проверка объекта требованиям проектной и рабочей документации, инженерных изысканий, градостроительного плана земельного участка и технических регламентов.
6	Подготовка документации	Заполнение актов и журналов работ.

Рассмотрим сдерживающие факторы, которые в большей степени влияют на качество этапов контроля № 3 и № 4 (см. табл. 2):

- Организационные факторы: Недостаточная организационно-технологическая подготовка строительства, несоответствие проектной документации, недостаточная квалификация персонала и т. д.
- Технологические факторы: Нарушение технологической последовательности при выполнении взаимосвязанных работ, недостаточный технический контроль за качеством выполняемых работ, неправильный выбор материалов и оборудования и т. д.
- Человеческие факторы: Недостаточная квалификация персонала, несоблюдение технологических процессов, недостаточное внимание к деталям и т. д.
- Природные факторы: Неблагоприятные погодные условия, естественные катаклизмы и т. д.
- Экономические факторы: Недостаточное финансирование, неэффективное использование ресурсов и т. д.

Акцентируем внимание на том, что качество контроля автоматически увеличивается при улучшении качества производимых работ, поэтому следует добавить аспекты, которые требуются для улучшения качества производимых бетонных работ на строительной площадке и непосредственно рассмотреть, что требуется для улучшения качества самого строительного контроля.

Для повышения качества контроля производства работ рассмотрим способы снижения «человеческого фактора», а именно:

- Не допускать на строительную площадку людей без определенного уровня квалификации или образования.
- Оплата труда должна соответствовать знаниям и навыкам сотрудника.
- Не допускать ситуаций сильного переутомления и перенапряжения сотрудников. Организовывать ежегодную диспансеризацию с целью выявления физических и психических отклонений.
- Проводить систематическое обучение сотрудников.
- Своевременно выявлять сотрудников с низким показателем надежности, путем тестирования персонала.

Эти способы кажутся очевидным, но если свести данный фактор до минимума, то качество и строительно-монтажных работ, и работ по проверке качества этих работ по разным источникам может вырасти до 80 % [2].

Так же в ближайшем будущем, при естественном и непрерывном развитии технологий, активно встанет вопрос о применении автоматизированных систем взамен человеческого труда. Однако высокая надежность современного оборудования не гарантирует отсутствие аварийных ситуаций на строительной площадке, причинами которых являются ошибки операторов, управляющих технологическими процессами. [1] На данный момент строительная отрасль только начала свой путь цифровизации и автоматизации. Из утверждений о стратегии Правительства Российской Федерации [3] обороты возведения ЗИС будут только расти, поэтому сфера строительства имеет хороший потенциал для развития в ИТ.

Рассмотрим вопрос о внедрении BIM-технологий. Автоматизация строительного контроля – это процесс использования программных средств для повышения эффективности контроля качества при стро-

ительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Для усовершенствования контроля в строительстве необходимо обратить внимание на тенденции и тренды автоматизации строительного контроля монтажа конструкций, а именно:

- Выполнение технологических карт и ППП в 4d программах. Данная процедура упростит работу как при строительном процессе производства работ, так и при контроле работ.

- Использование электронного документооборота при помощи различных приложений и серверов, специализирующихся на данном вопросе.

- Создание и проведение комплексной инновационной системы контроля качества производства бетонных работ с помощью усовершенствованных методик оценки свойств бетона (например способ доктора Форрстома [4]).

- Использование технологии штрих-кодирования, RFID, QR-кодирования.

- Использование дронов и роботов, помогающих отслеживать ход выполнения строительства.

Безусловно все приведенные решения по улучшению качества проведения контроля не могут быть проведены без должного экономического обоснования, поэтому в вопросе внедрения BIM-технологий необходима поддержка государства в виде финансирования и льгот для компаний, внедряющих новые технологии или ведение на законодательном уровне обязательности проведения тех или иных операций в цифровом и электронном виде.

Суммируя вышесказанное, можно обозначить, что совершенствование контроля строительно-монтажных работ и, в частности, бетонных работ имеет огромный вектор развития, посредством внедрения BIM-технологий, а также снижением «человеческого фактора». На сегодняшний день решения по совершенствованию строительного контроля в большей степени являются предметом забот строительных компаний. Одни компании следуют тенденциям и активно внедряют BIM-технологии, другие придерживаются традиционных способов ведения строительных работ, в данном вопросе все решает политика компании, но в любом случае об истинной необходимости внедрения BIM мы узнаем лишь спустя время.

В настоящее время в мире идет тенденция развития информационных технологий во всех отраслях, и можно судить о том, что в будущем это будет неотъемлемой частью и процесса контроля за строительными процессами.

Литература

1. *Бояринова А. С.* Методы снижения «человеческого фактора» в управлении ТП: имитационный тренажер, оптимизация ЧМИ / А. С. Бояринова ; науч. рук. И. А. Тутов // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2018. – С. 106–107.
2. *Ковальковская, Е. В., Бакико, В. С.* Количественная оценка влияния человеческого фактора на уровень профессионального риска / Е. В. Ковальковская, В. С. Бакико // Пожарная и промышленная безопасность. – :Научно-технический журнал ВЕСТНИК, 2021. – С. 47–54.
3. *Антилов С. М.* О стратегии развития строительной отрасли РФ (часть I) / С. М. Антилов, А. Н. Сорочайкин // Эксперт: теория и практика. – 2019. – № 1(1). – С. 7–15.
4. *Адамцевич А. О. Пашкевич С. А., Пустовгар А. П.* Применение IT-технологий при контроле качества бетонных работ. / А. О. Адамцевич, С. А. Пашкевич, А. П. Пустовгар // . – Вестник МГСУ, 2011. – С. 213–217.
5. Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/>
6. *Chernavin V., Galkina D., Benin D., Vorona-Slivinskaya L.* The effect of the reinforcing agent from construction waste on the mechanical properties of concrete. International Review of Civil Engineering. 2021. Т. 12. № 4. С. 264–270.
7. *Ермолина Л. В., Пронина Н. Н., Мельникова Д. А.* Промышленность строительных материалов в условиях новой экономической реальности// Эксперт: теория и практика, 2023. № 2 (21) – С. 38–44.
8. ГОСТ 13015-2012. Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
9. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
10. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями № 1, 3, 4).
11. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства. СНиП 12-01-2004.
12. Постановление Правительства № 468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства».
13. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 14.07.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.12.2022).

УДК 624.05

Алеся Григорьевна Погода,
студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: pogodalesy@gmail.com

Alesya Grigoryevna Pogoda,
student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: pogodalesy@gmail.com

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

REVIEW OF MODERN METHODS OF CONSTRUCTION QUALITY CONTROL OF WORK PERFORMANCE

В статье изложены предпосылки для модернизации строительных процессов, приведены нормативные документы, регламентирующие ведение исполнительной документации в электронном формате, а также рассмотрены современные способы контроля качества выполнения строительных работ, применяемые российскими застройщиками. Проверен сравнительный анализ цифровых решений для строительного контроля, реализованных на различных платформах, по наиболее значимым функциям. На основе представленного исследования сделано заключение о текущей возможности и предпосылках для перевода процессов контроля качества выполнения работ в электронный формат, используя доступные на данный момент для этого решения.

Ключевые слова: цифровизация, контроль строительства, цифровые технологии, модернизация, строительная отрасль.

The article outlines the prerequisites for the modernization of construction processes, provides regulatory documents regulating the maintenance of executive documentation in electronic format, and also discusses modern methods of quality control of construction work used by Russian developers. A comparative analysis of digital solutions for construction control implemented on various platforms by the most significant functions has been verified. Based on the presented research, a conclusion is made about the current possibility of transferring the quality control processes of work performance into an electronic format, using currently available solutions for this.

Keywords: digitalization, construction control, digital technologies, modernization, construction industry.

Заинтересованность строительных компаний в модернизации рабочих процессов возросла после принятия государственной программы «Цифровизация экономики Российской Федерации» в 2017 году. Введение постановлений, направленных на использование цифровых технологий во всех сферах деятельности, показывает высокую заинтересованность государства в переходе на новую модель экономического развития с использованием передовых технологий [1].

Поскольку задача цифровизации ставится перед все строительной отраслью, реализация данного процесса не может эффективно осуществляться без нормативных документов, регламентирующих требования к ведению исполнительной документации в электронном виде, поэтому разработка нового стандарта была наиболее востребованной задачей.

С 1 января 2023 года в силу вступил ГОСТ Р 70108-2022 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде», позволяющий вести документооборот только в электронном формате. [2] Принятие нового стандарта стимулирует строительные компании делать выбор в пользу электронного документооборота, поскольку теперь ведение вынужденной двойной документации не требуется.

Строительная отрасль обладает большим потенциалом для цифровизации, однако в нашей стране она является наиболее консервативной в отношении инновационных технологий, отставая по уровню цифровизации от банковского сектора, государственного управления и торговли. [3] Несмотря на это, затраты организаций, задействованных в сфере строительства, на создание, распространение и использование цифровых технологий возросли на 57 % с 2020 по 2021 года, что отражает возрастающую заинтересованность строительных компаний во внедрении нового формата ведения дел [4].

При этом длительность жизненного цикла строительного объекта, постоянное взаимодействие большого количества вовлеченных лиц требуют обработки огромных объемов информации, которые постоянно изменяют и корректируют в течение строительного процесса. Данные накапливаются в таком количестве, что часть из

них теряется в процессе, а для поиска определенных документов приходится прикладывать значительные усилия и немало времени, что напрямую сказывается на сроках реализации строительного проекта и качестве выполнения работ.

Это позволяет заключить, что для реализации строительного проекта в поставленные сроки, а также достижения оптимальных показателей качества работ необходимо эффективно осуществлять строительный контроль, включающий отслеживание хода работ, анализ отклонений и их трендов, регулирование параметров проекта, своевременное инициирование изменений [6]. Применение цифровых технологий в осуществление строительного контроля предоставляет большие возможности для оптимизации данного процесса.

В строительстве цифровизация подразумевает под собой создание единой информационной платформы, где смогут взаимодействовать все участники строительного процесса на этапах проектирования и возведения [7]. При этом, следующие общим тенденциям цифровизации крупные российские застройщики начали внедрять программные комплексы, позволяющие автоматизировать многие процессы строительного контроля. Компании ищут простые во внедрении, но в тоже время охватывающие все области строительного процесса решения, или же выбирают путь создания собственной системы, не найдя удовлетворяющий запросам продукт на рынке.

Решения, отвечающие на запрос цифровизации строительного контроля, можно условно разделить на две группы:

1. Универсальные платформы, внутри которых можно реализовать строительный контроль.
2. Специализированные решения, разработанные именно для строительного контроля.

Распределение цифровых решений по двум группам представлено в табл. 1.

Специализированные решения, не имеющие возможность внесения замечаний непосредственно на ТИМ-модели здания, получили большее распространение благодаря более простому внедрению в работу и понятному интерфейсу.

Таблица 1

Классификация приложений для строительного контроля

Группа	Платформа
Универсальные	Lement Pro Sunhro Pro
Специализированные	Стройконтроль ICONA Техзор PlanRadar ЦУС

Однако платформы, реализующие строительный контроль посредством прямой работы с ТИМ-моделью, становятся все более актуальными в связи с перспективой введения поправок, регламентирующих обязательное использования застройщиками информационной модели при проектировании и строительстве объектов госзаказа, в постановление 962 правительства РФ [8].

Для выявления современных тенденций цифровых технологий для контроля качества строительных проектов автором был выполнен обзор различных цифровых платформ, применяемых на практике отечественными компаниями.

1. Lement Pro

Российская разработка, направленная на автоматизацию процессов управления жизненным циклом объекта.

Lement Pro вопрос цифровизации строительного контроля полностью не решает, но является платформой, способной связать различные программные комплексы, задействованные в строительстве, между собой. Платформа имеет обширный функционал системы, гибкую настройку документов по формам, возможность работы с ТИМ моделью.

К минусам можно отнести сложность внедрения софта и отсутствие всех необходимых функций для строительного контроля по сравнению со специализированными решениями.

2. Synhro Pro

Американское приложение, объединяющее в себе календарно-сетевые графики и 3D модель и позволяющее на его базе реализовывать строительный контроль через ТИМ модель сооружения.

Платформа позволяет назначать гибкие статусы элементам модели с цветовым отображением с фиксацией замечаний в текстовой форме с подкреплением фотографий, возможностью выгрузки данных для формирования отчетности. Из минусов можно выделить отсутствие поддержки при внедрении и сложность интерфейса.

Внедрение данной программы для дополнительной аналитики хода строительно-монтажных работ (СМР) реализуется на данный момент на строящемся объекте общественного назначения «СКА Арена» компанией «ГОРКА Инжиниринг».

3.Стройконтроль

Программное решение МРС «СтройКонтроль» разработано российской компанией «Мобильные решения для строительства» и предназначен для комплексной автоматизации строительного контроля при помощи мобильных устройств [8].

Программа позволяет ставить статусы «Выполнено» / «Не выполнено» и привязывать замечания к чертежам, назначать ответственных за исправление, сроки, автоматических рассылает уведомления об изменениях, имеет гибкую настройку для автоматического формирования отчетов. К минусам можно отнести ограниченную работу с ТИМ, отсутствие возможности изменения количество и формулировки статусов.

На данный момент уже внедрена в такие строительные компании как ЦДС, ГК «ТРЕТИЙ ТРЕСТ», Лидер Инвест.

4.Icona

Программный комплекс «ICONA», разработанный компанией Setl Group для оптимизации процессов контроля строительных объектов на всех этапах, победивший в битве IT-решений «Новые решения в девелопменте. От IT-продуктов до стройматериалов в формате пятиминутных презентаций» проекта «Все о стройке».

ICONA формирует общее информационное поле между управляющей командой проекта, персоналом, ответственным за реализацию строительства, генподрядчиком и подрядными организациями, где каждому участнику в зависимости от должности отводится определенная роль и он выполняет ранее запланированные в ПО задачи. Функционал позволяет отмечать замечания на плоских чертежах, записываться на сдачу работ через личный кабинет. Единый график производства работ, автоматическая генерация отчетности, расчета отклонений и пересчет срока сдачи объекта в зависимости задержек этапов работ. Из минусов платформы можно выделить ограниченные возможности работы с ТИМ моделью.

Компания использует программный комплекс при возведении объектов и предлагает внедрение своего продукта с возможностью адаптации любого модуля ICONA для выполнения конкретных задач.

5. PlanRadar

Австрийская разработка-стартап, использующаяся в России девелоперской компанией Wainbridge.

Программа имеет понятные интерфейс мобильного приложения, позволяет отмечать замечания как на 2D чертежах, так и 3D модели, гибко настраивать все фильтры и задачи под потребности компании. Так же стоит отметить легкую интеграцию данных с большим количеством приложений для автоматизации рабочих процессов.

Из минусов можно выделить отсутствие сопровождения при внедрении программы, высокая стоимость по сравнению с аналогами, нет возможности изменять предписания и акты по своим формам.

6. Техзор

Облачное решение для автоматизации строительного контроля, разработанное IT-специалистами из Перми, используется такими компаниями как «1ДСК», ГК «ФСК», ГК «Кортрос», ГК «Галс Девелопмент», ГК «ТИС», Level Group.

Приложение позволяет фиксировать нарушения с фото, видео и аудио описанием, автоматически определять ответственных за исправление подрядчиков, которому отправляет оповещение со сроками работ, гибкой настройкой автоматических предписаний.

Из минусов можно выделить отсутствие возможности работать с ТИМ моделью здания.

7. Адепт

Разработчики предлагают систему различных решений для цифровизации всех этапов строительства, где задачу оптимизации конкретно строительного контроля выполняет мобильное приложение Адепт: Стройконтроль.

Клиентами программ серии Адепт являются уже более 10 000 клиентов.

Мобильное приложение, схоже по функционалу с Техзор, МРС «Стройконтроль», позволяет формировать предписания на базе нормативной документации, фиксировать замечания в фото/видео формате, назначать ответственных за исправление со сроками выполнения, имеет возможность связывать данные с веб-системой Адепт: Исполнительная документация.

Недостатком решения является отсутствие возможности взаимодействия с ТИМ моделью здания при отметке замечаний.

8. ЦУС

«Цифровое управление строительством», сокращенное ЦУС, является российской IT-платформой для автоматизации и перевода в электронный формат процессы взаимодействия заказчика, подрядчика и технадзора.

Решения включает в себя различные модули, отвечающие за узкую специализированную часть общего процесса цифровизации строительных процессов: Мониторинг, Электронный документооборот, ТИМ, Строительный контроль [5].

Сложно выделить только один модуль, решающий вопрос перевода строительного контроля в электронный формат. Модуль Строительный контроль позволяет фиксировать нарушения на чертежах с мобильного устройства, которые генерируются в замечания в общей системе.

Модуль ТИМ позволяет при подписании исполнительной документации автоматически отображаться текущий прогресс строительства на модели.

Из минусов можно отметить малый стаж внедрения программного обеспечения и отсутствие возможности отмечать замечания непосредственно на ТИМ модели здания.

На основе представленного обзора автором был выполнен сравнительный анализ возможностей различных программных комплексов, позволяющих осуществлять цифровизацию строительного контроля. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение приложений для строительного контроля

Анализируемые функции	Название ПО							
	Lement Pro	Synhro Pro	СтройКонтроль	Plan Radar	Техзор	ICONA	Адепт	ЦУС
Серверное приложение	+	+	+	-	-	+	-	+
Мобильное приложение	-	-	+	+	+	+	+	+
2D чертежи	+	-	+	+	+	+	+	+
3D модель	+	+	-	+	-	-	-	-
Оффлайн	+	+	+	+	+	+	+	+
Фото/видео фиксация замечаний	-	+	+	+	+	+	+	+
Сопровождения при внедрении	+	-	+	-	+	+	-	-

Анализ представленных данных позволяет заключить, что имеющие программные комплексы в той или иной степени позволяют решать указанные задачи. Однако многие из них не позволяют реализовать этапы контроля процесса строительства в трехмерном

проектирование и не все адаптированы под требования пользователя в виде серверных и мобильных приложений.

Специализированные решения, не имеющие возможность внесения замечаний непосредственно на 3D-модель здания, получили большее распространение благодаря более простому внедрению в работу и понятному интерфейсу.

Однако платформы, реализующие строительный контроль посредством прямой работы с моделью проекта, становятся все более актуальными в связи с перспективой введения поправок, регламентирующих обязательное использования застройщиками информационной модели при проектировании и строительстве объектов госзаказа, в постановление 962 [8].

Подводя итог, следует отметить, что цифровизацию строительного контроля можно расценивать как неизбежный и необходимый процесс, направленный на упрощение разработки документации и ее хранения, ускорение осуществления приемочного контроля и оперативного взаимодействия участников строительства.

Все больше появляется российских IT решений, способных составить конкуренцию иностранным разработкам.

Однако опыт внедрения различных приложений именно для перевода строительного контроля в электронный формат еще достаточно мал и находится на зарождающейся стадии развития. Анализ выполненный автором позволил выявить основные направления развития для создания программных площадок для цифровизации этапов строительного контроля:

- создание серверных и мобильных приложений;
- интеграция результатов контроля в трехмерные модели строительства;
- внедрение в системы контроля результатов различных фотофиксаций;
- дефлекторов строительных работ.

Дальнейшее развитие исследований автор видит в проведении опросов заинтересованных сторон по реализации этапов строительного контроля, в том числе государственных органов, для выявления направлении развития его цифровизации, а также в сборе

статистических данных эффективности применения инновационных технологий в процессе осуществления контроля качества работ.

Литература

1. Указ Президента РФ № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Собрание законодательства Российской Федерации, № 20. 2017.
2. ГОСТ Р 70108-2022 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде».
3. Борисова Л. А., Абидов М. Х. Проблемы цифровизации строительной отрасли // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. 2019. № 3. С. 53–58.
4. Кратких статистических сборников «Цифровая экономика», С. 14.
5. Ачба Л. В., Ворона-Сливинская Л. Г., Воскресенская Е. В. Цифровая трансформация управления, экономики и социальной сферы: реальность и перспективы Экономика и управление. 2019. № 6 (164). С. 26–31.
6. Бовтеев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов// Материалы I международной научно-практической конференции «Управление проектами: идеи, ценности, решения» 15–17 мая 2019 г. С. 190.
7. Сулейманова Л. А., Сапожников П. В., Кривчиков А. Н. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова 2022, № 4 С. 13.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.05.2022 № 962 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431.
9. Соколов Н. С., Михайлова С. В. Организация технического надзора с помощью *Вim*-технологий при строительстве нефтеперерабатывающего завода // С. 48.
10. Гайдо А. Н. Выбор технологических параметров устройства свайных фундаментов на основании анализа данных информационно поисковых систем // Сборник статей. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы V Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 276 с.С.51–57. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.006.
11. Гайдо А. Н. и др. Дистанционная система контроля технологических параметров вдавливания свай//Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 11, № 3. – С. 18–28. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.02.

Содержание

СЕКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

<i>Латфуллин А. А.</i> Влияние скоростного режима на безопасность дорожного движения	3
<i>Пекин Н. А.</i> Отечественный и зарубежный опыт ремонта асфальтобетонных покрытий.	8

СЕКЦИЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

<i>Борецкий Д. С.</i> Способы создания ВМ-моделей существующих объектов	14
<i>Золотых З. А.</i> Сравнительный анализ характеристик самозалечивающегося бетона	19
<i>Куляшов И. Д.</i> Аддитивные технологии в строительстве	24
<i>Седых С. А.</i> Фибробетон: новые возможности и перспективы применения в строительстве	32

СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИКИ

<i>Вагурина А. В.</i> Исследование характеристик нефтезагрязненных песков	42
<i>Калач Ф. Н., Марихин Т. Э.</i> Лабораторные исследования проникающей способности тонкодисперсных вяжущих на основе портландцемента в водонасыщенных песках.	58

<i>Колукаев И. С.</i> Решение задачи об устойчивости склона численным методом . . .	65
<i>Марихин Т. Э.</i> Особенности современных методов нагнетания инъекционных суспензий при стабилизации массива грунта . . .	80
<i>Никитина П. С., Салимгареева Л. Р.</i> Стадийность расчетов в ПК Frost 3D	90
<i>Свербаев А. Н.</i> Оценка влияния выбора модели на результат недренированного расчета	101
<i>Эргашев Ш. А.</i> Определение избыточного порового давления грунта при устройстве свай вытеснения с помощью численного моделирования в трехмерной постановке задачи	110

**СЕКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

<i>Нигаматуллина А. Р.</i> Численная реализация нелинейных моделей железобетона в ПК ABAQUS.	121
--	-----

СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

<i>Бакусов П. А.</i> Применение когерентного анализа для оценки качества работ по инъектированию повреждений.	130
<i>Барков М. А.</i> Различия отечественного ТИМ и зарубежного ВІМ подходов к информационному моделированию	137
<i>Заторский С. П.</i> Автоматизация процессов проектирования в рабочей среде с помощью Dynamo Revit.	148

Мазняк Е. В.

Актуальные вопросы разработки информационной системы для управления процессами благоустройства открытых городских пространств в рамках концепции комплексного развития территорий 156

Семенов А. А.

Устойчивость цилиндрических панелей ступенчато-переменной толщины 164

Сидоренко Н. А.

Анализ и управление рисками в строительстве при помощи нейронных сетей 171

СЕКЦИЯ МАТЕМАТИКИ

Латыпов Д. Ф.

Извлечение квадратного корня из матрицы Π порядка 179

Торуш Э. Б.

Математические задачи оптимизации производства строительных материалов 192

СЕКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Черных А. Г., Казакевич Т. Н., Миронова С. И., Кирютин С. Е.

Разработка метода ускоренных испытаний клеевых систем . . . 201

Черных А. Г., Казакевич Т. Н., Шмидт А. Б.,

Данилов Е. В., Коваль П. С.

Сопоставление требований к материалам и изделиям из древесины, установленных в отечественных и зарубежных стандартах. 209

Черных А. Г., Коваль П. С., Данилов Е. В., Корольков Д. И.

Исследование долговечности бруса клееного многослойного из шпона и обоснование сроков службы для строительных LVL-конструкций 218

СЕКЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Аджбакаь А. Х.
Особенности планирования реконструкции
действующих предприятий 229

Бовтеев С. В.
Методика 4D-моделирования строительства
монолитных и сборно-монолитных зданий 236

Белякова В. В.
Организация строительства линейных объектов
на территории Ямало-Ненецкого автономного округа 244

Гертней А. В.
Поточная организация работ по устройству фасадов
жилых домов 254

Головачева Я. А.
Современная система оценки качества работы
государственного учреждения 262

Драбовский К. Ф., Бахтинова Ч. О.
Применение концепции «бережливого производства»
в работе отдела по эксплуатации, ремонту зданий
и сооружений на промышленном предприятии 271

Зангиев А. В.
Демонтаж зданий в условиях плотной
городской застройки 279

Занина Е. С.
Особенности организации реконструкции
жилых типовых зданий
в районах плотной застройки 287

Козлова К. А.
Влияние BIM-моделирования на процесс
строительного контроля 294

<i>Марков Ф. Ф., Нефедова В. К.</i> Комплексное развитие территорий: принципы эффективной реализации проектов	305
<i>Парфенова К. Г.</i> Анализ системы планирования и контроля рисков строительства производственных зданий	314
<i>Петелин М. Е.</i> Определение требований к 3D-модели и календарно-сетевому графику для оптимизации работы с 4D-моделью	319
<i>Погребной А. А.</i> Выявление необходимых функциональных возможностей систем 4D-моделирования строительного производства	327
<i>Поляков Е. А., Нефедова В. К.</i> Отечественный и зарубежный опыт капитального ремонта. . .	335
<i>Самарина А. М.</i> Анализ несущей способности сваи, изготовленной с использованием разрядно-импульсной технологии	342
<i>Фурсов Д. А., Бахтинова Ч. О.</i> Перспективы развития малоэтажного домостроения из CLT-панелей в России	349
<i>Челнокова В. М., Захарова Т. А.</i> Анализ влияния аутсорсинга на логистику строительного производства	358
<i>Гляков М. Ю., Курашев Н. В.</i> Применение технологий по переработке и вторичному использованию строительного мусора в России.	366
<i>Добрышкин Е. О., Курашев Н. В.</i> Анализ состояния жилищного фонда Санкт-Петербурга	377

СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТРОЛОГИИ

- Паражинская И. С., Матвеева Л. Ю.*
Влияние модификаторов на свойства битумов и мастик 398
- Строгонов Ю. А., Мокрова М. В., Матвеева Л. Ю.*
Структура и акустические свойства ячеистого газогипса. 411
- Ступак М. В.*
Формирование saniрующих свойств растворов
на основании применения смеси пористых заполнителей 421
- Шепелин К. М., Малащенко Е. В., Черевко С. А.*
Развитие инструментальных методов мониторинга
влажности строительных конструкций. 432

СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Бурло Г. В.*
Анализ технологий устройства фундаментов
в малоэтажном строительстве 440
- Леонтьева В. А.*
Технология «Умный дом», принципы работы
и ее преимущества 445
- Никитина М. Р.*
Совершенствование контроля качества
при проведении бетонных работ в строительстве 454
- Погода А. Г.*
Обзор современных способов строительного контроля
качества выполнения работ 461

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Сборник статей участников
Национальной (Всероссийской)
научно-технической конференции

Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 15.12.2023. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 27,8. Тираж 300 экз. Заказ 179. «С» 114.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ