



**ПОЛИТЕХ**  
Инженерно-строительный  
институт



**ПОЛИТЕХ**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов  
Всероссийской конференции  
4–10 апреля 2022 года

Часть 2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

Инженерно-строительный институт

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов  
Всероссийской конференции

4–10 апреля 2022 года

Часть 2



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург

2022

УДК 69:624:625:626:627

ББК 38

Н42

**Неделя науки ИСИ** : сборник материалов Всероссийской конференции, 4–10 апреля 2022 г. В 3 ч. Ч. 2. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 482 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Инженерно-строительного института СПбПУ, университетов, научных организаций и предприятий Санкт-Петербурга, России, зарубежных стран по материалам докладов, принятых на секционные заседания конференции «Неделя науки ИСИ» Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Инженерно-строительного института. Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области строительства.

Представляет интерес для специалистов в различных областях знаний, для учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Редакционная коллегия  
Инженерно-строительного института СПбПУ:

*Г. Л. Козинец* (директор института),  
*С. В. Алексеев, Н. Д. Беляев* (отв. ред.), *В. В. Елистратов* (отв. ред.),  
*Ю. Г. Лазарев, М. В. Петроченко, И. С. Птухина, В. А. Рыбаков*

Печатается по решению  
Совета по издательской деятельности Ученого совета  
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-7698-2 (ч. 2)  
ISBN 978-5-7422-7696-8

© Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, 2022

# ВЫСШАЯ ШКОЛА ПРОМЫШЛЕННО-ГРАЖДАНСКОГО И ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

## СЕКЦИЯ «ДОРОГИ АВТОМОБИЛЬНЫЕ, МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ»

УДК 691.618.92

Е.А. Пахомов, В.К. Демидова, Г.А. Аверченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ РАСЧЕТА АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК АРМАТУРОЙ, РАБОТАЮЩИХ В СРЕДЕ С ПОВЫШЕННЫМИ ВЛАЖНОСТЬЮ И ТЕМПЕРАТУРОЙ

*Аннотация:* Длительное воздействие нагрузки, температуры и влажности среды, как показывают исследования, могут привести к значительным изменениям напряженно-деформированного состояния армированных балок во времени.

В данной работе приводится методика инженерного расчета деревянных армированных балок на основе формул сопротивления материалов по приведенным характеристикам, но с учетом ползучести древесины и других особенностей, обусловленных длительностью воздействия нагрузки, температуры и влажности среды [1–4]. Количественную оценку влияния указанных факторов предлагается проводить введением в расчетные формулы коэффициентов условий работы  $m_R$ ,  $m_E$ ,  $m_t$ , установленных в результате экспериментально-теоретических исследований, проведенных авторами статьи [5–8].

В статье представлены необходимые формулы для расчета деревянных балок на действие изгибающих моментов, расчет по деформациям и нахождения прочности, при условии, что балки с симметричной арматурой работают в условиях повышенной влажности и температуры (таблица 1).

Таблица 1 – Основные характеристики параметров, применяемых для инженерных расчетов

Коэффициенты условий работы	Температурно-влажностный режим								
	a1	a2	a3	б1	б2	б3	в1	в2	в3
$m_R$	1,50	1,35	1,30	1,45	1,35	1,25	1,05	1,00	0,85
$m_E$	1,20	1,15	1,05	1,15	1,10	1,05	0,90	0,80	0,70
$m_t$	1,10	1,15	1,20	1,15	1,20	1,25	1,40	1,45	1,50

В обозначении режимов буквы соответствуют различной относительной влажности воздуха: а-60, б-80, в-100% а цифры – различной температуре: 1-20, 2-35, 3-50°C.

1. Расчет по прочности на действие изгибающего момента  $M$ , температуры и влажности среды предлагается производить по формулам:

а) при расчете волокон деревянной части сечения:

$$\frac{MY}{J_{np}m_2} + \sigma_6^{TW} \leq R_u;$$

б) при расчете арматуры:

$$\frac{n_a MY m_2}{J_{np} m_R} + \sigma_a^{TW} \leq R \frac{n_a MY m_2}{J_{np} m_R a}, \quad (1)$$

где  $Y$  – расстояние от рассматриваемого волокна до нейтрального слоя;  $n_a = E_a/E_6$ ;  $J_{np} = J_6(1 + 3n_a\mu\gamma^2)$  – приведенный к древесине момент инерции;  $\mu = \frac{F_a}{F_6}$  – коэффициент армирования сечения;  $\gamma = e/h$  – отношение расстояния по вертикали между центрам масс

арматуры к высоте балки;  $R_u, R_a$  – соответственно расчетное сопротивление изгибу бруса и арматуры;  $\sigma_6^{TW}, \sigma_a^{TW}$  – температурно-влажностные напряжения в бруссе и арматуре, определяемые по формулам (4) и (5);  $m_R, m_t$  – коэффициенты, принимаемые по таблице. При расчете клееных армированных балок  $J_{пр}$  следует умножить на коэффициенты  $m_6$  согласно указаниям главы СП 64.13330.2017.

2. Для обеспечения необходимой прочности на скалывание должны соблюдаться следующие условия:

Для скалывающих, напряжений деревянной части сечения в уровне нейтральной оси:

$$\frac{QS_{пр}}{J_{пр}b_{расч}} \leq R_{ск}, \quad (2)$$

Для скалывающих напряжений по клеевому соединению арматуры с древесиной в опорном сечении:

$$\frac{QS_a n_a}{J_{пр} b_a} m_t + \sigma_a^{TW} \leq R_{кл}, \quad (3)$$

где  $b_{расч} = b$  (ширина) – в балке цельного сечения;  $b_{расч} = 0,6b$  – в клееной балке из досок;  $b_a$  – периметр сечения паза одного арматурного стержня;  $S_a$  – статический момент арматуры относительно нейтральной оси;  $R_{ск}, R_{кл}$  – соответственно расчетное сопротивление скалыванию древесины (вдоль волокон) и клея,  $\sigma_a^{TW}$  напряжение, определяемое по формуле (6).

Знак перед  $\sigma_a^{TW}, \sigma_6^{TW}$  в каждом конкретном случае устанавливается из отношения абсолютных величин температурных и влажностных напряжений в компонентах армированного бруса. При этом надо иметь в виду, что понижение температуры, а также увеличение влажности вызывают в арматуре, растягивающие (плюс), а в прилегающей к ней деревянной части сечения бруса – сжимающие напряжения (минус). При этом напряжения  $\sigma_a^{TW}$  имеют знак, противоположный знаку касательных напряжений от действия внешней нагрузки.

Повышение температуры, так же как уменьшение влажности, вызывает в арматуре сжимающие, а в бруссе растягивающие напряжения. Касательные напряжения будут однозначны скалывающим напряжениям вызываемым изгибом бруса от действия нагрузки.

Для определения напряжений, вызываемых температурно-влажностными воздействиями, предлагаются следующие упрощенные формулы:

Для нормальных напряжений в древесине:

$$\sigma_6^{TW} = \pm 2G_c (\Delta T \Delta \lambda + \Delta W \lambda_w) / \beta^2 F_6. \quad (4)$$

Для напряжений в арматуре:

$$\sigma_a^{TW} = \pm 2G_c (\Delta T \Delta \lambda + \Delta W \lambda_w) / \beta^2 F_a. \quad (5)$$

Для скалывающих напряжений по контакту клееного соединения концов арматурных стержней с древесиной:

$$\sigma_a^{TW} = \pm 2G_c (\Delta T \Delta \lambda + \Delta W \lambda_w) / \beta b_a;$$

$$\beta = \sqrt{G_c \psi / E_a F_a}; \quad \psi = 1 + 2n_a F_a / F_6; \quad \Delta T = T - T_0; \quad \Delta W = W - W_0; \quad \Delta \lambda = \lambda_a - \lambda_d. \quad (6)$$

Во всех выражениях принято:  $G_c$  – модуль деформации соединения, равный 450 МПа;  $T$  и  $T_0$  – температура окружающей среды соответственно для данного и нормального условий эксплуатации;  $W$  и  $W_0$  – равновесная (устойчивая) влажность древесины соответственно для данного и нормального условий эксплуатации;  $\lambda_a, \lambda_d$  – коэффициенты линейной температурной деформации соответственно арматуры и древесины;  $d_w$  – коэффициент усушки (набухания) древесины.

3. Расчет по деформациям. В общем виде проверку допустимости прогибов можно выполнять по формуле:

$$f = f_{om} / m_E \leq [f], \quad (7)$$

где  $f_0$  – прогиб, определяемый по правилам строительной механики применительно к нормальным температурно-влажностным условиям эксплуатации;  $m_E$  – коэффициент, принимаемый по таблице.

Предложенная методика позволяет проводить инженерный расчет деревянных армированных балок с учетом ползучести древесины и других особенностей, обусловленных длительностью воздействия нагрузки, температуры и влажности среды

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Алтухов, Ф.В. Алгоритм расчета составных деревянных балок коробчатого поперечного сечения с учетом длительного модуля деформации / Ф.В. Алтухов, Д.Х. Галаева // Теория и практика современной науки. – 2019. – № 3(45). – С. 23–29.
2. Дикевич, К.В. Расчет комбинированных деревянных балок в соответствии со стандартом стран Евросоюза / К.В. Дикевич, П.А. Андреев // Наука и научный потенциал – основа устойчивого инновационного развития общества: сборник статей по итогам Международной НПК, Новосибирск, 02 октября 2019 года. – Новосибирск: ООО "Агентство международных исследований", 2019. – С. 65–68.
3. Расчет составных деревянных балок / Н. П. Романов, М. А. Запоев, М. Ю. Барановский, С. Ф. Дьяков // Синергия Наук. – 2016. – № 6. – С. 377–393.
4. Кулинич, А.В., Ануфрович В.В., Кутузов Е.Н. Влияние влажности на трещиностойкость древесины Кулинич А.В., Влияние влажности на трещиностойкость древесины // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций: сборник научных трудов 2-й Международной НПК: в 2 томах, Курск, 01.10.2019 г. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 234–238.
5. Аверченко Г.А., Баланин А.П., Борисов В.А., Васильев К.А., Гуга Н.А. Использование жесткой нити в качестве несущего элемента покрытий больших пролетов. Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Изд-во Политехн. ин-та, 2021. С. 227–229.
6. Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Трифонова А.А., Аверченко Г.А. Сравнение характеристик композитных материалов, применяемых в опорах мостовых сооружений. Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Изд-во Политехн. ин-та, 2021. С. 237–239.
7. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний. В сборнике: Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской НПК. 2021. С. 29–31.
8. Жагат А.С., Якупова К.Р., Осипкин А.С. Строительство мостов Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2021. № 4 (4). С. 15–23. <http://eng-res.ru/archive/2021/4/15-23.pdf>
9. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Гуга Н.А., Рудакова Е.А., Шашко А.И., Васильев К.А. Феноменологический метод прогнозирования оценки механических свойств полимерных композиционных материалов. В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной НПК. 2020. С. 158–160.

УДК 691.618.92

В.С. Гулаков, Р.С. Шушляков, Г.А. Аверченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВРЕМЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*Аннотация:* при создании какой-либо конструкции важную роль играет материалоемкость, для ее снижения прибегают к использованию материалов с небольшим объемным весом, например, древесины. Чтобы применять ее более широко, были придуманы конструкции для увеличения ее прочностных характеристик. Данная методика играет немаловажную роль в транспортном строительстве, а именно при получении показателей несущей способности и стойкости материалов.

В данной статье приведены результаты исследования стеклопластиковой арматуры на бесщелочном алюмоборосиликатном волокне и эпоксифенольном связующем. В статье приведены виды данной арматуры, ее плотность, водопоглощение, временное сопротивление разрыву, модуль упругости, электрическая прочность, коэффициенты остаточной прочности на растяжение такой арматуры.

В результате исследований было выявлено, что данная стеклопластиковая арматура обладает высокими прочностными и электротехническими характеристиками, а также является экономически выгодной.

Важнейшим вопросом в строительстве является снижение материалоемкости строительных конструкций, применяемые в транспортном строительстве. Одним из путей решения этой проблемы является использование материалов с небольшим объемным весом, например, деревянных и полимерных композитных материалов [1–4]. Стремление наиболее полно использовать положительные свойства структурированных и слоистых материалов, привело к созданию комплексных конструкций, позволяющих повысить несущую способность и жесткость несущих элементов путем их усиления другими материалами, такими как сталь, пиломатериалы, алюминий, листовые полимерные материалы, полимерные композиционные материалы, использование стеклопластиковой арматуры [4–6].

Для установления характера снижения прочностных показателей композитных образцов (применение различных по своим свойствам материалов в одной конструкции) в Санкт-Петербургском политехническом университете имени (СПбПУ) были проведены их испытания преимущественно на воздействие влаги и несущей способности.

В транспортном строительстве при возведении временных сооружений (мостов, труб, защитных сооружений и других) наиболее важным показателем является именно показатели несущей способности и стойкость к воздействию влаги (в том числе и циклическое) при различных температурах. Поэтому при исследованиях и испытаниях остальными показателями авторы пренебрегли [6].

По результатам испытаний установлены следующие особенности: соединение древесины и текстолита, выполненное на эпоксидной мастике, относится к группе повышенной водостойкости, не расслаивается при воздействии переменных температуры и влажности, сохраняет достаточно высокие прочностные свойства при воздействии атмосферы.

В настоящее время СПА используется для армирования деревянных, стеклопластбетонных и электроизоляционных конструкций взамен металлической арматуры. При создании СПА со стабильными характеристиками важное значение имел не только целенаправленный подбор исходных компонентов композиционного материала (стекловолокна и полимерных связующих), но и технологии изготовления.

По результатам испытаний высокопрочной коррозионностойкой стеклопластиковой арматуры (СПА), представляющая собой анизотропный стеклопластиковый стержень, пропитанный полимерным связующим, были получены данные которые описаны ниже [7–10].

В результате проведенных в СПбПУ работ получена стеклопластиковая арматура на бесщелочном алюмоборосиликатном волокне и эпоксифенольном связующем, стойкая к воздействию воды, щелочных, солевых сред, а также к атмосферным воздействиям. Коэффициент остаточной прочности на растяжение такой арматуры составляет 0,90. Для получения СПА с повышенными электротехническими свойствами было использовано алюмоборосиликатное волокно и эпоксиполиэфирное связующее. Электрическая прочность такой арматуры достигла 35 кВ/см. Применение различных связующих позволило получить арматуру нескольких видов: ленточную, гладкую и периодического профиля диаметром от 2,5 до 12 мм. Стеклопластиковая арматура имеет следующие характеристики: плотность 2,06 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение 0,11%, временное сопротивление разрыву 1550 МПа, модуль упругости 52000 МПа (таблицу 1).

Таблица 1 – Показатели, полученные при испытаниях стеклопластиковой арматуры

№ образца	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Коэффициент остаточной прочности на растяжение	Электрическая прочность, кв/см	Сопротивление разрыву, МПа	Модуль упругости, МПа
1	2,04	0,12	0,96	35	1450	51000
2	2,08	0,09	0,90	37	1500	53000
3	2,06	0,11	0,90	36	1550	52000
4	2,06	0,10	0,87	35	1650	52500
5	2,07	0,11	0,89	33	1550	51500
6	2,05	0,11	0,86	34	1600	52000
7	2,06	0,13	0,90	35	1550	52000
Ср. знач.	2,06	0,11	0,90	35	1550	52000

Экономический эффект от внедрения указанной разработки составляет более 3 млн руб.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Пешков А.В. Снижение материалоемкости строительного производства: инновационные решения и адекватные решения урегулирования. Вестник ИрГТУ. Иркутск, 2012. С. 1
2. Лисов С.В., Дмитриев П.П., Калинин С.В. Анализ способов соединения стального профилированного листа с деревянным каркасом. Изд-во ОрГУ. Оренбург, 2003. С. 5–6.
3. Аверченко Г.А., Баланин А.П., Новоселов А.В., Даляев Н.Ю. Пути повышения качества содержания, ремонта, реконструкции и строительства мостовых сооружений. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № S3 (15). С. 36–48.
4. Полякова Н.А. Современный способ усиления деревянных балок в объектах культурного наследия. Журнал Молодой ученый №23. Москва, 2019. С. 63–65.
5. Максимов С.П., Башкова Ю.Б., Вшишков Е.П. Экспериментальные исследования работы стеклопластиковой арматуры при армировании бетонных конструкций. Universum: Технические науки: Электронный научный журнал. Златоуст, 2015. С. 3.
6. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний. В сборнике: Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской НПК. 2021. С. 29–31.
7. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении. В сборнике: Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229–231.
8. Алексеев С.В., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Выявление наиболее надежных конструкций деформационных швов. Путевой навигатор. 2021. № 46 (72). С. 36–43.
9. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
10. Лазарев Ю.Г., Белихин С.В., Исмаилов А.М., Лабусов Н.В. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков. В сборнике: Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник научных трудов участников межвузовской научно-практической конференции. Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва. 2019. С. 87–91.



## ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВРЕМЕННЫЕ МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ЛЕДЯНЫЕ ПЕРЕПРАВЫ

*Аннотация.* В статье рассматривается глобальное потепление климата, его влияние на вечномёрзлые грунты и негативное воздействие на фундаменты опор временных мостов, приводятся рекомендации по противодействию данным процессам при строительстве и эксплуатации транспортных сооружений.

*Введение.* Глобальное потепление климата (ГПК) оказывает как положительное, так и негативное воздействие на все стороны деятельности человека. В Арктике, например, уменьшаются размеры зон Северного Ледовитого океана, постоянно покрытых льдами. ГПК в определенной степени способствует расширению областей экономической деятельности в «холодных» регионах России, включая Арктическую зону.

Обусловлено это, во-первых, тем, что экономика Арктической зоны обеспечивает солидную часть национального дохода. И этот показатель ежегодно растет. Во-вторых, это безопасность, которая в современной сложной международной обстановке требует расширения военного присутствия России в Арктической зоне в деятельности различных видов и родов Вооруженных Сил Российской Федерации, охране государственной границы, протяженность которой по побережью и островам Северного Ледовитого океана составляет более 20 тыс. км.

Многолетний опыт освоения и развития новых территорий подтверждает целесообразность на первом этапе строительства временных автодорог и устройства на них временных мостов и других транспортных сооружений. На широких и глубоких реках, а также на крупных озерах и водохранилищах следует в теплые периоды наводить наплавные мосты и оборудовать паромные переправы, а зимой устраивать ледяные переправы. Однако, при этом необходимо в обязательном порядке учитывать те негативные воздействия, которые ГПК оказывает на вечномёрзлые грунты и на режимы рек [1–5].

Известно, что вечномёрзлые грунты, используемые в качестве оснований мостовых опор по принципу I (сохранение их в мерзлом состоянии в течение всего времени эксплуатации) [1, 5, 6], под воздействием тепла могут значительно уменьшить несущую способность. Следствием этого могут стать снижение грузоподъемности опор, появление просадок и кренов, потери их устойчивости и прочности. В результате указанных и других деформаций опор мосты могут прийти в аварийное состояние, получить повреждения и даже быть разрушенными.

Следует отметить, что кафедра восстановления военных мостов и переправ академии уже более 15 лет занимается исследованием вопросов обеспечения надежности и устойчивости опор временных мостов на вечномёрзлых грунтах, в том числе и в Арктической зоне. При этом основное внимание уделяется использованию природных факторов – затенению поверхности грунта вокруг фундаментов устройством тенеобразующих навесов (рис. 1) [7–9], охлаждению зимой наружным холодным воздухом скважин до погружения в них буроопускных, бурозабивных или буровинтовых свай.

Сотрудники кафедры разработали несколько конструкций трубчатых термосвай, которые после погружения заполняются антифризом (например, авиакеросином).

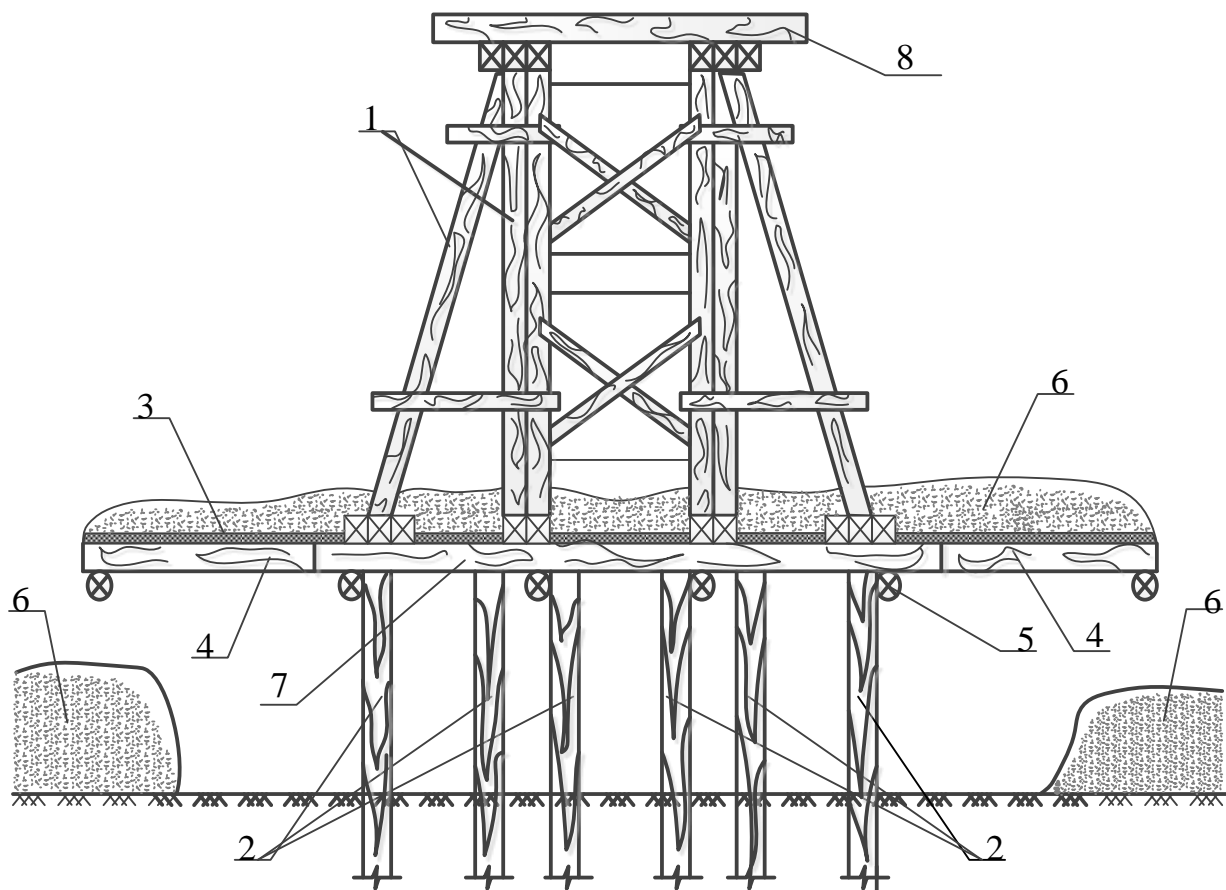


Рис. 1. Рамно-свайная опора с дернообразующим навесом:

1 – надстройка опоры из рам; 2 – сваи (забивные, бурозабивные, буроопускные); 3 – сплошной настил тенеобразующего навеса (из досок или горбыля); 4 – удлинители свайных насадок; 5 – поддерживающие бревна или брусья каркаса тенеобразующего навеса; 6 – снежный покров на поверхности грунта и тенеобразующем навесе; 7 – свайная насадка; 8 – блок опорных брусьев

Такие сваи работают на восприятие нагрузок и одновременно в качестве саморегулируемых охлаждающих устройств [5–8]. За счет этого возрастает несущая способность вечномерзлого грунта, повышается надежность и устойчивость опор, и моста в целом. Новизна разработанных кафедрой конструкций подтверждена более 15 патентами, а также наградами на международных салонах «Архимед».

Целесообразно устраивать фундаменты в основном из термосвай и термостоек [5–7, 8]. Необходимо полностью отказаться от фундаментов мелкого заложения (ФМЗ). Устои временных (и краткосрочных) мостов на суходолах и периодических водотоках следует, как правило, устраивать диванного типа на подушках из каменных материалов с обязательным сохранением под ними растительного покрова.

Известно, что территория России богата реками (более 2 млн) и озерами (более 200 тыс.). Большая часть рек и озер замерзают на срок до 6–8 месяцев. Ледяные переправы (ЛП) с автозимниками играли в прошлом и играют в настоящее время важную роль в функционировании дорожной инфраструктуре страны, особенно в северных регионах, включая Арктическую зону, и на Дальнем Востоке. Здесь они в зимние периоды нередко становятся единственными транспортными связями между населенными пунктами и с «большой землей». В Якутии, например, только регулярных переправ насчитывается около 50, из которых 7 имеют федеральное значение. В Красноярском крае таких переправ более 80.

Негативное воздействие ГКП на ЛП в последние годы выражается в том, что уменьшаются толщины льда. В результате этого снижается грузоподъемность переправ. Сокращается продолжительность их эксплуатации. Поэтому дорожники вынуждены теперь устраивать автозимники по берегам или усиливать лед намораживанием, а также устройством на льду верхнего строения. На кафедре восстановления военных мостов и переправ академии разработаны и запатентованы конструкции двух плотоледяных автодорожных переправ [5, 6, 9, 10], в которых для их усиления применяются плоты из бревен при их вымораживании в лед. Для повышения грузоподъемности переправ в одной из них используются блоки из полистирола, а в другой – надувные резервуары. Такая конструкция переправ позволяет использовать их и в теплые периоды года, но уже в качестве плотовых мостов-лент. На время ледохода от льдин плотовая часть защищена льдоотбойной стенкой из свай или шпунта, которая устраивается выше по течению под углом к берегу, и длина которой должна на 1–2 м превышать ширину плотовой части. Срок ее службы должен быть не менее срока службы самой переправы.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на кафедре восстановления военных мостов и переправ академии разработаны рекомендации по проектированию и устройству временных мостов на вечномерзлых грунтах и ледяных переправ. По мнению авторов, их с успехом можно применять на временных дорогах в течении всего периода глобального потепления климата на территории России.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Озорнин А.А., Вуколов С.А. Конструктивно-технические и технологические решения применения винтовых свай мелкого заложения в анкерных приспособлениях. Сборник научных статей по материалам межведомственной научной конференции – СПб.: ВА МТО, 2017.
2. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
3. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных операциях. Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2016. № 5. С. 46–50.
4. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
5. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении. В сборнике: Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. Сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229–231.
6. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
7. Ермошин Н. А., Лазарев Ю. Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3. С. 35–44
8. Рекомендации по проектированию опор военных мостов на вечномерзлых грунтах. Учебно-методическое пособие. – СПб.: ВАТТ, 2010.
9. Патент на полезную модель № 52604 от 2006 г. Мостовая опора с тенеобразующим навесом для вечномерзлых грунтов.
10. Патент на полезную модель № 140842 от 2014 г. Всесезонная автодорожная плотоволедяная переправа повышенной грузоподъемности.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

*Цель исследования* – определение наиболее подходящей технологии для обогрева дорог в Ленинградской области.

Образование зимней скользкости – один из сезонных факторов, наиболее неблагоприятно влияющих на дорожную обстановку. При образовании скользкости коэффициент сцепления с дорогой уменьшается до 0,08–0,15 от нормативных 1,3–1,4 [1], и, как правило, растёт число дорожно-транспортных происшествий, увеличивается аварийность, что приводит к потерям для экономики до 3% ВВП [2–4] и, следовательно, борьба с зимней скользкостью – одна из важных проблем дорожного хозяйства.

Дорожному покрытию необходимо иметь определённые сцепные качества, чтобы в должной мере обеспечить безопасность транспортных средств при движении, при условии, что они двигаются с разрешенной правилами дорожного движения скоростью и соответствуют по своему эксплуатационному состоянию установленным требованиям. Международные и региональные стандарты устанавливают сроки выполнения работ, по улучшению сцепных характеристик дорожного покрытия, а при их отсутствии данные характеристики устанавливаются национальными стандартами государств, являющихся членами Таможенного Союза. Данные национальные стандарты при применении на добровольной основе обеспечивают соблюдение требований технического регламента Таможенного Союза. В государствах – членах Таможенного Союза, а также за рубежом повсеместно приняты одинаковые способы борьбы с зимней скользкостью: фрикционный; тепловой; химический; физико-химический; комбинированный.

Комбинированный, химические и фрикционный способы направлены на повышение фрикционных свойств покрытия или плавление снежно-ледяных отложений химическими реагентами. Данные способы не являются экологически безопасными. Вследствие внесения противогололедных реагентов происходит подщелачивание, развитие засоления и солонцеватости почв. Это является причиной роста их химической агрессивности, влияющей на трансформацию городских и пригородных экосистем [4–6]. Поэтому выберем тепловой способ.

В ходе работы применялись методы экспертного опроса и сравнительного анализа.

Задачи, решаемые в ходе работы над статьей:

- анализ различных технологических решений по обеспечению дорог альтернативными источниками тепла;
- опрос экспертов по выбору оптимальной технологии.

Как в зарубежной, так и в отечественной практике существует целый ряд технологий, как применяемых на практике, так и только теоретических, предназначенных для обогрева дорог, с получением энергии тепла из альтернативных источников. Среди них: технология SolarRoadways; геотермальные источники; трубы с теплой водой; трубы с незамерзающей жидкостью; нагревательный кабель; композитные материалы.

Используя мировой и отечественный опыт, составлен опросный лист, в котором эксперты должны выбрать три наиболее важных критерия для технологии обогрева дорог.

Для полного описания и для выявления оптимальной технологии необходимо предоставить эксперту три группы критериев для выбора.

Первая группа: экономические критерии. Они необходимы для оценки стоимости разработки и реализации определённой технологии, а также стоимости установки и

содержания оборудования, применяемого в данной технологической цепочке. Её экономическую эффективность, прибыльность или убыточность. Критерии, представленные в данной группе:

1. Стоимость монтажа конструкции на 1 м<sup>2</sup> дорожного полотна;
2. Стоимость эксплуатации на 1 м<sup>2</sup> дорожного полотна;
3. Возможность производства компонентов и оборудования в России;
4. Величина вероятного ущерба от аварии;
5. Срок эксплуатации.

Вторая группа: технологические критерии. Для оценки любой технологии нужно определить трудоемкость изготовления, техническую возможность изготовления, использования материалов и расчленение технологического критерия на элементы. Критерии, представленные в данной группе:

6. Расход энергии на эксплуатацию;
7. Трудоемкость монтажа конструкций;
8. Время монтажа конструкций;
9. Время подготовки проектной документации;
10. Технологичность;
11. Простота конструкции;
12. Длительность работы в сутки;
13. Габариты оборудования;
14. Манёвренность;
15. Возможность ремонта оборудования по обогреву без затрагивания дорожного покрытия, и наоборот;
16. Возможность применения на трассах I и II-й категорий.

Критерии, входящие в третью группу, определяют безопасность технологии для жизнедеятельности человека, её экологичность и влияние на ту среду, в которой она применяется. Для дорожной отрасли представлены следующие критерии:

17. Снижение аварийности (в процентах);
18. Влияние на узлы и агрегаты автомобилей;
19. Температура разогрева дорожного полотна;
20. Влияние на окружающую среду;
21. Влияние на дорожную разметку;
22. Вероятность аварии.

В данном опросе приняли участие 51 эксперт, которые являются директорами, инженерами компаний и научными сотрудниками, связанные с альтернативными источниками энергии. У большинства респондентов высшее образование и имеется стаж научно-педагогической (профессиональной) деятельности. Некоторые из них имеют учёные степени и учёные звания. По результатам опроса были получены следующие данные, представленные на рисунке 1.

Согласно опросу экспертов, наиболее важные критерии: 1, 11, 13. Наиболее оптимально под эти критерии подходит технология с использованием нагревательных кабелей. Она, в отличие от остальных, представленных выше, уже опробована, как на небольших асфальтовых площадках, парковках, так и на крупных объектах, таких как взлётно-посадочные полосы на аэродромах и доказала свою надёжность [7].

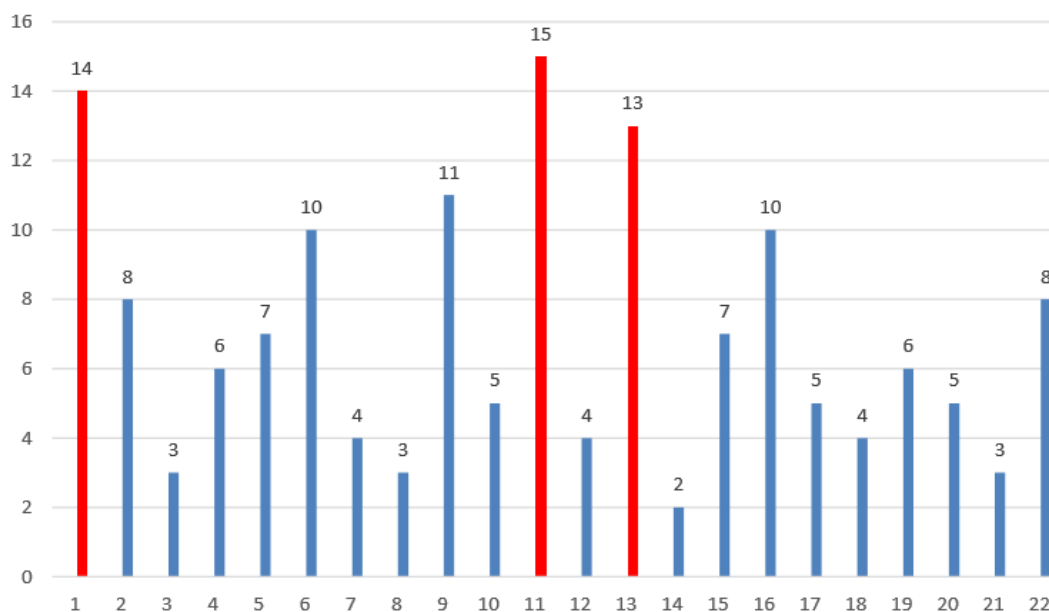


Рис. 1. Результаты опроса экспертов

В результате анализа различных способов борьбы со скользкостью в Ленинградской области был выбран тепловой способ, как самый перспективный и инновационный. Также была подобрана технология с использованием нагревательного электрического кабеля, как наиболее подходящая под критерии, выбранными экспертами. Энергию для нагревательной системы было решено получать из альтернативных источников. Это наиболее экологически чистый вариант, с учётом того, что технические устройства для получения энергии достаточно компактны и могут быть размещены в придорожной полосе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дергун А.А. Современные технологии борьбы с обледенениями на дорогах и линиях электропередач // Студент: наука, профессия, жизнь. Материалы IV Всероссийской студенческой научной конференции с международным участием. Омский государственный университет путей сообщения. 2017. С. 81–87;
2. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е., Ряту Ю. Оценки и прогнозирования температурного режима дорожных одежд как фактора безопасности дорожного движения // В сборнике: Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах Сборник трудов (электронная версия) участников двенадцатой международной научно-практической конференции. 2016. С. 420–427;
3. Аверченко Г.А., Мухаррямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6–16.
4. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
5. Королёв В.А., Горняков А.К. Геохимические факторы воздействия противогололёдных реагентов на окружающую среду // Актуальные проблемы экологии и природопользования сборник научных трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции. Российский университет дружбы народов; Ответственный редактор Т.Н. Ледашева. Москва, 2017. С. 173–178;
6. Симонов Д.Л., Алексеев С.В., Трепалин В.А. Обоснование критерия эффективности работы органов управления дорожных войск // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 46–51.
7. Игнатович Н.С., Серебrenикова Ю.Г., Кайзер Ю.Ф., Лысянников А.В. Способ борьбы со снежно-ледяными образованиями на аэродромах // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 5–3. С. 65–67.

УСИЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЙ И ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ  
СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ ПОД АВТОМОБИЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

В настоящее время, в строительной отрасли клееная древесина имеет достаточно широкое применение. Основным требованием для эффективного использования данного материала является снижение материалоемкости. В статье рассматриваются несущая способности, характер распределения нормальных и касательных напряжений по длине клееных балок.

Также был проанализирован эффект от использования наклонных, предварительно напряженных элементов, а именно стеклопластиковой арматуры, прикрепленных через уступы в приопорных зонах. В результате чего был сделан вывод о том, что данный способ позволяет в полной мере использовать прочность клееной древесины по нормальным и касательным напряжениям и тем самым снизить материалоемкость.

Важной частью прогресса, в том числе и в строительной сфере, является поиск новых эффективных решений, которые помогут улучшить полученные конструкции [1-4]. Таким решением является применение армированных балок из клееной древесины, такие балки имеют меньший вес, являясь при этом прочным и долговечным материалом. В отличие от натурального дерева, обладая всеми преимуществами древесных материалов, клееный материал имеет меньшую влажность, в ней используется чередование направления волокон, а также из нее удаляют все пороки древесины, что увеличивает срок службы конструкций. Кроме того, для клееных балок не нужен цельный кусок древесины. Однако основным недостатком этих балок является излишняя материалоемкость, которая в свою очередь увеличивает массивность сечения, а этим и монтажную массу. Данные балки применяются в перекрытиях и пролетных строениях мостов.

Для уменьшения материалоемкости клееной древесной балки необходимо полное использование прочности древесины по нормальным и касательным напряжениям [5].

Рассмотрим данную задачу, используя балку, схема которой представлена на рис 1.



Рис. 1. Схема клееной древесной балки, усиленной затяжкой из стеклопластиковой арматуры

Балка состоит из досок, горизонтально расположенных и оклеенных между собой в пакет, к которому в приопорной зоне прикреплены через упоры наклонные предварительно напряженные элементы. Материалом для элементов может служить стеклопластиковая высокопрочная низко модульная арматура, применение которой позволяет снизить потери от усадки и набухания древесины, стабилизировать усилия преднапряжения в процессе эксплуатации [6–9].

Из условия прочности по нормальным сечениям определяется из выражения определим оптимальную высоту балки:

$$h_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{6M_{\alpha}^P}{mR_{\alpha b}b'}}$$

где  $6M_{\alpha}^P$  – расчетный изгибающий момент;  $m$  – коэффициент условной работы;  $R_{\alpha b}$  – расчетное сопротивление при изгибе;  $b$  – назначенная ширина балки (по конструктивным или технологическим соображениям).

Проверка касательных напряжений требует выполнения следующего условия:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{3Q_d}{2bh} \leq m_{\alpha}R_{\alpha af},$$

где  $Q_{\alpha}$  – расчетное значение поперечной силы;  $m_{\alpha}$  – коэффициент условий работы при сколе вдоль волокон;  $R_{\alpha af}$  – расчетное сопротивление древесины на скалывание при изгибе.

Если касательные напряжения будут равны расчетным сопротивлениям сколу  $R_{\alpha af}$ , то поперечная сила будет иметь значение:

$$Q_{\alpha} = \frac{2bhR_{\alpha af}}{3}.$$

Из равенства найденного значения  $Q_{\alpha}$  выражению для поперечной силы в общем виде:

$$Q_{\alpha} = \frac{ql}{2} - qx$$

определяется сечение

$$x = \frac{3ql - 4m_{\alpha}R_{\alpha af}bh}{6q},$$

для которого  $\tau_{\text{max}} = R_{\alpha af}$ .

Определим возникающее в затяжке усилие, на которую необходимо передать часть поперечной силы  $Q_{\text{оп}} - Q_{\alpha}$  на участке от опоры до сечения  $x$ :

$$N_3 = \frac{Q_{\text{оп}} - Q_{\alpha}}{\sin \alpha},$$

где  $Q_{\text{оп}}$  – поперечная сила на опоре;  $\alpha$  – угол наклона затяжки к продольной оси балки.

Площадь затяжки определяется по выражению

$$A_3 = \frac{N_3}{\sigma_{\text{рmax}} - \sum \sigma_{\text{п}}},$$

где  $\sigma_{\text{рmax}}$  – контролируемое напряжение в арматуре;  $\sum \sigma_{\text{п}}$  – сумма потерь предварительного напряжения.

Под действием касательных напряжений происходит искривление сечений балки, величина которых равна:

$$\Delta^{\delta} = \frac{Qy_b^3}{3G_{\delta}I'}$$

где  $Q$  – поперечная сила в интересующем сечении;  $G_{\delta}$  – модуль упругости второго рода для древесины;  $I'$  – момент инерции балки.

В силу того, что в пределах участка  $x$  поперечная сила ограничена величиной  $Q_{\alpha}$  по (\*), смещение  $\Delta^{\delta}$  составит:



$$\Delta\delta = \frac{m_{\alpha} R_{\alpha\alpha f} h}{3G_{\delta}}$$

При этом затяжка получит удлинение (рис. 3), равное:

$$\Delta_{1-1}^{\text{зат}} + \Delta_{\text{оп}}^{\text{зат}} = 2\Delta\delta \cos \alpha,$$

в связи с чем в затяжке возникает усилие самонатяжения

$$N_{\text{сн}} = \frac{2m_{\alpha} R_{\alpha\alpha f} h E_s A_s \cos \alpha \sin \alpha}{3G_{\delta} l_3}.$$

Эффект предлагаемого способа усиления можно проследить на специальных эпюрах.

*Выводы.*

Графики поперечных сил указывают, построенные с учетом влияния усилий в затяжке, указывают на разгружающее действие последней на работу балки по касательным напряжениям в приопорных зонах. То есть затяжки из стеклопластиковой арматуры позволяют увеличить допустимую нагрузку на рассматриваемую балку из клееной древесины без увеличения ее материалоемкости, что приводит к повышению прочности рассматриваемой балки.

Таким образом, можно сделать вывод, что усиление стеклопластиковой арматурой помогает решить основную проблему клееных деревянных балок – уменьшение материалоемкости без потери прочности путем его полного использования по нормальным и касательным напряжениям. Также с помощью затяжек из стеклопластиковой арматуры удалось снизить поперечные усилия в приопорных зонах. Все это позволяет в полной мере усилить перекрытия и пролетные строения мостов под автомобильную нагрузку.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аверченко Г.А., Мухаррямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6–16.
2. Mukharryamov I., Averchenko G. Improvement of analysis and design of road pavements using nepheline sludge // Architecture and Engineering. 2020. Т. 5. № 3. С. 63–69. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-3-63-69.
3. Алексеев С.В., Авагимян Р.Г. Армогрунтовые подпорные стенки в дорожном строительстве. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.. отв. ред. Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 39–41.
4. Барабанщиков Ю.Г., Бегич Я.Э., Черкашин А.В., Шерстобитова П.А., Герасимова Т.Ю. Влияние аморфной фибры на физико-механические свойства бетона с крупным заполнителем // Материалы научной конференции с международным участием, ИСИ. В 3 ч. 2019. С. 198–201.
5. Аверченко Г.А., Зорина Е.А., Ким Д.У., Наборщикова Д.Н. Увеличение несущей способности мостовых балок из клееной древесины // StudNet. 2020. Т. 3. № 11. С. 142.
6. Аверченко Г.А., Кирьян И.В. Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам // StudNet. 2020. Т. 3. № 2. С. 392–401.
7. Аверченко Г.А., Кириллова Д.Ю. Исследование работы стеклопластобетонных балок. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием, ИСИ. В 3 ч. СПб.: Изд-во политехн. ун-та. 2019. С. 42–44.
8. Ермошин Н. А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. № 1(1070). С. 94–97.
9. Углов А.К., Касаткин М.С. Конструктивные решения мостовых сооружений // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 31-38. URL: <http://eng-es.ru/archive/2021/2/31-38.pdf>

А.В. Бердник, С.М. Шевченко, Е.В. Черемонцева, С.В. Алексеев, С.А. Уколов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ BLUE OCEAN

Комплексная безопасность дорожного движения включает в себя множество аспектов, в том числе освещенность проезжей части и тротуаров. По статистике, четверть времени движение осуществляется без естественного света, а за это время происходит более трети всех дорожно-транспортных происшествий [1]. Наибольшее число аварий со смертельным исходом также происходит в темное время суток [2].

Решением проблемы может стать увеличение количества освещенных участков автомобильных дорог. В целях достижения наиболее эффективного результата в данном вопросе прибегнем к концепции Blue Ocean. Авторами данной стратегии являются профессора Европейского института управления бизнесом В. Чан Ким и Рене Моборн [3]. Основными преимуществами метода считаются гибкие инструменты для успешного создания, не существовавшего ранее спроса на новом рынке.

При рассмотрении сферы обеспечения транспортной сети выделяют два основных подхода к организации освещения. Первый способ покрывает трассу на всем ее протяжении, в связи с чем его можно считать традиционным. Не все объекты транспортной инфраструктуры могут быть обустроены таким образом, зачастую он применяется исключительно на автомагистралях. Дороги с более низкой интенсивностью движения преимущественно освещаются вторым способом, который в данном исследовании будет назван «экономным», с выборочным освещением только на потенциально опасных участках и примыканиях [4].

Ситуация на рынке освещения изображена на стратегической канве отрасли (рис. 1). Сплошная линия на графике демонстрирует традиционный, а пунктирная – экономный способ обустройства.

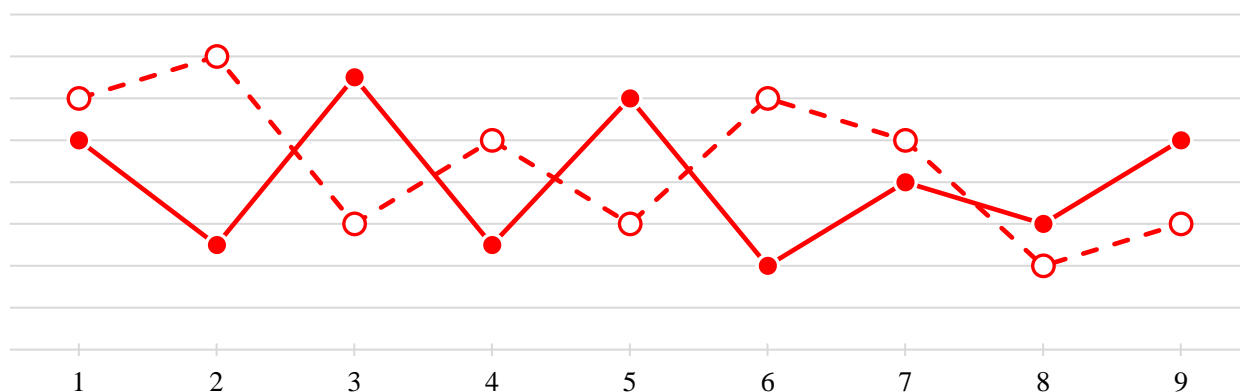


Рис. 1. Стратегическая канва отрасли освещения

Уровень предложения представлен по вертикали, он увеличивается снизу-вверх. По горизонтали перечислены конкурирующие аспекты систем: 1 – Некупаемые траты; 2 – Дискомфорт водителя; 3 – Общая стоимость; 4 – Вероятность дорожно-транспортного происшествия; 5 – Потребление электроэнергии; 6 – Время на анализ участка; 7 – Долговечность; 8 – Потенциальные инвестиции; 9 – Средняя скорость автомобильного потока.

Проанализировав карту потребительского цикла, можно установить, что современные методы нуждаются в серьезной доработке. Недостатки традиционной системы включают в себя: необходимость дополнительных вложений после завершения строительства, неизбежность прокладки кабеля напряжения между опорами освещения. В то время как негативное взаимодействие фар дальнего света встречных потоков автомобилей и низкая скорость движения – минусы экономного способа. На начальных этапах компании могут столкнуться с ограничениями при использовании экономного способа устройства освещения из-за строгих критериев. Кроме того, большинство компаний используют типовые решения на протяжении многих лет, что негативно сказывается на темпах развития технологий.

Предлагаемый данной работой проект представляет собой технические решения по аккумуляции ветрогенераторами вихревых потоков воздушных масс вдоль линейных участков дорог. Целью установки ветроэлектрических установок является производство электроэнергии, которая будет расходоваться на освещение проезжей части и тротуаров, архитектурной подсветки и проведение антигололедных мероприятий на искусственных сооружениях. На рисунке 2 представлен пример модернизированного освещения на набережной Макарова с одним из самых узнаваемых пейзажей города.

Такая технология полностью упраздняет некупаемые траты на устройство освещения. Каждый ветрогенератор сможет вырабатывать электроэнергию не только для транспортных нужд, но и для питания общей энергосети. Количество освещенных участков благоприятно повлияет на комфорт водителя и увеличит скорость транспортного потока без негативных последствий для безопасности [5].

Комплексный эффект технологии продемонстрирован на целевой стратегической канве (рис. 3).



Рис. 2. Вариант модернизированного освещения на набережной Макарова

Сплошная линия демонстрирует традиционный способ обустройства, а пунктирная – экономный. Синей линией на графике обозначена кривая предлагаемой технологии ветроэлектрических установок. Дополнительные конкурирующие аспекты систем включают в себя: 10 – Возобновляемая энергия; 11 – Современный подход; 12 – Уникальность трассы.

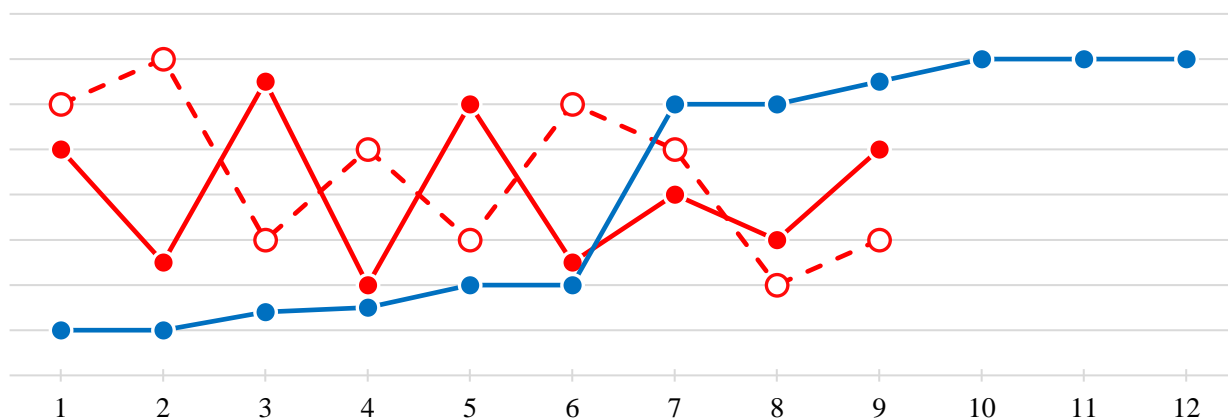


Рис. 3. Целевая стратегическая канва

К неклиентам отрасли можно отнести, в первую очередь, компании, занимающиеся проектированием платных автомагистралей [6,7]. При использовании предлагаемой технологии они смогут следовать экологическими инициативам и создавать более привлекательный облик города. Во второй ярус неклиентов включены системы освещения ночных трасс. Более того, отрасль железных дорог может улучшить качество обслуживания пассажиров, осветив пригородные станции за счет энергии от создаваемых поездами ветряных потоков.

В результате реализации данного проекта будут улучшены такие качественные показатели движения, как снижение риска возникновения ДТП, снижение травматизма и смертности при ДТП [8]. Таким образом, рассмотрена технология возобновляемой электроэнергии, которая способна привлечь дополнительные инвестиции в город за счет уникального обустройства дорожно-транспортной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения. Госавтоинспекция. [Электронный ресурс] – URL: <http://stat.gibdd.ru> (дата обращения: 01.03.2022).
2. Бердник А.В., Шевченко С.М., Новик В.А., Алексеев С.В., Ахмед Х.А. Экономические последствия ДТП из-за недостатка освещенности на автомобильных дорогах Ленинградской области // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. 2021. С. 333–335.
3. Ким, В.Ч. Стратегия голубого океана [Текст]: избранные статьи / В. Ч. Ким, Р. Моборн. – М.: МИФ, 2019. 240 с.
4. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56–60.
5. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог. // Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
6. Филиппов Д.А., Уколов С.А. К вопросу о выборе эффективных технологий скоростного восстановления автомобильных дорог // Наука и военная безопасность. 2017. № 1 (8). С.106–110.
7. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
8. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Разработка организационно-технологических схем проектирования уникальных транспортных сооружений с использованием имитационных моделей // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2021. № 1 (44). С. 22–30.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ОПОРАХ МОСТОВ

*Целью работы* является сравнительный анализ использования композитной и стальной арматуры в конструкциях опор мостов.

В статье выявлена сметная стоимость устройства опор из стеклопластиковой и стальной арматуры, определены преимущества и недостатки применения композитной арматуры.

Многочисленные достоинства полимерных композитных материалов способствуют созданию конструкций с возможностью минимизации затрат на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации. Это позволяет мостам из полимерных композитных материалов конкурировать с мостовыми конструкциями из традиционных строительных материалов [1].

Композитная полимерная арматура представляет собой стержень с непрерывной спиральной рельефностью (для улучшения сцепления с бетоном), любой строительной длины и наружным диаметром от 4 до 32 мм. Сырьем для изготовления таких стержней служит терморезистивная смола, которая при отверждении под действием температуры или в результате химической реакции необратимо превращается в твердый, неплавкий и нерастворимый материал с трехмерной сетчатой структурой [2]. К терморезистивным относятся ненасыщенные полиэфирные, эпоксидные, винилэфирные, фенольные и другие виды органических смол.

Отличительными характеристиками современных композиционных материалов – стеклопластиков, базальтопластиков, углепластиков является их большая по сравнению со сталью прочность, что иллюстрируется диаграммой деформирования (рис. 1).

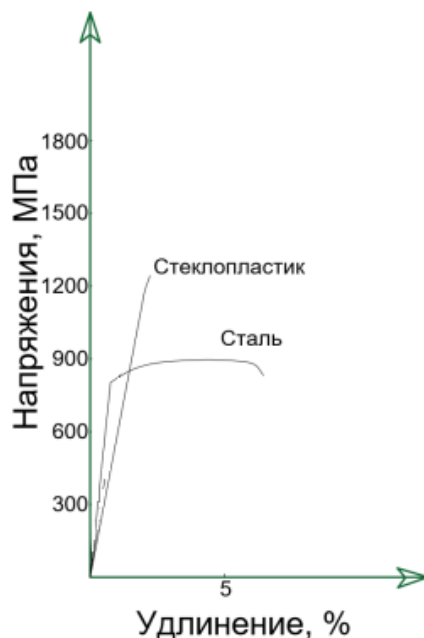


Рис. 1. Диаграмма деформирования стеклопластика в сравнении со сталью

Композитные материалы являются диэлектриками, обладают магнитопрозрачностью и радиопрозрачностью. При применении их в качестве арматуры в железобетонных изделиях исключается их коррозия (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика материалов

Характеристика	Металл	Стеклопластик
Предел прочности, МПа	360	600-1200
Модуль упругости, ГПа	210	21-41
Удлинение, %	25	2,2
Плотность, т/м <sup>3</sup>	7,85	1,9
Диапазон рабочих температур, °С	-60 – +650	-60 – +650
Магнетизм	Магнитный	Немагнитный
Долговечность	40 лет	80 лет
Электропроводность	Проводит	Диэлектрик

Из табл. 1 видно, что композитная арматура имеет предел прочности на растяжение в 3 раза выше, что позволяет заменить металлическую арматуру с большим диаметром на полимерную с меньшим. Это значительно уменьшает стоимость строительно-монтажных работ. Однако, металлическая арматура имеет значительно более высокий модуль упругости и относительного удлинения, чем композитная арматурных стержней.

Малая плотность и значительно более низкая теплопроводность, по сравнению с металлической арматурой, могут быть определены как преимущества волокнистой арматуры.

Композитная арматура является немагнитной и диэлектрической.

Таким образом, можно выделить основные преимущества композитного армирования [3, 4], к которым относятся:

- высокая жёсткость;
- низкий удельный вес;
- низкая теплопроводность;
- высокая коррозионная стойкость в агрессивной среде;
- более широкий диапазон рабочих температур, чем у металлической арматуры;
- возможность изготовления слитков любой длины и формы по запросу;
- долговечность в 2–3 раза выше, чем у металлической арматуры;
- низкая стоимость по сравнению с металлической арматурой;
- возможность включать оптические датчики в армирующие волокна, что позволяет осуществлять дистанционный контроль структур.

Данные о сметной стоимости работ по возведению опор взяты из Государственных элементных сметных норм (ГЭСН) сборник 30 ГЭСН «Мосты и трубы».

Опора моста принята диаметром 1,6 м, высотой 10 м. Определенный объем одной стойки опоры равен 20,11 м<sup>3</sup>, при армировании 8% от количества бетона, объем стеклопластиковой арматуры составляет 1,61 м<sup>3</sup> или 3,22 т.

В результате расчетов составлен конъюнктурный анализ для композитной арматуры, сметная цена которой отсутствует в ФГИС ЦС, а также составлена локальная смета на устройство опоры из стальной и композитной арматуры (табл. 2).

Анализ стоимости устройства опор из стеклопластиковой и металлической арматуры свидетельствует, что применение композитной арматуры в опорах мостов позволит снизить сметную стоимость устройства опор на 58,33% или в 2,4 раза.

Таблица 2 – Сравнение стоимости устройства опор из стеклопластиковой и стальной арматуры

№ п/п	Наименование	Опора из стеклопластиковой арматуры	Опора из стальной арматуры
1	Армирование опор искусственных сооружений		
1.1	Стоимость арматуры	428 894,64	838 172,58
1.2	Закладные детали	22 552,88	88 530,56
2	Сооружение монолитных бетонных опор мостов при подаче бетона на суше: без облицовки		
2.1	Смеси бетонные тяжелого бетона для транспортного строительства	17 978,33	17 978,33
Итого	Сметная стоимость устройства опор	1 058 320,29	2 539 506,33

**Выводы:**

1. Экономия на стоимости арматуры. Цена за 1 п.м. арматуры из стекловолокна в 2–3 раза меньше, чем за 1 п.м. стальной арматуры.

2. Экономия при погрузке/разгрузке и транспортировке.

2.1. Вес стеклопластиковой арматуры значительно ниже стальной, что позволяет сократить затраты на погрузочно-разгрузочные работы и монтаж на объекте.

2.2. Сокращаются затраты на транспортировку, так как композитная арматура транспортируется в бухтах по 50–100 м в автомобилях-самосвалах грузоподъемностью 5 т, а стальная арматура перевозится на длинномерном транспорте.

3. Для композитной арматуры процент на отходы и трудноустраняемые потери приходится меньше, чем для стальной.

4. Композитная арматура имеет большую устойчивость к различным агрессивным средам по сравнению с металлической и при равных условиях эксплуатации является более долговечной. Отсюда следует, что затраты на эксплуатацию и ремонт в процессе работы будут меньше.

Применение композитной арматуры в мостовом строительстве позволяет эффективно экономить средства не только за счёт низкой стоимости по сравнению со стальной, а также ввиду своего низкого удельного веса, уменьшается вес конструкции. Использование композитной полимерной арматуры как нового инновационного материала в строительстве опор мостов экономически выгодно [5–7].

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Проблемы внедрения современных инновационных решений в транспортном строительстве. Вестник Волгоградского государственного университета, 2012 г. с. 105–109.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра. Металлы Евразии, 2015. №1, 36–39 с.
3. <https://helyx.ru/blog/ststy/plyusy-i-minusy-stekloplastika>.
4. Жагат А.С., Якупова К.Р., Осипкин А.С. Строительство мостов Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2021. № 4 (4). С. 15-23. <http://eng-res.ru/archive/2021/4/15-23.pdf>.
5. Бирюков О.Р., Лесной А.П., Юстикова Л.Н. Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении. СПб.: СПбГАСУ, Материалы научно-практической конференции «Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии)», 2019 г., с. 127–133.
6. Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Трифонова А.А., Аверченко Г.А. Сравнение характеристик композитных материалов, применяемых в опорах мостовых сооружений. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 237–239.
7. Железнов С.А., Бирюков О.Р, Ермошин Н.А. Использование фиброармированного пластика в конструкции опор мостов. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 261–263.

В.А. Новик<sup>1</sup>, Е.С. Васюткин<sup>2</sup>, И.И. Костюков<sup>3</sup>, Н.В. Розанцева<sup>3</sup>, Л.Г. Беркович<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>ООО «Композитые Технологии и Оснастка»

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОПОР НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

*Актуальность.* Современные опорные элементы наружного освещения, применяемые для освещения автомобильных дорог, изготавливаются из различных видов материалов: дерева, металла, железобетона и композитных материалов. Каждый из этих материалов обладает индивидуальными преимущественными физико-механическими характеристиками в конкретных условиях, а также, у изделий из этих материалов есть определенные эксплуатационные недостатки.

Композитные материалы имеют возможность стать полноценной заменой бетонным и металлическим конструкциям, так как имеют необходимую прочность и не подвержены различным видам коррозии. [1] Предполагаем, что благодаря внедрению опор из композитных материалов увеличится уровень дорожной безопасности, так как данные изделия в отличие от традиционных (металлических, деревянных) при наезде на них деформируются, поглощая энергию от столкновения. В этом случае сила удара приходится именно на опору, а не автомобиль с водителем и пассажирами.

*Цель исследования* – провести сравнительный анализ опор наружного освещения автомобильных дорог, предлагаемых производителями, по следующим критериям: по материалу опор наружного освещения, методу намотки, основным физико-механическим свойствам, сроку эксплуатации и стоимости. По результатам сравнительного анализа определить, какие виды опор являются экономичными и долговечными в различных условиях эксплуатации.

*Основная часть.* Композитные опоры состоят из двух главных составляющих: связующего вещества и наполнителя.

В качестве наполнителя одного из компонентов композита, могут быть использованы армирующие волокна, а именно: стекловолокно, базальтовое волокно, углеволокно. В зависимости от того, какое волокно будет в составе композита, будут меняться основные физико-механические свойства материала [1–4]. Так, например, наиболее прочным на растяжение является композит с наполнителем углеволокно, менее прочным – с наполнителями базальтовое волокно и стекловолокно. В таком же порядке вышеуказанные материалы располагаются по таким физико-механическим свойствам, как усталостная стойкость, напряжение в условиях низких температур.

В качестве связующего вещества применяются такие виды смол, как полиэфирная, винилэфирная, а также эпоксидная. Последняя является наиболее дорогим связующим, но при этом обладает наибольшим сроком службы. В роли наполнителя могут выступать углеволокно, стекловолокно, базальтовое волокно [5]. Выбор наполнителя определяет физико-механические свойства изделия. Наибольшей прочностью обладает композит с использованием углеволокна. Сравнительные характеристики применяемых смол приведены в таблице 1.

Исходя из данных, приведенных выше следует, что при выборе наполнителя и связующего вещества стоит учитывать будущую окружающую среду для эксплуатации. Так как наиболее высокая стоимость у наполнителя из углеволокна, а у связующего вещества – эпоксидная смолы, то для нагрузок, меньших предельных для опор с аналогичными составами их использовать не стоит. Эпоксидная смола применяется в наиболее нагруженных деталях, а полиэфирная в декоративных панелях. В последнее время получают распространение винилэфирные смолы [6, 7].



Таблица 1 – Сравнительные характеристики смол

Смола	Преимущества	Недостатки
Эпоксидная	Низкая электрическая проводимость. Высокая прочность	Требуется нагрев при отверждении для максимизации характеристик. Высокая стоимость
Полиэфирная	Низкая себестоимость материала. Малотоксичная. Легче в производстве	Высокий риск коррозии. Подвержена разрушению под УФ-лучами
Винилэфирная	Устойчивы к растяжению. Влагоустойчивый материал	Высокая стоимость. Подвержена разрушению под УФ-лучами

Для анализа опор освещения, были отобраны три вида опор от различных производителей в Санкт-Петербурге: ООО «Сафит инжиниринг», ООО «МОНОЛИТ» и ООО «Opora Engineering», основные характеристики которых представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики опор освещения

Компания	ООО «Сафит инжиниринг»	ООО «МОНОЛИТ»	ООО «Opora Engineering»
Наименование опоры под кабель	ООКФ-120/112-7,5 (опора осветительная композитная фланцевая)	СФГ-700-10,0-02-ц (опора осветительная железобетонная фланцевая)	ОГС-0.4-8 (опора осветительная стальная оцинкованная фланцевая)
Материал опоры	Стеклопластик на основе полиэфирных и эпоксидных смол	Железобетон	Гранёная оцинкованная сталь
Материал защитного покрытия	При намотке добавляются присадки в состав смол для защиты от внешней среды без обслуживания во время эксплуатации	Лакокрасочное покрытие Эмаль по бетону АК-11	Горячее оцинкование
Максимально допустимое горизонтальное усилие в верхней точке опоры, кгс	80	100	90
Минимальный коэффициент запаса прочности	2	1,79	2
Масса опоры, кг	61,5	820	154
Температура эксплуатации	от -50 до +50	от -40 до +50	от -55 до +55
Срок эксплуатации	не менее 40 лет	около 30 лет	около 20 лет
Суммарная стоимость за 100 комплектов с доставкой в СПб без НДС, руб.	2 103 550	2 055 000	2 012 840

*Выводы.* В качестве защитного слоя железобетонных опор применяется лакокрасочное покрытие, которое разрушается под действием УФ излучения в первые 5 лет эксплуатации, что существенно влияет на срок эксплуатации элемента.

Метод горячего оцинкования, применяемый для защиты металлических опор, в процессе нарушения покрытия, под воздействием влаги подвергается коррозии.

В состав композитных опор добавляются смолы и присадки для защиты от агрессивной внешней среды, в том числе цветостабилизирующие для защиты от разрушающего УФ-излучения согласно техническим условиям, что сохраняет первоначальный внешний вид опоры. С точки зрения максимально допустимого горизонтально усилия наиболее правильно будет устанавливать железобетонную конструкцию. Однако, рассмотрев соотношение массы опоры и усилия на нее, то композитный материал является более выгодным. В тоже время, наибольший диапазон температур способна выдержать опора из оцинкованной стали.

Из представленных опор самой дорогостоящей считается опора из композитных материалов, но в то же время она самая долгосрочная из представленных. Самой дешевой является опора осветительная стальная оцинкованная.

Таким образом, композитные опоры по сравнению с традиционными имеют ряд преимуществ: просты в монтаже и эксплуатации, имеют высокую прочность. Не требуют заземления. Имеют длительный срок эксплуатации. Одним из главных недостатков на данный момент остается высокая стоимость элементов освещения из полимерных композитных материалов. Однако, материальные затраты компенсируются экономическим эффектом от их использования за счет сокращения издержек на ремонт, обслуживание, монтаж, транспортировку. Более того, при использовании на автомобильных дорогах композитных опор снижается средняя тяжесть дорожных транспортных происшествий за счет того, что ударную силу воспринимает сам элемент освещения [8, 9].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуртяк М.А. Оценка эффективности применения альтернативных источников для освещения автомобильных дорог в России (на примере Дымского шоссе). Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. № 1 (29). С. 103–116.
2. ГОСТ 32947–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Опоры стационарного технического освещения. Технические требования. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 26 с.
3. ГОСТ Р 55068–2012. Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло-базальтовыми волокнами. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 55 с.
4. Бояджи Ю.С., Алексеев С.В., Уколов С.А. Оценка возможности применения базальтопластиковых труб в дренажной системе автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 319–322.
5. Chelliah, Anand. Mechanical Properties and Abrasive Wear of Different Weight Percentage of TiC Filled Basalt Fabric Reinforced Epoxy Composites. *Materials Research*. 2019.-Vol. 22. No 2.
6. Thomason, J.L. Glass Fibre Sizing: A Review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2019. Vol. 127.
7. Buketov, A., Saprnov, O., Brailo, M., et al. The Use of Complex Additives for the Formation of Corrosion- and Wear-Resistant Epoxy Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019.
8. Karvanis K., Rusnáková S., Žaludek M., Čapka A. Research on the Multi-factor Aging Resistance for the materials of Composite Poles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016.
9. Гарибов Р.Б. Сравнительная оценка безопасности опор освещения, установленных около автомобильной дороги при действии наезжающего на них автомобиля / Р.Б. Гарибов // Транспортные сооружения. 2018. № 4 (5). С. 12–13.

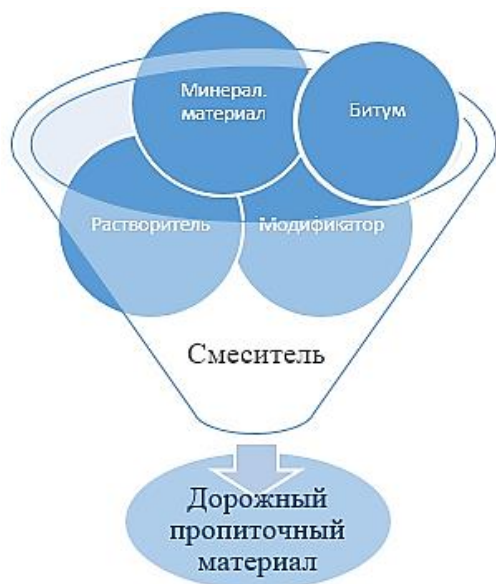
## АНАЛИЗ ДОРОЖНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ОСНОВАХ

В настоящее время дорожные пропиточные составы являются инновационными материалами, поддерживающими эксплуатационное состояние покрытия дороги, благодаря чему, увеличивается ее долговечность. На российском рынке представлено большое количество материалов, различающихся не только компаниями, производимыми данным материал, но и самим составом. Дорожные пропитки классифицируются по составу: первый тип пропиток – это материалы на основе эмульсии, вторые те, в основе которых лежит растворитель. Основной задачей данной работы является сравнение и анализ двух пропиток на разных основах, с целью определения оптимальной пропитки для поддержания эксплуатационных свойств дорожного покрытия.

Дорожные пропиточные материалы предназначены для поверхностной обработки асфальтобетонного покрытия. Они способны проникать в структуру асфальта, тем самым заполняя и герметизируя поры и микротрещины, оставляя на поверхности тонкий слой защитной пленки [1]. Существует отраслевой дорожный методический документ (ОДМ 218.3.073-2016 «Рекомендации по применению пропиточных составов для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий»), согласно которому пропитки разделяют на три вида: омолаживающие, защитные и комбинированные.

Рецептуру пропиток производители не разглашают. Однако, известно, что основными элементами состава являются синтетические смолы, сополимер этилен-винилацетата, стабилизаторы и абразивный наполнитель, которые обеспечивают адгезию к асфальтобетону, износостойчивость и устойчивость к ультрафиолетовому излучению и коэффициент сцепления соответственно [2].

а)



б)

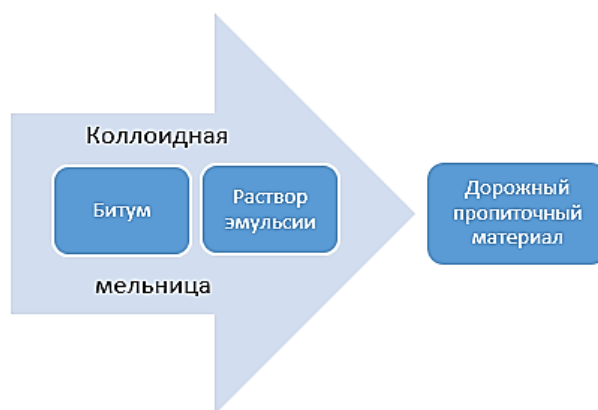


Рис. 1. Схема приготовления дорожного пропиточного материала:

а – на основе растворителя, б – на основе эмульсии

На рисунках 1,а и 1,б представлены схемы приготовления составов на растворителе и эмульсионной основе. Принципиальным различием является то, что приготовление пропиток, в основе которых лежит растворитель, происходит в один этап: в смеситель поступает

разогретый битум, затем непосредственно растворитель, далее в полученную смесь, постепенно добавляют модификаторы и минеральный компонент, если требуется. Пропитку на эмульсионной основе изготавливают в три этапа:

- приготовление раствора водной фазы эмульгатора;
- подготовка битумной составляющей, являющееся основным действующим веществом. Битум доводят до требуемой температуры и тщательно перемешивают с различными модифицирующими добавками;
- дозирование раствора и битума в коллоидную мельницу.

При приготовлении данного типа пропитки необходимо контролировать температуру, так, чтобы не допустить испарения воды [3]. Составы поставляют, как в готовом виде, так и отдельно по компонентам: жидкая фаза и смесь тонкодисперсного минерального наполнителя с реологическими добавками. Приобретая материал по компонентам, при смешении непосредственно на строительной площадке необходимо учитывать соотношение данных компонентов и рецептуру. В противном случае, полученный материал не будет обладать требуемыми свойствами.

В ОДМ 218.3.073-2016 прописаны требования к физико-механическим свойствам дорожных пропиточных материалов на основе растворителя (табл. 1) и на основе эмульсии (табл. 2).

Согласно данным представленных таблиц, можно сравнить два вида пропиток на разных основах по критерию – вязкость. Материалы на растворителе должны обладать большими вязкостными свойствами, чем пропитки на эмульсионной основе. Из этого можно сделать вывод, что эмульсионные составы являются более текучими и способны проникать в структуру асфальтобетона на большую глубину, чем их конкуренты. Свойства ДПМ, его классификация по эффективности, будет зависеть именно от показателя вязкости. При минимальной вязкости – состав классифицируется, как «омолаживающий», при максимальной – защитный, образующий пленку на поверхности, а к комбинированным можно отнести пропитки со средним временем протекания пропитки через отверстие вискозиметра. Очевидно, что показатели, прописанные в документе, носят рекомендательный характер и значения вязкости в таблице для пропиток на разных основах пересекаются. Состав на растворителе обладает большим диапазоном по вязкости, что свидетельствует о том, что пропорциональность компонентов может варьироваться, главное, чтоб это не влияло на эффективность. Таким образом, аналитически невозможно оценить эффективность пропиточных материалов в зависимости от основы.

Таблица 1 – Основные физико-механические свойства пропитки на основе растворителя

Наименование показателей	Значение	Метод испытаний
Внешний вид	Однородная вязкая жидкость	Раздел 7 ОДМ
Условная вязкость по вискозиметру типа ВУБ-1 с диаметром отверстия 5 мм при 20 °С, с.	10-200	Приложение В ОДМ
Содержание нелетучих веществ, %	От 50 до 95	ГОСТ Р 52487-2005
Адгезия (для ДПМ, содержащих битум), балл не менее	4	Приложение Г ОДМ

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства пропитки на основе эмульсии

Наименование показателей	Значение	Метод испытаний
Внешний вид	Однородная вязкая жидкость	Раздел 7 ОДМ
Условная вязкость по вискозиметру типа ВУБ-1 с диаметром отверстия 3 мм при 20 °С, с.	10-70	Приложение В ОДМ
Содержание остатка после выпаривания, %	От 50 до 70	П. 7.2 ГОСТ Р 52128-2003
Адгезия (для ДПМ, содержащих битум), балл не менее	4	Приложение Г ОДМ

В работе [4] проводилось практическое сравнение ДПМ на разных основах, с целью выявления наиболее действенного материала. Для анализа было выбрано четыре пропитки разных производителей: «НОВА-Брит» ЗВС-В на основе битумно-полимерной эмульсии, «НОВА-Брит» ЗВС-Р на растворителе [2] и две пропитки BORNIT-Асфатоп компании ООО «АэроПлан ПРО» на двух видах основ [5,6]. Для сравнения были проведены испытания и определены следующие показатели: расход пропитки, водонасыщение и набухание до и после истирающего воздействия, водостойкость, прочность на растяжение после обработки. Основным показателем для сравнения являлся коэффициент эффективности пропитки, результаты сравнения приведены в ГОСТ 9128-2013 (таблица 3). «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия».

Исследуемые материалы относятся к комбинированным ДПМ. Таким образом, значение коэффициента эффективности всех четырех составов удовлетворяют требованиям документа, однако, чем коэффициент выше, тем пропитка более эффективна. Отметим, что состав на растворителе оказался эффективен для образцов, не соответствующим нормативам.

Таблица 3 – Коэффициент эффективности пропиток на различной основе

Значение $K_{эф}$	Борнит (эмульсия)	Брит ЗВС-В	Борнит (растворитель)	Брит ЗВС-Р
Для образцов, соответствующих	1,11	1,26	1,1	1,25
Для образцов, не соответствующих	1,29	1,18	1,8	1,77
**Согласно нормативной документации ОДМ 218.3.073-2016 (п.6.2), эффективность пропитки не должна быть ниже 1,2 для защитных, 1,1 для комбинированных и 1,0 для восстанавливающих ДПМ.				

В работе проведено сравнение дорожных пропиточных материалов на разных основах по трем параметрам: анализ рекомендуемого критерия вязкости, внешний вид, коэффициент эффективности пропитки. После анализа результатов сравнения можно прийти к выводу, что тип основы не значительно влияет на свойства пропитки и ее эффективность. Однако, при выборе состава, необходимо помнить об условиях, в которых планируется применять состав. Очевидно, что составы на водной (эмульсионной) основе нельзя применять при низких температурах, тогда как пропитки на растворителе применимы и в морозных условиях. Так же стоит отметить, что при использовании пропитки на растворителе, нужно тщательно подготовить покрытие перед обработкой, очистить от пыли и грязи. Таким образом, на эффективность пропитки влияют многие факторы, например, такие как климатические условия, соблюдение технологии при нанесении, а тип основы имеет незначительное влияние.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Лукина К.А. Дорожные пропиточные материалы – свойства и экономичность/ Лукина К.А., Полудницына П.Н., Новик А.Н. – Сборник трудов конференции «Неделя науки ИСИ», 2021. 266–268 с.
2. Защитно-восстанавливающие составы «Брит». [Электронный ресурс]: <https://kgidrol.dudaone.com/protection-coat>
3. Глебов Н.В. Применение дорожно-пропиточных материалов для продления срока службы асфальтобетонного покрытия/ Глебов Н.В., Алексеев С.В, Трифонова А.А. // в сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 258–261.
4. Высоцкая М.А. Воздействие пропиточных материалов с различной основой на асфальтобетон/ Высоцкая М. А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В., Власова Е.А – Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 8–13.
5. Асфатоп – пропитка для асфальта. [Электронный ресурс]: <http://aeroplan-pro.ru/bornit-asfator-propitka-dlya-asfalta/>
6. Алексеев С.В., Титова Л.А. Возможные способы ликвидации расслоения асфальтобетонной смеси // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 224–228.

## ASSESSING THE STRENGTH OF ASPHALT BY ADDING CRUSHED STONE

*Introduction*

With the increase in the need for freight transportation in the conditions of the developing economy of our country, there is a need to modernize old roads and switch to new design and technological solutions. One of the ways to solve this problem is the use of modified asphalt concrete mixes for the construction of pavement. This will significantly increase the transport and operational performance such as safety and reliability by reducing the rut. It will also significantly reduce the need for reconstruction and overhaul in the future, and therefore save most of the funds for the maintenance of road infrastructure.

*Purpose of the study*

The purpose of the work is to study the effect of various components of the asphalt concrete mix on the susceptibility to rutting by creating a mathematical model. To do this, you must complete the following tasks:

1. The study of geodetic measurement data of the rut of several road surfaces with different composition.
2. Finding the correlation between the value of rutting and the number of components included in the asphalt concrete mixture.
3. Obtaining the equation of multiple linear regression, which describes the dependence of the components of the mixture and the reliability of the coating, as well as predicting the very value of rutting.

The study involved 7 coatings consisting of asphalt concrete mixtures, the main characteristics of which are: the percentage of crushed stone, the proportion of the stabilizing additive used (protecting the mixture from delamination), the thickness of the coating. The above characteristics will be used in the regression as independent variables ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ), while the quantitative value of rutting will be the dependent (explained) variable  $Y$  (Table 1).

This variable was derived from geodetic measurements made by laser scanning of the 1 kilometer pavement presented in the table below. Then the data of the obtained transverse profiles are averaged and the average rut  $Y$  is obtained. All 7 types of pavements have a service life of about 6 years and are located on the Scandinavia highway, which ensures the reliability of further data studies, since they were obtained under the same conditions. The advantages of this method of taking measurements include complete automation of the measurement process, high accuracy with an error of 2–3 mm, independence from weather conditions [1–3].

Table 1 – The results of measuring the average rut of the coating

Number of asphalt mix	Crushed stone content in the mix	Stabilizer content in the mix	Coating layer thickness, m	Average depth of rut, m
1	0.32	0.004	0.05	0.069
2	0.35	0.005	0.08	0.058
3	0.52	0.004	0.04	0.032
4	0.46	0.003	0.05	0.033
5	0.58	0.006	0.05	0.029
6	0.40	0.005	0.06	0.056
7	0.72	0.002	0.04	0.022



1	0.32	0.004	0.05	0.069
1	0.35	0.005	0.08	0.058
1	0.52	0.004	0.04	0.032
1	0.46	0.003	0.05	0.033
1	0.58	0.006	0.05	0.029
1	0.4	0.005	0.06	0.056
1	0.72	0.002	0.04	0.022

Fig. 3 Matrix A, composed of Y and X

$\Sigma n$	$\Sigma y$	$\Sigma x_1$	$\Sigma x_2$	$\Sigma x_3$
$\Sigma y$	$\Sigma y^2$	$\Sigma x_1 y$	$\Sigma x_2 y$	$\Sigma x_3 y$
$\Sigma x_1$	$\Sigma y x_1$	$\Sigma x_1^2$	$\Sigma x_2 x_1$	$\Sigma x_3 x_1$
$\Sigma x_2$	$\Sigma y x_2$	$\Sigma x_1 x_2$	$\Sigma x_2^2$	$\Sigma x_3 x_2$
$\Sigma x_3$	$\Sigma y x_3$	$\Sigma x_1 x_3$	$\Sigma x_2 x_3$	$\Sigma x_3^2$

Fig. 4 Resulting matrix of correlation coefficients

Next, we begin to find paired correlation coefficients according to the formula:

$$r_{xy} = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{s(x)s(y)}$$

$$r_{yx_1} = \frac{0.00192 - 0.00414 \cdot 0.0479}{\frac{0.00125 \cdot 0.13}{0.0242 - 0.0529 \cdot 0.479}} = -0.413;$$

$$r_{yx_2} = \frac{0.0128 \cdot 0.13}{0.0185 - 0.0427 \cdot 0.479} = -0.642;$$

$$r_{yx_3} = \frac{0.0166 \cdot 0.13}{0.0166 \cdot 0.13} = -0.915.$$

From the above analysis, it is clearly seen that of the three independent values X, only the third indicator has a fairly strong relationship with the parameter Y, since the correlation coefficient is close to the modulus value of 1.

#### Conclusion

In this work, based on the analysis performed using the method of multiple linear regression, the most important factors affecting the strength characteristics of asphalt concrete mixtures against rutting were identified. It is worth paying attention to such a component as the content of crushed stone in the mixture, it is he who increases the endurance of the coating. Clearly visible is the need to use highly crushed stone mixtures (Crushed stone-mastic asphalt) in areas with high traffic, which is rarely achieved in the country so far due to the increased cost of such materials.

#### REFERENCES:

1. Petkyavichyus E., Petkyavichyus R. Analiz i ocenka pokazatelej kachestva asfal'tobetonnyh pokrytij avtomagistral'ej Litvy [Analysis and evaluation of quality indicators of asphalt concrete coverings of Lithuania highways] Bulletin of the Belarusian National Technical University. 2006. No. 1. Pp. 21–26.
2. Men'shikov A.M., Skomorohova N.A. Fotogrammetricheskij metod izmereniya kolejnosti usovershenstvovannyh dorozhnyh pokrytij [Photogrammetric method for measuring running improved road surfaces]. Science, technology and education. 2016. No. 7 (25). Pp. 48–49.
3. Pogorelyj V.V. Sovremennye tekhnologii ocenki sostoyaniya pokrytiya [Modern technologies for assessing the condition of the coating]. Transport strategy – XXI century. 2017. No. 37, Pp. 49–50.
4. Moghaddam T., Karim M., Abdelaziz M. A review on fatigue and rutting performance of asphalt mixes. Scientific Research and Essays. 2011. Pp. 671–682.
5. Van Dijk W., Moreaud H., Quedeville A., Ugé P. The fatigue of bitumen and bituminous mixes. Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. 1972. Pp. 254–366.
6. Saif K, Alekseev S.V. Bridge safety is not for granted – approach to bridge management. // в сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 289–291.
7. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.



ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Цель работы* – определить наиболее точный способ мониторинга состояния автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели были рассмотрен принцип работы наиболее распространённых способов мониторинга состояния автомобильных дорог:

1. Аэрофотосъёмка (АФС) [1];
2. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) [2].

По сути, аэрофотосъёмка (АФС) – процесс фотографирования территории с высоты в пределах от ста метров до нескольких десятков километров с помощью закрепленного на летательном аппарате аэрофотоаппарата (самолете, вертолете, дирижабле или беспилотном летательном аппарате) [3]. В свою очередь, (МЛС) – аналог наземного лазерного сканирования (НЛС), работа которого производится при движении сканера, скорость съёмки которого совпадает со скоростью движения транспортного средства [4].

Для исследований методов мониторинга дорог и дальнейшего их сравнения по точности был выбран участок региональной автомобильной дороги Ленинградской области по адресу: г. Сертолово, ул. Пограничная.

На участке дороги была произведена съёмка с использованием рассмотренных методов и создание двух профилей повреждений участка дороги на основе полученных данных.

Для детального исследования была выбрана часть участка дороги, размерами 10×10 см, из состава снятых участков. Разница высот между цифровыми моделями рельефа по данным АФС и МЛС, представлены на рис. 1.

Затем, по исследуемому участку был составлен график точности (рис. 2) по высоте для нескольких ближних точек и произведено сравнение результатов.

№	АФС	МЛС
	Zвоз(м)	Zмоб(м)
1	0,2609	0,2674
2	0,271	0,2635
3	0,2711	0,2711
4	0,2645	0,2713
5	0,2704	0,2651
6	0,2645	0,2688
7	0,2653	0,2653
8	0,2677	0,263
9	0,2655	0,2724
10	0,2758	0,2679

Рис. 1. Разница высот, м

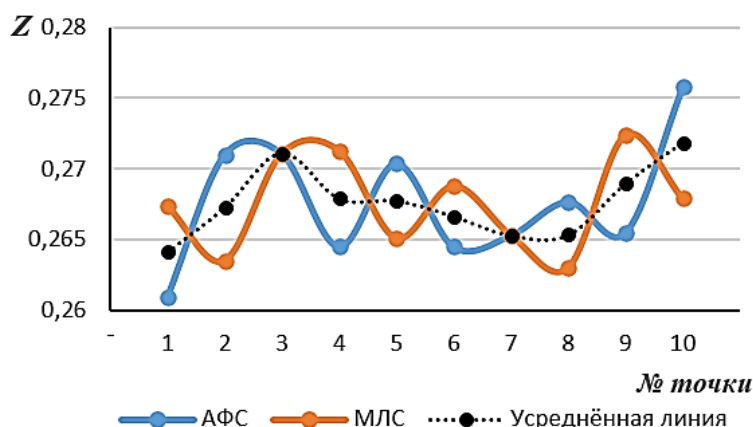


Рис. 2. График точности, м

В заключении исследования были рассмотрены характеристики методов проведения мониторинга дорог, предоставленные Д.В. Баторовым (рис. 3) [5] и сопоставлены с полученными результатами.

Метод сканирования	Точность абсолютная	Точность относительная	Площадь сканирования в плане	Скорость сканирования автодороги	Предпочтительные цели сканирования
Наземное	2 см (точность определения координат марок)	3,5 мм на 150 м	0,0078 км <sup>2</sup> (сканирование в радиусе 50 м)	0,02 км <sup>2</sup> в день	Здания и сооружения
Мобильное	2 см (точность GPS-модуля)	3,5 мм на 100 м	10 км <sup>2</sup> (100 км шириной сканирования 100 м)	100 км в день	Городские и загородные дороги, транспортные развязки
Воздушное	10 см в плане и 15 см по высоте	10 см в плане и 15 см по высоте	140 км <sup>2</sup> (400 км шириной сканирования 350 м)	400 км в день	Залесенные и заболоченные территории со сложным рельефом

Рис. 3. Характеристики методов сканирования

Таким образом, для мониторинга состояния автомобильных дорог, наиболее точным способом из рассматриваемых методик, является мобильное лазерное сканирование. В свою очередь аэрофотосъемка с беспилотной авиационной системой имеет весьма ощутимые погрешности по отношению с МЛС, но превосходит его по скорости сбора данных и наиболее выгодна, по цене оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Пузанов В.В., Марчук К.А., Хахулина Н.Б. Особенности проведения и обработки аэрофотосъемки линейных объектов//Студент и наука, 2019 год, С. 47–52.
2. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование//САПР и ГИС автомобильных дорог, 2013 год, С. 36-41.
3. Денисова В.В. Аэрофотосъемка//Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 2015 год, С. 292–294.
4. Уторова А.А., Гура Д.А., Акопян Г.Т., Шевелева А.В. Мобильное лазерное сканирование для инженерно-геодезических изысканий при реконструкции или проектировании автомобильных дорог//Наука. техника. Технологии (Политехнический вестник), 2019 год, С. 324–326.
5. Баторов Д.В., Слободчикова Н.А. Диагностика дефектов автомобильных дорог с использованием лазерных сканеров//Молодежный вестник ИрГТУ, 2021 год, С. 64–70.

УДК 625.745.21

С.С. Диденко, В.А. Свальбова, А.Н. Новик, Д.Л. Симонов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНЕНИЕ АВТОДОРОЖНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА, ГОФРИРОВАННОГО МЕТАЛЛА И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Цель работы:* выявление наиболее универсального варианта водопропускной трубы на автомобильной дороге.

Водопропускные трубы обеспечивают пропуск воды через препятствие в виде земляного полотна дороги для исключения его подтопления и подмыва, что может привести к его разрушению и созданию опасной ситуации на транспортном участке. В настоящее время наибольшее распространение получили железобетонные и металлические гофрированные трубы. В статье будут рассмотрены основные характеристики и технологии укладки трех видов.

Трубы из железобетона – конструкции, состоящие из бетона со стальной арматурой. Из трех видов труб имеют наиболее толстые стенки.

Гофрированная водопропускная труба – это конструкция, усиленная посредством применения технологии гофрирования [1], которая позволяет увеличить устойчивость к нагрузкам без увеличения толщины стенки. Она состоит из отдельных элементов – гофрированных листов размером от 0,9 до 2,6 м, изогнутых по заданному радиусу поперечного сечения.

Трубы из полимерных композитов [2] представляют собой трубы, стенки которых являются сплошной пластической массой, выполненной из термоактивных полимеров, и армированной волокнами. Такие трубы могут быть выполнены с использованием следующих армирующих наполнителей: стеклопластик [3], углепластик, базальтопластик и комбинированные композитные материалы. Производятся методом намотки на оправку требуемой формы многослойного композитного материала на основе ненасыщенной полиэфирной смолы, усиленной стекловолокном и кварцевым наполнителем. Стоит заметить, что данный вид труб является сравнительно редким в использовании.

Существуют несколько способов установки водопропускных труб: траншейный метод, метод продавливания трубы в насыпь [4, 5], прессиночковое бурение и щитовой метод. В данной статье рассмотрен траншейный способ укладки труб.

В начале работ по устройству водопропускной трубы с помощью бульдозеров устраивают строительную площадку [5, 6] уклонами, обеспечивающими сток воды от трубы. Затем русло у входного оголовка расчищают, а у выходного, наоборот, засыпают и устраивают обводную канаву. Данные мероприятия обеспечивают полный отвод воды от котлована.

После подготовки строительной площадки производят разбивочные работы. Положение трубы должно быть определено проектом организации строительства автомобильной дороги.

Следующим этапом является размещение оборудования. Большая часть сборных элементов трубы складывается на одной стороне площадки, в то время как другая ее часть предназначена для размещения дополнительного оборудования и стоянки строительной техники. Сборные элементы должны быть расположены в порядке, соответствующем технологии монтажа трубы.

После укладки оборудования следует устройство котлована. Его устраивают с помощью бульдозера продольными походами, начиная с выходного оголовка и заканчивая отсыпкой грунта за пределы входного. Котлован дорабатывают до проектной отметки вручную. Отвод грунтовых вод осуществляется в водосборные колодцы, откуда потом ее выкачивают насосами.

Затем в зависимости от типа укладываемой трубы выбирается материал для основания. Оно может быть выполнено из песчаных и крупнообломочных грунтов, гравийно-песчаной подушки или фундамента (для труб из композитных материалов), и подушки из щебня или гравия для гофрированных труб. Бетонное основание используется для железобетонных труб.

Монтаж оголовков и тела трубы начинают с установки блоков входного оголовка. Затем монтируют звенья трубы. Для этого используют специальные хомуты или скобы. Круглые звенья устанавливаются на лекальные блоки. Затем звенья укладывают на деревянные клинья для обеспечения необходимого зазора.

После монтажа трубы проводят гидроизоляционные работы. Они выполняются только в сухую погоду. В них входят: заделка швов между звеньями трубы, оклеечная изоляция швов и обмазочная изоляция трубы [7].

По окончании гидроизоляционных работ трубу засыпают грунтом на 0,5 м выше трубы. Засыпку ведут слоями с уплотнением грунта. Зимой толщина засыпки над трубой может достигать 1 м.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики трех видов труб используемых при строительстве водопропускных сооружений на автомобильных дорогах различных технических категорий.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики труб

Наименование	Труба металлическая гофрированная	Труба железобетонная	Труба из композитного материала
Собственный вес, кг	175,5	656	116
Длина, мм	–	Длина звена не менее 1000 мм, кратно 500 мм	3000, 6000, 9000, 12000 (допускается иное по согласованию с заказчиком)
Толщина стенки, мм	2-8	100 (85 при диаметре 0,5 м)	Не менее 10,2
Срок эксплуатации, лет	24	50	50
Устойчивость к коррозии	Требуется гидроизоляция	Требуется эмульсионное покрытие	Устойчива
Монтаж	Траншейный способ; продавливание пространства трубы	Траншейный способ	Щитовой способ; Прессошнековое бурение; Продавливание пространства трубы; Траншейный способ
Коэффициент шероховатости	0,022	0,011	не менее 0,01 мм
Стоимость трубы с внутренним диаметром 1000 мм, длиной трубы 1000 мм (без монтажа), руб.	7142	6488,2	16689
Минимальный допустимый диаметр на автомобильной дороге, мм:	1000 (500 на съездах)	1000 (500-750 на съездах)	1000 (от 500 на съездах)
Формы сечения	Круглая	Прямоугольная, круглая	Круглая

Резюмируя сравнительную характеристику трех видов труб, наиболее пригодным вариантом для проектирования является гофрированная труба, обладающая более универсальными параметрами относительно железобетонных и композитных труб.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Макаров, А.В. Надежная эксплуатация стальных водопропускных труб / А. В. Макаров, Д. Р. Морозов, Д. Д. Лозинская // Инновационная наука. – 2020. – № 2. – С. 25–27.
2. Абрамкин С.А., Коновалова А.А. Перспективы применения композитных материалов в дорожном строительстве // Техника и технология транспорта. 2020. № 3 (18). С. 12.
3. Потапов А.С., Куркин Ю.П., Богаенко В.П. Стеклопластиковая водопропускная труба. Патент на полезную модель RU 154515 U1, 27.08.2015. Заявка №2014154181/03 от 29.12.2014.
4. Бояджи Ю.С., Алексеев С.В., Уколов С.А. Оценка возможности применения базальтопластиковых труб в дренажной системе автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 319–322.
5. Аверченко Г. А., Павленко А. Д., Зорина Е. А., Наборщикова А. Д. Строительство водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь. //Транспортные системы и технологии. 2020 Т. б. №4. С. 45–60.
6. Яковлев Ю.М., Горячев М.Г. Строительство водопропускных труб на автомобильных дорогах: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2011. – 160 с.
7. Лукинский О.А. Гидрозащита мостовых конструкций и водопропускных труб. //Жилищное строительство. 2010. Т. 1. №2. С. 138–141.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА  
ХОЛОДНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ (РЕСАЙКЛИНГА)

*Актуальность:* в настоящее время в сфере строительства автомобильных дорог значительное место занимает повторное использования материалов, отслуживших свой срок покрытий. Эта проблема достаточно актуальна в связи с тенденцией увеличения цен на дорожно-строительные материалы. Для решения вопросов реконструкции и ремонта автомобильных дорог все более широкое применение получают принципиально новые технологии. Одной из таких технологий является метод холодной регенерации асфальтобетонных покрытий, который делает процесс ремонта и реконструкции более эффективным. Учитывая актуальность проблемы, данная статья направлена на изучение технологии холодной регенерации покрытий и некоторых ее физико-механических свойств.

*Цель работы* – изучение технологии холодной регенерации и оценка прочности готового покрытия при ее применении.

Метод холодной регенерации (ресайклинга) представляет собой укрепление (стабилизацию) грунтов, каменных материалов и асфальтогранулята вяжущими материалами путем предварительного фрезерования, смешения на дороге и его уплотнения, при этом в качестве вяжущего используют битумную эмульсию, которую вводят при перемешивании в холодную смесь измельченного материала и воды [1–3].

Органоминеральную смесь, полученную путем измельчения асфальтобетона, называют асфальтовый гранулят. При добавлении в асфальтовый гранулят вяжущего, образуется асфальтогранулобетонная смесь.

Можно выделить основные преимущества метода холодного ресайклинга перед другими способами реконструкции:

1. Отсутствие загрязнения окружающей среды благодаря полному использованию старой дорожной одежды.
2. Высокое качество ресайклированного слоя в силу последовательного эффективного смешения полученных на месте водой и стабилизирующими вяжущими. Смешивание отвечает самым высоким требованиям, поскольку компоненты принудительно смешиваются в рабочей камере [4, 5].
3. Холодный ресайклинг позволяет получать связанные слои большой толщины, которые отличаются гомогенностью материала, и обеспечивают структурную целостность образовавшейся дорожной одежды.
4. Так как при ресайклинге повреждения низкопрочного грунта значительно меньше по сравнению с применением обычных дорожно-строительных машин для восстановления дорожной одежды, сохраняется целостность грунта. Холодный ресайклинг выполняется за один проход ресайклером на гусеничных тележках, оказывающих малое давление на грунт и, следовательно, мало его деформируют [6].
5. Современные машины для ресайклинга отличаются высокой производительностью, что существенно сокращает время строительных работ по сравнению с другими методами восстановления дорожной одежды.

Для подбора составов смесей для каждого характерного участка исходной информацией являются результаты анализа конструкции дорожной одежды и толщин слоев усиления (в том числе толщины регенеративных слоев), на основании чего назначают расчетную глубину фрезерования. Также подбор состава смеси осуществляют в лаборатории с целью определения

оптимального соотношения между асфальтобетонным гранулятом, скелетным материалом, вяжущим, водой обеспечивающего требуемые проектные расчетные характеристики и физико-механические свойства материала.

Окончательные результаты подбора состава смеси, его корректирование производят в процессе реконструкции пробного участка с учетом выбранного технологического регламента производства работ и используемых машин и механизмов. Так как после ремонта или реконструкции дорожная одежда должна иметь прочностные характеристики, не уступающие показателям проектного покрытия, необходимо знать прочность регенеративного слоя, чтобы выяснить прочность дорожного покрытия в целом.

Основным критерием, оказывающим влияние на прочность, является состав асфальтогранулобетонной смеси [4, 7, 8]. Расчетные характеристики асфальтогранулобетона приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика материалов гранулята

Вид гранулята	Модуль упругости конструктивного слоя, МПа
Гранулят необработанный вяжущим	200
Гранулят необработанный вяжущим с добавлением щебня	300
Гранулят обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без.	400
Гранулят обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) с добавлением щебня или без. Обработка щебня щебеночным цементом М-20	500
Гранулят обработанный органическими вяжущими (жидкими битумами, битумными эмульсиями) совместно с минеральными (цементом) и с добавлением щебня или без. Обработка щебня цементом М-40	600

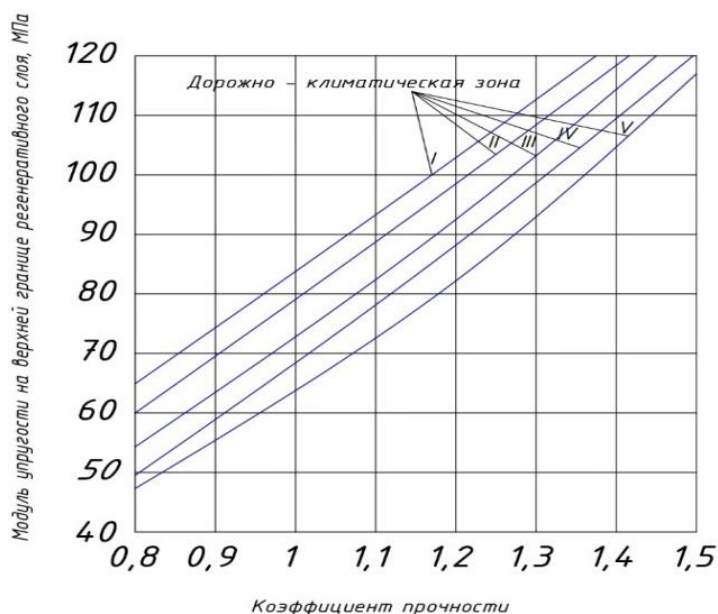


Рис. 1. Определение требуемого модуля упругости на верхней границе регенерированного слоя

С учетом требования модуля упругости дорожной одежды и рассчитанного общего модуля упругости на поверхности слоя, подстилающего основания из регенеративного материала в зависимости от типа и толщины слоя может быть рассчитана толщина регенеративного слоя основания по допускаемому упругому прогибу в соответствии с ОДН 218.046-01.

Для упрощения расчетов толщины регенеративного слоя с максимальным использованием материалов существующих конструкций существуют специальные номограммы. Номограмма определения модуля упругости на верхней границе регенеративного слоя для дорог IV-V категорий показана на рис. 1.

Подводя итоги, можно сделать *вывод*, что технология холодной регенерации является наиболее эффективной в сфере реконструкции слоев дорожной одежды, не только сохраняя прошлые прочностные характеристики дорожной одежды, но и увеличивая их за счет современных вяжущих добавок. Благодаря данной технологии можно добиться повышения эффективности строительного процесса в отрасли дорожного строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазарев Ю.Г., Собко Г.И. Реконструкция автомобильных дорог: Учебное пособие. СПб. 2013.
2. Ливитина В.В. Холодный ресайклинг – эффективная технология восстановления асфальтобетонных покрытий аэродромов и автодорог [Электронный ресурс] 2007.
3. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3. С. 35–44.
4. Симонов Д.Л., Алексеев С.В., Трепалин В.А. Обоснование критерия эффективности работы органов управления дорожных войск // Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 46–51.
5. Жаворонков Г.В., Трепалин В.А. Проблема износа верхних слоев дорожного покрытия. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 284–287.
6. Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 317–319.
7. Юстикова Л.Н., Симонова А.С., Трепалин В.А., Чумаков П.В. Применение современных способов регенерации дорожных покрытий. В сборнике: инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии). Материалы II Всероссийской НПК. 2020. С.96–99.
8. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.

УДК 351.811.11

Х.А. Ахмед, В.А. Трепалин, С.В. Алексеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ГОРОДСКИХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕВОЗКИ К МЕСТУ УКЛАДКИ

*Введение.* При проведении работ по ремонту городских покрытий дорог из горячих асфальтобетонных смесей существуют много факторов, определяющие интенсивность и качество работ. Одним из таких факторов является действие дорожных организаций по доставке смеси к месту укладки. На условия транспортировки горячей смеси от АБЗ к месту укладки действуют различные факторы, такие как: погодные-климатические, имеющиеся транспортные средства для перевозки, уровень загрузки уличной дорожной сети (УДС) и ее состояние, расстояние перевозки смеси и др., следовательно, транспортировка горячих асфальтобетонных смесей влияет на технологию, организацию и продолжительность операций по укладке. При этом необходимо добиваться обеспечения требуемого качества работ [1–3].

*Цель работы* – анализ факторов, влияющих на организацию и технологию ремонта городских дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей и пути их устранения.

Чтобы транспортировать горячую асфальтобетонную смесь и доставить ее до места укладки требуемого качества, ее температура должна быть от 115 до 155°C. Исходя из примерных расчетов по транспортировке, в зависимости от ее дальности, можно предположить, что смесь остывает на 1°C за км пути или на 20°C за час пути. Таким образом, исходя из опыта, горячая смесь может транспортироваться на расстояние 40-50 км в жаркую и сухую погоду, а в холодную (при понижении температуры окружающей среды), допустимое расстояние транспортировки сокращается до 20-30 км. Следует отметить, что в процессе транспортировки горячих смесей транспорт часто может использоваться без дополнительного оборудования (поддерживающего необходимую температуру), что способствует увеличению скорости охлаждения смеси и снижению ее температуры за пределы заданного диапазона на транспортный процесс, то есть, тип транспортных средств влияет на процесс перевозки [4–6].

Кроме того, при транспортировке горячих асфальтобетонных смесей температура на поверхности объема смеси снижается за счет передачи тепла окружающей среде и стенкам самосвала. Это приводит к неравномерному распределению температуры по всему объему смеси. Следовательно, разница температуры во всем объеме смеси может достигать разницы до 25-30°C [4]. Это снижает качество укладки и уплотнения смеси дорожных покрытий. Также при транспортировке на большие расстояния наблюдается зернистая неоднородность смеси, что в свою очередь влияет на формирование областей с различными физико-механическими свойствами покрытия, при этом процесс транспортировки горячей смеси является наиболее энергоемким до 76% (рис. 1).

Для устранения данных недостатков при транспортировке горячих асфальтобетонных смесей, которые могут приводить к деформации готового дорожного покрытия или отказа от асфальтовой смеси на участке укладки и уплотнения, при перегрузке смеси из транспортных машин в бункер асфальтоукладчика используются перегружатели (рис. 2). Впервые эти перегружатели применили в США. После этого перегружатели использовали в Германии и Швеции. Следовательно, использование технологии применения перегружателя позволяет уменьшить время на выгрузку смеси и исключает вероятность удара падающей смеси о приемный бункер укладчика, а также толчок укладчика самосвалом, что способствует повышению ровности покрытия и толщины слоя [6–8].

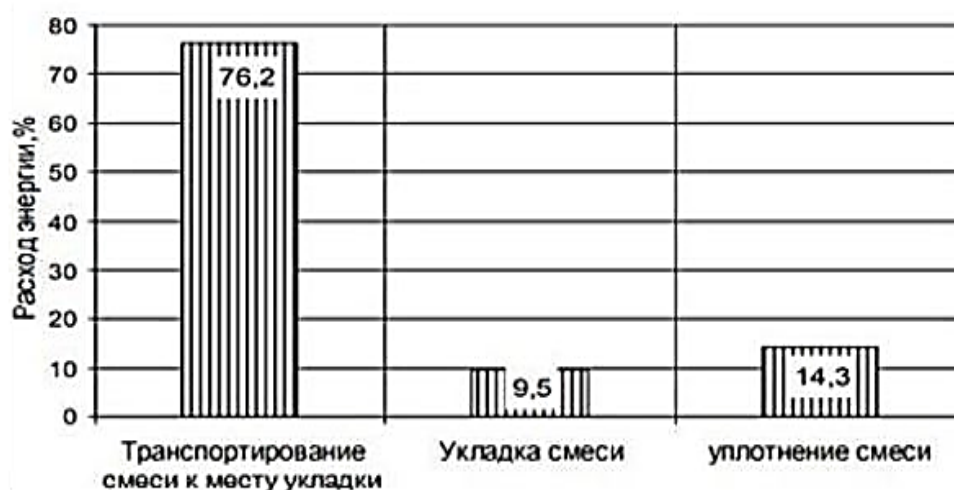


Рис. 1. Распределение энергозатрат при устройстве асфальтобетонного покрытия



При этом обеспечивается равномерное распределение температуры на весь объём смеси. Также можно транспортировать смеси без каких-либо нарушений, приводящих к охлаждению смеси или ее неоднородности, и без использования технологии применения перегружателя. В данном случае используются транспортные средства грузоподъемностью до 20–25 т с обогреваемым кузовом и брезентовым утеплителем.



Рис. 2. Перегрузатель с бункером накопителем

Для снижения энергозатрат при транспортировании смеси возможно применение:

1. Рационального выбора источников получения смеси, что сокращает дальность ее перевозки и снижает энергозатраты в среднем на 10–15%;
2. Использование специальных транспортных средств грузоподъемностью до 20–25 т, что снижает энергозатраты на 15–20%;
3. Сокращение времени транспортировки смеси от АБЗ на объект укладки дорожного покрытия в результате оптимизации пути перевозки с использованием ровных автомобильных дорог (наименее загруженных городским транспортом и с наименьшим количеством светофоров), что уменьшает энергозатраты на 10–20 %.

Таким образом, при анализе организации и технологии ремонта дорожных городских покрытий из горячих асфальтобетонных смесей в условиях перевозки смеси к месту укладки, прежде всего нужно учитывать влияние факторов на разность температур, что влияет на качество смеси и соответственно на качество укладки.

Оптимизация технологий транспортировки горячих смесей от АБЗ к месту укладки, с учетом анализа факторов, позволяет улучшить строительство автомобильных дорог.

Технология устранения недостатков в процессе транспортировки горячих смеси к объекту, в свою очередь, должна обеспечивать равномерное распределение температуры по всему объёму смеси и исключить контакт асфальтоукладчика с автосамосвалом, то есть использовать самые современные материалы и оборудование.

Энергозатраты при транспортировке смеси возможно снизить путём сокращения дальности перевозки, использования специальных транспортных средств и оптимизации пути перевозки на объект.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. № 1(1070). С. 94–97.
2. Телегина М.Е., Ермошин Н.А., Бирюков О.Р. Водонасыщение и плотность асфальтобетонов. В

сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 239–242.

3. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.

3. Юстикова Л.Н., Стройков В.А., Бирюков О.Р., Лесной А.П. Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении. В сборнике: Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии). Материалы научно-практической конференции. Под редакцией М. П. Клековкиной. 2019. С. 127–133.

4. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.

5. Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 255–258.

6. Васильев К.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Выбор способа устройства поперечного уклона проезжей части при ремонте автомобильной дороги. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 297–300.

7. Afanas'ev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. Justification of logistical approach application in road safety management. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Issue 7 Transportation of Mineral Resources. 2018. С. 072001.

8. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах. В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной НПК. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.

УДК 721.021

А.В. Борисова, О.Р. Бирюков, К.А. Самойлов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ОРГАНИЗАЦИЯ СРЕДЫ ОБЩИХ ДАННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ С BIM-МОДЕЛЯМИ

*Целью работы* является организация среды общих данных для разработки BIM-моделей.

Информационное моделирование BIM – это совокупность технологий, производственных процессов и регламентов, обеспечивающих возможность совместного управления информацией об объекте капитального строительства на всех этапах его жизненного цикла.

Среда общих данных (CDE, Common Data Environment) – это пространство на сервере компании, представляющее собой единый источник данных, обеспечивающий совместную и непрерывную работу всех участников инвестиционно-строительного проекта. Основанием для создания среды общих данных служат внутренние регламенты и стандарты компании. Данная среда должна обеспечивать эффективность разработки, использования и обмена информационной моделью, а также выпуск и распространение документации между проектировщиками и руководителями проекта [1–2].

Другими словами, среда общих данных представляет собой иерархическую структуру папок. Она может отличаться в зависимости от каждого отдельного проекта и его задач, но принцип организации одинаков.

Для непосредственной работы с BIM-моделью в глобальной структуре выделяется 4 области информации, а именно: «В работе», «Общий доступ», «Опубликовано», «Архив» [3]. Общая схема организации работы структуры представлена на рис. 1.

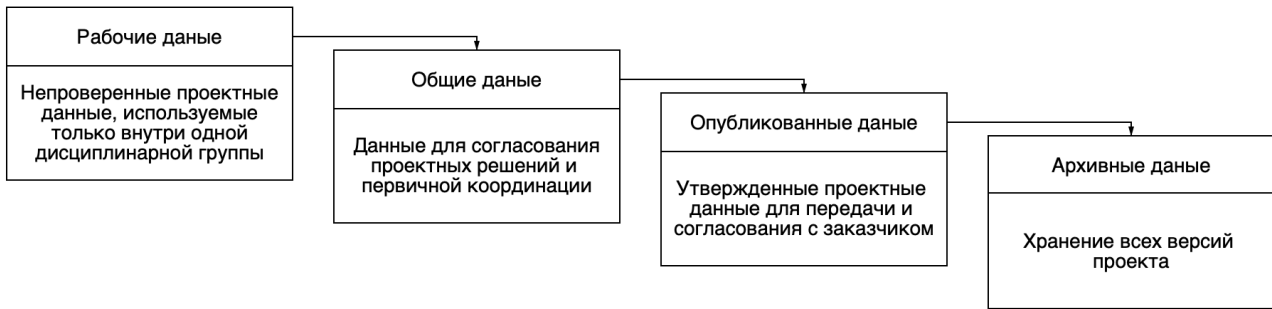


Рис. 1. Общая схема организации структуры

В работе (Work in progress) – пространство, где осуществляется непосредственная работа с файлами модели. Доступ к данной папке, как правило, имеют только участники непосредственной работы с файлами, поскольку модели находятся в активной фазе работы и содержат большое количество вспомогательных объектов, необходимых для работы, но которых не должно быть в конечной версии модели.

Общий доступ (Shared) – пространство с открытым доступом. В него попадают готовые файлы. Они должны быть очищены от всех вспомогательных объектов и ссылок. Данные из этой области используются смежниками для взаимоувязки разрабатываемых разделов. Непосредственная работа в файлах данной области запрещена, вся работа происходит исключительно в области «в работе».

Опубликовано (Published) – пространство с завершёнными материалами. В него загружаются окончательные (на определенный этап) участниками проекта материалы модели для их передачи за пределами проектной группы.

Разница областей «Общий доступ» и «Опубликовано» заключается в том, что в «Общий доступ» попадают модели во время непосредственной работы, к примеру, каждую одну или две недели. Это позволяет контролировать проектные изменения, корректировать и дополнять данными модель всеми участниками проекта. В «Опубликовано» попадают завершённые модели по этапам жизненного цикла проекта.

Архив (Archive) – область хранения данных из структуры «Опубликовано», когда данные в ней становятся неактуальными. Хранит все предыдущие выгрузки и не подлежит редактированию.

Общая схема работы с данной структурой представлена на рис. 2.

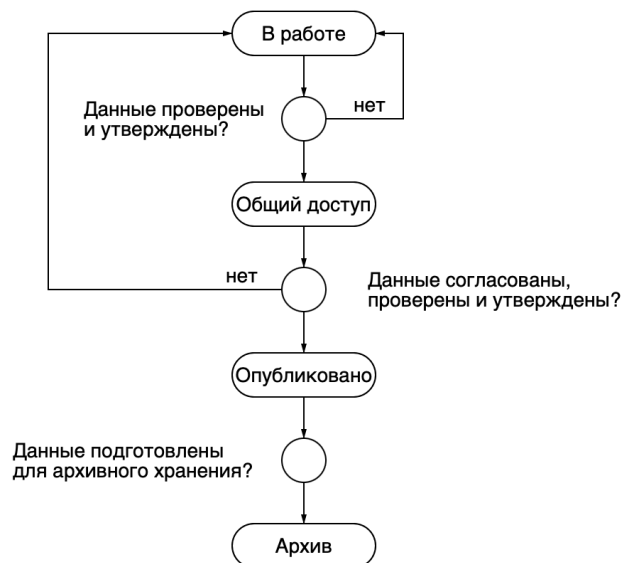


Рис. 2. Схема работы в принятой структуре хранения

Также можно выделить пространство «Ресурс», не входящее в основную иерархию работы с моделью. В данной области содержатся шаблоны проекта, библиотеки системных семейств, обучающие материалы, регламенты и стандарты [4–5].

В целом, среда общих данных может быть реализована не только на центральном сервере компании, в том числе может быть разработан web-портал или pdm-система управления [6–7]. Для последнего варианта чаще всего вводят статусы актуальности проектных данных в файлах и проводят контроль их версионности.

*Вывод:* разработана среда общих данных для BIM-проектирования, отлажена взаимосвязь и утверждение проектных данных между проектными работами, а также обмен итоговыми файлами с Застройщиком (техническим заказчиком).

#### ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Среда общих данных (CDE). [Электронный ресурс]. Официальный сайт Development Systems. – Режим доступа: <https://standard.ds.do/> (Дата обращения 08.03.2022).
2. Бенклян С., Рогачев И., Зобнин Н. BIM стандарт. Инфраструктура. ООО Конкуратор, 2017. – 33 с.
3. Кузубов Е.В., Пашкова Л.А. BIM-стандарты в среде 3D-проектирования // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов XI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х томах. 2018. С. 89–91
4. Лазарев Ю.Г. Транспортная инфраструктура (Автомобильные дороги). Изд. LAP LAMBERT, 2015. – 173 с.
5. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 1 (39). С. 58–62.
6. Самойлов К.А, Борисова А.А., Алексеев С.В. Программные комплексы для имитационного моделирования транспортных потоков. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 252–255.
7. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.

УДК 691.492

Е.С. Марченко, А.М. Исмаилов, С.В. Алексеев, Д.Л. Симонов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДОБАВОК VIATOR-PREMIUM и VIATOR- 66 В ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОМ АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – дорожное покрытие, используемое для сильно загруженных магистралей, со значительно более высокой устойчивостью к образованию колеи в сравнении с асфальтобетоном [1–3]. Стоимость ЩМА (от 6,5 до 8 тыс. руб. за м<sup>3</sup>) выше стоимости традиционной асфальтобетонной смеси (от 5 до 6 тыс. руб. за м<sup>3</sup>) на 30...35% из-за большого содержания битумного вяжущего, но при устройстве верхнего слоя дорожной одежды используется слой ЩМА на 35...40% меньше, что обеспечивает снижение расхода смеси. Для укладки ЩМА строительные организации пользуются традиционными способами и имеющимся оборудованием. Таким образом, стоимость устройства покрытия из ЩМА и асфальтобетона практически равны. При выполнении стандартов и требований к дорожным покрытиям на этапе строительства применение ЩМА обеспечивает снижение затрат на содержание и ремонт автомобильной дороги в 2...4 раза [4, 5]. Щебеночно-мастичный асфальтобетон от традиционных покрытий отличает его жесткая каркасная структура в слое покрытия, большое количество битума (5,5...7,5%) [6], и

стабилизирующие добавки на основе целлюлозных волокон. Стабилизирующие волокнистые добавки нужны для предотвращения стекания вяжущего вещества при хранении, транспортировке ЦМАС, которые могут вызвать расслаивание компонентов смеси, кроме того, они улучшают физико-механические свойства покрытия [7, 8].

Целью исследования является сравнение эффективности действия стабилизирующих добавок VIATOR-66 и VIATOR-premium в SMA-16 на битуме марки PG 64-22 в количестве 6,10% и в SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10%. Испытания и оценка результатов проводится в соответствии с общепринятыми в РФ методиками.

На территории РФ распространены стабилизирующие добавки фирмы VIATOR, которая изготавливает покрытые битумом волокна трёхмерной структуры в гранулах из специально обработанной целлюлозы: VIATOR-66 и VIATOR-premium, разные по своим свойствам.

Viator-premium – гранулированная смесь на 90,0% состоящая из ARBOCEL ZZ 8-1 и на 10,0% из битума. Viator 66 – гранулированная смесь на 66% состоящая из ARBOCEL ZZ 8-1 и на 34% из битума. Другие отличия этих двух стабилизирующих добавок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика волокон стабилизирующих добавок

Наименование показателей качества	Viator-premium	Viator 66
Влажность, % по массе	4,9± 1,0 %	4,9± 1,0 %
pH-баланс	7,5±1,0	7,5±1,0
Средняя длина волокон	1100 мк	1100 мк
Средняя толщина волокон	45 мк	45 мк
Содержание целлюлозы	90±5%	80±5%
Содержание волокон длиной от 0,1 до 2,0 мм	87 ± 3 %	87% ± 3%

Таблица 2 – Результаты испытаний смесей с применением стабилизирующих добавок

SMA-16 на битуме марки PG 64-22 в количестве 6,00%		
Наименование показателей качества	Фактические значения показателей качества	
	SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,00% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-66 в количестве 0,40%	SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,00% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30%
Устойчивость к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, %	0,14	0,09
Коэффициент водостойкости	0,89	0,88
Средняя глубина колеи, мм	3,2	2,8
SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10%		
Наименование показателей качества	Фактические значения показателей качества	
	SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-66 в количестве 0,40%	SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30%
Устойчивость к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, %	0,12	1
Коэффициент водостойкости	0,84	2
Средняя глубина колеи, мм	2,9	3

Оценка влияния по показателю стекания вяжущего, определение коэффициента водостойкости и средней глубины колеи, осуществлялась в лаборатории ВШПГиДС. Были изготовлены 4 смеси: SMA-16 на битуме марки PG 64-22 в количестве 6,00% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-66 в количестве 0,40%, SMA-16 на битуме марки PG 64-

22 в количестве 6,00% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30% , SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-66 в количестве 0,40% и SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,10% с применением стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30% которые испытывались в соответствии с нормативной документацией. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Добавление стабилизирующей добавки VIATOR-66 в количестве 0,40% в SMA-16 на битуме марки PG 64-22 в количестве 6,10% и 6,00% обеспечивает устойчивость к расслаиванию по показателю стекания вяжущего. Однако, стабилизирующая добавка VIATOR-premium в количестве 0,30% на основании проведенного лабораторного испытания увеличивает устойчивость к расслаиванию при добавлении в SMA-16 на битумном вяжущем PG 64-22 в количестве 6,00% и 6,10%, что улучшает ее эксплуатационные качества в процессе транспортирования и загрузки-выгрузки в сравнении с VIATOR-66.

При добавлении стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30% в SMA-16 на битуме марки PG 64-22 в количестве 6,10% коэффициент водостойкости больше, чем при добавлении VIATOR-66 в количестве 0,40%, но при уменьшении количества битума до 6,00% коэффициент водостойкости при добавлении стабилизирующей добавки VIATOR-premium в количестве 0,30% уменьшается, однако значение лежит в детерминированном интервале по ГОСТ Р 58406.1-2020. Таким образом, предел прочности при непрямом растяжении серии образцов, подверженных водонасыщению и циклу "замораживание-оттаивание", при различных условиях различен. Добавление стабилизирующих добавок неоднозначно влияет на коэффициент водостойкости.

Покрытия из щебеночно-мастичных асфальтобетонов с добавлением VIATOR-premium имеют меньшую среднюю глубину колеи, чем с добавлением VIATOR-66. Таким образом, смеси с VIATOR-premium устойчивее к колееобразованию минимум на 3%, что обеспечивает их преимущество при длительной эксплуатации.

Расход добавки VIATOR-premium на тонну ЩМА смеси меньше на 1 кг в сравнении с VIATOR-66, а стоимость VIATOR-premium на 15% выше, поэтому применение VIATOR-premium удешевляет ЩМА смесь на 13,75%. На этапе строительства применение VIATOR-premium в больших масштабах ускоряет темпы производства на 20...25%.

Таким образом, применение стабилизирующей добавки VIATOR-premium удешевляет стоимость смеси ЩМА на 13,75%, ускоряет темпы строительства автомобильной дороги на 20...25%, улучшает устойчивость покрытия к колееобразованию минимум на 3%, снижает затраты на содержание на 5...7%, а значит с экономической точки зрения применение стабилизирующей добавки VIATOR-premium в сравнении с VIATOR-66 выгоднее на всех этапах строительства и эксплуатации автомобильной дороги.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М., Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
2. Лазарев Ю.Г., Белихин С.В., Исмаилов А.М., Лабусов Н.В. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник научных трудов участников межвузовской НПК. ВА МТО. 2019. С. 87–91.
3. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
4. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.

5. Белихин С.В., Лазарев Ю.Г., Исмаилов А.М., Корзникова Т.А. Материалы для увеличения межремонтных сроков объектов транспортной инфраструктуры // В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2018. С.134–139.
6. Илиополов, С. К., Модифицированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь дисперсно-армирующей добавкой «Forta». Интернет-журнал Науковедения. 2012. №3. С. 97–115.
7. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси // В сборнике Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С.37–39.
8. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41–50.
9. Самойлов К.А., Борисова А.А., Алексеев С.В. Программные комплексы для имитационного моделирования транспортных потоков. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 252–255.

УДК 625.7/.8

И.В. Аблязова, А.Н. Новик

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СВОЕВРЕМЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЛОЯ ИЗНОСА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Ремонт автомобильных дорог – это комплекс работ, состоящих из нескольких этапов или технологических циклов. От качества выполнения каждого из них – должного выполнения рабочими своих обязанностей, соблюдения технологии и использования соответствующих материалов и дорожного оборудования, зависит долговечность дорожного покрытия и срок службы автомобильной дороги как сооружения. При эксплуатации автомобильные дороги должны соответствовать нормативным требованиям, направленным на обеспечение безопасности движения транспортных средств.

В течение всего срока службы дорога находится под постоянным воздействием транспортных средств и внешней среды. Автомобильная дорога подвержена активному воздействию многочисленных природных факторов, что учитывается при ее проектировании и организации работ по ремонту и содержанию. После ввода в эксплуатацию на дорогу одновременно воздействуют нагрузки от проходящих транспортных средств, грунтовые и поверхностные воды, природно-климатические факторы, а также хозяйственная деятельность людей в районе проложения дороги.

Для того, чтобы обеспечить безопасность дорожного движения транспортных средств в течение всего периода эксплуатации автомобильных дорог, независимо от погодных условий и воздействием на нее транспортных средств, нужно обеспечить своевременный ремонт покрытия за счет достижения требуемых нормативных транспортно-эксплуатационных показателей дороги в процессе ее строительства и содержания [1].

Дорожное покрытие часто быстро изнашивается. Этому есть ряд многих причин. Наибольшее влияние на износ покрытия оказывают движущиеся транспортные средства.

Нагрузки от транспортных средств являются динамическими. Действие таких нагрузок особенно опасно для дорожной одежды в период сильного переувлажнения ее основания и земляного полотна. Недостаточная прочность земляного полотна дорожной одежды и плохое качество материалов отдельных ее слоев приводят при динамическом воздействии нагрузки к снижению ровности дорожного покрытия, появлению на нем волн и выбоин. Все это вызывает значительное снижение скоростей движения.

Применение на транспортных средствах шин с шипами резко увеличивает износ дорожного покрытия. В момент соприкосновения колеса с покрытием каждый шип наносит

по нему удар с большой скоростью. И хотя сам шип имеет небольшую массу, многократное повторение таких ударов по одному месту приводит к ослаблению материала покрытия. Помимо ударной нагрузки, шипы оказывают большое истирающее воздействие. Происходит это в момент выхода шипа из зоны контакта с покрытием и проскальзывания колеса по поверхности. При эксплуатации шин с шипами продолжительность износа асфальтобетонных покрытий сокращается в 2–3 раза. Большое влияние на процесс износа дорожного покрытия оказывает неоднородность самого материала и нарушения технологии укладки и уплотнения слоев материала при строительстве дороги, из которого в процессе износа происходит истирание и выбивание зерен минерального заполнителя (песка и щебня), отрыв и удаление мелкозернистой фракции (мельче 0,05 мм) вместе с битумом (если покрытие асфальтобетонное) или без него, вымывание битумного вяжущего при наличии воды или агрессивных растворов, способствует образованию дефектов в виде выбоин.

Асфальтобетонные смеси должны выдерживать испытание на сцепление битумов с поверхностью минеральной части и быть однородными. Абсолютное значение отклонения содержания битума в смеси от проектного не должно превышать +0,5% по массе. Однородность горячих смесей одного состава оценивают коэффициентом вариации предела прочности при сжатии при температуре 50 °С, холодных смесей – коэффициентом вариации водонасыщения [4]. Одновременно с этим на дорожных покрытиях наблюдается вертикальная просадка без образования трещин за счет деформации грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожных одежд, что также влияет на качество дорожных покрытий.

Чем прочнее материал, тем меньше и равномернее происходит его износ. На покрытиях из мало прочных материалов интенсивность износа значительно выше, из-за чего чаще образуется колея и появляются выбоины. Применение в составе асфальтобетонной смеси щебня из изверженных пород взамен осадочных уменьшает износ покрытия на 60%. Увеличение содержания битума с 5 до 7% снижает износ на 50–80%.

С каждым годом требования к транспортно-эксплуатационным характеристикам асфальтобетонных покрытий растут. Увеличенная нагрузка автомобильных дорог демонстрирует недостаточный уровень качества материалов, что влечет сокращение сроков службы. Одним из таких материалов является дорожный битум.

Нефтяной битум является очень ценным продуктом, полученным в результате переработки нефти, благодаря его эксплуатационным свойствам. Битум используют для строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог, покрытий аэродромов, стабилизации грунтов, изготовления изоляционных покрытий, в качестве защиты от коррозии и т.д.

Национальный проект «Безопасные и качественные дороги» решает задачи, связанные с устройством нового дорожного покрытия для обеспечения увеличения прочности и долговечности дорожной одежды. Увеличение прочности и долговечности невозможно без повышения качества битумов, поскольку характеристика свойств асфальтобетона как термопластичного материала определяется свойствами битума. Для повышения сроков службы асфальтобетонных покрытий применяют битумы со введенными в них различного рода модифицирующими добавками, такими как полимерные, эластомерные добавки, резиновая крошка, природные битумы, воск и другие [2].

В результате многолетних исследований было получено, что битум, модифицированный полимерными материалами, обладает высокими технологическими качествами. Соединение битума с полимером повышает рабочие характеристики битума при высоких и низких температурах, улучшаются эластопластические характеристики, повышается сопротивление усталостным разрушениям и старению, улучшается адгезия и когезия с наполнителями.

В пределах проезжей части износ покрытия как правило происходит неравномерно, из-за чего по полосам наката образуется колея истирания, глубина которой может варьироваться от нескольких миллиметров до 5 и более сантиметров. В таких колеях во время дождя



создается значительный слой воды, что приводит к снижению сцепных качеств автомобиля с дорогой. В дальнейшем вода, проникая в трещины покрытия образуемая в осенне-зимний период замерзает, тем самым увеличивает их в размерах. О прошествии нескольких сезонов замерзания-оттаивания происходит разрушение целостности асфальтобетонного покрытия и его последующему разрушению [5].

Анализ данных показывает, что образование колеи недопустимой глубины составляет 20–35 % всех причин снижения транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог [7]. Если не сделать своевременный ремонт слоя износа дорожного покрытия, то вместо необходимого обновления слоя износа поверхностной обработкой, нужно будет назначать ремонт по усилению или перестройке старой дорожной одежды.

Гарантией качественного выполненного дорожного ремонта является правильная оценка подлежащего ремонту участка и выбор технологии, которую следует применить. При этом даже при оптимальном выборе метода недооценка погодных условий способна существенно ухудшить результат работы. Дождь, снег сильный ветер, несущий в подготовленную выбоину мусор и пыль, могут сократить срок службы отремонтированного участка дороги- вместо трех-четырёх лет он прослужит всего пару-тройку месяцев. Кроме того, дорожный ремонт, выполненный с помощью имевшегося под рукой случайного набора техники и инструментов вместо специализированных машин и оборудования ручного класса, может обесценить усилия даже профессионалов-дорожников, посвятивших своему делу долгие годы. Современные технологии дорожного ремонта созданы с учетом современного парка техники и часто не срабатывают в случаях доставки смеси самосвалом, а также ее укладки и уплотнения подручными средствами [6].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
2. Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона// Строительство уникальных зданий и сооружений.2018. № 6(69).С.25–34.
3. Савельева О.И., Новик А.Н. Обоснование дорожных покрытий для эксплуатации в городских условиях: выпускная квалификационная работа бакалавра: направление 08.03.01 «Строительство»; образовательная программа 08.03.01\_11 «Автомобильные дороги», СПбПУ, ИСИ, 2021
4. Назаров А.А. Условия образования колеи и их влияния на движение автомобилей // В сборнике: Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной НТК. 2018. С. 207–211.
5. Елисеев А.Н. Совершенствование контроля качества строительства и ремонта автомобильных дорог//В сборнике: Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием.2016.С.280–284.
6. Конорева О.В., Муравьев Ю.А. Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию//Инженерный вестник Дона. 2016. № 4 (43). С. 136.

УДК 625.768.6

К.К. Егоров, О.Р. Бирюков, Н.А. Ермошин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И РОССИЙСКОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Актуальность.* Проблема зимней скользкости на автомобильных дорогах является основной задачей при их содержании в зимних условиях. Исходя из статистики за январь 2022 года на территории нашей страны было зарегистрировано около двух тысяч дорожно-транспортных происшествий из-за покрытия наледи на автомобильных дорогах общего пользования. Содержание дороги, а именно борьба с зимней скользкостью в разных странах

решается по-разному, в США и Канаде дорожные службы в 75% случаев при борьбе с гололедом используют для посыпки дорожного полотна химические реагенты. Страны Скандинавии помимо химических реагентов, используют метод фрикционной обработки, в России основным методом борьбы с зимней скользкостью фрикционно-химический, страны Востока, в частности, Китай и Япония используют механические методы по борьбе с гололедом на дорогах из-за особенностей их географического расположения. [2]

*Цель работы* – проанализировать и сравнить методы по борьбе с наледью на автомобильных дорогах общего пользования.

Основные применяемые противогололедные материалы для борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах приведены на рис. 1.

Анализ способов борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах позволяет выделить наиболее часто применяемые методы:

1. Химический метод обработки дорожного полотна – применяют в твердом, жидком и смоченном виде.

Принцип работы химического реагента, понижение температуры замерзания раствора, обеспечивает таяние ледяных отложений на дорожных покрытиях, не увеличивать скользкость после обработки, легкость в транспортировке и использовании. Сырьем для получения этих материалов чаще всего являются природные запасы бишофита, галита или отходы промышленности [1–4].

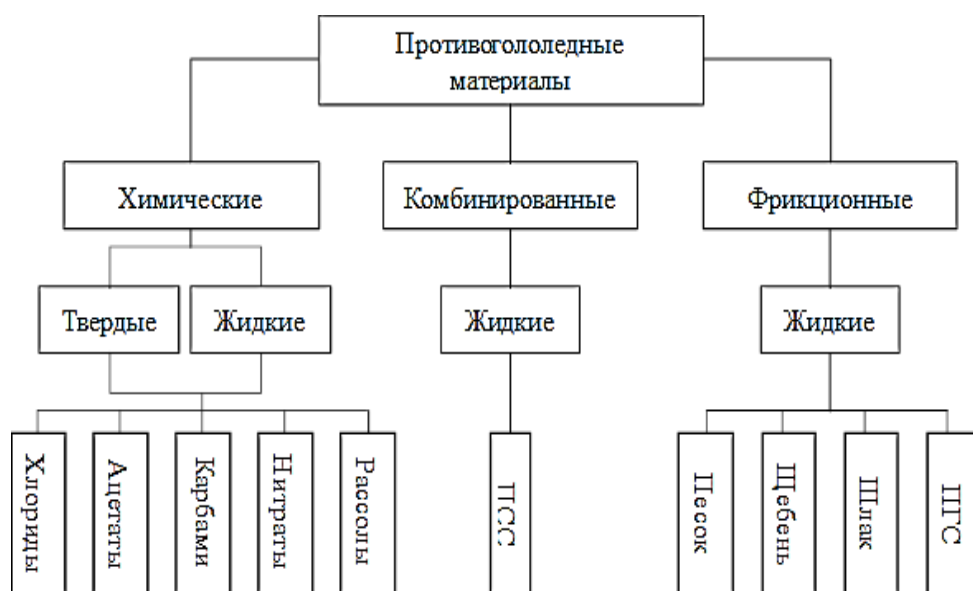


Рис. 1. Разновидности ПГМ

Анализ свойств различных существующих химических реагентов позволяет определить основные недостатки и преимущества их применения для борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах, приведенные в табл. 1.

При применении химических веществ, и прежде всего из экологических соображений, при обработке автомобильной дороги их количество зависит от температуры окружающей среды и проведенные расчеты позволили определить требуемые объемы распределения их количества, представленные на рис. 2 [5, 6].

Таблица 1 – Характеристика существующих химических реагентов

Химические ПГМ		Недостатки	Преимущества
Хлориды	NaCl, CaCl <sub>2</sub> и MgCl <sub>2</sub>	Считается наиболее опасным с точки зрения коррозии металла и влияния на экологию	Низкая стоимость
Ацетаты	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> K	Сильно подвержен разложению с выделением (запахом) аммиака (нашатыря) и уксуса	Быстро растворяется в воде без образования осадка
Карбамиды	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> –(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO–H <sub>2</sub> O	Температура раствора ниже температуры воздуха	Экологически чистый продукт (удобрения)
Нитраты	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> и Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Считается наиболее опасным с точки зрения коррозии	Экологически чистый продукт

Температура замерзания раствора зависит от концентрации и вида хлоридов. Так, раствор хлорида натрия NaCl 23%-ной концентрации замерзает при температуре -21 °С, а раствор хлорида кальция CaCl<sub>2</sub> 30%-ной концентрации – при температуре -55 °С.

Так, допустимую температуру применения хлорида натрия принимают -10 °С, хлорида магния -10... -15 °С, хлорида кальция -15...-20°С.

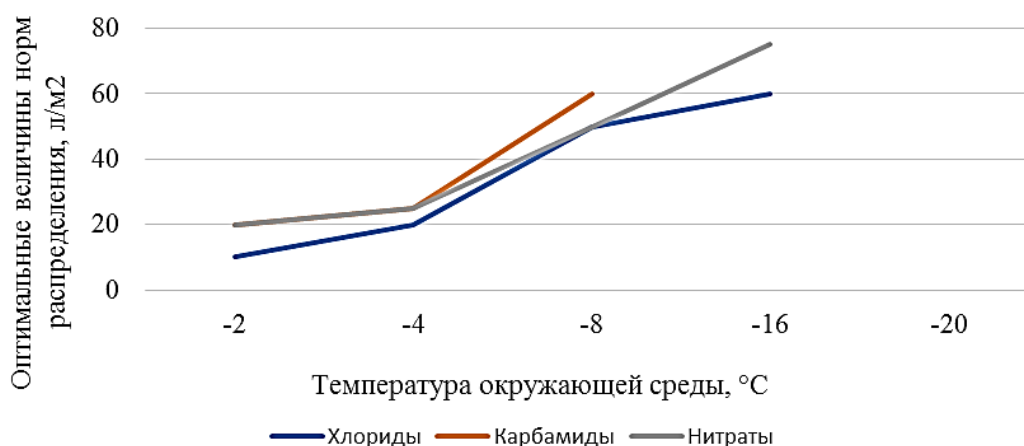


Рис. 2. График распределения количества ПГМ в зависимости от температуры воздуха

2. Фрикционный способ обработки – материалы применяются в сухом, рассыпчатом состоянии с влажностью, не превышающей безопасную, в отношении смерзания. К данным материалам относятся: песок, ПГС, щебень, шлак. Однако ученые из Норвегии заявляют, что использование увлажненного песка вместо сухого увеличивает коэффициент сцепления с дорогой в полтора раза. Наиболее распространенным фрикционным материалом является природный песок, а также гранитная крошка. Данный способ является наиболее экологичным, если сравнивать с химическими противогололедными материалами, но имеет и недостатки, которые показаны в табл. 2.

Таблица 2 – Недостатки фрикционных противогололедных материалов

Материал	Недостатки
Песок	Всасывает в себя вредные вещества, который вредны в экологических соображениях, а дальнейший вывоз песка со снегом не дешевое удовольствие
Гранитная крошка	Мало кто знает, но гранитная крошка разрушает дорожное покрытие, образует колеи, провоцирует коррозию у автомобилей

3. Комбинированный метод обработки дорожного покрытия – выполняют одновременно фрикционными и химическими материалами из смеси песка и химических ПГМ [6,7]. Данный вид борьбы является наиболее эффективным, но и одновременно считается самым экономически не выгодным.

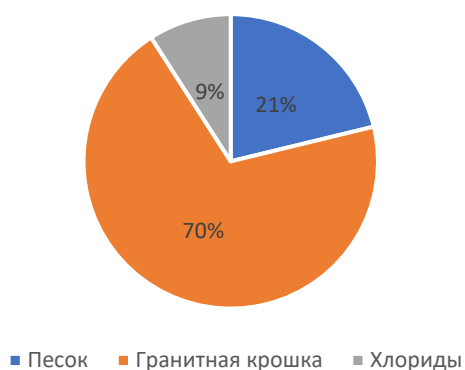


Рис. 3. Использование ПГМ в зимний период

Рассмотрим подробнее способы борьбы у западных коллег. В США главным методом борьбы с появлением гололеда является использование химических добавок вместе с водой. За зимний сезон используют 10 млн т NaCl. Соль – это дешевое химическое вещество, она приводит к коррозии металлических сооружений, труб, мостов, автомобилей, может впитаться в землю, попасть в подземные воды. Несмотря на тенденцию к улучшению окружающей среды, появление новых экологически безопасных вариантов противогололедных материалов, химические реагенты выполняют свою задачу намного лучше [1].

Регион Санкт-Петербурга и Ленинградской области богат природными ресурсами, и прежде всего фрикционными материалами, десятки карьеров по всей территории, дешевая логистика между районами благодаря железнодорожному и транспортному сообщению. Исходя из географического расположения города принято решение заменить химические реагенты на фрикционные материалы, применять гранитную крошку, несмотря на ее недостатки, исходя из климата это является наиболее эффективным методом в зимний период содержания автомобильных дорог. Процентное соотношение между различными видами ПГМ, применяемыми в Ленинградской области приведено на рис. 3.

*Вывод.* Содержание автомобильных дорог общего пользования в зимний период является важным и сложным вопросом. Несмотря на эффективность химических способов обработки, к сожалению, они сильно влияют на экологию. Приходится выбирать фрикционные материалы, они дешевле, они экологичнее, доступнее.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Автомобильные дороги и мосты. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. Федеральное дорожное агентство министерства транспорта Российской Федерации. Москва, 2006.
2. Зимнее содержание дорог в России и за рубежом // Российский информационно-технический журнал, № 1, 2012
3. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Стройков В.А. Новые технологии и материалы в интересах материально-технического обеспечения войск (сил). Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 140–143.
4. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных условиях. Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева. 2016. № 5. С. 46–50.
5. Безруков И.А., Трифонова С.Ю., Ковалев Н.С. В сборнике: Молодежный вектор развития аграрной науки. материалы 71-й студенческой научной конференции. ВГАУ имени императора Петра I. 2020. С. 90–95.
6. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Критерии оценки и методы контроля, М., 2021.
7. Лазарев Ю.Г., Белихин С.В., Исмаилов А.М., Лабусов Н.В. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник научных трудов участников межвузовской НПК. ВА МТО. 2019. С. 87–91.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКОВ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Цель работы* – разработать методологический подход, обеспечивающий возможность моделирования работы проектных организаций и организационно-технологических связей между участниками процесса проектирования, учета динамики поступления исходной информации, временных параметров создания и качества проектных разработок в зависимости от квалификации проектировщиков и инженеринговых рисков.

Среди имеющихся методов для достижения цели исследования эффективности управления строительством уникальных объектов наиболее приемлемыми являются математические модели, основанные на сетевых алгоритмах, т.к. они позволяют:

- построить модель сложной системы, как совокупности простых подсистем;
- составить процедуры определения характеристик эффективности системы;
- указать механизм взаимодействия элементов системы, с целью описания последних в терминах ее основных параметров;
- находить наиболее эффективные решения при оптимизации организационной структуры.

Для оптимизации сроков разработки и повышения качества проектов уникальных транспортных сооружений необходимы вероятностные информационно-логические схемы (ИЛС) [1, 2]. Стохастическое представление работы проектных организаций и их структурных подразделений (отделов и групп) на ИЛС должно учитывать, как минимум три аспекта: структурный, динамический и стохастический.

Первый из них обусловлен количеством структурных подразделений и организационно-технологическими связями между ними, а также между сотрудниками внутри этих подразделений по иерархическому, технологическому и функциональному признакам.

Второй аспект определяется квалификацией проектировщиков и может быть учтен в обычной ИЛС.

Существование третьего класса стохастических воздействий объясняется тем, что в ходе разработки проекта возможно внесение корректив в исходные данные для проектирования, задачи и способы выполнения проектных работ в зависимости от данных дополнительных изысканий, а также промежуточных результатов и данных экспериментальных исследований на масштабированной модели уникального транспортного объекта.

Это потребует корректировки или переработки ранее принятых проектных решений на различных этапах работы проектной организации.

Детерминированная сетевая модель (ИЛС) или традиционные алгоритмы работы проектных организаций) отражает процесс разработки проекта лишь в том идеальном случае, когда все этапы работы проектировщиков заканчиваются положительными исходами и возвратов на доработку (переработку) не происходит. Ситуации изменения динамики поступления и обновления исходных данных для проектирования и возврата к ранее отработанным этапам (например, с этапа проектирования опоры моста к этапу анализа исходных данных) эти модели не отражают. Возвраты могут значительно менять топологию сетевого графика, поэтому такие понятия, как критический путь и резервы, претерпевают значительную трансформацию.

Предлагаемая имитационная модель для процессов проектирования уникальных транспортных сооружений позволяет преодолеть указанные трудности, являясь одновременно дальнейшим развитием ИЛС.

Структура модели достаточно проста и имеет блочный характер (рис. 1).

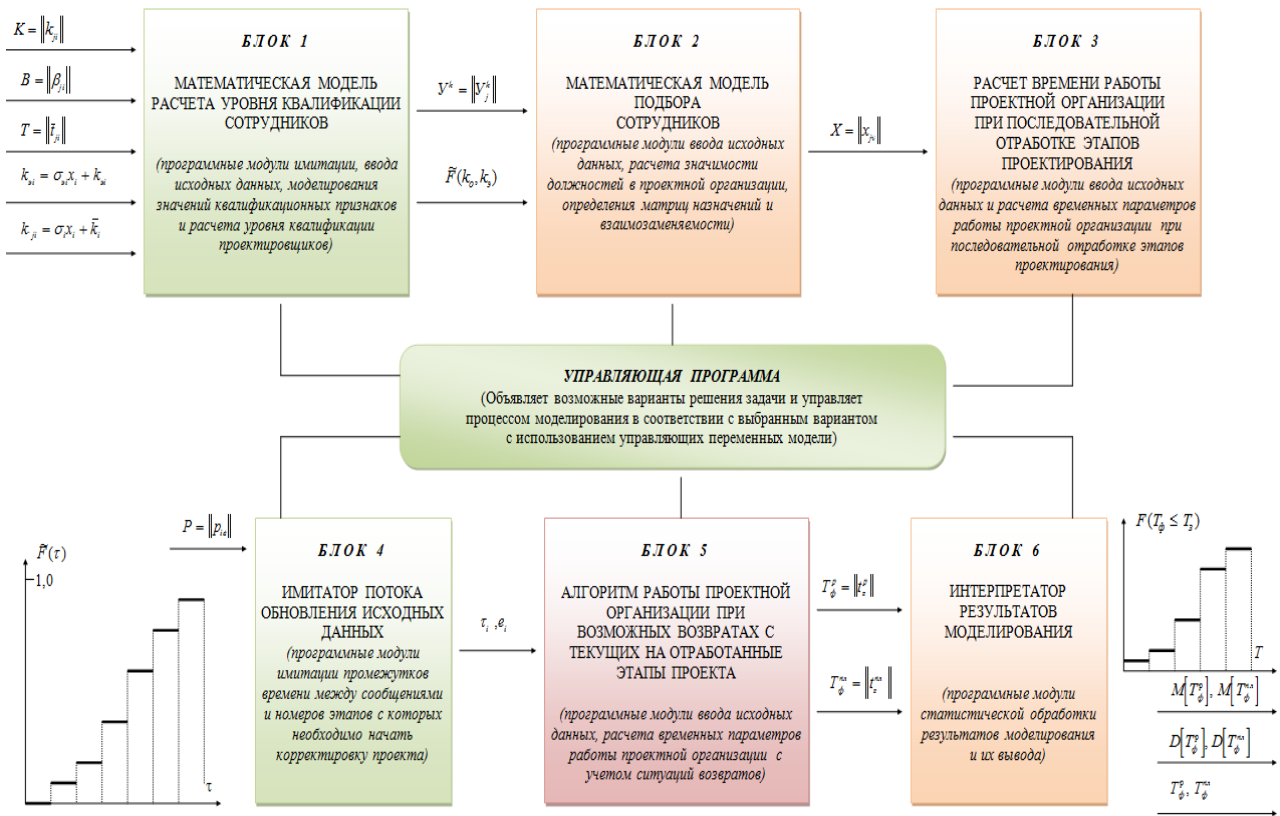


Рис. 1. Структура имитационной модели работы проектной организации

Она включает в себя несколько самостоятельных блоков и строится по модульному принципу. Блоки 1, 2, 3, 6 могут использоваться автономно для решения частных задач (расчет уровня квалификации проектировщиков или сотрудников – блок 1, моделирование подбора исполнителей и их расстановка по должностям – блок 2, оценка эффективности проектной организации без учета корректировки отработанных этапов проектных работ – блок 3).

Алгоритм моделирования включает следующие этапы.

1. Первоначально работа проектной организации (отдела, проектной группы) представляется в виде ИЛС.

2. Для учета влияния событий (изменений запланированного хода выполнения проектных работ), требующих переработки или корректировки ранее принятых конструктивно-технических и технологических решений ИЛС преобразуется в стохастический граф с возвратами.

3. С помощью блока 1 моделируются численные значения показателей квалификации проектировщиков. Механизм моделирования этих показателей описан в работе [3].

4. При необходимости (например, при подборе исполнителей, формировании проектных групп, исследовании эффективности работы отделов или проектной организации в целом), моделируется расстановка специалистов на должности (блок 2).

5. Определяется фактическое время работы проектировщиков на этапах разработки проекта с учетом показателей (блок 3). Результаты вычислений заносятся в матрицу  $T = \|\bar{t}_{ij}\|$ ,

6. Генерируются возмущающие воздействия, отражающие динамику разработки проектных решений и возможных изменений исходных данных и прогнозируемых

промежуточных результатов (изменения запланированного хода проектирования порождают возвраты с текущих на ранее пройденные этапы).

7. Воспроизводится алгоритм расчета временных характеристик работы проектной организации (отдела, группы).

8. Производится пробное число реализаций модели и проверка надежности временных параметров модели (блоки 5,6). При неудовлетворительных оценках устанавливается необходимое число испытаний  $W$  и проводится  $W$ -кратное моделирование [4,5].

Таким образом, предлагаемый подход к исследованию эффективности работы проектных организаций, их структурных подразделений и отдельных проектировщиков позволяет определить состав, подобрать сотрудников и определить требуемые сроки выполнения проектных работ с учетом штатной численности и оснащенности современными системами компьютерного проектирования и оборудованием для экспериментальных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Эффективность применения систем автоматического управления assigra в строительстве // Ватин Н.И., Колосова Н.Б., Бердюгин И.А./ Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 4 (9). С. 29–35.
2. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егосин А.М., Змеев А.Т. Управление инвестиционными и техническими рисками в дорожном строительстве. Монография. – ВА МТО. 2017. – 210 с.
3. Ермошин Н.А. Проектирование производственной структуры дорожно-строительных организаций с учетом неопределенности структурообразующих факторов. – М.: ФГУП РОСДОРНИИ, Сборник «Дороги и мосты», вып. 27, 2012, с. 32–41.
4. Мальцев Ю.А. Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю.А. Мальцев.: Издательский центр «Академия», 2010 с. 320
5. Ермошин Н.А., Змеева А.А. Комплексный подход к определению сроков разработки и повышению качества проектов транспортных сооружений. ВА МТО. 2019. с. 179–184

УДК 625.712.34

К.А. Самойлов, А.В. Борисова, С.В. Алексеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### КОНЦЕПЦИЯ АДАПТИВНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА

Ежегодно во всем мире в автомобильных авариях погибают сотни тысяч пешеходов.

По статистике с официального сайта Госавтоинспекции за неполный 2021 год (период с января по ноябрь) произошло 32 926 дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов (табл. 1).

Хотя большее количество попадают в ДТП в местах, где скорость транспортных средств, как правило, довольно высока, и водители не должны пересекаться с пешеходами, тем не менее больше 40% происшествий произошло на пешеходных переходах.

*Целью работы* является рассмотрение концепции адаптивного пешеходного перехода и анализ возможности реализации.

Пешеходы, как известно, нетерпеливо относятся к ожиданию зеленого сигнала светофора, даже на переходах, где используются кнопки для запроса смены сигнала. Многие забывают нажать кнопку и ждут, достаточно, долго, некоторые нажимают кнопку, а затем идут, не дождавшись разрешающего сигнала, так или иначе это создает опасную ситуацию на дороге.

Традиционные перекрестки работают с использованием системы циклов, которая распределяет фазы зеленого света для участников дорожного движения и пешеходов в заранее определенном фиксированном порядке, не связанном с фактической плотностью или скоростью пешеходов. Кроме того, длина зеленого света для пешеходов для пересечения

имеет фиксированную длину, рассчитанную на основе средней скорости ходьбы. В зависимости от скорости ходьбы пешеходного перехода и плотности этих пешеходов длина может быть недостаточной или, наоборот, слишком длинной.

Таблица 1 – Дорожно-транспортные происшествия с участием пешеходов, январь – ноябрь 2021 [1]

Наименование показателя	Российская Федерация				гор. Санкт-Петербург			
	ДТП	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ДТП	± % АППГ	погибло	± % АППГ
ДТП и пострадавшие пешеходы	32926	-8,5	3483	-14,6	1663	-5,0	97	6,6
из них								
из-за наезда на пешеходов	31822	-8,8	3358	-14,9	1605	-4,4	90	7,1
в том числе								
на пешеходных переходах	13410	-1,2	703	-7,9	817	-4,4	37	2,8
из них								
на регулируемых пешеходных переходах	4034	3,6	207	-5,0	456	0,9	26	30,0
на нерегулируемых пешеходных переходах	9376	-3,2	496	-9,0	361	-10,4	11	-31,3

Таким образом, когда время зеленой фазы светофора для пешеходов слишком короткое, возникает проблема с безопасностью, слишком длинное – с эффективностью.

Исходя из этого существуют два основных фактора, которые необходимо привести в оптимальное равновесие на регулируемых пешеходных переходах безопасность пешеходов и эффективность дорожного движения [2]. В результате вышеуказанная проблема сводится к обнаружению людей, ожидающих перехода, и людей, фактически переходящих улицу.

Случай обнаружения переходящих пешеходов не является простым, поскольку сцена может быть очень переполнена не только людьми, но и движущимися транспортными средствами. Действительно, при подавлении транспортных средств и других мешающих факторов должны обнаруживаться только люди. Существует также ограничение по направлению: должны быть обнаружены только люди, фактически переходящие улицу. Еще один важный аспект, который нельзя не учесть, – система должна работать в любых ситуациях, днем, ночью, в снег, дождь и т.д. [3].

На сегодняшний день сенсорная технология, достаточно, хорошо развита и продолжает развиваться дальше, что позволяет решить вопрос с разработкой и производством сенсоров для обнаружения пешеходов (пешеходных датчиков).

Под пешеходными датчиками, в данном случае, понимаются устройства, которые могут быть установлены на перекрестках дорог, чтобы определить, наличие и количество пешеходов. Информация, собранная датчиками, будет использована для оптимизации работы светофора, то есть нахождения оптимального баланса между двумя основными целями: повысить безопасность пешеходов на перекрестках и оптимизировать светофоры для минимизации задержек для транспортных средств [3].

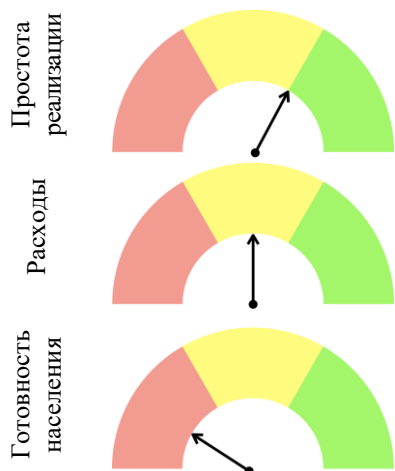
Благодаря использованию датчиков пешеходов светофоры на перекрестке могут быть динамичными, чтобы реагировать на условия в режиме реального времени. Если пешеходы не ждут пересечения, система пропустит выделение зеленого света для пешеходного перехода и вместо этого расширит длину распределения зеленого света на дорожные транспортные средства.

Если большое количество пешеходов пересекают дорогу или пешеходу требуется больше времени для перехода дороги (например, пожилой человек, инвалид, ребенок), датчики обнаружат это и удлинит выделение зеленого света до тех пор, пока переход не станет чистым.



Пешеходные датчики также могут собирать информацию о спросе пешеходов, для принятия будущих проектных решений.

Анализ аспектов по возможности реализации концепции:



Такие датчики и их аналитические решения легко внедрить, установив их на существующие столбы или интегрировав их с умными уличными фонарями или интегрировав их в придорожные решения

Сенсорная технология сегодня относительно дешева и продолжает снижаться в цене, что делает капитальные вложения в эту технологию низкими.

Такие решения уже существуют и уже используются во многих городах мира. Однако в РФ с учетом массового несоблюдения ПДД движения эти решения в необходимо внедрять в тестовом режиме на переходах с небольшой интенсивностью.

Тестовые реализации уже существуют в некоторых европейских странах. Примеры приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Примеры проектов умных пешеходных переходов

Пример	Описание	Результат
Smart Crossing Trial, Queensland [4]	Испытание умного перехода на перекрестке Бурбонг-Мэриборо-стрит в 2019 году в Квинсленде, Австралия.	Успех испытания побудил правительство штата выделить 3 миллиона австралийских долларов на дополнительные 300 установок в Квинсленде
Pedestrian Recognition IoT, Finland [5]	Пилотный проект был разработан рамках программы развития Smart Tampere в 2019 году на основе искусственного интеллекта, которое определяет, когда пешеход собирается перейти улицу на перекрестке	Система смогла достичь точности до 99% днем и 75% ночью.

Вопросы, которые необходимо будет решить при реализации технологии:

- Количество и расположение датчиков должно быть точно спланированы, чтобы обеспечить достижение ожидаемых результатов и показателей. Это первый шаг к реализации и требует детального планирования и проектирования.
- Разработать и внедрить систему мониторинга для целей технического обслуживания.
- Обеспечить достаточную безопасность при получении и хранении личной информации, чтобы избежать проблем с конфиденциальностью данных, получаемых с датчиков и камер.

*Выводы.* На основании статистики дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов за период с январь по ноябрь 2021 г. очевидно, что безопасность существующих регулируемых пешеходных переходов не отвечает требуемому уровню. Число ДТП на них увеличивается по сравнению с предыдущими периодами, поэтому требуются новые решения по улучшению безопасности на пешеходных переходах. В статье предложена концепция адаптивного пешеходного перехода и дан анализ аспектов по возможности его реализации, в результате которого можно сделать вывод о том, что данная технология, действительно, может помочь сократить количество ДТП с участием пешеходов. На начальных этапах она требует финансовых вложений, однако впоследствии сможет достичь цели по снижению ДТП с участием пешеходов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.gibdd.ru>. (Дата обращения: 01.03.2022).
2. Бердник А.В., Шевченко С.М., Новик В.А., Алексеев С.В., Ахмед Х.А. Экономические последствия ДТП из-за недостатка освещенности на автомобильных дорогах Ленинградской области // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. 2021. С. 333–335.
3. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56–60.
3. Pedestrian and Weather Sensors for Dynamic Traffic Light Allocation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.github.org/resources/showcase-projects/pedestrian-and-weather-sensors-for-dynamic-traffic-light-allocation>. (Дата обращения: 01.03.2022).
4. Queensland pedestrian crossings get smart [Электронный ресурс]. URL: <https://statements.qld.gov.au/statements/86851>. (Дата обращения: 01.03.2022).
5. Finnish partnership develops AI and IoT-based pedestrian safety system [Электронный ресурс]. URL: <https://www.traffictoday.com/news/vulnerable-road-users/finnish-partnership-develops-ai-and-iot-based-pedestrian-safety-system.html>. (Дата обращения: 01.03.2022).

УДК 625.887

Л.А. Шакиров, С.А. Уколов, В.А. Трепалин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Для решения развивающейся энергетической проблемы в различных странах были созданы проекты по использованию альтернативных и возобновляемых источников энергии. Так как из большого числа возобновляемых источников энергии солнечная энергия является одним из наиболее перспективных вариантов из-за своей доступности, именно этот вид энергии был выбран в качестве основного источника энергии во многих проектах.

Одним из способов преобразования солнечной энергии в электрическую стало использование солнечных панелей, которые ряд компаний смогли внедрить в состав покрытия дорог и тротуаров. Однако в России аналогичные проекты отсутствуют, хотя здесь использование подобной технологии помогло бы решить проблему того, что большая часть автомобильных дорог в России не имеет искусственного освещения из-за удаленности линий электропередач или низкого трафика.

Одной из причин, по которым покрытие из солнечных панелей еще не нашло свое применение в России, является отсутствие эксплуатационных требований к такому виду покрытия. В связи с тем, что в России нет нормативной базы, на которую можно было бы опираться при проектировании и строительстве такого вида покрытия, данная технология остается для нас невозможной к реализации, что доказывает актуальность данного исследования.

*Целью работы* является обоснование эксплуатационных характеристик дорожного покрытия из солнечных панелей. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) составить список эксплуатационных требований к покрытию тротуаров;
- 2) обосновать требования к эксплуатационным характеристикам покрытия в соответствии с нормативной базой Российской Федерации.

К любому дорожному покрытию пешеходных улиц и тротуаров предъявляется ряд технических требований, в соответствии с которыми дорожное покрытие должно:

- 1) быть прочным – сохранять под воздействием многократно повторяющихся нагрузок от движущихся транспортных средств или пешеходов требуемую ровность;
- 2) быть ровным – удовлетворять геометрическим параметрам, способным оказывать влияние на движение транспортного средства или пешехода;
- 3) быть шероховатым и обеспечивать достаточное сцепление – иметь поверхность, образуемую равномерно чередующимися выступами скелетных частиц и впадинами между ними, а также собственной шероховатостью выступов и впадин либо специально созданными бороздками на поверхности покрытия;
- 4) быть морозостойким – сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании;
- 5) обеспечивать продольный и поперечный уклон.

Прочность. По требованию СП 82.13330.2016 Благоустройство территорий [1] при строительстве тротуаров и пешеходных дорожек шириной более 2 м необходимо обеспечить возможность проезда по ним транспортных средств с осевой нагрузкой до 8 т (поливомоечные автомобили, снегоочистительная техника). Одна в связи с предъявлением требований к покрытию по наличию системы подогрева, потребность в снегоочистке отпадает, а возможность проезда по покрытию поливомоечной техники не предусматривается. Поэтому расчет прочности покрытия производится на нагрузку от пешеходов.

Ровность. Так как покрытие тротуаров из солнечных панелей является аналогом покрытия из бетонных плит или брусчатки, то в соответствии с п. 5.1.11 СП 59.13330.2020 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения [2] толщина швов между элементами покрытия не должна превышать 0,01 м.

Шероховатость и сцепление. В соответствии с п. 5.1.11 СП 59.13330.2020 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения [2] материал поверхности покрытия должен обеспечивать продольный коэффициент сцепления 0,6...0,75 кН/кН, в условиях сырой погоды и отрицательных температур – не менее 0,4 кН/кН. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- 1) стекло, являющееся защитным слоем дорожного покрытия из солнечных панелей, должно иметь коэффициент сцепления 0,6...0,75;
- 2) дорожное покрытие должно иметь систему подогрева для обеспечения оттаивания снегового покрова в случае, если покрытие не предусматривает возможность очистки с помощью снегоочистительной техники.

Морозостойкость. В качестве морозостойкости дорожного покрытия из солнечных панелей примем морозостойкость стекла, являющегося защитным слоем для солнечных панелей. Оценку морозостойкости стекла следует проводить в соответствии с ГОСТ 32996-2014 [3], а также производить дополнительные испытания по аналогии с оценкой морозостойкости асфальтобетона, так как в отличие от обычного, стекло, используемое в качестве защитного слоя для дорожного покрытия, должно не только сохранять свою целостность и отсутствие дефектов, но и не допускать снижения прочностных характеристик ниже допустимых. В соответствии с п. 7 и п. 8 ГОСТ 32996-2014 [3]:

1. Образцы стекла помещают в камеру при комнатной температуре;
2. Понижают температуру в камере со скоростью не более 3 °С в минуту до требуемой температуры, которую в соответствии с п. 7.2 ГОСТ 32996-2014 [3] принимают равной температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 для данного региона применения, в случае если данная температура ниже -30 °С, но так как температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для г. Астрахань равна -20 °С, то температуру испытания принимают равной -30 °С;
3. Выдерживают образцы в камере в течение 14 суток;

4. По истечении двух недель температуру в камере повышают до комнатной со скоростью не более 3 °С в минуту;
5. При достижении комнатной температуры вынимают из камеры, дают им обсохнуть, после чего проводят визуальный осмотр.

Таким образом образцы считаются выдержавшими испытания, если после испытаний в них не обнаружен ни один порок внешнего вида. Для оценки морозостойкости стекла также предлагается использовать коэффициент морозостойкости:

$$k_{\text{мрз}} = \frac{R_{20}^n}{R_{20}^0},$$

где  $R_{20}$  – предел прочности образцов при сжатии при температуре 20 °С, МПа;  $R_{20}^n$  – предел прочности образцов при сжатии при температуре 20 °С после  $n$  циклов замораживания и оттаивания, МПа.

В соответствии с данными таблицы 1 «Методических рекомендаций по повышению деформативности и морозостойкости асфальтобетонных покрытий при низких температурах (до минус 50 °С)» [4] принимаем количество циклов замораживания и оттаивания для г. Астрахань – 50.

Для обеспечения хороших показателей морозостойкости минимальное значение коэффициента морозостойкости принимаем по аналогии с асфальтобетонными смесями марки I используя таблицу 5 «Методических рекомендаций по повышению деформативности и морозостойкости асфальтобетонных покрытий при низких температурах (до минус 50 °С)» [4]. Таким образом принимаем минимальный коэффициент морозостойкости стекла для г. Астрахань – 0,75.

Несмотря на то, что к покрытию также предъявляются требования по наличию системы подогрева, требования по морозостойкости все-таки назначаются, так как обогреваться покрытие будет только при наличии на нем снежного покрова.

Продольный и поперечный уклон. Астрахань находится в V дорожно-климатической зоне, поэтому продольный уклон тротуаров и пешеходных дорожек здесь должен быть не более 50‰ для нормальных условий движения инвалидов и не более 25‰ для комфортных условий движения инвалидов по требованиям СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги [5].

Поперечные уклоны элементов поперечного профиля принимаются в соответствии с п. 11.10 СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: минимальный – 5‰, максимальный – 20‰ [6].

В соответствии с п. 5.5.8 СП 396.1325800.2018 Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования [7] поперечный профиль покрытия тротуара должен быть односкатным.

*Выводы:* по результатам работы были обоснованы следующие эксплуатационные требования к покрытию тротуара из солнечных панелей:

1. Прочность – по расчету на нагрузку от пешеходов;
2. Ровность – отсутствие швов между элементами более 0,01 м;
3. Шероховатость и сцепление – коэффициент сцепления 0,6–0,75;
4. Морозостойкость – 50 циклов замораживания и оттаивания, коэффициент морозостойкости 0,75;
5. Продольный и поперечный уклон – продольный уклон не более 50‰, рекомендуемый – 25‰, поперечный уклон – 5–20‰.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий;
2. СП 59.13330.2020. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения;
3. ГОСТ 32996-2014. Стекло и изделия из него. Методы испытаний на стойкость к климатическим воздействиям. Испытание на морозостойкость;
4. Методических рекомендаций по повышению деформативности и морозостойкости асфальтобетонных покрытий при низких температурах (до минус 50 °С);
5. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги;
6. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений;
7. СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования.

УДК 625.7

П.С. Цой, О.Р. Бирюков, Н.А. Ермошин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИТУМНО-ЭМУЛЬСИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ SLURRY SEAL ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ.

*Актуальность.* Безопасность дорожного движения во многом зависит от качества дорожного покрытия. Обеспечение круглогодичной безопасной эксплуатации автомобильной дороги возможно за счет реализации защиты покрытия от воздействия эксплуатационных факторов и медленных химических изменений в самих связующих веществах. Концепция сохранения дорожного покрытия или профилактического обслуживания в настоящее время широко принята дорожными инженерами. Необходимо применять превентивные меры, пока дорога все еще находится в хорошем или в очень хорошем состоянии, когда небольшие затраты времени и денег окупятся в наибольшей степени в течение длительного срока службы ОДМ 218.3.013–2011.

Раннее проведение устройства тонкослойных покрытий способно предотвратить существенное ухудшение структурных слоев автодорожного полотна в будущем, ремонт которого в несколько раз будет дороже и сложнее

*Цель работы* – рассмотреть современный метод поверхностной обработки Slurry seal дорожного покрытия и его влияние на увеличение срока службы автомобильной дороги.

Расходы, потраченные на превентивные меры и поверхностную обработку, меньше в несколько раз будущих расходов на капитальный ремонт или реконструкцию (рис. 1). Кроме того, существующие дороги со временем теряют свои характеристики устойчивости к скольжению, а поверхностная обработка является высокоэффективным способом обеспечения противоскользкой поверхности, т.е. увеличения коэффициента сцепления.

Поверхностная обработка битумно-эмульсионной технологией Slurry seal обеспечивает хорошее сочетание поверхностного и профилактического обслуживания при относительно низких затратах, которая сводит к минимуму задержки на дорогах, хорошо адаптирована к городским районам. Технология позволяет защитить слои конструкции из асфальтобетона или цементобетона от проникновения воды, улучшить трение и качество езды, а также заделывать мелкие трещины [2].

По сравнению с традиционными способами создания защитных слоев из горячей смеси она, как правило, не требует тщательного фрезерования и удаления старого покрытия, обычно не требует высокой адгезии покрытия и обеспечивает поверхность с лучшей устойчивостью к скольжению на влажной поверхности. Вся работа по укладке дорожного покрытия выполняется с относительно небольшими затратами оборудования и рабочей силы за одну операцию, идеально подходящую для городских и жилых районов.

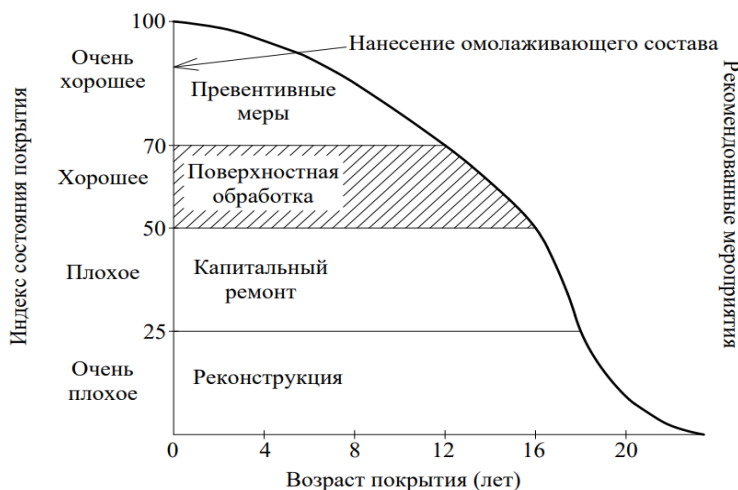


Рис. 1. Изменение состояния покрытия дороги течением времени, рекомендованные мероприятия по содержанию дорог

Система Slurry seal представляет собой современное эмульсионное покрытие с холодной смесью, которое признано экономически эффективным методом восстановления и профилактического обслуживания дорог, сочетает мелкодисперсные заполнители, битумную эмульсию, воду и минеральные наполнители.

Полимеры, пигменты, химические добавки и переработанные материалы могут быть включены для повышения технологичности или для улучшения экологических характеристик [3].

Уменьшение концентрации эмульгатора в эмульсии сокращает время смешивания. Стабилизирующая добавка позволяет сократить расход эмульсии, однако это может негативно повлиять на процесс когезии. Универсальный состав данной смеси Slurry seal представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Базовая рецептура и состав смеси поверхностной обработки Slurry seal

Состав эмульсии	%
Битум БНД 90/130	60,0
Butonal NX4190	3,5
Redicote C-320	1,4
Diamin OLBS	0,05
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> по pH	2,2pH
H <sub>2</sub> O	34,5
Итого:	100

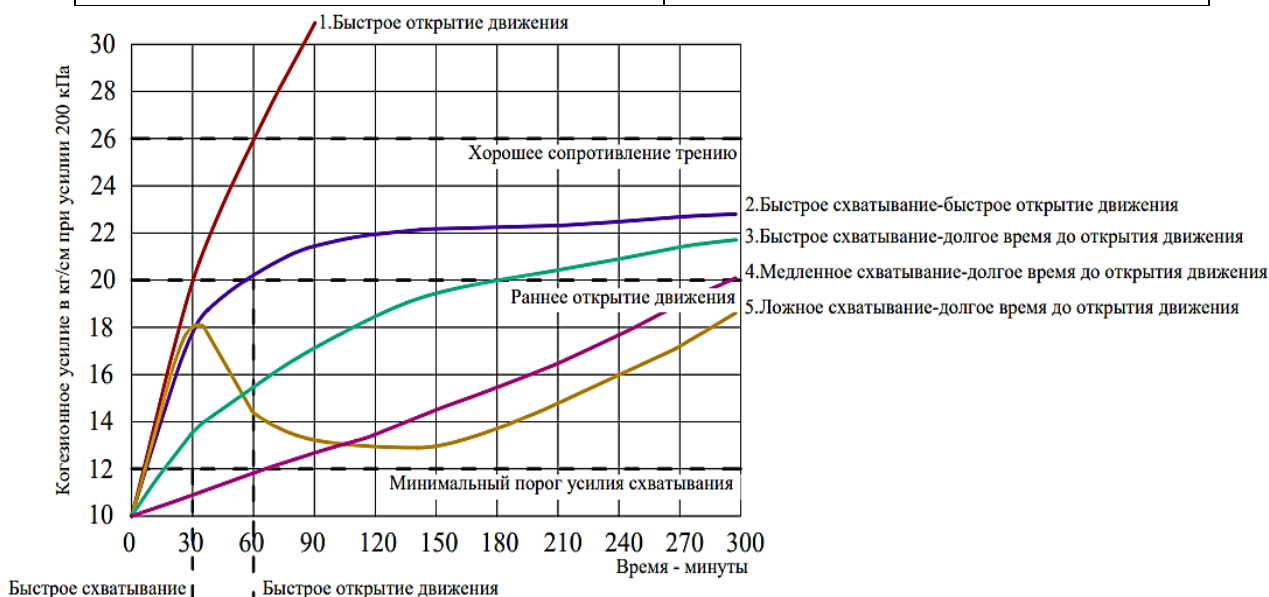


Рис. 2. Изменение когезионного усилия и времени схватывания при добавлении стабилизирующих добавок

При подборе добавки необходимо производить лабораторные испытания, т.к. помимо времени смешивания могут происходить изменения в наборе когезии, прочности конечного покрытия. Стабилизирующие добавки могут негативно повлиять на процесс набора когезии и прочность конечного покрытия. В некоторых случаях добавка провоцирует процесс ложного схватывания, что значительно увеличивает время до открытия движения [2].

Лабораторные испытания смеси с использованием разных стабилизирующих добавок представлены на рис. 2.

Базовая рецептура битумно-эмульсионной состава Slurry seal, представленная в табл. 2, является универсальной, она обеспечивает оптимальное время смешивания, быстрый набор когезионной прочности и сохранение пластичных свойств.

Таблица 2 – Состав смеси для поверхностной обработки дорожного покрытия по технологии Slurry seal

Щебень тип II	Цемент М-500	Вода	Стабилизирующая добавка	Эмульсия	Время смешивания	Открытие движения
частей	частей	частей	частей	частей	секунд	минут
100	0,5	8	0	12	180	15-20

Покрытие Slurry seal обычно наносится на дорогу с использованием самоходного асфальтоукладчика, но может быть подготовлено с помощью более простого смесительного оборудования и нанесено вручную для применения в небольших масштабах. Нормы внесения варьируются от 3 до 14 кг/м<sup>2</sup> за один проход в соответствии с ОДМ 218.3.013–2011. Связующее покрытие иногда наносится перед герметизацией, чтобы гарантировать, что новый слой не отслоится от существующей поверхности.

Битумная эмульсия является ключевым компонентом Slurry Seal. Мелкодисперсные частицы битума диаметром всего в несколько тысячных миллиметра могут распределяться между мелкими частицами заполнителя и вокруг них без необходимости нагревания. Полимер в форме латекса может быть легко включен либо в эмульсию во время производства, как это чаще всего бывает, либо вскоре после этого. В результате получается экологически чистый продукт холодного нанесения, без паров горячего асфальтобетона, который можно использовать с минимальными помехами для участников дорожного движения в кратчайшие сроки после его нанесения.

Slurry seal обычно укладывается не толще, чем в 1,5 раза верхнего размера заполнителя, который может варьироваться от 3–10 мм. Битумно-эмульсионное покрытие водонепроницаемо и защищает поверхность от попадания воды и износа, а также обеспечивают устойчивую к скольжению ровную поверхность. Как правило, при применении технологии Slurry seal движение по дороге может быть восстановлено через 1–4 часа.

*Выводы.* Битумно-эмульсионная технология Slurry Seal, более экологична, чем тонкое нанесение горячей смеси – она потребляет меньше ресурсов и выделяет меньше парниковых газов из двуокиси углерода. Технология экономически эффективна, обеспечивает высокую скорость выполнения работ, хорошую гидроизоляцию, обновляет слой износа, придает нужную степень шероховатости и обеспечивает минимальные сроки перерыва в движении транспортного потока.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М., Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
2. Чупров, Е.Е. Защитные слои износа автомобильных дорог / Е.Е. Чупров, С.А. Чудинов // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 114–117.
3. Васильев К.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Выбор способа устройства поперечного уклона проезжей части при ремонте автомобильной дороги. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы

всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 297–300.

4. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.

5. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41–50.

УДК 624.138.9

Н.А. Федосеев, С.В. Алексеев, Д.Л. Симонов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Цель работы* – определить возможность использования мобильных дорожных покрытий (далее МДП) при различных геолого-гидрологических условиях. Основные нефтяные месторождения Российской Федерации находятся в труднодоступной местности, удаленной от основных транспортных путей страны [1–3]. Результатом этого является необходимость устройства временных дорог, способных выдерживать нагрузки от тяжелой техники в сложных условиях. Так же МДП имеют потенциал использования в военных целях при совершении маршей по пересеченной местности. Немаловажным является и вопрос прокладки временных дорог при реконструкции и строительстве капитальных линейных сооружений.

На сегодняшний день на рынке инвентарных конструкций имеется альтернатива лежневым дорогам, сооружаемым с применением древесины или железобетонных плит – МДП, представляющее собой стекловолоконные плиты. Одним из плюсов МДП является положительная плавучесть и высокая погонная жесткость, что в перспективе позволяет проводить минимальный комплекс подготовки площадки перед укладкой (минимизируется или вообще исключается устройство песчаной подсыпки и т.д.). Соединение плит между собой осуществляется за счет замков-фиксаторов, расположенных по периметру конструкции (рис. 1).

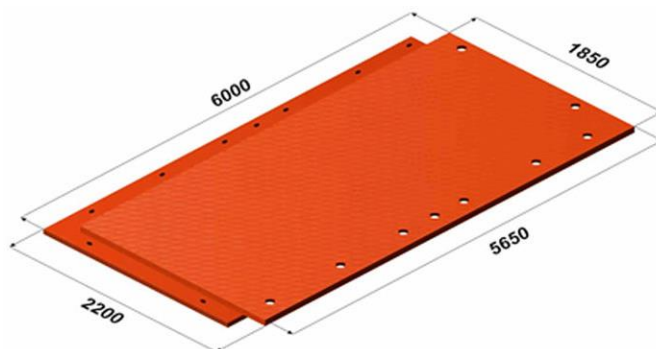


Рис. 1. Внешний вид и геометрические параметры панели МДП

В работе показаны расчет максимально допустимой нагрузки, приходящейся на МДП в зависимости от типа болота, на котором смонтирована конструкция. В ходе расчетов использование дренирующей прослойки не предусматривается. Производитель плит допускает укладку непосредственно на грунтовое основание. При расчетах была использована модель грунта Винклера, позволяющая точно спрогнозировать работу слабого основания. Конструкция покрытия рассмотрена в виде бесконечно длинной балки на упругом основании, что возможно из условия многократного превышения длины конструкции над ее шириной и,



как следствие, затуханием деформаций в пределах конструкции [4,5]. В виде нагрузки задана сосредоточенная сила. Влияние собственного веса плит мало и поэтому не учитывается. Полученный результат оформлен в виде графика, иллюстрирующего возможность применения МДП в зависимости между несущей способностью грунта и максимально допустимой массы проходящей техники. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Свойства грунтов		Характеристика МДП	
Коэффициент постели $k_0$ , кН/м <sup>3</sup>	3000	Длина $b$ , м	6
Несущая способность $P_n$ , кПа	100...14	Ширина $a$ , м	2,2
–	–	Погонная жесткость $i$ , кН·м	600

Максимально допустимая нагрузка на конструкцию определяется сравнением давления под подошвой МДП с несущей способностью основания. Давление под подошвой определяется реактивным отпором, действующим на плиты.

Расчетная модель – бесконечно длинная балка на упругом основании. Определение реактивного отпора проведено из зависимости:

$$q_r(x) = k_0 b v(x), \quad (1)$$

где  $v(x)$  – величина прогибов балки.

В целях повышения удобства записи расчетов введен параметр:

$$\xi = \lambda x, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – модуль деформации, характеризующий отношение жесткостей системы «балка-основание».

$$\lambda = \sqrt[4]{(kb)/(4iL)}, \quad (3)$$

где  $L$  – приведенная длина зоны изгиба конструкции под нагрузкой.

Нахождение  $L$  проведено с помощью тождества, выведенного эмпирическим путем:

$$0,5L = 1,5\pi/\lambda. \quad (4)$$

Определим  $\lambda$  из равенства (4) и подставим результат в равенство (3). В ходе решения полученного выражения определим значение  $L \approx 10,16$  м. Найдем модуль деформации подстановкой приведенной длины в равенство (3):

$$\lambda = 0,927 \text{ м}^{-1}.$$

Выразив зависимость величины прогибов от значений  $\xi$ , определим равенство:

$$v(\xi) = [P/(8iL\lambda^3)]e^{-\xi}[\sin\xi + \cos\xi], \quad (5)$$

где  $P$  – прикладываемая сосредоточенная нагрузка.

Решение равенства (5) при условии  $\xi = 0$  дает максимальное значение прогиба конструкции. Подстановкой определенного ранее значения  $v(\xi)$  в равенство (1) определим максимальное значение реактивного отпора основания.

$$Q_r(\xi) = k_0 b v(\xi). \quad (6)$$

Общая схема распределения усилий в основании приведена на рисунке 2.

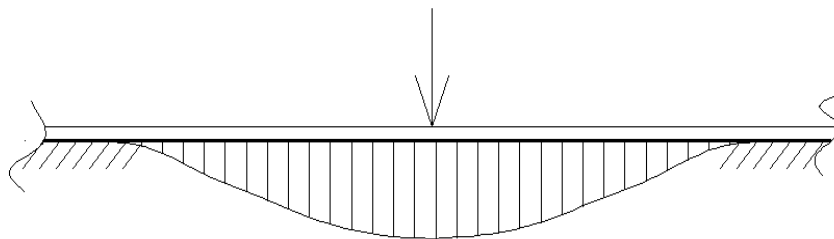


Рис. 1. Общая схема распределения усилий в основании

Результатом сравнения давления под подошвой собранной из плит конструкции и несущей способности грунтов болот различного типа является график зависимости между максимальной допустимой массой проходящей техники и несущей способностью основания (область возможности применения техники различной массы указана штриховкой на рис. 3). Возможность прохода техники по конструкции определяется неравенством:

$$Q_r(0) \leq P_n, \quad (7)$$

Из равенств (6) и (5) следует, что значение  $q_r(0)$  зависит от значения нагрузки  $P$ . В то же время  $P$  связана с массой равенством:

$$P = mg, \quad (8)$$

где  $m$  – масса;  $g$  – ускорение свободного падения.

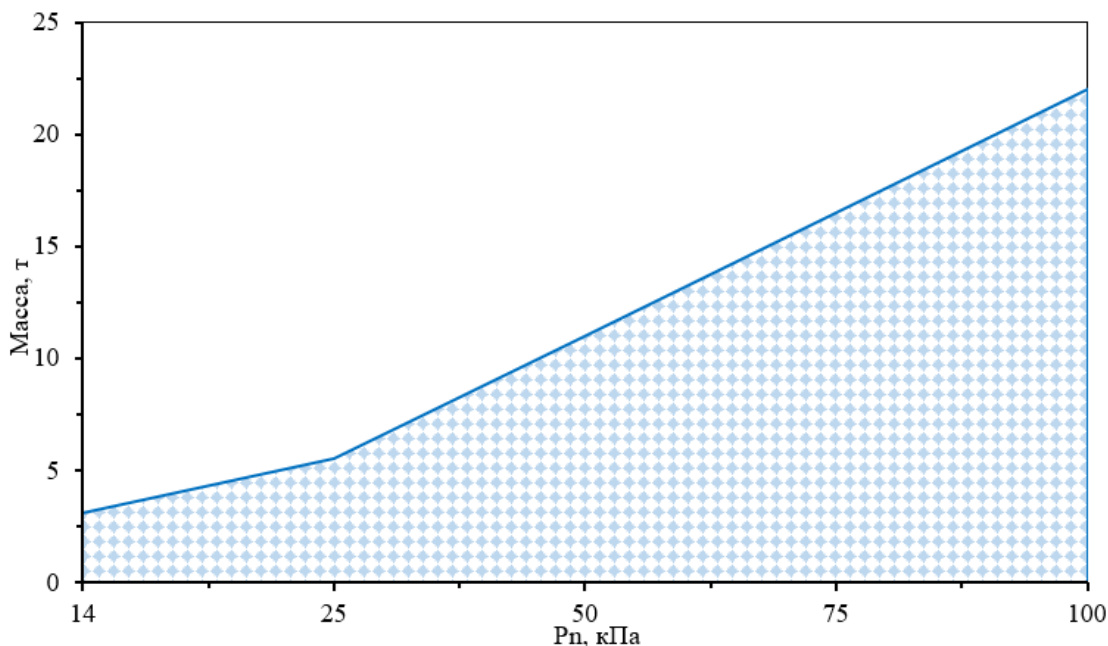


Рис. 2. Возможность использования техники различной массы в зависимости от несущей способности основания

Применение МДП из стекловолокна на болотах III типа ( $P_n = 14$  кПа) допустимо лишь при массе нагрузки не более 3 т. Таким образом применение МДП на болотах III типа для пропуска спецтехники невозможно.

1. Применение МДП на болотах II типа ( $P_n = 14 \div 50$  кПа) обеспечивает пропуск техники с массой не более 11 т;
2. Применение МДП на болотах I типа ( $P_n = 50 \div 100$  кПа) обеспечивает пропуск техники с массой не более 22 т;
3. Применение МДП без устройства, подстилающего дренирующего целесообразно на болотах I типа, применение МДП на болотах остальных типов эффективно при условии устройства слоя из дренирующего грунта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3. С. 35–44.
2. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.

3. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
4. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.
5. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. Justification of logistical approach application in road safety management. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018 С. 072001.

УДК 625.7/8

А.А. Асташков, Н.А. Ермошин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

*Аннотация:* предлагается методика определения периодичности контроля дорожно-строительных работ, основанная на применении графоаналитического подхода и методов анализа сетей.

Контроль процесса производства дорожно-строительных работ осуществляется через определенные промежутки времени с периодичностью, устанавливаемой на весь срок строительства транспортного сооружения. Эта периодичность для разных видов работ может быть неодинаковой: еженедельный, ежемесячный, ежеквартальный контроль.

В процессе строительного контроля, как правило, решаются следующие задачи: оценка реально достигнутого темпа строительства транспортного сооружения на момент осуществления контроля; определение отличий между реальным и плановым темпом выполнения работ, а также расхождения реальных и директивных показателей деятельности дорожно-строительной организации; оценка выявленного расхождения контролируемых показателей, его допустимости с позиций риска срыва плана производства работ; принятие решения, обеспечивающего достижения необходимого темпа строительства и достижения плановых показателей выполнения работ; непосредственное влияние на организацию работ в целях реализации принятого технологического решения [1–3].

В ходе контроля важно определить критическое время принятия решения, когда отклонение контролируемых показателей проекта производства работ превращается из допустимого в неприемлемое и возникает опасность срыва контрактов. Необходимо вовремя принять нужные меры по преодолению сложившейся ситуации.

Предлагаемая методика обоснования частоты контроля за ходом дорожно-строительных работ реализуется в 3 этапа и иллюстрируется рисунком 1.

На *первом этапе* анализируется график производства и выделяются работы критического пути.

На *втором этапе* для каждой работы критического пути (критической зоны) строится график, на котором отображаются математическое ожидание предстоящего хода работ и зона вероятных отклонений от него; зона вероятных отклонений ограничена линиями оптимистического хода работ и линией пессимистического хода работ (рис. 1).

На *третьем этапе* рассчитывается периодичность контроля за ходом строительства. Срок первого контроля назначается априорно. Последующий контроль рассчитывается графически. Идея расчета поясняется на рисунке 1.

Представленная на рис. 1 ситуация (6 точек, фиксирующих фактический темп выполненных работ) свидетельствуют о том, что работы велись с опережением плановых сроков, но с тенденцией снижения темпа работ, грозящей срывом установленных сроков ввода

объекта в эксплуатацию. Построенная по точкам фактического хода работ линия  $ab$  позволяет экстраполировать её на будущие периоды (линия  $bc$ ). Линия  $bc$  показывает, что возникла проблема несвоевременного завершения работ, т.к. точка  $c$  значительно выше расчётного срока завершения работ ( $T_p$ ). Более того, линия  $bc$  может рассматриваться как математическое ожидание перспективного хода работ, от которой возможно отклонение темпа строительства, как в большую, так и в меньшую сторону.

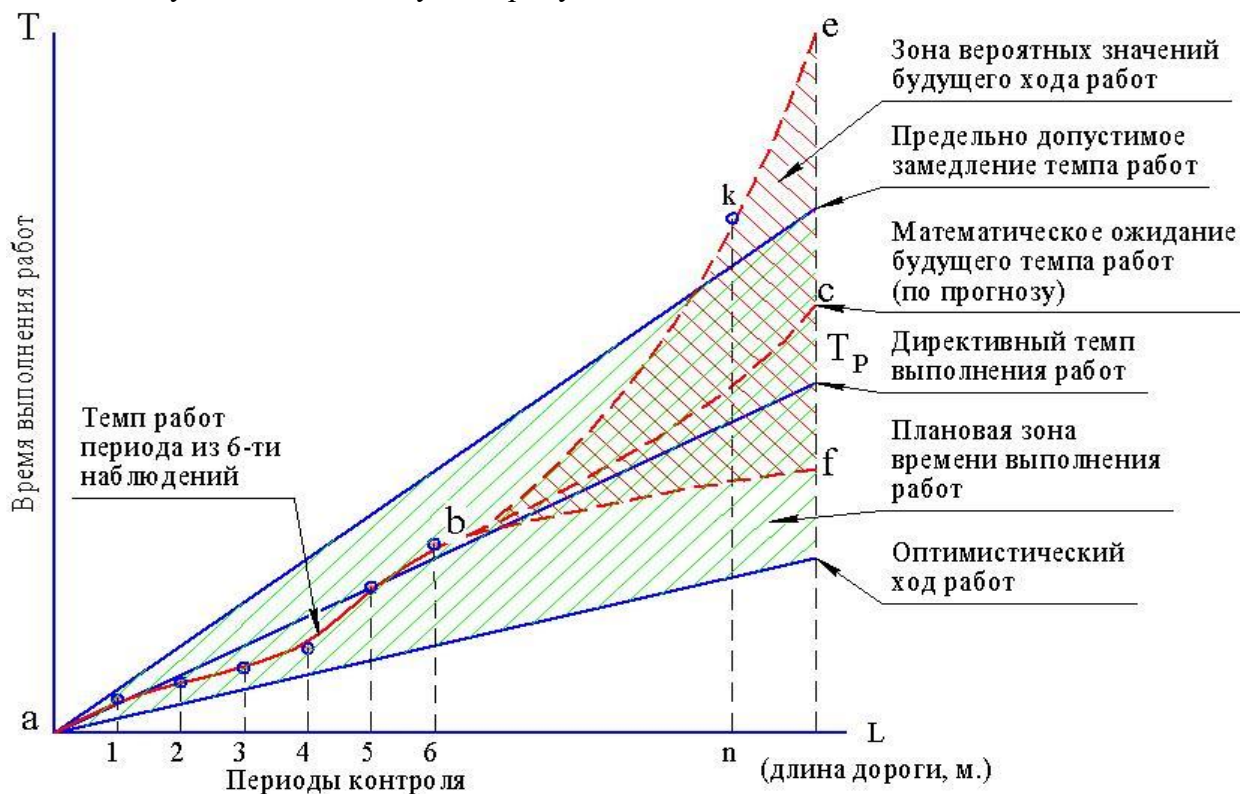


Рис. 1. График периодичности контроля дорожно-строительных работ

На основе изложенного вероятностного подхода может быть построена зона вероятностных значений хода работ, представленная на рисунке фигурой  $bef$ . Линия  $nk$  показывает пример последствий редкого контроля работ, т.е. при очередном контроле выяснилось, что сроки выполнения работ отстают на столько, что даже при оптимистическом темпе работ строительство не уложится в плановые сроки [4,5].

Таким образом, частота контроля должна обосновываться с учётом следующих принципов.

1. Частый контроль дает возможность избежать больших отклонений фактических значений критериев от директивных, но при этом требуется больше затрат на организацию контроля. Кроме того, частое вмешательство в производственный процесс ведет к подмене руководителями подчиненных, снижению их инициативы и самостоятельности.

2. Редкий контроль вызывает риск непредвиденных, отрицательных отклонений от плановых показателей, при которых исправить ситуацию окажется невозможным.

3. Контролировать все виды работ одновременно нецелесообразно. Следует чаще контролировать работы, ведущиеся с отставанием от плана и реже – работы, осуществляемые с опережением плана.

Сформулированные принципы периодичности строительного контроля позволят повысить его эффективность и реализовать цели управления инвестиционно-строительными проектами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мальцев Ю.А. Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений: учебник для студ. учреждений высш. проф образования / Ю.А. Мальцев.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
2. Котельников В.С., Луняков М.А., Четверик Н.П., Андриевский Р.А., Ананьев А.А., Корольков Д.О. Строительный контроль. Сборник документов. М.: ОАО НТЦ «Промышленная безопасность», 2010.
3. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов / Журнал Пермского национального исследовательского политехнического университета Транспорт. Транспортные сооружения. Экология – Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь).2018 – №3. С.35–44.
4. Васильев К.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Выбор способа устройства поперечного уклона проезжей части при ремонте автомобильной дороги. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 297–299.
5. Мальцев Ю.А. Основы научных исследований: учебник. М.: Балашиха, ВТУ, 2015, 313 с.

УДК 624.012

Д.А. Аверьянов<sup>1</sup>, Н.А. Ермошин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ АРМИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Аннотация:* в данной статье рассматривается методика, которая основывается на расчетах дорожных одежд по эквивалентному модулю деформации и позволят принять оптимальное конструктивное решение при восстановлении автомобильной дороги.

В целях сокращения сроков восстановления участков автомобильных дорог необходимо применять технические решения, обеспечивающие минимальный объем работ, связанных с транспортировкой грунта и дорожно-строительных материалов для устройства дорожных покрытий [1–3].

Решение этой задачи может быть достигнуто посредством армирования конструктивных слоев дорожного покрытия. Для армирования в практике дорожного строительства применяются различные типы георешеток. Однако для выбора варианта дорожной конструкции с учетом армирования необходимо выполнить соответствующие расчеты [4–6].

Имеющиеся методики расчета армированных дорожных конструкций предназначены для проектирования дорожных одежд капитального типа с применением специализированной техники и технологий, требующих специального оборудования. Для восстановления отдельных участков автомобильных дорог такие методики не разработаны.

Сущность предлагаемой методики заключается в применении для обоснования варианта конструкции дорожной одежды методов теории прочности нежестких дорожных одежд по предельным допустимым деформациям, возникающих в результате воздействия на них вертикальных повторных подвижных нагрузок. Расчет конструкций армированных дорожных одежд при восстановлении отдельных участков автомобильных дорог основывается на приведении фактических модулей деформации конструктивных слоев к эквивалентным с учетом усиления армированием. Изложенные принципы являются методологической основой разрабатываемой методики и позволяют перейти к представлению ее основных этапов, которые показаны на блок-схеме (рисунок 1). Толщины конструктивных слоев дорожной одежды на автомобильных дорогах определяются расчетами на деформируемость (по эквивалентному модулю деформации). Конструкции, армированные георешетками, должны быть рассчитаны дополнительно по величине относительных деформаций георешеток.

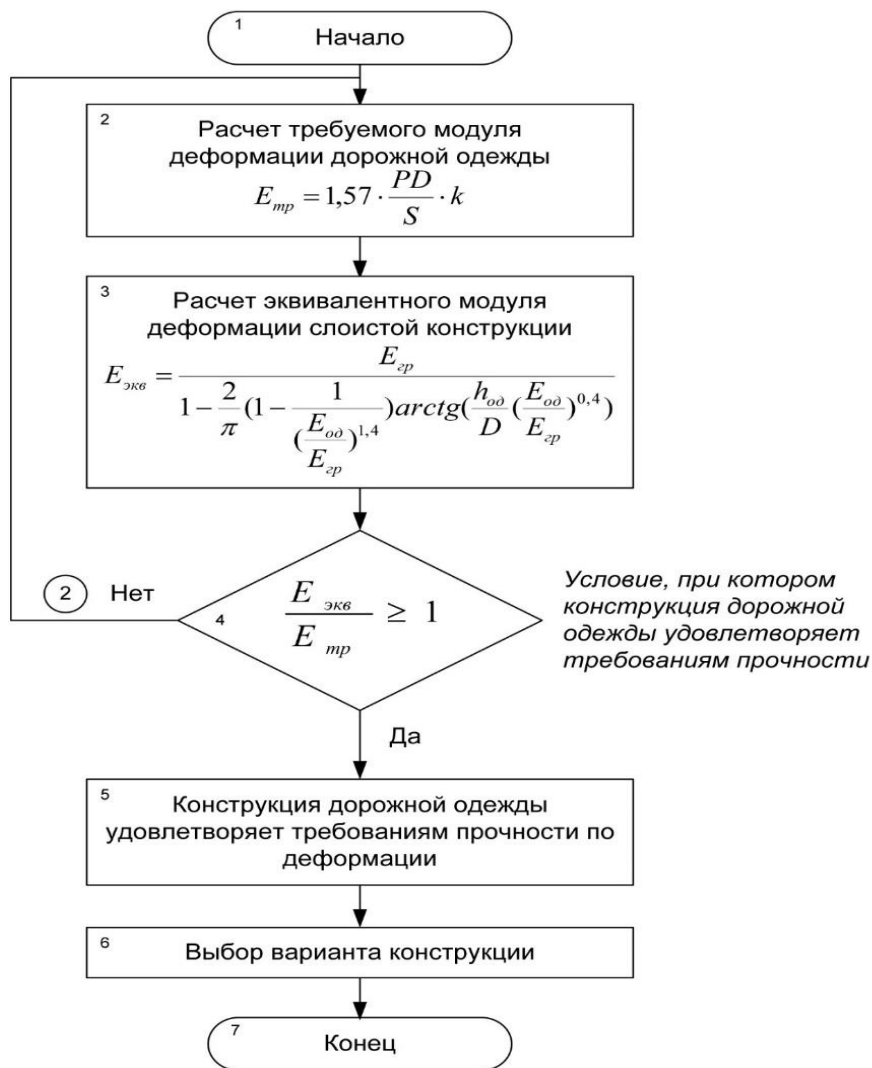


Рис. 1. Блок-схема методики расчета конструкций, армированных дорожных покрытий

Требуемый модуль деформации дорожной одежды определяется из условия, чтобы накапливающаяся под действием повторных нагрузок деформация одежды не превысила нормированную величину.

Независимо от результатов расчета требуемый эквивалентный модуль деформации дорожной одежды  $E_{mp}$  должен приниматься не менее 30 МПа.

Модуль деформации армированной системы (грунт + георешетка) определяется по зависимости:

$$E_{\text{гр. арм.}} = \alpha E_{\text{гр.}}, \quad (3)$$

где  $E_{\text{гр. арм.}}$  – эквивалентный модуль деформации армированной системы, МПа;  $E_{\text{гр.}}$  – модуль деформации грунта земляного полотна, МПа;  $\alpha$  – коэффициент упрочнения, характеризующий эффект армирования.

$$\alpha = K \cdot C_c, \quad (4)$$

где  $C_c$  – вертикальная составляющая продольной жесткости георешеток, кгс (Н):  $C_c = 1040000$  кгс для Tensar SS 20;  $C_c = 1560000$  кгс для Tensar SS 30;  $C_c = 2080000$  кгс для Tensar SS 40;  $K$  – тангенс угла между коэффициентом упрочнения  $\alpha$  и продольной жесткостью георешеток  $C_c$ , зависящий от модуля деформации грунта  $E_{\text{гр.}}$ . Величина  $K$  для рассматриваемых видов

георешеток будет равна: при  $E_{гр} = 8$  МПА –  $K = 1,20$ ; при  $E_{гр} = 10$  МПА –  $K = 0,96$ ; при  $E_{гр} = 12$  МПА –  $K = 0,80$ ; при  $E_{гр} = 15$  МПА –  $K = 0,65$ ; при  $E_{гр} = 20$  МПА –  $K = 0,58$ .

Таким образом, применение предлагаемой методики позволяет рассчитать вариант конструкции дорожной одежды с учетом ее армирования разными типами георешеток, а также наличие дорожно-строительных материалов с различными физико-механическими характеристиками, которые могут быть применены на данном участке автомобильной дороги.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ОДМ 218.3.032–2013. Методические рекомендации по усилению конструктивных элементов автомобильных дорог пространственными георешетками (геосотами). – М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 2015. – 54 с.
2. Справочник инженера-дорожника / Изыскания и проектирование автомобильных дорог / издание второе, переработанное и дополненное / Коллектив авторов по общ. ред. А.К. Бируля. – М: Транспорт, 1969 – 489–495
3. Алексеев С.В., Авагимян Р.Г. Армогрунтовые подпорные стенки в дорожном строительстве // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2019. С. 39–41.
4. Дмитриев И.И. Геосинтетические материалы в дорожном строительстве / И.И. Дмитриев // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2016. № 10(49). – С. 35–38;
5. Алексеев С.В., Трифонова А.А. Количественная оценка эффективности использования геосинтетических материалов для армирования земляного полотна автомобильной дороги. Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). С. 52–55.
6. Сеницына Е. Б., Васюткин Е. С., Лазарев Ю. Г., Мельник Я. В. Армирование дорожных одежд композитными георешетками / Е.Б.Сеницына, Е.С. Васюткин., Ю.Г. Лазарев., Я.В. Мельник // В сборнике: Композитные системы на объектах подземного и гражданского строительства. Сборник трудов Первой Международной научно-практической конференции. 2019. С. 196–208.
7. Глебов Н.В. Применение дорожно-пропиточных материалов для продления срока службы асфальтобетонного покрытия/ Глебов Н.В., Алексеев С.В, Трифонова А.А. // в сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 258–261.
8. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3.С. 35–44.
9. Симонов Д.Л., Алексеев С.В., Трепалин В.А. Обоснование критерия эффективности работы органов управления дорожных войск // Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 46–51.

УДК 692.115

А.А. Трифонова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Современные геосинтетические материалы применяются для армирования и улучшения эксплуатационных характеристик отдельных слоев дорожной одежды (Д.О.) автомобильной дороги (А.Д.), а также в качестве конструктивных (разделительных) слоев.

При использовании армирующих геосинтетических материалов важно учитывать закладываемые деформативные свойства слоев дорожной одежды, физико-механические свойства составляющих их материалов, а также свойства и конфигурацию геоматериалов. Качественная оценка возможности применения геоматериала позволит добиться таких результатов, как: увеличение прочности материалов слоев, повышение жесткости, устойчивости, избегание деформаций насыпи и откосов, потери дорогой эксплуатационных свойств [1, 2].

Основные армирующие геоматериалы: геополотна, геосетки, георешетки [2, 3].  
Современные материалы: армирующие фиброволокна.

*Цель статьи* – анализ возможного применения геоматериалов для армирования земляного полотна А.Д. путем оценки структурных свойств геоматериалов, деформативных свойств материалов дорожных одежд и совместной работы двух материалов в составе земляного полотна.

*Методы исследования.* В основе анализа материалов, составляющих слои дорожной одежды, принимаются требуемые деформативные и основные физико-механические свойства: сопротивляемость статическим нагрузкам, сопротивляемость трещинообразованию, износостойкость, основные эксплуатационные требования к автомобильным дорогам [4–6]. Геоматериалы оцениваются по структурной прочности, массе, конфигурации составляющих ячеек полотен, влиянию на изменение свойств грунтов слоев Д.О.

На рис. 1 представлено распределение конструктивных слоев дорожной одежды [2].

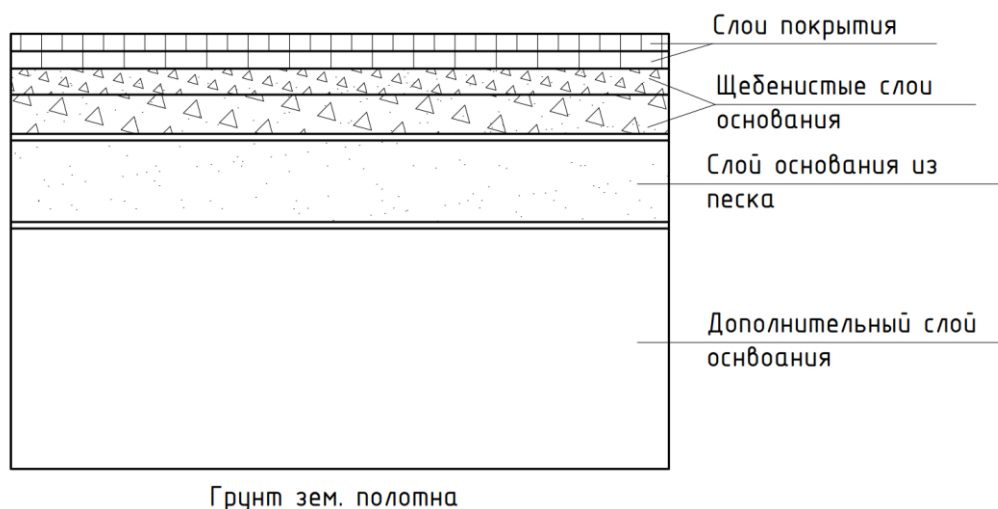



Рис. 1. Типовая конструкция дорожной одежды

*Результаты исследования.* В таблице 1 приведен анализ применения геосинтетических материалов в слоях дорожной одежды.

Таблица 1 – Анализ применение геосинтетических материалов в слоях дорожной одежды

Вид геосинтетического материала	Анализ применения материала
<p>1. Тканые геосинтетические полотна</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Геотекстильные материалы (тканые, нетканые полотна) могут применяться в качестве разделительных и влагопрерывающих слоев.</li> <li>2. Для армирования целесообразно использовать более прочные тканые геополотна.</li> <li>3. Материал является легким, пластичным, подвижным относительно прижимающих слоев грунта. Прочность на разрыв в продольном и поперечном направлении относительно мала.</li> <li>4. Материал целесообразно применять между смежными слоями в средних и верхних слоях основания, грунты для армирования – несвязные грунты, за исключением крупнообломочных [2, 3].</li> <li>5. Результат армирования: повышение сцепления слоев, увеличение прочности на сдвиг, предотвращение потери устойчивости насыпи и откосов.</li> </ol>



Вид геосинтетического материала	Анализ применения материала
<p>2. Геосетки, применяемые в слоях покрытия</p> 	<p>1. Материалы покрытия обладают высокими показателями прочности истиранию, статическим (сдвиг, растяжение при изгибе) и динамическим нагрузкам от автотранспорта.</p> <p>2. Армирование возможно на стыках слоев покрытия.</p> <p>3. Цели армирования: повышение прочности и жесткости слоев, предотвращение трещинообразования вблизи швов, предотвращение снижения общей прочности, развития колеиности.</p> <p>2. Материал, пригодный для армирования – стекловидные геосетки. Требуемые свойства: достаточная толщина материала, жесткость, высокая прочность на разрыв.</p>
<p>3. Геосетки, применяемые в слоях основания</p> 	<p>1. Для армирования грунтовых нижних, дополнительных слоев оснований из несвязных грунтов (за исключением крупнообломочных) целесообразно применять полимерные геосетки.</p> <p>2. Материал имеет высокую жесткость и разрывную прочность, но является более пластичным и подвижным в сравнении с жесткими стекловидными геосетками (п. 2).</p> <p>3. Возможно армирование связных грунтов при значениях числа пластичности <math>I_p \leq 17\%</math>, слабых грунтов при достаточной степени консолидации и достижении проектного коэффициента безопасности <math>K_{без} \sim 1</math>.</p> <p>4. Результат армирования: увеличение несущей способности грунта, повышение прочности на сдвиг, предотвращение деформаций насыпи.</p>
<p>4. Объемные георешетки</p> 	<p>1. Объемные георешетки: относительно тяжелый материал, высокая прочность, непластичная жесткая структура.</p> <p>2. Целесообразность применения – армирование нижних и подстилающих слоев основания, армирование слабых грунтов при устройстве «плавающей» насыпи.</p> <p>3. Результат армирования – увеличение прочности на сдвиг (малые поверхности сдвига за счет ограничения ячейками решетки), предотвращение сдвиговых деформаций, потери устойчивости насыпи и откосов.</p>
<p>5. Волокнистые фиброматериалы</p> 	<p>1. Материал пригоден для армирования связных грунтов в виде комьев для образования поверхностей сцепления; необходимо последующее уплотнение материала машинотехникой.</p> <p>2. Применение – нижние слои основания, подстилающий грунт.</p> <p>3. Результат армирования: повышение сдвиговой прочности грунта, предотвращение деформаций слабых грунтов при устройстве «плавающей» насыпи.</p>

На основе проведенного анализа свойств, армирующих геоматериалов, а также грунтов и материалов, составляющих слои дорожной одежды автомобильной дороги, сделаны выводы о возможности применения видов геоматериалов в определенных слоях дорожной одежды.

*Выводы* о применении геоматериалов. Тканые геополотна: армирование средних и верхних слоев основания, материал – несвязные грунты, за исключением крупнообломочных; геосетки из стекловолна: армирование покрытия А.Д., устройство между слоями покрытий; полимерные геосетки: нижние, дополнительные слои основания, грунты – несвязные, связные при значениях числа пластичности  $I_p \leq 17\%$ , консолидированные слабые грунты; объемные георешетки: нижние и подстилающие слои основания, слабые грунты основания; волокнистые фиброматериалы: армирование связных грунтов нижних слоев основания, подстилающих грунтов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ТР ТС 014/2011. Технический регламент таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог. КТС от 09.12.2011 № 877 ТР ТС 014/2011. Технический регламент таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог. КТС от 09.12.2011 № 877.
2. Алексеев С.В., Трифонова А.А. Количественная оценка эффективности использования геосинтетических материалов для армирования земляного полотна автомобильной дороги // Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). С. 52–55.
3. Алексеев С.В., Авагимян Р.Г. Армогрунтовые подпорные стенки в дорожном строительстве // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2019. С. 39–41.
4. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. Книга 1. Москва, 2009.
5. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.
6. Романович М.А., Талипова Л.В., Рошкванова А.И. Применение нейросетевого моделирования для различных целей градостроительства. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 360–362.

УДК 625.731.2

Г.П. Рейтер, О.Р. Бирюков, С.В. Алексеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Актуальность.* На автомобильных дорогах существуют серьезные проблемы, связанные с дефектами дорожной одежды, которые значительно влияют на безопасность движения автомобилей. Деформации и разрушения дорожной одежды в виде волн, просадок, проломов, пучинообразований и размывов в значительной степени зависят от прочности земляного полотна автомобильной дороги. Земляное полотно является основой любой дороги, и от того, как оно уложено и уплотнено, зависит качество и долговечность функционирования всей автомобильной дороги.

*Цель работы* – анализ технологии уплотнения земляного полотна и влияние коэффициента уплотнения на качество земляного полотна.

В технологии уплотнения земляного полотна используются катки и другое оборудование для сжатия строительных материалов земляного полотна с целью увеличения плотности структуры и повышения устойчивости. Для уплотнения грунтов применяют разнообразные машины, которые по способу действия на грунт можно разделить на три группы: вибрационные машины, ударные и трамбуемые, а также катки, уплотняющие грунт за несколько проходов по одному следу. Основная цель – снизить скорость просадки почвы, увеличить ее плотность и тем самым повысить прочность земляного полотна, а также дорожной одежды, что повлияет на удобство использования и безопасность дорог.

Необходимо учитывать, что уплотнять грунты следует при рациональном скоростном режиме работы катков. Первый и два последних прохода совершают на малых скоростях 2,0-2,5 км/ч, а все промежуточные – на высоких 5-10 км/ч. Значения толщины уплотняемого слоя в рыхлом состоянии и число проходов уплотняющих машин по одному следу варьируется в зависимости от уплотняющего средства и его массы.

Важность технологии уплотнения земляного полотна заключается в следующем:

1. Повышается прочность земляного полотна. Технология уплотнения грунтового основания предназначена для повышения плотности материалов за счет применения

профессионального оборудования, таким образом, объемная доля материалов земляного полотна используется для достижения цели повышения прочности.

2. Повышается устойчивость земляного полотна и дорожного покрытия. Применение технологии уплотнения помогает эффективно отводить воду, содержащуюся в почве, улучшать эффект связывания между частицами почвы, уменьшать образование пористости, обеспечивать общие структурные характеристики почвы и повышать устойчивость земляного полотна и дорожного покрытия.

3. Повышается ровность полотна и дорожного покрытия. Технология уплотнения строго контролирует количество и скорость прокатки во время фактического процесса строительства для того, чтобы было достаточно времени эффективно справиться с неровностями и тем самым обеспечить гладкость грунтового основания и дорожного покрытия.

4. Повышается безопасность и долговечность земляного полотна и дорожного покрытия. Технология уплотнения оказывает значительное влияние на повышение прочности конструкции и несущей способности земляного полотна и дорожного покрытия в целом, обеспечивая необходимое качество дороги, что приводит к увеличению её срока службы и снижению потенциальных опасностей при движении транспортных средств.

Данная технология позволяет увеличить коэффициент уплотнения грунта, что существенно уменьшает стоимость строительства. Так, например, при коэффициенте уплотнения 1,05 прочностные характеристики грунта земляного полотна и модуль его упругости повышаются на 30–50%, что приводит к уменьшению толщины дорожной одежды на 10–30% [1, 2].

Также стоит отметить, что одной из основных причин разрушения дорожных конструкций является недостаточная несущая способность грунтов земляного полотна и его основания. По данным профессора С.К. Илиополова, полученным по результатам исследований на автомобильных дорогах и приведенным на международной научно-практической конференции «Инновационные технологии: пути повышения межремонтных сроков службы автомобильных дорог» (МАДИ, 4 февраля 2016 г.), остаточные деформации в слоях покрытия составляют 30%, а в основании дорожной одежды и грунтах земляного полотна – оставшиеся 70%.

Следовательно, необходимо предъявить жесткие требования к модулю упругости на поверхности грунтов земляного полотна, который характеризует сопротивление грунта растяжению или сжатию. Зависимость влияния коэффициента уплотнения грунта на модуль его упругости [3], представлена на графике (рис. 1).

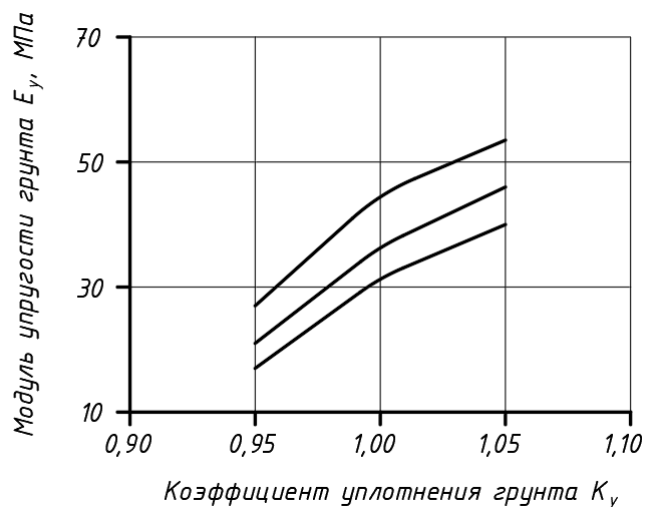


Рис. 1. Зависимость модуля упругости грунта земляного полотна от коэффициента его уплотнения

Однако, необходимо отметить, что достигнуть оптимального распределения уплотнения земляного полотна практически невозможно, что обуславливается плохими погодными условиями, свойствами грунтов или нарушением технологии работ [4, 5].

Следовательно, достигнуть постоянного значения коэффициента уплотнения 1,05 в реальных условиях очень трудно. Зачастую график распределения значений коэффициентов уплотнения будет выглядеть как на рис. 2, на котором отчетливо видно большой разброс значений коэффициента уплотнения.

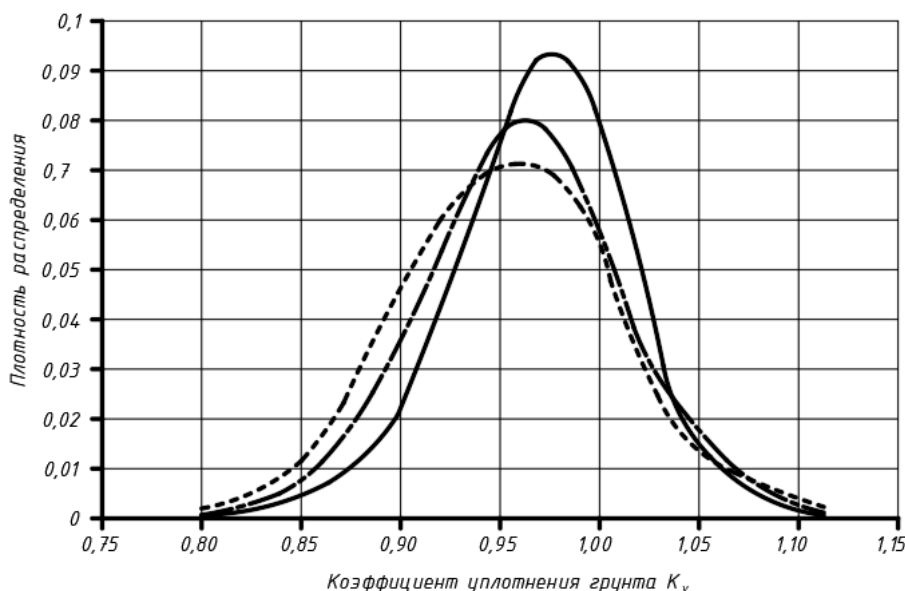


Рис. 2. Плотность распределения значений коэффициента уплотнения грунта

Кроме того, необходимо учитывать, что значение модуля упругости различных видов грунтов при определенном коэффициенте уплотнения будет значительно варьироваться по величине (табл. 1).

Таблица 1 – Значение модуля упругости  $E$  (МПа) от коэффициента уплотнения для различных грунтов

Вид грунта	Коэффициент уплотнения					
	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05
Глинистые	4	7	13	27	46	52
Крупнообломочные (щебень фракции 10–20 мм)	28	53	91	138	204	283
Песчаные (песок крупный)	33	50	72	98	130	167

Таким образом, можно сделать вывод, что процесс уплотнения земляного полотна является важной и неотъемлемой частью строительства автомобильной дороги, который обеспечивает надёжность и долговечность конструкции посредством повышения прочности, устойчивости и ровности полотна. В свою очередь, при рассмотрении влияния коэффициента уплотнения, становится ясно, что при его увеличении растёт и модуль упругости, что позволяет сокращать затраты на материалы, но в то же время достичь оптимального показателя трудно в связи с различными осложняющими факторами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Жустарев, Е.В. Некоторые результаты экспериментальных исследований влияния плотности грунта земляного полотна автомобильных дорог в процессе накопления остаточных деформаций / Е.В. Жустарев // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр. / МАДИ-ТУ. – М., 1998. – С. 48–49.

2. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Стройков В.А. Новые технологии и материалы в интересах материально-технического обеспечения войск (сил). Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 140–143.
3. Влияние степени уплотнения грунтов на величину их модуля упругости Афиногенов О.П., Афиногенов А.О., Серякова А.А. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 3 (103). С. 110–114.
4. Анализ результатов уплотнения глинистых грунтов в насыпях автомобильных дорог Афиногенов А.О. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 3 (24). С. 143–150.
5. Кузнецова О.А., Ермошин Н.А., Царева О.С., Бирюков О.Р. Концептуальный подход к определению оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 302–305.

УДК 625.731.1

Е.Д. Коробова, С.В. Алексеев, С.М. Шевченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМПФЕРОВ В МОСТОСТРОЕНИИ

В статье представлен анализ современных композитных материалов с демпфирующими свойствами. С движением технического прогресса возрастают требования к новейшим материалам, противостоящим передачи энергии к несущим конструкциям, у которых будут выше технические и эксплуатационные показатели. Данная статья дает сопоставление современным материалам, указывая на их преимущества и недостатки. Рассмотрены три метода использования демпферов: применение жидкостных вязкостных демпферов, блокирующих устройств и настроенных массовых демпферов.

Данные принципы применяются в мостостроении уже во многих странах. Создаются разные конструкции настилов как на пешеходных мостах, так и на автодорожных.

*Цель работы* – изучить и описать применение материалов с демпфирующими свойствами в мостостроении.

Сегодня это обычная практика, когда инженеры-строители не проектируют свои конструкции таким образом, чтобы они оставались полностью эластичными во время сейсмического воздействия, как это было в прошлом. Вместо этого они позволяют конструкциям подвергаться пластическому шарниру (повреждению) в определенных областях, которые тщательно детализированы для этой конкретной причины. Рассеивание энергии достигается за счет гистерезисного демпфирования на этих пластмассовых шарнирах. Эта концепция пластичной конструкции в целом ведет к более экономичным конструкциям при условии сохранения определенного уровня безопасности. Независимо от того, идет ли речь о снижении энергии ветра или сейсмической энергии, существуют различные решения для рассеивания энергии для создания более безопасных и более экономичных конструкций в долгосрочной перспективе.

### 1. Использование жидкостных вязкостных демпферов.

Демпфирующая система прямого действия – это интеграция жидких вязких демпферов в конструкцию здания, чтобы помочь поглощать энергию, вызванную ветром, сейсмическими событиями или пешеходной активностью. Амортизаторы буквально рассредоточены или «распределены» по всей конструкции, чтобы улавливать энергию движения каркаса конструкции. Этот тип системы наиболее распространен в зданиях низкой и средней этажности, а также в длинно-пролётных мостах [1, 2].

Подобно системам, используемым в зданиях, демпфирование прямого действия может использоваться в мостах для поглощения энергии ветра, сейсмических волн и импульсов от

ходьбы пешеходов. Жидкие вязкостные демпферы устанавливаются для обеспечения демпфирования системы и, как следствие, снижения требований к силе и перемещению. Снижение или даже устранение структурных повреждений, а также потерь трафика может быть достигнуто после сейсмического события или иного интенсивного воздействия, что дает существенные экономические выгоды.



Рис. 1. Жидкостной вязкий демпфер

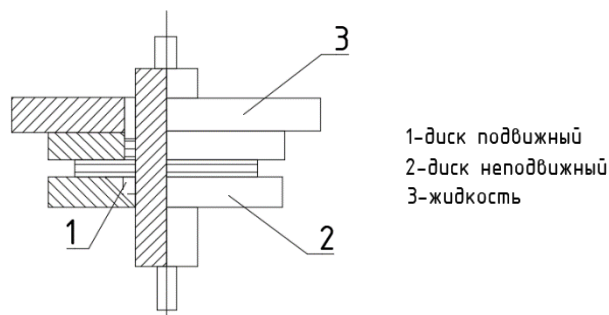


Рис. 2. Настроенные массовые демпферы на мосту Миллениум, Лондон

Когда дело доходит до мостов, которые подвергаются воздействию сейсмических, ветровых или транспортных воздействий, инженеры должны решить, как уменьшить или устранить поперечное смещение и обратную связь.

Одним из возможных решений является изменение частоты или периода путем усиления моста с помощью дополнительных распорок или опор. Однако при переходе по этому маршруту может потребоваться значительное количество структурных изменений, что приведет к увеличению веса моста и значительным затратам. Кроме того, это также может повлиять на уникальную архитектуру моста.

Также есть другой путь решения проблемы – интегрировать в конструкцию моста демпфирующие устройства прямого действия. Это позволит уменьшить отклик резонанса до минимальных значений. Данный способ позволит увеличить демпфирование в обычном случае на 0,5–1%, и до 20% в критическом диапазоне демпфирования. Вязкостные демпферы обладают уникальной способностью одновременно снижать как напряжение, так и деформацию конструкции, подверженной переходным колебаниям. Это связано с тем, что гидравлический вязкий демпфер изменяет свою силу только в зависимости от скорости, что обеспечивает реакцию, которая по своей природе не совпадает по фазе с напряжениями из-за изгиба конструкции [3].

## 2. Блокирующие устройства.

Устройства блокировки используются для ограничения относительного движения между массами во время динамического события, обеспечивая при этом свободное движение в режиме нормального теплового движения. Эти устройства действуют аналогично тому, как ремни безопасности могут выдвигаться и втягиваться при медленном перемещении, но блокируются при резком движении. Компании используют эти устройства для ограничения относительного движения секций автомобильных мостов при различных типах переходных движений, обычно сейсмических по происхождению [4, 5].

Устройства блокировки (LUD) являются компонентом той же общей технологической базы гидравлических демпферов, но в отличие от гидравлических демпферов, LUD не рассеивают энергию. Скорее, LUD эффективно действует как динамическая скоба, буквально «сцепляя» несколько масс вместе при сейсмических или ветровых переходных процессах. При оснащении блокирующими устройствами структура из нескольких масс, по существу, действует как единая монолитная масса, когда происходит переходное событие.

Конструкции запорных устройств чрезвычайно просты, а доступные размеры варьируются от 1 до 2000 тонн силы, а рабочий объем может достигать плюс-минус 60 дюймов.

Существующие устройства блокировки включают в мосты всех типов. В области строительства эти устройства стали широко использоваться для ограничения движения мостов, расположенных в восточной и центральной частях США, особенно в районах, классифицированных как сейсмические зоны 1–3. Многие из этих мостов также должны выдерживать ветровые нагрузки от ураганов и / или торнадо, а также нагрузки от торможения грузовиков или поездов, когда движение моста должно быть ограничено в течение длительного периода в несколько часов [5–7].

Базирование изолированные конструкции в зонах с высокой сейсмичностью и стационарные базовые здания, подверженные ветровым штормам или низкоуровневым сейсмическим переходным процессам. Здания, расположенные близко друг к другу и подверженные «ударам», которые могут возникнуть в любой зоне сейсмического или ветрового риска, могут выиграть от LUD.

Наконец, третьей важной областью применения является использование LUD между отдельными секциями конструкции, что позволяет распределять нагрузки между отдельными массами во время переходного процесса.

### 3. Настроенные массовые демпферы.

Подобно системам, используемым в высотных зданиях, настроенные демпферы массы (TMD) для мостов будут резонировать в противофазе с мостом, создавая противодействующую форсирующую функцию, поэтому энергия может рассеиваться демпферами, и тем самым улучшается динамический отклик моста. Единственное отличие состоит в том, что эти TMD построены в гораздо меньшем масштабе, для гораздо меньших входных данных – обычно это события, синхронизированные с пешеходами.

Выводы: Оптимальная конструкция композитных конструкций из различных материалов с целью уменьшения амплитуды колебаний при динамических нагрузках для повышенной производительности рассматривается через демпфирование, которое может быть оптимизировано для различных структурных параметров и условий. Частотный отклик комбинированной колебательной системы такой, как мостовое сооружение, зависит от динамических свойств объекта, а амплитуда вибрации будет зависеть от относительной жесткости и массы конструкции. Для корректного выбора демпфирования моста необходимо иметь структурные и жесткостные характеристики сооружения. Задача расчета демпфирования связанной системы – нетривиальный процесс, особенно когда компоненты в системе имеют большие разнородные характеристики демпфирования, и преобладает разная степень рассеивания энергии механизмов. Результатом данной статьи является сравнение разных типов и структурных систем с разным способом работы, спецификой, преимуществами и недостатками демпфирующих устройств.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. König, P., Salcher, P., Adam, C., Hirzinger B. Dynamic analysis of railway bridges exposed to high-speed trains considering the vehicle-track-bridge-soil interaction // *Acta Mechanica*. 2021. (23). С. 4583–4608.
2. Gong M., Li Y., Shen R., Wei X. Glass Suspension Footbridge: Human-Induced Vibration, Serviceability Evaluation, and Vibration Mitigation // *Journal of Bridge Engineering*. 2021. (11). С. 26–37.
3. Островская Н.В. Метод расчета и оптимизации параметров пластических демпферов в системах сейсмоизоляции // автореферат дис. ... кандидата технических наук / С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. Санкт-Петербург, 2016. (15). С. 1–15.
4. Огурцов Г.Л., Аверченко Г.А. Композитный материал в мостостроении – путь к совершенству // *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития. материалы международной научно-практической конференции*. 2020. (3). С. 353–355.

5. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний // Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. 2021. (2). С. 29–31.
6. Talipova L., Kosyakov E., Romanovich M., Lunyakov M. Change of the functional purpose of the object through urbanistic analysis. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2018. С. 02011.
7. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной НПК. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.

УДК 657 312:625

Н.А. Федосеев, А.А. Симонов, С.В. Алексеев, С.М. Шевченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Цель статьи* – определение условий, при которых экономически целесообразно применение мобильных дорожных покрытий (далее по тексту МДП). МДП, в большинстве своем представленные стекловолоконными плитами, могут быть использованы в качестве временных дорог [1–3]. Актуальность отказа от традиционных лежневых дорог в пользу МДП доказывается ограниченностью лесного фонда России и возможной необходимостью трелевки древесины к месту укладки на расстояния, заметно превышающие рациональную дальность возки (особенно в болотистой местности). Все указанные факторы ведут к удорожанию строительного процесса и вероятному увеличению его продолжительности [4–6].

Для проведения анализа выбраны следующие условия: работы проводятся в Республике Карелия в одну смену; протяженность участка строительства 1 км; ширина проезжей части лежневой дороги – 4 м; расстояние трелевки древесины – 300 м; средняя высота части дерева, пригодной для строительного-монтажных работ – 6 м; стоимость плиты, полученная по запросу от производителя – от 140 тыс. руб.; плечо подвоза плит – 31 км (доставка со склада в Петрозаводске). При расчете трудозатрат на возведение лежневого покрытия использованы ГЭСН, сборники 1 и 27. Государственных элементных сметных норм, предусматривающих укладку МДП, нет. Расчет трудозатрат на устройство покрытия из плит основан на технологической схеме, предлагаемой предприятием «СТЕКЛЮНиТ» (рис.1).

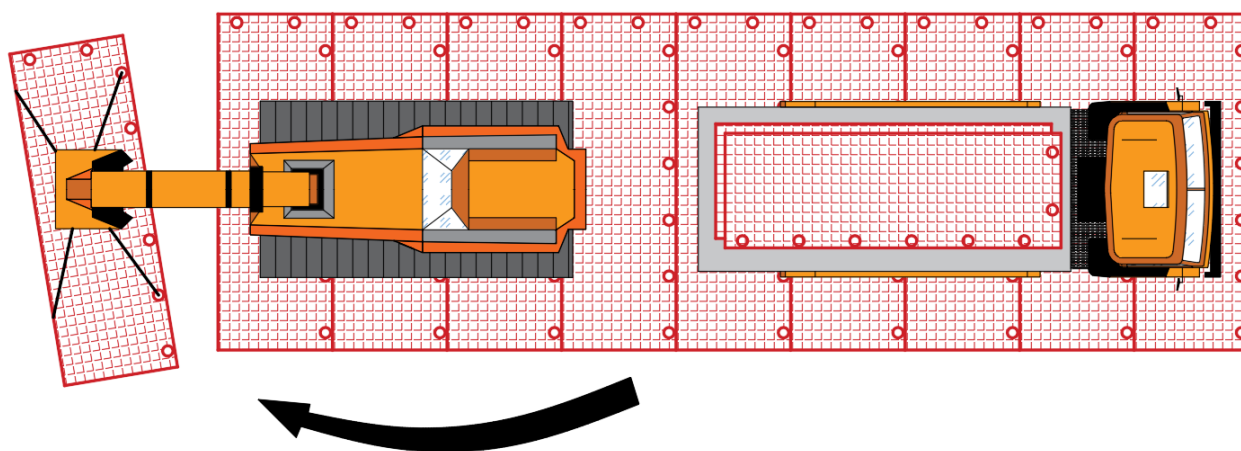


Рис. 1. Технологическая схема операции по укладке плит



Время укладки одной плиты с учетом ее строповки занимает 7 минут при условии производства монтажных работ «с колес» с применением экскаватора.

Потребное количество плит для перекрытия участка длиной 1 км найдено по формуле:

$$n = L/b,$$

где  $L$  – протяженность участка, м;  $b$  – ширина плиты, м.

$$n = 1000/2,2 = 455.$$

Время укладки тогда составит:

$$0,12 \cdot 455 = 54,6 \text{ ч.}$$

Техническим регламентом на продукцию предусмотрена бригада из 4 человек – двое стропуют плиты и двое – укладывают. Таким образом трудозатраты рабочих равны 218,4 чел.-ч. Время работы техники составляет 54,6 маш.-ч. для экскаватора и столько же для бортового автомобиля.

Расчетом учтена доставка мобильных дорожных покрытий со склада производителя. Для калькуляции затрат на транспортировку использована расценка ФССЦ 03-01-02-031, применительная к стекловолоконным плитам. Расценка измеряется в рублях за одну тонну перевезенного груза. Масса одной плиты составляет 720 кг. Общие затраты на перевозку равны:

$$0,72 \cdot 455 \cdot 386,95 = 126675 \text{ руб.}$$

При расчете основных затрат на устройство лежневого покрытия необходимо определить количество используемых деревьев. Исходя из общей потребной кубатуры древесины ( $1040 \text{ м}^3$ ) и основных геометрических параметров деревьев вычислим их среднее количество – 1380 шт.

Затраты в стоимостном выражении вычислены ресурсным методом с использованием текущих расценок для региона строительства на 4 квартал 2021 г. Расчеты проведены в программном комплексе Гранд-Смета, локальные сметы в статье не приводятся ввиду большого объема.

Общий итог по каждой смете: на устройство 1 км лежневых дорог требуется 17 727 595 руб.; на устройство 1 км из МДП при условии закупки плит требуется 64 522 512 руб.; на устройство 1 км из МДП при условии наличия плит требуется 822 512 руб.

Для удобства интерпретации представим полученные результаты в графическом виде (рис. 2). Вторым представлением результатов является сопоставление трудозатрат (рис. 3).

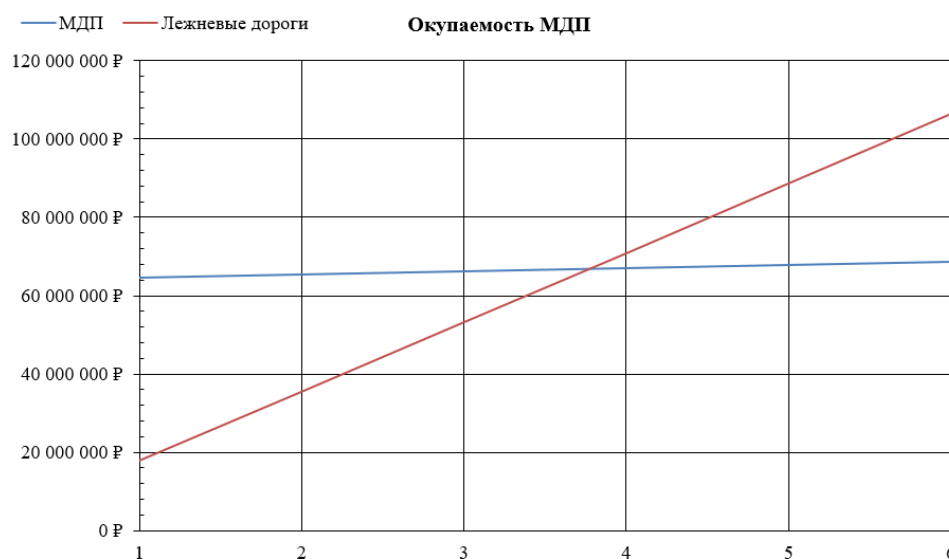


Рис. 2. Зависимость затрат от количества циклов

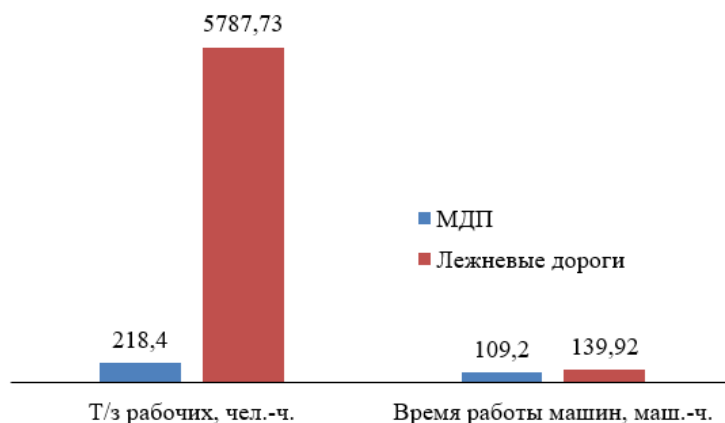


Рис. 3. Сравнительный анализ трудоемкости процессов

В качестве координат для построения графика в горизонтальном направлении используем количество циклов применения технологии, а в вертикальном – денежные затраты на производство работ.

*Выводы:*

1. Мобильные дорожные покрытия окупаются на четвертый цикл использования.
2. Трудозатраты на монтаж МДП на порядок ниже трудозатрат на устройство традиционных лежневых покрытий.
3. Применение МДП носит наибольший смысл при невозможности развернуть широкий фронт работ, так как для монтажа необходима бригада всего из 4 человек и 1 единица техники, не учитывая ТС, доставляющие плиты.
4. В первую очередь внедрение МДП будет эффективно для организаций, имеющих постоянную нужду в устройстве временных покрытий на сравнительно небольшую протяженность на малые сроки – данный фактор влияет на оборачиваемость инвентаря. Рост оборачиваемости ускорит окупаемость плит за счет быстрого достижения 4-го цикла использования.
5. Основным минусом МДП является необходимость единовременного вложения больших денежных средства, что заметно сказывается на возможностях организации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
2. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Bristol, United Kingdom, Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021.
3. Технологический регламент на применение плит МДП-МОБИСТЕК, 2012.
4. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
5. Романович М.А., Талипова Л.В., Рошкванова А.И. Применение нейросетевого моделирования для различных целей градостроительства. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 360–362.
6. Ермошин Н.А., Змеева А.А. Комплексный подход к определению сроков разработки и повышению качества проектов транспортных сооружений. ВА МТО. 2019. с. 179–184

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА ДЛЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Цель работы* – определение толщины защитного слоя бетона для стальной и композитной арматуры и сравнение коэффициента адгезии для обоих параметров.

При изучении композитной арматуры и сравнении её с металлической, можно выявить важное преимущество: композитная арматура относится к материалам, неподверженным коррозии – материалам первой группы химической стойкости.

Под коррозией металлов понимается процесс их разрушения, вызванный химическим или электрохимическим воздействием агрессивной среды.

Защитный слой бетона предотвращает доступ к арматуре влаги, кислорода, воздуха или кислотообразующих газов, однако с увеличением пористости бетона и разрушений под действием агрессивных сред, его защитные свойства резко снижаются.

Был проведен расчёт защитного слоя композитной арматуры в бетонных конструкциях искусственных сооружений и сравнены коэффициенты адгезии композитной и стальной арматуры к бетону, которые в итоге влияют на прочность и долговечность строительных конструкций. В качестве основной задачи было выбрано определение толщины защитного слоя композитной арматуры в несущих конструкциях искусственных сооружений.

Ранее производителями уже проводились испытания на вырыв из бетонных образцов кубов полимерной композитной арматуры [1, 2]. Было выявлено, что сцепление полимерной композитной арматуры с бетоном обеспечивается за счет адгезии цементного камня с эпоксидным покрытием, а не механическим зацеплением витков в бетонной матрице, в отличие от профилированной металлической арматуры, а адгезия бетона к эпоксидному покрытию превосходит когезионную прочность бетона. Таким образом, гипотеза исследования состояла в следующем: минимально допустимая толщина защитного слоя бетона ограничена лишь достаточной силой сцепления полимерной композитной арматуры с бетоном, а точнее её адгезией.

В предыдущих экспериментальных исследованиях [3–5] применялся метод выдергивания стержней композитной арматуры из середины бетонных образцов, что не позволяло выявить оптимальную толщину защитного слоя бетона. Поэтому было принято решение применить метод отрыва со скалыванием (рис.1).

В качестве материала образцов был выбран бетон класса прочности на сжатие В25 в соответствии ГОСТ 26633-2015. В качестве рабочей арматуры выбрана композитная стеклопластиковая арматура периодического профиля с диаметром поперечного сечения 12 мм., по показателям прочности соответствующая металлической арматуре диаметром 16 мм.

Стандартной схемой испытания методом отрыва со скалыванием, представленной на рис. 1, предусмотрено применение анкерных устройств типа ОНИКС-1 в соответствии с ГОСТ 17624 Приложения Б, В и ГОСТ 22690 Приложения Е, Ж. Исходя из расстояния между опорами прибора ОНИКС-1.ОС.100 в качестве образцов были выбраны кубы с номинальными размерами (длинами ребер) 250×250×250 мм. Образцы представлены на рисунке 2.

Метод испытания состоит в просверливании отверстия в образце бетона между параллельно уложенными стержнями композитной арматуры с заданной толщиной защитного слоя, дальнейшем закреплении в этом отверстии специального анкера и последующего отрыва этого анкера из бетона специальным прибором с оголением стержней композитной арматуры и замером усилия вырыва анкера.

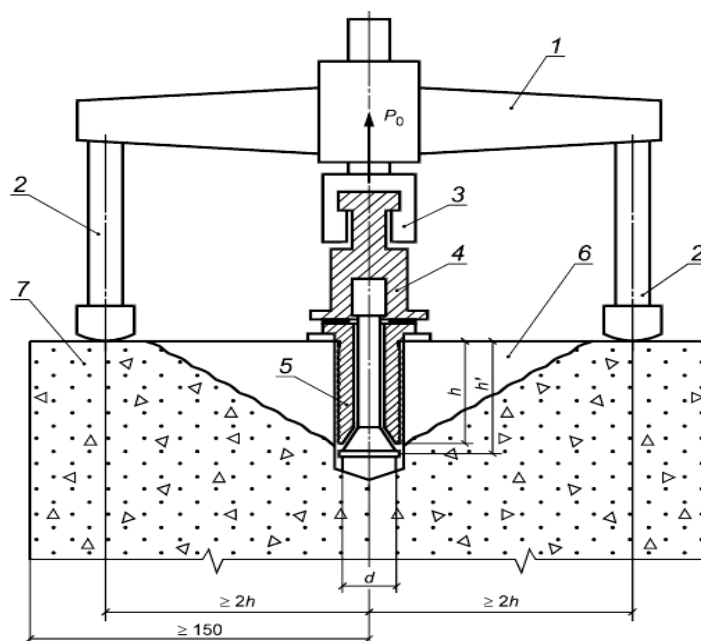


Рис. 1. Схема прибора



Рис. 2. Готовые образцы-куб бетона с армированием композитной арматурой с защитным слоем бетона 50 мм после проведения испытания

При варьировании толщины защитного слоя с замерами усилий вырыва анкера и сравнении этих значений с эталонными была выявлена оптимальная требуемая толщина защитного слоя. При недостаточной толщине защитного слоя бетона (менее 30 мм.) происходило оголение стержней композитной арматуры, что свидетельствовало о недостаточной толщине защитного слоя бетона. Данный факт указывает на приоритетную роль сцепления бетона с поверхностью эпоксидного полимера.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Караваев И.В., Румянцев В.Е., Коновалова В.С. Влияние вида анкеровки на адгезию композитной арматуры к бетону. Научная статья. ИГПУ, 2017 г. 115–117 с.
2. Алексеев С.В., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Выявление наиболее надежных конструкций деформационных швов. Путевой навигатор. 2021. № 46 (72). С. 36–43.
3. Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Трифонова А.А., Аверченко Г.А. Сравнение характеристик композитных материалов, применяемых в опорах мостовых сооружений. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 237–239.
4. Кузнецова О.А., Ермошин Н.А., Царева О.С., Бирюков О.Р. Концептуальный подход к определению

оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 302–305.

5. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний. В сборнике: Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 29–31.

6. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Стройков В.А. Новые технологии и материалы в интересах материально-технического обеспечения войск (сил). Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 3 (7). С. 140–143.

7. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.

8. Романович М.А., Талипова Л.В., Рошкванова А.И. Применение нейросетевого моделирования для различных целей градостроительства. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. 2018. С. 360–362.

УДК 625.7

Н.А. Ермошин<sup>1</sup>, И.В. Ковтун<sup>2</sup>, О.Р. Бирюков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>ФКУ «Управление автомобильной магистрали Москва-Нижний Новгород»

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ РИСКОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В последнее время в государственных решениях и программных документах, а также на форумах и конференциях по развитию дорожной инфраструктуры государства постоянно говорится о том, что внедрение инновационных технологий и дорожно-строительных материалов является неременным условием повышения качества, надежности и безопасности автомобильных дорог.

В дорожном строительстве инновационные решения, применяемые в проектах, позволяют получать не только более высокое качество строительства, но и больший эффект (доход) при меньших затратах на эксплуатационной стадии жизненного цикла проекта (ремонт и содержание автомобильных дорог) [1–3].

Вместе с тем внедрение инноваций в дорожной деятельности осуществляется низкими темпами. Существенным препятствием для решения этой задачи является отсутствие нормативно-методического обеспечения технико-экономического обоснования внедрения инновационных решений. Поэтому получается, что объем работы по обоснованию применения инновации в проекте иногда можно сравнить с объемом работ по разработке самого проекта. Еще одной причиной отказа от внедрения инноваций в проект является проблема определения стоимости их применения (отсутствие расценок) [4, 5].

Более того, зачастую решения по поводу целесообразности инвестиций и инноваций в дорожном строительстве имеют стратегический характер.

Во-первых, любая инвестиция по применению инновационных технологий и материалов в дорожном строительстве требует концентрации крупного объема денежных средств.

Во-вторых, инвестиции и инновации в дорожном строительстве не позволяют получить мгновенный доход из-за длительных сроков окупаемости. Возникает эффект замораживания (иммобилизации) капитала, появляются риски внедрения инноваций.

В-третьих, в подавляющем большинстве случаев инвестирование инноваций в дорожном строительстве требует привлечения заемных средств. Поэтому необходимо обоснование структуры источников заимствования, оценка стоимости заемного капитала, а также

объяснение доводов, обеспечивающих привлечение потенциальных инвесторов на принципах частных инвестиций и государственно-частного партнерства. Требуется обеспечение согласованных действий (государство, дорожно-строительный бизнес, производство дорожно-строительных материалов, дорожное машиностроение, образование и др.) при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог и городских улиц [2].

Указанные обстоятельства требуют совершенствования методических основ и разработки научно-обоснованных рекомендаций по управлению инновационными рисками в целях повышения надежности технико-экономического обоснования дорожных проектов. При этом для оценки инновационных рисков должны быть обоснованы показатели и критерии инвестиционной деятельности с учетом нестабильности экономики, экономических санкций, изменчивости политико-правой среды, динамики стоимости строительных материалов, машин, оборудования и механизмов. К этому следует добавить, что внедрение новых материалов и технологических новаций в дорожном строительстве связано с рисками ущерба от недолговечности работы дорожных и мостовых конструкций. Необходима разработка методики технико-экономического обоснования строительных проектов с учетом инвестиционных и инновационных рисков.

Для оценки уровня риска инновационной технологии или новых материалов предлагается использовать подход, основанный на оценке вклада технологической или продуктовой новации в сумму денежных потоков (налоговых поступлений) от реализации проекта за период эксплуатации дорожного сооружения или участка дороги [6–8].

Этот риск оценивается степенью неопределенности ожидаемых денежных потоков от введенного в эксплуатацию дорожного сооружения. При этом факторами, определяющими риск недостижения запроектированных параметров новых материалов, технических решений или технологических процессов в дорожном строительстве являются увеличение затрат на исследования и разработки, подбор персонала, нахождение доступа к закупкам необходимого оборудования, а также объектов и прав интеллектуальной собственности и пр.

Для оценки инновационного риска следует воспользоваться моделью, показанной на рис. 1.

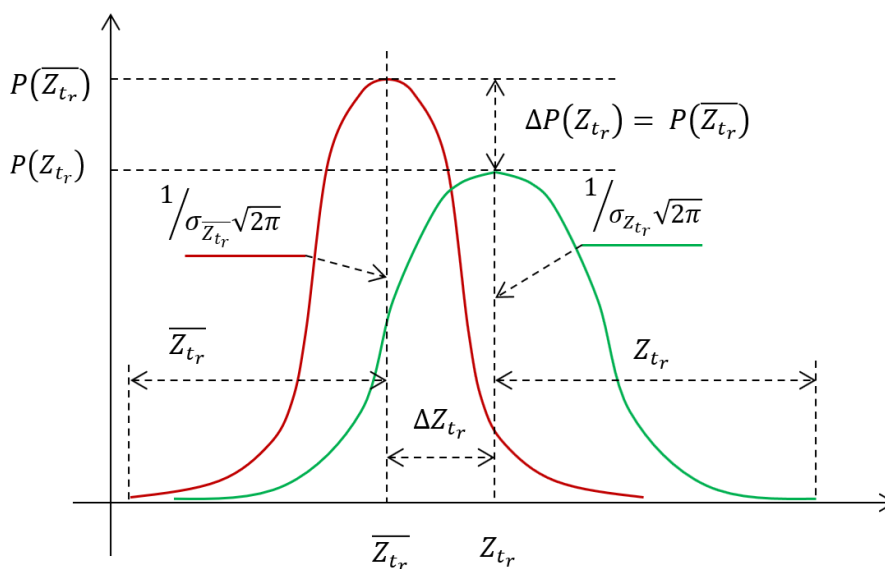


Рис. 1. Практическая модель управления рисками внедрения инновации в дорожном строительстве

В соответствии с этой моделью инновационный риск в дорожном строительстве может быть оценен вероятностью и среднеквадратическим отклонением ожидаемого от продуктовой или процессной инновации дохода исходя из соотношения

$$\begin{cases} P(\overline{Z}_{t_r}) \rightarrow \max \\ \Delta Z_{t_r} \rightarrow \min \end{cases}, \quad (1)$$

где  $P(\overline{Z}_{t_r})$  – вероятность средневзвешенной величины (математического ожидания) денежного потока, ожидаемого в  $t$ -м периоде по всем вариантам реализации  $r$ -го инновационного решения (новый материал, техническое решение или технология);  $\Delta Z_{t_r}$  – абсолютное значение отклонения величины денежного потока, ожидаемого в  $t$ -м периоде по конкретному варианту реализации  $r$ -го инновационного проекта от средневзвешенной величины (математического ожидания) денежного потока, ожидаемого в  $t$ -м периоде по всем вариантам, руб.

Целевая функция управления рисками инновационного проекта будет иметь следующий вид

$$\frac{\sigma_{Z_{t_r}}}{\overline{Z}_{t_r}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\sigma_{Z_{t_r}}$  – среднеквадратическое отклонение денежного потока от средневзвешенной величины (математического ожидания) денежного потока  $\overline{Z}_{t_r}$ , ожидаемого в  $t$ -м периоде по всем вариантам реализации  $r$ -го инновационного проекта, руб.

Таким образом, целевая функция управления рисками соответствует увеличению вероятности получения модального значения дохода от инновации и минимизации его варьирования. Это позволяет сделать следующие выводы.

1. По сравнению с имеющимися, предлагаемый подход к оценке инновационных рисков базируется на использовании методологических принципов оценки эффективности инвестиций в дорожное строительство с учетом внедрения инноваций и позволяет диагностировать доходность дорожно-строительного проекта с учетом экономической неопределенности его реализации, а также вклада инновационных материалов и технологий в общую эффективность проекта на стадиях их освоения и реализации.

2. Теоретическая ценность предлагаемой методики заключается в том, что она является дальнейшим развитием методов мониторинга инновационной деятельности и расширения конкурентных преимуществ дорожно-строительных организаций, обладающих возможностями применения новых технологий и материалов в дорожном строительстве.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Кузнецова О.А. Методические аспекты бизнес-оценки эффективности инвестиций в строительство автомобильных дорог. / Ермошин Н.А., Кузнецова О.А. // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. 2020. С. 85–89.
2. Ермошин Н.А. Моделирование и оценка риска разрушения дорожной одежды на автомобильных дорогах/Ермошин Н.А.// В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 2020. С. 1365–1371.
3. Кузнецова О.А., Ермошин Н.А., Царева О.С., Бирюков О.Р. Концептуальный подход к определению оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 302–305.
4. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем

транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.

5. Ермошин Н. А., Лазарев Ю. Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3.С. 35–44.

6. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егошин А.М., Змеев А.Т. Управление инвестиционными и техническими рисками в дорожном строительстве. Монография. – ВА МТО. 2017. – 210 с.

7. Ермошин Н.А. Проектирование производственной структуры дорожно-строительных организаций с учетом неопределенности структурообразующих факторов. – М.: ФГУП РОСДОРНИИ, Сборник «Дороги и мосты», выпуск 27, 2012, с. 32–41.

8. Ермошин Н.А., Змеева А.А. Комплексный подход к определению сроков разработки и повышению качества проектов транспортных сооружений. ВА МТО. 2019. с. 179–184.

УДК 656.11

И.А. Петрушенко, С.А. Уколов, В.А. Трепалин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ИСПАНИИ И РОССИИ

*Цель работы* – сравнение методов, использующихся при определении уровня обслуживания движения в РФ и Испании.

В основном документе для проектирования автомобильных дорог на территории Российской Федерации [1] отсутствуют нормативные требования к характеристикам транспортного потока, в то время как в нормативных документах многих зарубежных стран эти показатели являются основными для определения параметров проектируемой автомобильной дороги.

Одним из основных показателей состояния транспортного потока является уровень обслуживания движением, определяющий удобство, экономичность и безопасность движения по автомобильной дороге. При этом выделяют 6 уровней обслуживания от лучшего к худшему: А, В, С, D, E, F. Уровень обслуживания А характеризует движение свободного потока, при котором практически отсутствует взаимодействие между автомобилями, а уровень F – нестабильный поток, в котором интенсивность превышает пропускную способность, возможно возникновение заторов вплоть до полной остановки движения.

В работе для определения уровня обслуживания движения были заданы следующие исходные данные:

- 4-полосная АД II категории с разделительной полосой;
- ширина полос – 3,5 м, обочин – 3,5 м (примечание: ширина обочины на дороге аналогичной категории в Испании по таблице [2] составляет 2,5 м);
- интенсивность движения  $I = 2000$  авт./ч в каждом направлении;
- процент грузовых автомобилей в потоке – 5%;
- движение осуществляется в идеальных условиях (обеспечены расстояния видимости, отсутствуют неблагоприятные климатические условия, водители знакомы с дорогой и не утомлены).

В соответствии с [3] для оценки практической пропускной способности в конкретных дорожных условиях рекомендуется использовать уравнение

$$P = \beta P_{\max} = 0,97 \times 2200 = 2134 \text{ авт./ч.}$$

где  $\beta$  – итоговый коэффициент снижения пропускной способности, равный произведению частных коэффициентов.

В соответствии с п. 5.1.13 [3] для прямолинейных горизонтальных участков:



$$\beta = \beta_1(\beta_4\beta_6\beta_9\beta_{13}) = 0,96 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,05 = 0,97.$$

где  $\beta_1, \beta_2, \beta_4, \beta_6, \beta_9, \beta_{13}$  – частные коэффициенты, определяемые соответственно по [3].

$P_{max}$  – максимальная практическая пропускная способность (для четырехполосной АД с разделительной полосой – 2200 авт./ч по одной полосе, [3]).

Уровень обслуживания характеризуется коэффициентом загрузки  $z$ :

$$z = \frac{I}{P} = \frac{2000}{2 \cdot 2134} = 0,47.$$

Тогда согласно таблице [3] уровень обслуживания движения для данной дороги – С. При этом рекомендуемый уровень обслуживания согласно таблице [3] – D с  $z_{\text{опт}} = 0,65$ .

Методика расчета уровня обслуживания движения, применяемая в зарубежных странах, несколько отличается от приведенной выше и основывается на методологии, разработанной в США [4].

Первым этапом является определение скорости движения свободного потока (FFS):

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A = 100 - 1 = 99 \text{ км/ч},$$

где  $BFFS$  – базовая скорость свободного потока, принимаемая равной 100 км/ч;  $f_{LW}$  – коэффициент, учитывающий ширину полосы ( $f_{LW} = 1,0$  км/ч, таблица [4]);  $f_{LC}$  – коэффициент, учитывающий расстояние до препятствия слева и справа от крайних полос ( $f_{LC} = 0$ , таблица 21-5 [4]);  $f_M$  – коэффициент, учитывающий наличие разделительной полосы ( $f_M = 0$ , таблица [4]);  $f_A$  – коэффициент, учитывающий плотность въездов и выездов с дороги ( $f_A = 0$ , таблица [4]).

Тогда эквивалент часовой интенсивности движения за 15 минут:

$$I_d = \frac{I}{PHF \cdot N \cdot f_{HV} \cdot f_p} = \frac{2000}{0,92 \cdot 2 \cdot 0,975 \cdot 1} = 1115 \text{ л. авт./ч/пол.}$$

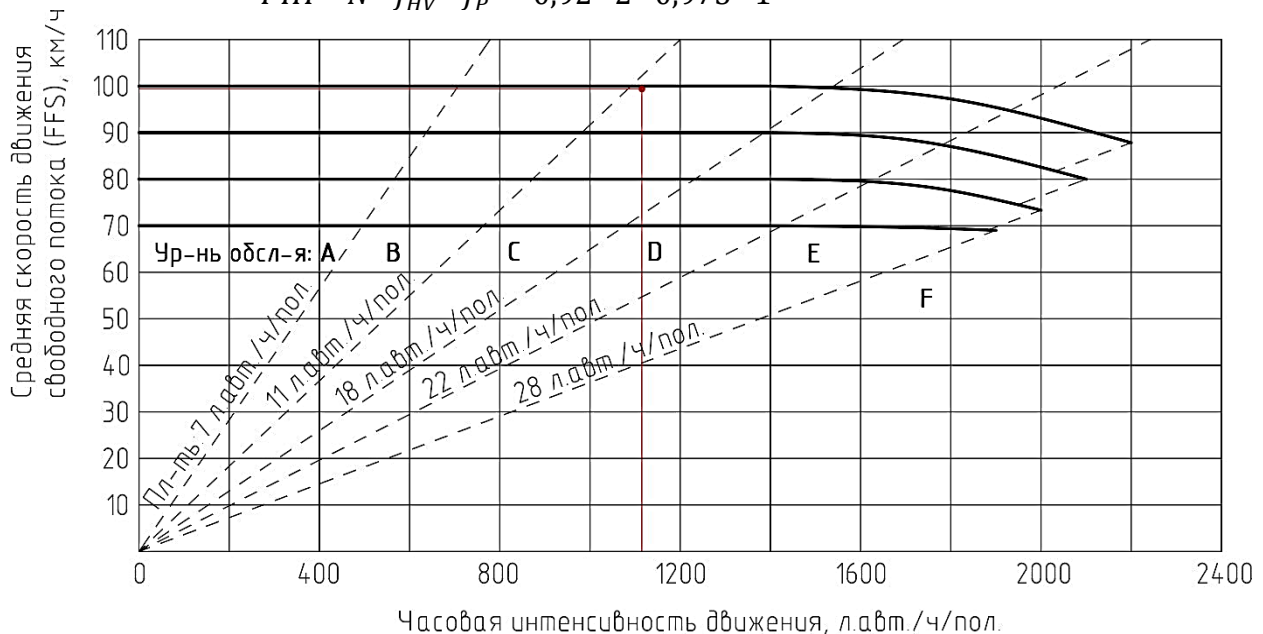


Рис. 1. Определение уровня обслуживания движения

Здесь  $I$  – часовая интенсивность в выбранном направлении;  $PHF$  – коэффициент часа пик ( $PHF = 0,92$ , таблица [4]);  $N$  – количество полос в данном направлении;  $f_p$  – коэффициент, учитывающий состояние водителей (принимается равным 1);  $f_{HV}$  – коэффициент, учитывающий наличие грузовых автомобилей и автобусов в потоке

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0,05 \cdot (1,5 - 1)} = 0,975,$$

где  $P_T$  – количество грузовых автомобилей и автобусов в потоке ( $P_T = 5\%$ );  $E_T$  – коэффициент приведения к легковому автомобилю ( $E_T = 1,5$ , таблица [4]).

Уровень обслуживания движения определяется по рис. 1.

Для определения уровня обслуживания рассчитывается плотность:

$$D = \frac{I_d}{V_{av}} = \frac{1115}{99} = 11,26 \text{ л. авт./км/пол.}$$

$V_{av} = FFS$  при  $I_d < 1400$  л. авт./км/пол. (при  $I_d < 1400$   $V_{av}$  определяется по формуле [5]).

Следовательно, уровень обслуживания движения при заданных условиях – С (на границе с В). Пропускная способность определяется по формуле [5]:

$$C = 1200 + 10 \cdot FFS = 1200 + 10 \cdot 99 = 2190 \text{ л. авт./км/пол.}$$

Следовательно, коэффициент загрузки:

$$z = \frac{I}{P} = \frac{1115}{2190} = 0,51$$

*Вывод:* при рассмотрении методов, несмотря на существенные различия (к примеру, в методике [3] не учитывается коэффициент часа пик и коэффициент, учитывающий состояние водителей) при заданных исходных данных уровень обслуживания на автомобильной дороге – С (на границе с В) улучшается, при этом:

1. Разница в коэффициентах загрузки, определенных разными способами:

$$\Delta = \frac{0,51 - 0,47}{0,52} \cdot 100\% = 7,8\%.$$

2. Разница в значениях пропускной способности:

$$\Delta = \frac{2190 - 2134}{2190} \cdot 100\% = 2,6\%.$$

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Свод правил СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги.
2. Ministerio de Fomento (2016). Norma 3.1-IC "Trazado".
3. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.
4. Transportation Research Board. 2016. Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24798>.
5. Carlos Kraemer et al. Ingeniería de carreteras. Vol I. 2º ed. Mc Graw – Hill Interamericana de España, 2009.

УДК 625.855.3

Н.А. Чернова, О.Р. Бирюков, А.М. Исмаилов, Н.А. Ермошин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕКАНИЯ ВЯЖУЩЕГО В ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОМ АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

*Актуальность.* В настоящее время специалисты постоянно работают над тем, чтобы усовершенствовать, укрепить дорожное покрытие и в особенности верхние слои дорожной одежды, сделать их устойчивее к внешним воздействиям и условиям современного и быстро меняющегося транспортного потока в целях продления службы дорожного покрытия.

*Цель работы* – повышение характеристик асфальтобетонного покрытия путем определения оптимального процентного содержания стабилизирующей добавки в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА).

Для реализации цели работы был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ) – это эксперимент, в котором реализуются все возможные, неповторяющиеся комбинации уровней факторов [1].

Исходные данные: щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь ЩМА-16, добавки VIATOR 66 и VIATOR premium. Число опытов в ПФЭ определялся по формуле:

$$N = p^k,$$

где  $N$  – число опытов,  $p$  – число уровней,  $k$  – число факторов [1].

В рамках проведенного эксперимента было определено количество опытов и определены входные параметры – факторы:

$x_1$  – состав ЩМА-16 (минеральная часть + битум + МП) остается неизменным во всех опытах;

$x_2$  – процентное содержание стабилизирующей добавки VIATOR 66/ VIATOR premium изменяется в ходе эксперимента. Следовательно,  $k = 1$  [1].

В ходе опыта процентное содержание стабилизирующей добавки изменялось три раза с шагом в 0,15%, следовательно, эксперимент проводился с варьированием в трех уровнях,  $p = 3$  [1].

Таким образом, число опытов в эксперименте по определению фактических значений показателей стекания вяжущего, % для каждого из видов добавки равно 3.

Матрица планирования для эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента с применением стабилизирующих добавок VIATOR 66 / VIATOR premium

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$y$
1	const	0	$y_1$
2	const	+1	$y_2$
3	const	-1	$y_3$

Для приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси применялся щебень из габбро-диабазы, минеральный порошок марки МП-1, битум марки БНД 70/100, стабилизирующие добавки VIATOR 66 / VIATOR premium [2, 3].

При проведении эксперимента осуществлялось «сухое» перемешивание разогретого щебня и минерального порошка в течение 1 минуты, а после – добавление стабилизирующей добавки в течение 3–5 минут. При последующем «мокром» перемешивании с битумом в течение 3–4 минут получалась однородная смесь, в которой стабилизирующая добавка была равномерно распределена в асфальтовом вяжущем веществе [2].

Эксперимент включает в себя по три опыта на каждый из двух видов стабилизирующей добавки. Образцы ЩМА имеют одинаковый состав, но различаются видом стабилизирующей добавки и её процентным содержанием в смеси. Каждая добавка используется три раза в процентном содержании от массы битума 0,1%, 0,25% и 0,4%. Разложенные на пергаменте образцы ЩМА представлены на рис. 1.

Первый опыт производим для ЩМА-16 с добавкой VIATOR 66 в количестве 0,4% от массы битума. Устанавливаем температуру в сушильном шкафу 200°C и помещаем в него приготовленную смесь. Контролируя температуру, разогреваем её до максимальной температуры интервала смешивания, до 170°C с допустимой погрешностью  $\pm 2$  °C. Разогретую смесь тщательно перемешиваем [4]. Опыт будет протекать параллельно в двух стаканах, чтобы при обработке результатов была возможность проконтролировать корректность полученных данных.

Стаканы нумеруются и пустые взвешиваются. Масса каждого определяется с точностью до 0,01. После взвешивания стаканы помещают в сушильный шкаф и выдерживают при заданной температуре не менее 10 минут [4].

В условиях ограниченности в ресурсах раскладываемой по стаканам смеси было значительно меньше – около 650 г. Взвешиваем стаканы со смесью, накрываем их сверху и помещаем в сушильный шкаф, где выдерживаем при температуре 170°C в течение (60 ± 5) минут [4] (рис. 2).



Рис. 1. Разложенные для проведения эксперимента образцы ЩМА



Рис. 2. Стаканы со смесью в сушильном шкафу при температуре 170°C

Затем вынимаем стаканы и удаляем смесь, не встряхивая, перевернув стакан вверх дном на (10 ± 1) с. После этого стакан вновь ставят на дно, охлаждают в течение не менее 10 минут и взвешивают вместе с остатками вяжущего и смеси, прилипшей на его внутренней поверхности. Аналогично проводим остальные 5 опытов [4].

За результат испытаний принимают округленное до второго знака после запятой среднее арифметическое значение двух параллельных определений.

Стекание вяжущего  $B$ , % по массе, определяем по формуле и полученные значения заносим в табл. 2 [4]:

$$B = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} \cdot 100$$

где  $g_1$  – масса пустого стакана, г;  $g_2$  – масса стакана со смесью, г;  $g_3$  – масса стакана после удаления смеси, г. Результаты планирования эксперимента и исходные данные с полученными результатами представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента для ЩМА-16 с применением стабилизирующей добавки VIATOR 66 / VIATOR premium

№ опыта	Состав ЩМА ( $x_1$ )	Процентное содержание добавки, % от массы битума ( $x_2$ )	Показатель стекание вяжущего $B$ , % по массе ( $y$ )
1	const	0,25	0,14 / 0,10
2	const	0,4	0,08 / 0,04
3	const	0,1	0,71 / 0,62

График влияния процентного содержания стабилизирующих добавок на показатель стекания битума в ЩМА-16 представлен на рис. 3.

По требованиям [4] показатель стекания вяжущего не должен быть больше 0,2% по массе. Если данное значение получается больше 0,2%, то щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь подвержена расслаиванию [5, 6].

Из графика видно, что в обоих случаях количество стабилизирующей добавки в 0,1% от массы битума не обеспечивает требуемого показателя для стекания. Количество в 0,25% и 0,4% обеспечивает данный показатель.

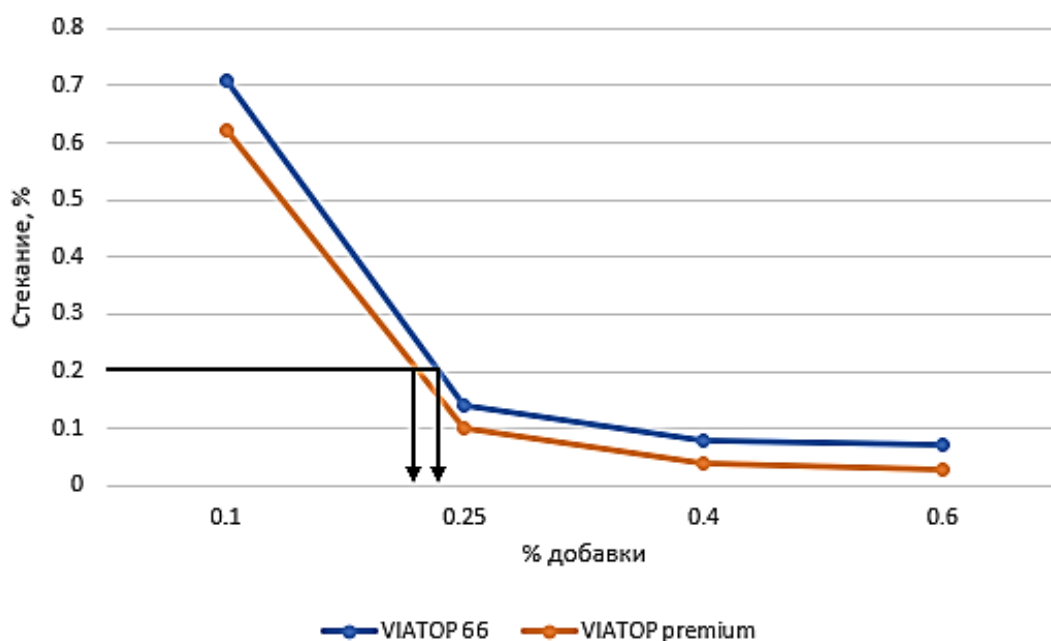


Рис. 3. Влияние процентного содержания стабилизирующих добавок на показатель стекания битума

Как вывод можно отметить, что оптимальное процентное содержание для получения «удобной» смеси – для VIATOP 66 – 0,4% (показатель стекания составляет 0,08%), для VIATOP premium – примерно 0,3% (показатель стекания составляет 0,07%). Смесь с таким показателем стекания отвечает всем необходимым требованиям. При процентном содержании в 0,25% смесь достаточно пластичная и стекание ещё довольно ощутимо для обоих видов добавок. Однако, при процентном содержании, которое значительно больше, чем 0,4% (для добавки VIATOP 66) и 0,3% (для добавки VIATOP premium) щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь становится вязкой, что также достаточно затрудняет использование смеси при организации дорожного покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
2. Ермошин Н.А. Экспериментальные исследования.
3. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий. Учебное пособие – Н. Новгород, издание ННГАСУ, 2009. – 65 с.
4. Баранов И.А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Орел, 2015.
5. Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальта. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 255–257.
6. Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 317–319.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ВАНТОВЫХ МОСТОВ

*Аннотация.* В данной статье описывается опыт проектирования и строительства вантовых мостов в России и за рубежом. Описаны их различные конструктивные схемы и выделены преимущества по достигаемой длине пролета и больших подмостовых габаритов по сравнению с другими видами мостов. Собрана информация об используемых материалах, способах строительства и различных комплексах, облегчающих эксплуатацию. Отмечена эстетичность вантовых мостов и то, как одинаково хорошо их можно расположить на застроенной и незастроенной территории.

*Введение.* В данной статье рассмотрены несколько примеров вантовых мостов. Приведены их конструктивные и архитектурные особенности, особенности строительства и эксплуатации. На основе собранных данных сделаны выводы о преимуществах вантовых мостов.

*Основная часть.* В мостостроении разделяют мосты на балочные, ферменные, арочные, рамные, вантовые и висячие. Вантовые мосты представляют собой балку жесткости, которая связана с вертикально расположенными пилонами при помощи гибких растянутых прямолинейных элементов – вант. Схема вантового моста представлена на рисунке 1.

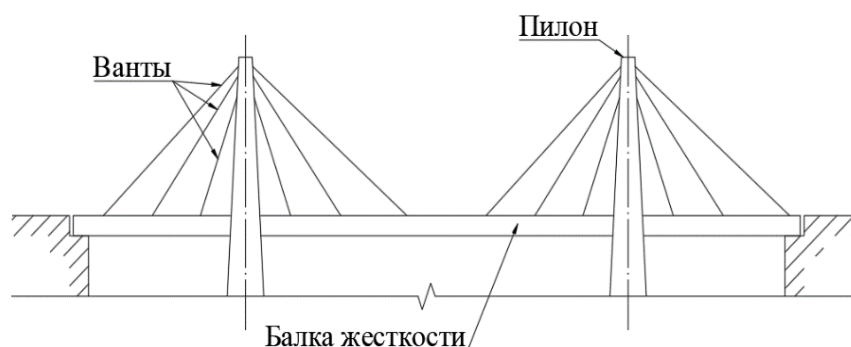


Рис. 1. Схема вантового моста

Балка жесткости обычно применяется неразрезная, перекрывающая два-три пролета и имеющая коробчатое сечение. Число пилонов может быть различным и зависит от протяженности участка, который перекрывается мостом. Чаще используют один-два пилона [1]. Ванты располагают по трем основным схемам: веер, пучок и арфа (рис. 2).

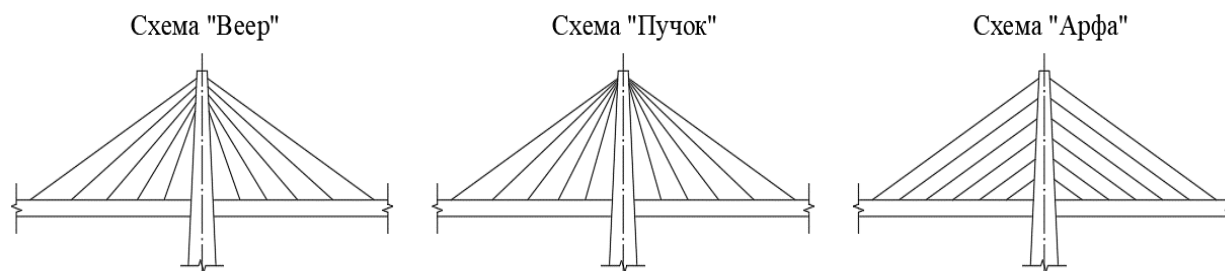


Рис. 1. Схемы крепления вант

При схеме веер ванты крепятся на пилоне на некотором расстоянии друг от друга и расходятся, чтобы соединиться с балкой жесткости. При схеме пучок ванты крепятся к пилому близко друг к другу и расходятся от него под разными углами. При схеме арфа ванты крепятся на пилоне таким образом, чтобы к балке жесткости они шли практически параллельно друг другу [2].

В процессе строительства новых транспортных путей или реконструкции и развития старых могут возникнуть следующие задачи:

- необходимо перейти горное ущелье;
- необходимо перекрыть широкую водную преграду значительной глубины с быстрым течением и сложными гидрологическими и геологическими условиями;
- необходимо обеспечить большие судоходные габариты при пересечении водной преграды с интенсивным судоходством.

В этих случаях устройство промежуточных опор может быть либо дорогостояще, либо вообще невозможно. Вантовые мосты могут решить эту проблему, так как они способны перекрывать пролеты более 500–600 м, а высота опор может достигать 40–60 м. Большие пролеты требуют возведения высоких пилонов, что может снизить экономическую целесообразность. Однако при необходимости длины пролетов могут превосходить 1000 м. На данный момент самый большой пролет среди вантовых мостов у Русского моста (рис. 3). Русский мост расположен во Владивостоке и перекрывает пролив Босфор. Длина пролета составляет 1104 м [3]. Единственными конкурентами по длинам перекрываемых пролетов являются висячие мосты. Наибольший пролет составляет 1991 м (мост Акаси-Кайкё, Япония) (рис. 4). Сравнения максимальных длин пролетов мостов различных конструкций представлены в таблице 1.



Рис. 3. Русский мост



Рис. 4. Мост Акаси-Кайкё

Таблица 1 – Наибольшие длины пролетов мостов различных типов конструкций

Наименование моста	Тип конструкции	Длина пролета, м
Мост Акаси-Кайкё, Япония	Висячий мост	1991
Русский мост, Россия	Вантовый мост	1104
Мост Лупу, Китай	Арочный мост	550
Мост Рио-Нитерой, Бразилия	Балочный мост	300

Как видно, висячие мосты превосходят вантовые по длине основного пролета в 1,8 раз, и это достаточно сильная разница. Но все же вантовые мосты успешно конкурируют с арочными и балочными (арочные превосходят в два раза, а балочные почти в 4 раза). Пятёрка самых большепролетных из них представлена в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Некоторые большепролетные мосты мира

Наименование моста	Год ввода в эксплуатацию	Длина пролета, м
Русский мост, Владивосток	2012	1104
Мост Сутун, Шанхай	2008	1088
Мост Стоункаттерс, Гонконг	2009	1018
Мост Татара, Япония	1999	890
Мост Нормандии, Франция	1995	856

Строительство моста считается выгодным в том случае, если стоимость пролетного строения близка к стоимости опоры. В вантовых мостах за перераспределение нагрузки отвечают ванты. Они переносят нагрузку с пролета на пилоны, который в свою очередь передают нагрузку на грунт. За счет того, что ванты крепятся к пилонам, а не к несущим тросам, как в висячих мостах, конструкция моста получается более жесткой и устойчивой [5]. Длина вант напрямую зависит от длины пролета. Самая длинная ванта задействована в Русском мосте, её длина составляет 579,8 м. Ванты для Русского моста изготовлены французской компанией Freyssinet [7].

Пилоны конструируются по каждому проекту индивидуально, в первую очередь руководствуясь экономичностью и архитектурными требованиями [9]. Один из методов возведения высоких пилонов – использование самоподъемной опалубки. Суть метода заключается в том, что после формирования одного участка пилонной опалубки поднимается на следующий уровень, чтобы надстроить следующий участок. Для каждого проекта моста, в зависимости от формы опор и требуемых технических параметров разрабатываются свои способы эффективного и экономичного строительства.

*Вывод:* Вантовые мосты отлично справляются с задачами, возложенными на них, способны перекрывать большие по протяженности и глубине препятствия, благодаря большим подмостовым габаритам не нарушают судоходного режима и экономичны. По нашему мнению, будущее мостостроения за вантовыми мостами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Михайлова А.И., Кузьмина В.М. Особенности конструкции вантовых мостов, сборник трудов конференции НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил 2018 г., с 253.
3. Жагат А.С., Якупова К.Р., Осипкин А.С. Строительство мостов Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2021. № 4 (4). С. 15-23. <http://eng-res.ru/archive/2021/4/15-23.pdf>
4. Углов А.К., Касаткин М.С. Конструктивные решения мостовых сооружений // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 31-38. URL: <http://eng-es.ru/archive/2021/2/31-38.pdf>
5. Жосан А., Папин В. Проблемы современного мостостроения // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 20-25. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/20-25.pdf>
6. Ермошин Н. А., Лазарев Ю. Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве "взвешенных" графов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3. С. 35–44.
7. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
8. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
9. Алексеев С.В., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Выявление наиболее надежных конструкций деформационных швов. Путевой навигатор. 2021. № 46 (72). С. 36–43.



## УКРЕПЛЕНИЕ НЕПРОЧНЫХ ГРУНТОВ СПОСОБОМ ГЛУБИННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

*Актуальность.* Строительство автомобильных дорог относится к сложным технологическим процессам, на качество которых оказывает влияние множество факторов. Основными из них являются природно-климатические и грунтово-геологические условия. Большая часть Российской Федерации расположена в зоне с холодными и очень холодными климатическими условиями. Для таких зон характерны грунтовые основания, отличающиеся болотными, заторфованными, переувлажненными грунтами. Такие грунты принято называть слабыми.

*Цель работы* – технология укрепления слабых грунтов способом глубинной стабилизации и оценка ее качества.

Слабые грунты, под действием сложных климатических условий и высоких нагрузок негативно влияют на надежность дорожных конструкций в целом. Влияние свойств слабых грунтов, таких как водонасыщенность, высокая влажность, большая пористость и сжимаемость приводит к деформациям земляного полотна и основания, что влияет на безопасность движения, пропускную способность и эксплуатационные показатели автодорог [1, 2].

Уменьшить воздействие климатических условий и транспортных нагрузок практически невозможно. Поэтому, исключить вышеперечисленные деформации можно либо путем улучшения характеристик имеющегося слабого грунта, либо путем замены грунтового массива, что обычно является традиционным способом при производстве работ.

Существующий традиционный способ включает в себя стандартный набор технологических операций по замене слабого грунта основания земляного полотна на грунт с улучшенными характеристиками, который способен обеспечить требуемую несущую способность и нормальную работу земляного полотна в процессе эксплуатации. Но такому способу есть и другой альтернативный способ.

Одним из таких альтернативных способов является метод глубинной стабилизации слабого грунта, который позволяет получить стабильные физико-механические характеристики грунта путем добавления некоторого количества сухих или влажных материалов непосредственно в грунт с последующим его перемешиванием на определенную глубину, планированием и уплотнением.

В основном для стабилизации используются как традиционные (цемент, известь, гипс), так и инновационные материалы (специальные добавки), а также отходы промышленности (шламы, шлаки, золы уноса и др.).

С экономической и экологической точки зрения для стабилизации грунтов рационально использовать отходы промышленности, такие как шлаки, золы уноса и нефелиновые шламы, обладающие гидравлическими свойствами. Эти материалы являются неисчерпаемыми отходами теплоэнергетической, металлургической, горной промышленности и имеют очень низкую стоимость по сравнению с цементами, известью и инновационными добавками.

После изучения основных характеристик объекта исследования проводят лабораторные испытания со слабыми грунтами и стабилизаторами. На основе сравнительного анализа выбирают такой стабилизатор, который будет наиболее выгоден с точки зрения транспортировки, производства работ и по качественно-ценовым показателям.

Для укрепления слабых переувлажненных грунтов верхней части основания рационально использование технологии стабилизации грунтов «массивом», т.е. сухого

смешивания слабого грунта со стабилизатором с помощью технологического оборудования на заданную глубину и всю ширину основания автомобильной дороги [2].

Технологический процесс укрепления слабых грунтов основания методом глубинной стабилизации в данном случае можно представить из следующих технологических операций:

1. Подготовка строительной площадки, корчевка пней и т.д.
2. Снятие почвенно-растительного слоя грунта с помощью бульдозера.
3. Геодезические работы и снятие черных отметок земли.
4. Разбивка поверхности слабого грунта на участки для стабилизации.
5. Разравнивание поверхности земли автогрейдерами или бульдозерами.
6. Транспортировка стабилизатора на место производства работ и выгрузка его в бункеры или непосредственно на поверхность слабого грунта.
7. Распределение стабилизатора в необходимом соотношении к объему грунта на местности с помощью бульдозера или дозатора с бункером.
8. Смешивание материала со слабым грунтом на нужную глубину с помощью самоходного экскаватора со шнековым смесителем или фрезой (рис. 1).
9. Профилирование перемешанного грунта.
10. Уплотнение основания с помощью катков до требуемой плотности.



Рис. 1. Шнековый смеситель экскаватора и фреза роторная

После проведения работ по уплотнению укрепленного основания земляного полотна необходимо выдержать время на консолидацию и набора несущей способности грунтов. Далее проводят повторные испытания стабилизированного основания и контроль качества выполненных работ.

Контроль качества работ, согласно методике, обеспечивается за счет проведение входного контроля, контроля хода проведения работ, технологии и контроля технологических параметров укрепления (количество вяжущего, глубина смешивания и т.д.) [2,4,5].

После производства работ проводят обязательный операционный контроль качества укрепленного грунта, в ходе которого определяют плотность, влажность, проводят оценку и сравнение полученного значения предела прочности при сжатии с проектным значением. Так же могут быть проведены испытания на сдвигустойчивость, водопроницаемость, водонасыщение [3].

Качество образцов укрепленного грунта считается обеспеченным, если не более 10% исследуемых образцов имеют 5%-ное отклонение прочности (в меньшую сторону) от требуемого проектного значения. При положительных результатах продолжают дальнейшие работы по реконструкции данного участка автомобильной дороги [2].

Смешивание верхнего слоя основания рационально производить с помощью экскаватора по методу заранее размеченных участков в виде блоков и последовательным перемещением от одного участка к другому. Данный метод приведен на рис. 2.



Рис. 2. Метод блочной стабилизации грунта

Перемешивание грунта со стабилизатором производится путем перемещения роторной фрезы сверху вниз и справа налево по челночной схеме по всей площади размеченного блока до полной гомогенизации массы грунта в блоке. Схема может корректироваться в зависимости от свойств грунта.

Типовой поперечный профиль устроенной в насыпи автомобильной дороги III категории (рис. 3) при использовании укрепления слабых грунтов основания методом глубинной стабилизации.

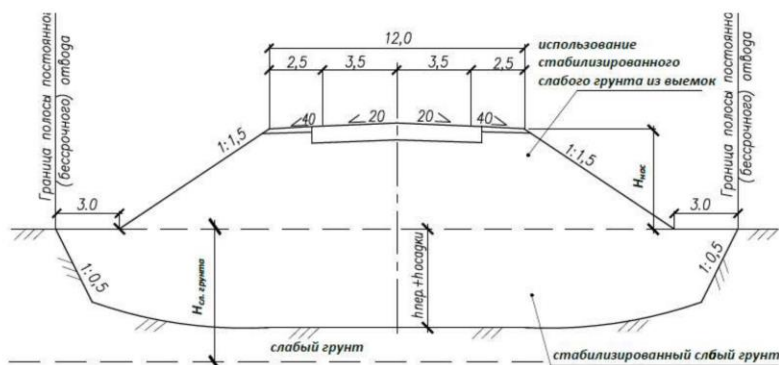


Рис. 3. Поперечный профиль автодороги III категории

Таким образом, стабилизация позволяет снизить транспортные расходы и объем земляных работ. При этом объем работ по устройству дорожной одежды, обочин и откосов остается таким же, как и в традиционном методе. Кроме того, появляется возможность более широкого использования стабилизированного местного грунта при строительстве насыпи земляного полотна.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
2. Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 317–319.
3. Кузнецова О.А., Ермошин Н.А., Царева О.С., Бирюков О.Р. Концептуальный подход к определению оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 302–305.
4. ОДМ 218.2.063-2015. Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов.
5. СТО СРО 083-029EN-2011. Разработка и реализация методов стабилизации слабых грунтов органического происхождения.

ОБОСНОВАНИЕ РАЙОНА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ТРОТУАРОВ  
ИЗ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

В статье обосновывается выбор города России наиболее подходящего для использования покрытия тротуаров из солнечных панелей. Данная тема актуальна в наши дни, так как использование такого покрытия может приносить экономическую выгоду за счет использования возобновляемого источника энергии, приносить пользу окружающей среде за счет снижения объемов используемых не возобновляемых ресурсов и за счет снижения загрязнения отходами производства электроэнергии традиционными способами.

В качестве первого шага для разработки покрытия тротуаров из солнечных панелей выступает выбор и обоснование города России, в котором целесообразнее и эффективнее всего будет внедрить данную технологию.

Таким образом, цель работы – выбрать и обосновать район использования покрытия тротуара из солнечных панелей. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Назначить критерии, влияющие на эффективности применения технологии;
2. Путем сравнения выявить район, наиболее удовлетворяющий выбранным критериям.

Так как успешность использование покрытия из солнечных панелей во многом зависит от климатических условий, был выделен ряд критериев:

1. Среднее число солнечных часов;
2. Объем солнечной радиации, поступающей на поверхность (инсоляция);
3. Средняя толщина снежного покрова;
4. Количество дней с устоявшимся снежным покровом.

Первый критерий необходим для определения потенциально приемлемых районов, второй критерий напрямую влияет на количество энергии, которое сможет вырабатывать покрытие, поэтому при выборе района использования покрытия он будет являться основным, третий и четвертый критерии необходимы для уточнения района в случае, если по второму критерию подходят несколько районов.

В таблице 1 представлены данные о количестве солнечных часов в год в самых солнечных городах России [1].

На рисунке 1 представлены данные о продолжительности солнечного сияния в городах России.

Таблица 1 – Количество солнечных часов в год в самых солнечных городах России

№ п/п	Название города	Количество солнечных часов в год
1	Улан-Удэ	2797
2	Чита	2477
3	Хабаровск	2449
4	Астрахань	2410
5	Находка	2368
6	Севастополь	2350
7	Якутск	2229
8	Владивосток	2095

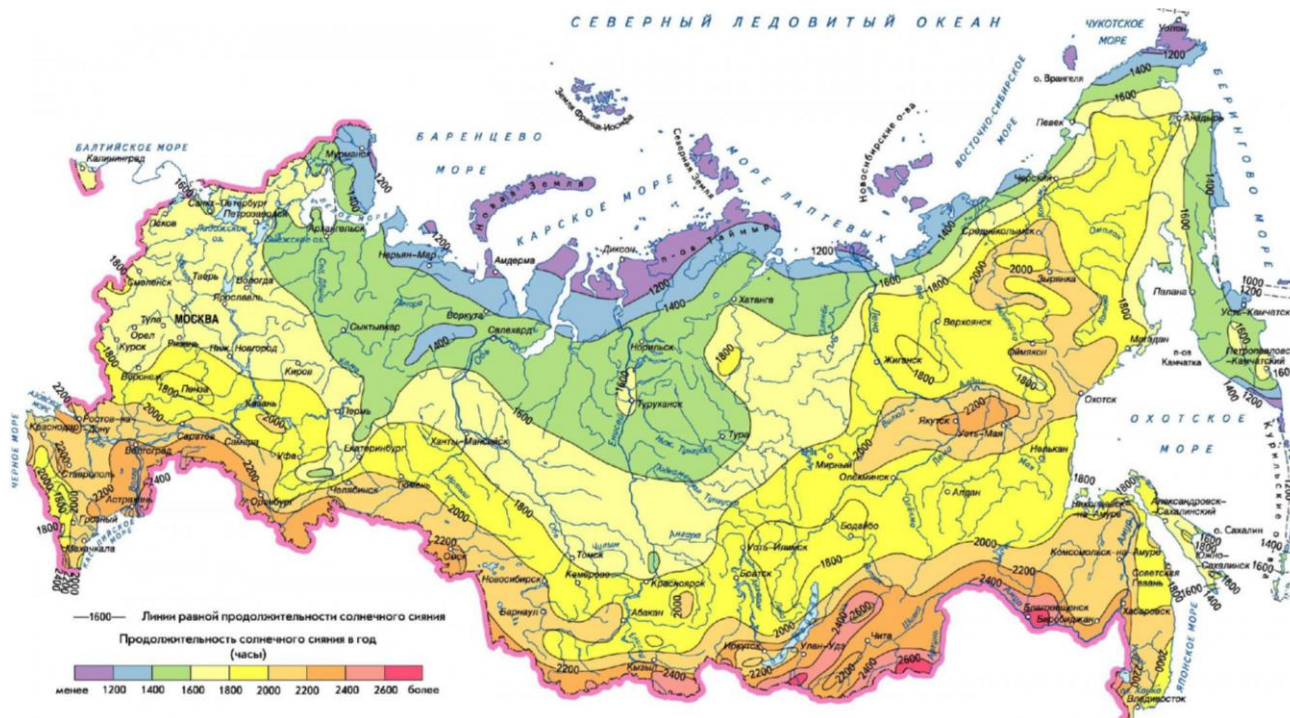


Рис. 1. Продолжительность солнечного сияния в городах России

Проанализировав рисунок 1 и таблицу 1, делаем вывод, что наиболее перспективными в плане солнечной энергетики являются города Борзя (Забайкальский край) и Улан-Удэ (Республика Бурятия). Однако, стоит заметить, что по показателю годовая суммарной солнечной радиации лидируют другие два города: Астрахань и Владивосток с суммарным количеством солнечной радиации в год  $1371,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  и  $1289,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  соответственно [2].

В таблице 2 представлены данные о месячных и годовых значениях суммарной солнечной радиации,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

Таблица 2 – Месячные и годовые значения суммарной солнечной радиации,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$

Астрахань	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек	Год
Горизонтальная панель	32,4	52,9	95,5	145,5	189,4	209,9	189,7	174,7	127,8	81,7	45,0	26,6	1371,1
Владивосток	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек	Год
Горизонтальная панель	72,7	93,2	130,0	135,1	143,9	129,2	124,3	124,8	119,1	94,3	64,6	57,8	1289,5

Третьим решающим фактором при выборе региона использования технологии является количество осадков в виде снега: чем меньше толщина снежного покрова, перекрывающего доступ света к панелям, тем большее количество энергии они смогут выработать.

Также, количество осадков влияет на затраты по очистке покрытия, поэтому из городов Астрахань и Владивосток выбираем тот, которому свойственно меньшее количество осадков в виде снега.

В таблицах 3 и 4 представлены данные о снежном покрове г. Астрахань и г. Владивосток соответственно [3, 4].

Таблица 3 – Снежный покров г. Астрахань

Месяц	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек	Год
Число дней	13	12	4	0	0	0	0	0	0	0	2	10	40
Высота, см	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Макс.высота, см	21	30	32	8	0	0	0	0	1	6	33	30	33

Таблица 4 – Снежный покров г. Владивосток

Месяц	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек	Год
Число дней	24	17	10	2	0	0	0	0	0	0,5	7	18	77
Высота, см	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
Макс.высота, см	41	50	50	27	0	0	0	0	0	19	33	50	50

Кроме того, в г. Астрахань за промежуток ноябрь-март выпадает меньше осадков, чем в г. Владивосток – 76 мм и 103 мм соответственно [5, 6–9].

Проанализировав полученные данные можем сделать вывод, что покрытие из солнечных панелей более эффективно применять в г. Астрахань, так как там по сравнению с г. Владивосток меньшее количество дней с устоявшимся снежным покровом и его средняя толщина тоже меньше.

Таким образом наиболее целесообразно применение покрытия из солнечных панелей в г. Астрахань, что подтверждается следующими факторами:

- 1) большое количество солнечных часов в год – 2410;
- 2) высокие значения годовой суммарной солнечной радиации – 1371,1 кВт·ч/м<sup>2</sup>;
- 3) небольшое количество дней с устоявшимся снежным покровом – 40 дней;
- 4) небольшая средняя толщина снежного покрова – 1,5 см.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Национальный атлас России. Том 2 [Электронный ресурс] – URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/152.html>
2. Количество солнечной энергии в регионах России [Электронный ресурс] – URL: <https://realsolar.ru/article/solnechnye-batarei/kolichestvo-solnechnoy-energii-v-regionah-rossii/>
3. Климат Астрахани – Погода и климат [Электронный ресурс] – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34880>
4. Климат Владивостока – Погода и климат [Электронный ресурс] – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/31960>
5. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*
6. Бердник А.В., Соколова Д.В. Экономическая эффективность устройства ветрогенераторов на линейных объектах. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 322–324.
7. Борисова А.В., Самойлов К.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Технические решения элементов улично-дорожной сети в целях обеспечения безопасности дорожного движения. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 336–338.
8. Алексеев С.В., Погонин С.Ю. Оптимизация улично-дорожной сети в крупных городах России. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 220–223.
9. Алексеев С.В., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Выявление наиболее надежных конструкций деформационных швов. Путевой навигатор. 2021. № 46 (72). С. 36–43.

## КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА

*Введение.* Разработка проектной и рабочей документации на строительство автомобильных дорог включает в себя построение календарного графика производства работ, анализом соблюдения и выполнения которого занимаются специалисты диспетчерской службы с применением придаваемых технических средств, одним из которых должен являться БПЛА.

Использование БПЛА обуславливается рядом факторов, которые исключают возможность использование других систем визуального наблюдения таких, как видеоканалы в формате реального времени. Характерное размещение автомобильных дорог, как линейных сооружений большой протяженности, не позволяет производить контроль строительно-монтажных работ из одной точки позиционирования диспетчерской службы или с помощью придаваемых средств точечного видеонаблюдения в связи с невозможностью обзора всех мест выполнения работ, сосредоточенного резерва, притрассового склада [1, 2]. Использование БПЛА позволяет получать данные для анализа диспетчерской службой производства строительно-монтажных работ на довольно протяженном участке и обладает зоной видимости расположенных на участке производства работ объектов, превышающей в 10–20 раз зону видимости камер видеонаблюдения, которая, в свою очередь, зависит от высоты их установки.

*Целью работы* – обоснование практического применения БПЛА в качестве придаваемого технического средства диспетчерской службы строительства и расчет временных и экономических потерь несвоевременного обнаружения простоев техники.

В ходе написания работы были выполнены полевой и камеральный этапы полета БПЛА и получены практические результаты применения квадрокоптера на строительстве автомобильной дороги и объектов дорожной инфраструктуры в пос. Усть-Луга Ленинградской области [3–6].



○ – местоположение квадрокоптера при создании аэропанорамы  
— граница строительного участка

Рис. 1. Местоположение точек съемки аэропанорам на строительном участке



Рис. 2. Съезд с подъездной дороги по состоянию на 11:52 11.02.2022 г.

В качестве технического оснащения диспетчерской службы при проведении полевого этапа используется квадрокоптер мультироторного типа с возможностью создания сферических аэропанорам в автоматическом режиме. Данный БПЛА в отличие от камер видеонаблюдения позволяет проводить съемку в широком диапазоне высот. Выбранная в ходе проведения фотосъемки высота 80 м включает в зону видимости всю строительную площадку, размеры которой составляют 1580×1120 м, а также подъездные автомобильные дороги.

Аэропанорамы выполняются с периодичностью в 5–7 минут без посадки квадрокоптера в количестве 5 штук таким образом, чтобы обеспечивалась видимость всего строительного участка на каждой аэропанораме. Границы строительного участка и точки нахождения БПЛА в момент создания аэропанорам представлены на рис. 1.

Полученные аэропанорамы могут быть проанализированы специалистом диспетчерской службы непосредственно после посадки БПЛА. В ходе детального визуального изучения аэропанорам, полученных в период с 11.02.2022 г. по 18.02.2022 г. был выявлен участок, на котором происходит образование затора автосамосвалов. Этот участок является единственным съездом с подъездной дороги на строительный объект, по которому осуществляется доставка всего объема строительных материалов, изображен на рис. 2 и 3.

На основании полученных данных составлены таблицы 1 и 2 экономических и временных потерь, вызванных простоем техники.

Сметная цена работы техники указана на основании Приложения 7 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2021 г. № 1046/пр.

Таблица 1 – Состав звена при производстве работ по устройству подстилающего слоя из песка

Строительная техника	Количество, шт.
Количество автосамосвалов	9
Количество экскаваторов	2
Количество бульдозеров	3

Таблица 2 – Экономические и временны потери, вызванные простоем техники

Автомобили-самосвалы, грузоподъемность до 20 т		Погрузчики одноковшовые универсальные фронтальные пневмоколесные, номинальная вместимость основного ковша 5,5 м <sup>3</sup> , грузоподъемность 10 т		Бульдозеры, мощность 132 кВт (180 л.с.)	
Сметная цена с учетом оплаты труда машиниста, руб./ч	1486	Сметная цена с учетом оплаты труда машиниста, руб./ч	4767	Сметная цена с учетом оплаты труда машиниста, руб./ч	2583
Количество единиц техники, шт.	9	Количество единиц техники, шт.	2	Количество единиц техники, шт.	3
Продолжительность простоя, ч	20	Продолжительность простоя, ч	20	Продолжительность простоя, ч	10
Потери, тыс. руб./нед.	267,48	Потери, тыс. руб./нед.	190,68	Потери, тыс. руб./нед.	77,49

*Выводы.* На основании полученных результатов проведения работ по диспетчерскому контролю выполнения строительно-монтажных работ с применением БПЛА был установлен суммарный размер временных и экономических потерь на исследуемом участке производства работ, который составил 50 ч и 535 650,00 рублей в неделю соответственно. Задержка выполнения работ по устройству подстилающего слоя из песка приведет к срыву сроков выполнения последующих выполняемых работах, что скажется на директивных сроках строительства.



Рис. 3. Съезд с подъездной дороги по состоянию на 11:28 18.02.2022 г.



В будущем авторы планируют оптимизировать количество полетов БПЛА в период производства работ для своевременного обнаружения простоя техники и снижения экономических и временных издержек.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Themistocleous, K., Neocleous, K., Pilakoutas, K., Hadjimitsis, D.G. Damage assessment using advanced non-intrusive inspection methods: Integration of space, UAV, GPR, and field spectroscopy. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2014. 9229. DOI:10.1117/12.2069507.
2. Sugiyama, H., Tokunaga, M. Effectiveness of UAV in aging of concrete. ACRS 2015 – 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, Proceedings. 2015.
3. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives. 2016. 41.
4. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстикова А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
5. Gillins, M.N., Gillins, D.T., Parrish, C. Cost-Effective Bridge Safety Inspections Using Unmanned Aircraft Systems (UAS). Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016 – Proceedings of the Joint Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016. Pp. 1931–1940. DOI:10.1061/9780784479742.165.
5. Chaudhry, H., Smith, E.M., Kochersberger, K. Real time detection and tracking of linear visual features for aircraft guidance. AIAA Infotech Aerospace Conference. 2016.
6. Khanal, M., Hasan, M., Sterbentz, N., Johnson, R., Weatherly, J. Accuracy comparison of aerial lidar, mobile-terrestrial lidar, and UAV photogrammetric capture data elevations over different terrain types. Infrastructures. 2020. 5(8). DOI:10.3390/INFRASTRUCTURES5080065.

УДК 625.725

Е.А. Гребенюк, А.Н. Новик

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ ОТКРЫТЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА WORLDDDEM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Цель работы* – анализ пригодности открытых цифровых моделей рельефа WorldDEM с пространственной точностью 24 м для моделирования автомобильных дорог в альтернативу/в дополнение к инженерно-геодезическим изысканиям.

В качестве исходных данных для анализа выступали два источника данных – цифровая модель рельефа WorldDEM и данные воздушного лазерного сканирования на территорию Нижегородской агломерации в РФ. Пригодность открытых ресурсов определялась путем анализа функции зависимости распределения количества точек (с регулярным шагом) относительно абсолютных невязок по высоте для построенных сравнительных поверхностей между двумя исходными источниками данных. Стоит отметить новизну такого подхода, так как во встречавшихся публикациях [4] практиковалось измерение лишь отдельных точек для контроля корректности материалов.

Данные анализировались в open-source программном обеспечении – CloudCompare, алгоритмам анализа которого посвящен ряд публикаций зарубежных авторов [1, 2]. В связи с большими территориями страны, вопрос использования открытых данных о рельефе стоит остро в разных отраслях деятельности, для целей народного хозяйства их использование освещено в [3], в [4] проводится сравнение с геодезическими изысканиями. Работы [5, 6] посвящены материалам по WorldDEM и оценке их пространственной точности.

Для получения фрагментов данных для последующего сравнения использовались боковые зоны вдоль осей дорог с захватом проезжей части и полосы отвода. Результаты (функция и поверхность распределения невязок) приведена на рис. 1–2.

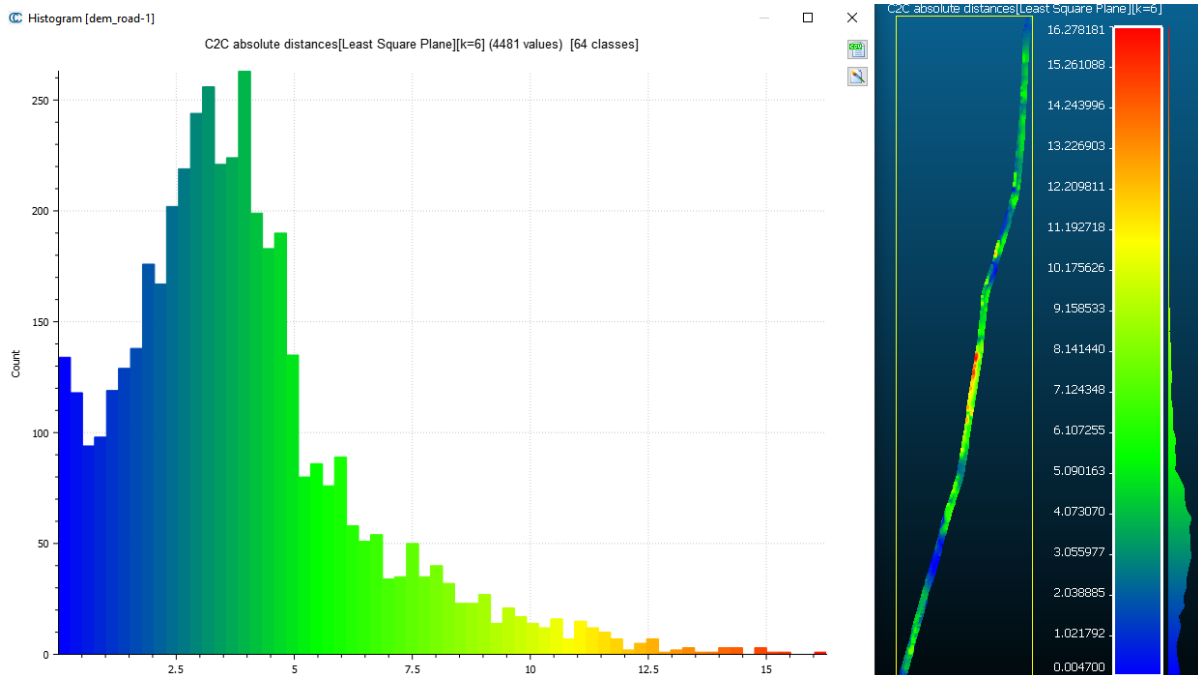


Рис. 1. Гистограмма зависимости числа точек от абсолютных невязок по высоте для участка проспекта Гагарина длиной 10 км, Нижний Новгород, участок захвата 70 м

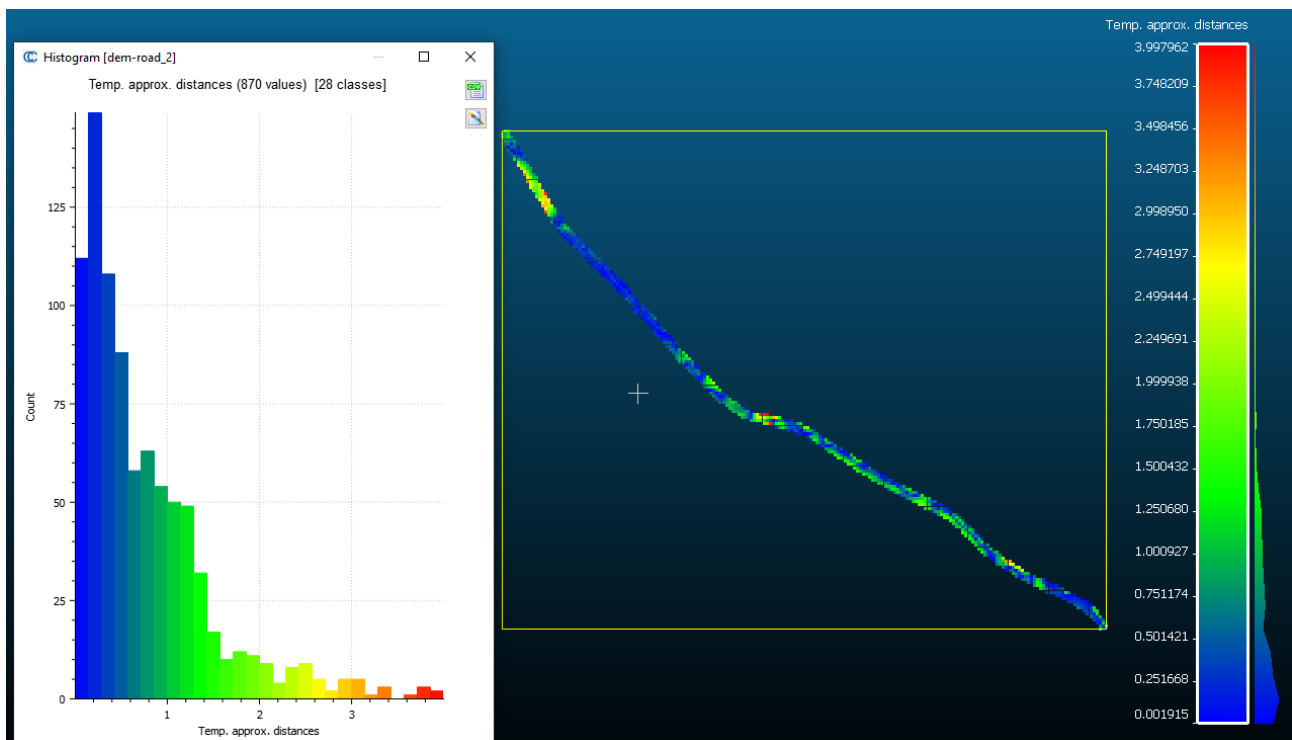


Рис. 2. Гистограмма зависимости числа точек от абсолютных невязок по высоте для участка проселочной дороги 22Н-2660 длиной 3 км, Нижний Новгород, участок захвата 40 м

Приведенные результаты на рисунках 1-2 иллюстрируют наблюдения для двух участков автомобильных дорог: первый – для 6-полосного десятикилометрового участка проспекта Гагарина с интенсивным движением в малоэтажной местности с лесополосами, а второй – трехкилометрового участка грунтовой проселочной дороги в сельской местности.

Заметим, что поведение функций зависимости числа точек в выборке от абсолютной невязки по высоте для двух зон разное; несмотря на то, что ресурсы WorldDEM позиционируются как материалы с учетом влияния антропогенной среды (застройки, растительности), на анализируемых участках заметна переменная распределенная по всей длине погрешность, наиболее заметная на участках с узкой полосой отвода и наличии плотной застройки/растительности (что объясняется довольно низкой точностью исходных данных – 24-метровым разрешением).

Вместе с тем явно отсутствует учет дорог с АБ-покрытием, так как результаты по второму участку – для грунтовой дороги, несмотря на наличие вдоль дороги деревьев и домовладений, показывают намного более высокую точность, укладывающуюся в абсолютную точность данных WorldDEM [5, 6].

Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования ресурсов WorldDEM для уточнения рельефа местности для загородных участков дорог с редкой растительностью и малоэтажной застройкой.

Результаты для городской улично-дорожной сети следует дополнительно проверять, согласовывая с имеющимися топографическими данными ввиду низкой пространственной точности WorldDEM и наличие в городских условиях большого числа искусственных объектов, не всегда идентифицируемых как антропогенная среда.

Следует отметить, что имеется также более точная версия WorldDEM с разрешением 10 м и более, доступные, правда, только для коммерческого приобретения, в то время как рассматриваемые модели с разрешением 24 м можно получить как базовый материал при использовании продуктов ArcGIS.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Teo, T.A., Shih, P.T.Y., Yu, S.C., Tsai, F. The use of UAS for rapid 3D mapping in geomatics education. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*. 2016. 41. Pp. 95–100. DOI: 10.5194/ISPRSARCHIVES-XLI-B6-95-2016.
2. Thiele, S.T., Grose, L., Samsu, A., Micklethwaite, S., Vollgger, S.A., Cruden, A.R. Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data. *Solid Earth*. 2017. 8(6). Pp. 1241–1253. DOI: 10.5194/SE-8-1241-2017.
3. Yanchuk O.E., Trohimets S.M., Shulgan R.B., B.B.O. Analysis of application data from global digital elevation models in solving problems of national eco.
4. Talipova L., Shonina E., Strelets K., Lapteva S. Reconstruction of the gray belt objects based on energy efficiency clusters В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 01021.
5. Ryzhakov A.N. (2016). Sravnitel'nyy analiz tsifrovyykh modeley rel'yefa, sozdannykh na osnove dannykh radarnoy i geodezicheskoy s"yemok. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*. 2016. 3(63)
6. Riegler, G., Tinz, M., Kaptein, A. WorldDEM™ – The new standard of global digital elevation models. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*. 2014. 4. Pp. 2661–2663.
7. Becek, K., Koppe, W., Kutoğlu, Ş.H. Evaluation of vertical accuracy of the WorldDEM™ using the runway method. *Remote Sensing*. 2016. 8(11). DOI: 10.3390/RS8110934.
8. Kosyakov E.D., Talipova L.V., Romanovich M.A., Roshkovanova A.I., Simankina T.L., Braila N.V. Strategies for redevelopment of gray belt objects on the basis of neural networks. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. № 7 (70). С. 31–42.
9. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. Simulation model of the organization of technological transport movement at a mining enterprise. В сборнике: *Journal of Physics: Conference Series*. Сер. "International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering, IPDME 2020" 2021. С. 012008.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

*Цель работы* – определить влияние погодно-климатических и механических факторов на свойства асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог. Под воздействием именно этих двух групп факторов происходят необратимые изменения свойств и структуры асфальтобетона в слое покрытия, влияющие на его физико-механические свойства.

На прочность и долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий значительное влияние оказывают усталостные явления, вызываемые нагрузками от транспортных средств и усиливаемые неровностями проезжей части [1, 2].

Потенциальный риск изменения климата вызывает интерес к тому, как он может повлиять на скорость износа нежестких дорожных покрытий и изменение срока их службы. Исследования [1, 2] показали, что температура окружающей среды является наиболее важным фактором при механико-эмпирическом проектировании дорожного покрытия. В этом исследовании температурные факторы, как повышение среднегодовой температуры, так и сезонные колебания температуры, исследуются с помощью анализа чувствительности. Чувствительность покрытия к температуре, а также к другим факторам окружающей среды, таким как осадки, скорость ветра, процент солнечного света и уровень грунтовых вод, включена для сравнения. В этом исследовании сделан вывод о том, что температурные факторы, как повышение среднегодовой температуры, так и сезонные колебания, наиболее влияют на характеристики дорожного покрытия. Кроме того, срок службы дорожного покрытия может значительно сократиться из-за изменения климата в некоторых регионах, если физико-механические свойства не адаптированы к изменившемуся климату [2–4].

Климатические факторы, особенно температура и влажность, влияют на характеристики нежестких дорожных покрытий. Эти факторы долгое время учитывались при проектировании и практике дорожного покрытия, поскольку они могут влиять на износ материалов и жесткость дорожного покрытия, тем самым влияя на характеристики дорожного покрытия. Например, выбор битумного вяжущего тесно связан с местными температурными условиями, чтобы удовлетворить структурные и функциональные требования. Хотя правильный дизайн тротуара включает рассмотрение климатических факторов, бедствия, вызванные окружающей средой, неизбежны, а иногда и имеют решающее значение.

На температуру поверхности дорожного покрытия влияют такие факторы окружающей среды, как температура воздуха и солнечная радиация.

Основным критерием прочности асфальтобетона при отрицательных температурах являются его деформативные свойства, характеризующие устойчивость против образования трещин. При охлаждении объем асфальтобетона сокращается, в покрытии возникают растягивающие напряжения, которые до известной степени могут компенсироваться его пластичностью. Для предотвращения образования трещин необходимо, чтобы асфальтобетон обладал способностью деформироваться под действием растягивающих напряжений без нарушения сплошности. Для оценки его пластичности обычно используют предельную относительную деформацию в момент разрушения (рис. 1). Если деформирование чисто упругое, то критическая относительная деформация не превышает 0,001. По мере повышения температуры критическое относительное удлинение увеличивается [3, 4].

Деформативность асфальтобетона оценивают по относительной деформации асфальтобетонных образцов при испытании на изгиб или растяжение. Покрытие будет

устойчивым против образования трещин, если асфальтобетон обладает относительным удлинением при 0 °С не менее 0,004...0,008, а при -20 °С – не менее 0,001...0,002 (при скорости деформации, близкой к 5... 10 мм/мин.).

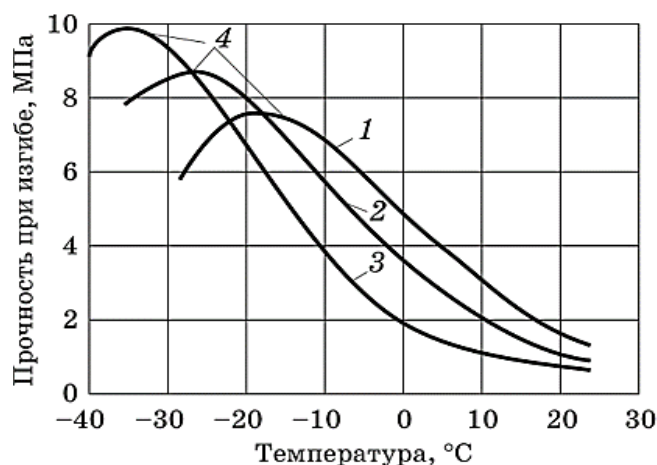


Рис. 1. Зависимость прочности на изгиб асфальтобетона от температуры испытаний:  
1 – битум БНД 60/90; 2 – БНД 130/200; 3 – БНД 200/300;  
4 – условная температура хрупкости асфальтобетона (точка перегиба кривой)

Морозное пучение и оттепель могут быть важным фактором, связанным с климатом для автомобильных дорог, расположенных в более холодных регионах. Когда происходит морозное пучение, дорожное покрытие набирает прочность из-за промерзшего земляного полотна. Однако прочность может резко снизиться в весенний период, когда оттаивает грунт земляного полотна.

Чрезмерное количество воды может вызвать большие проблемы, связанные с влажностью грунтового основания. Считается, что весенняя оттепель является наиболее важным сезонным явлением, ухудшающим несущую способность дорог в холодных регионах. Повреждение от мороза приводит к неровной поверхности дорожного покрытия. Во время весеннего таяния образуются продольные и поперечные трещины, повышенный процент колеяности [5–7].

Наблюдения последних лет показывают, что климат вряд ли останется неизменным в будущем, так как среднегодовая глобальная температура поверхности земли увеличилась с 1950 г. на 0,75°С, а уровень моря с 1900 г. поднялся на 150 мм. Тенденция изменения климата в течение последних 50 лет происходит еще быстрее. В некоторых районах (например, в восточной части Северной Америки) за последнее столетие количество осадков значительно увеличилось. Более того, в некоторых районах наблюдаются более частые экстремальные жары и холода, штормы и наводнения, избыточное увлажнение конструктивных слоев дорожной одежды [6–8].

*Вывод.* Изменение климатических условий и сезонные колебания температуры значительно влияют на физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий. Это вызывает необходимость адаптировать зерновой состав, минеральный наполнитель и вяжущее асфальтобетонных смесей с учетом максимальных и минимальных расчетных температур региона с заданной надежностью.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Борисова А.В., Самойлов К.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Технические решения элементов улично-дорожной сети в целях обеспечения безопасности дорожного движения. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 336–338.

2. Алексеев С.В., Погонин С.Ю. Оптимизация улично-дорожной сети в крупных городах России. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 220–223.
3. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94–97.
4. Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 317–319.
5. Кузнецова О.А., Ермошин Н.А., Царева О.С., Бирюков О.Р. Концептуальный подход к определению оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 302–305.
6. Алексеев С.В., Трифонова А.А. Количественная оценка эффективности использования геосинтетических материалов для армирования земляного полотна автомобильной дороги. Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). С. 52–55.
7. Ермошин Н.А. Моделирование и оценка риска разрушения дорожной одежды на автомобильных дорогах. В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. сборник трудов Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 2020. С. 1365–1371.
8. Попков И.В., Алексеев С.В. Расчёт экономической целесообразности применения противодеформационных мероприятий в основании дорожной одежды для предупреждения образования колеи. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 341–344.

УДК 69.003.13

В.А. Ахмадулина, О.Р. Бирюков, С.В. Алексеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Дорожное строительство – отрасль строительства, конечной продукцией которой являются построенные и реконструированные автомобильные дороги. Продукция отдельных видов строительных работ – это участки земляного полотна, основания дорожной одежды, покрытия и т.д.

*Цель работы* – повышение эффективности производства выполнения больших объемов работ при строительстве автомобильных дорог с использованием различных средств механизации, а также механизированного инструмента и приспособлений.

В зависимости от способа выполнения строительные процессы подразделяются: на немеханизированные (ручные), осуществляемые с применением ручного инструмента и приспособлений; полумеханизированные, выполняемые с использованием механизированного инструмента и приспособлений; частично механизированные, основная часть которых выполняется машинами; комплексно или полностью механизированные, когда все операции выполняются машинами или машинами-автоматами [1].

Механизация дорожных работ является основным фактором повышения производительности труда. Завершение перехода от производства, базировавшегося на ручном труде к производству, основанному на машинной технике – наиболее существенная черта развития строительной отрасли в нашей стране. С этим связаны коренные изменения в технике и экономике строительства. Внедрение машин сказывается на экономических показателях строительства, в частности на структуре себестоимости строительно-монтажных работ. Существенную долю себестоимости работ стали составлять затраты на эксплуатацию строительных машин.

Насыщение строительства машинами способствуют выполнению больших объемов работ, но не уменьшает долю работ, выполняемых вручную.

Повышение объемов капитального строительства, необходимость ускорения ввода производственных мощностей, улучшение экономических показателей работы требуют интенсификации строительного производства путем применения более производительных машин [2]. Речь идет об увеличении единичной мощности (емкости ковша экскаватора, скрепера, отвала бульдозера, грузоподъемности автомобилей-самосвалов и других машин).

Повышение мощности машин улучшает технико-экономические показатели.

Так, самоходный скрепер с ковшем емкостью 25 м<sup>3</sup> обеспечивает повышение выработки на 300%, уменьшение трудовых затрат на 100%, снижение себестоимости работ на 1000 м<sup>3</sup> на 20% по сравнению с 8-10-кубовым скрепером.

Асфальтоукладчик Д-150Б имеет выработку до 100 т/ч, а автоматизированный ДС-669 – до 150 т/ч. Производительность труда машиниста автоматизированного укладчика возрастает на 120-150%, а стоимость укладки 1 км покрытия снижается на 25%. Для повышения эффективности земляных работ большое значение имеет повышение грузоподъемности автомобилей-самосвалов.

Однако было бы неправильным комплектовать парк только машинами большой единичной мощности. Известно, что на показатели эффективности механизации большое влияние оказывает объем работ на строительной площадке [3, 4]. При небольших объемах работ наиболее эффективными могут оказаться именно мобильные машины малой мощности, затраты на перемещение которых с объекта на объект лишь в незначительной степени отражаются на себестоимости работ. Следовательно, для повышения эффективности производства необходима широкая номенклатура машин и комплектов, позволяющая выбрать экономически целесообразный вариант механизации с учетом конкретных условий.

Учитывая, весь комплекс работ при сооружении автомобильной дороги уровень механизации  $Y_M$  (в %) при ее строительстве предлагается определять отношением объемов работ, выполненных машинами при сооружении различных конструктивных элементов дороги, к их общему объему:

$$Y_M = \frac{Q_{зп} + Q_{од} + Q_{дп} + Q_{об}}{Q} 100,$$

где  $Q_{зп}$  – объем механизированных работ при сооружении земляного полотна, в физических единицах измерений (м<sup>3</sup>) или в стоимостном выражении (руб.);  $Q_{од}$  – объем механизированных работ при устройстве основания дорожной одежды в тех же единицах измерения;  $Q_{дп}$  – объем механизированных работ при устройстве дорожной одежды;  $Q_{об}$  – объем механизированных работ при обустройстве автомобильной дороги.

В физических единицах измерения эта формула позволяет определять уровень механизации только по отдельным видам работ, например, по земляным работам, по заготовке камня, укладке асфальтобетонной смеси. Однако, соответствие измерения работ в физических единицах при обустройстве автомобильной дороги по отношению к работам по возведению земляного полотна, дорожной одежды не всегда является корректной.

Поэтому для определения общего уровня механизации всего комплекса строительства автомобильной дороги численные значения объемов работ, характеризующихся различными единицами измерений, целесообразно заменять их стоимостными выражениями. Тогда значение числителя в данной формуле будет характеризовать стоимость механизированных работ, а знаменатель – стоимость всех работ.

При сравнении различных вариантов обеспечения строительства средствами механизации и строительными кадрами предпочтение обычно отдают варианту, у которого [5]:

- наиболее высокие показатели уровня комплексной механизации и автоматизации, если эти показатели низкие у всех вариантов, принимают во внимание показатель уровня не комплексной механизации;
- обеспечено выполнение и перевыполнение годовых директивных норм всем парком машин;
- высокие показатели степени охвата рабочих механизированным трудом;
- механовооруженность строительства и энерговооруженность на 1 млн руб. (или на единицу физического объема) выполняемых работ будут наименьшими;
- механовооруженность и энерговооруженность труда (одного рабочего) будет наибольшей.

В этом случае на строительстве:

а) будет занято наименьшее количество рабочих, т.е. показатель трудоемкости будет наименьшим;

б) работы, выполняемые вручную будут сведены к минимуму или даже полностью исключены;

в) затраты на оснащение строительной организации средствами механизации и энергией будут наименьшими, а использование их будет достаточно эффективным [5].

На рисунке 1 представлена зависимость повышения эффективности выполнения работ в зависимости от начального уровня механизации и зона целесообразной экономии, получаемой при различной степени их механизации.

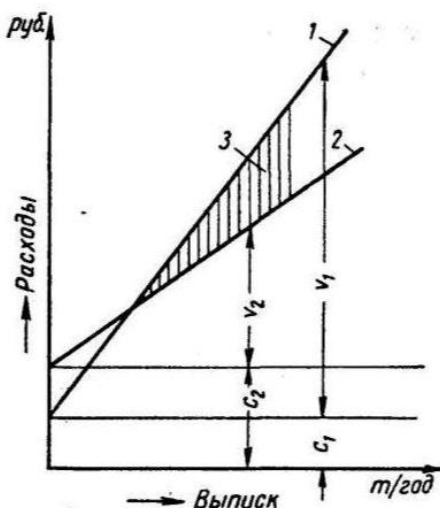


Рис. 1. Влияние степени механизации на экономику производства:  
1 – меньшая степень механизации; 2 – более высокая степень механизации; 3 – экономия затрат

Таким образом, можно сделать вывод, что эффективность производства выполнения больших объемов работ при строительстве автомобильных дорог в значительной степени зависит от уровня их механизации. Но при ограниченных средствах на строительство при его механизации необходимо учитывать и рассчитывать величину их целесообразной эффективности и экономии, получаемой при различной степени их механизации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вербицкий Г.М. Основы оптимального использования машин в строительстве: учеб. Пособие / Г.М. Вербицкий. – Хабаровск: Хабар. политехн. ин-т, 1984. – 80 с.
2. Борисова А.В., Самойлов К.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Технические решения элементов улично-дорожной сети в целях обеспечения безопасности дорожного движения. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 336–338.



- 3 Лазарев Ю.Г., Симонов Д.Л., Карпачев Б.А. Оценка пригодности методов обоснования организационной структуры предприятий сервиса ассистанс. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 1 (31). С. 63–70.
4. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
5. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
6. Ермошин Н.А. Обеспечение гибкости производственной структуры дорожно-строительных организаций. Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 103.
7. Ермошин Н.А. Проектирование производственной структуры дорожно-строительных организаций с учетом неопределенности структурообразующих факторов. Дороги и мосты. 2012. № 1 (27). С. 032–044.
8. Ермошин Н.А. Управление логистическими рисками при проектировании производственной структуры дорожно-строительных организаций. Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3 (24). С. 138–140.

УДК 625.8

С.В. Алексеев, Г.Л. Огурцов, Л.В. Талипова, Г.А. Аверченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ РИСКОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

*Аннотация:* в настоящей статье рассматриваются некоторые современные технологии, которые способны снизить количество дорожно-транспортных происшествий со смертельными исходами. В статье рассматриваются системы помощи водителю, которые способны взаимодействовать с управляющими механическими частями транспортного средства и способны анализируя ситуацию предотвращать дорожно-транспортное происшествие.

Усложнение конструкции транспортных сооружений, применение новых строительных материалов и технологий транспортного строительства, рост интенсивности движения и нагрузок требуют учета фактора неопределенности при эксплуатации автомобильной дороги. Статистика дорожно-транспортных происшествий со смертельными исходами, представленная на рисунке 1, демонстрирует снижения уровня происхождения дорожно-транспортных происшествий [1, 2]. Это связано с внедрением новых технологий не только в транспортном строительстве, но и с внедрением ассистентов помощи при вождении.

Рассматривая непосредственно статистику ДТП в России с участием разных транспортных средств, основными причинами, по данным Росстата и ГИБДД, вызывающими аварийные ситуации, являются (рис. 2).

Одним из способов уменьшения дорожно-транспортных происшествий является переход к беспилотным транспортным средствам, так как большинство дорожно-транспортных происшествий происходит из-за человеческого фактора. Volvo Cars провела исследования, что причиной 94% аварий происходит по вине человека [3–5].

Переход к беспилотным транспортным средствам способен снизить уровень смертельных дорожно-транспортных происшествий, так как беспилотное транспортное средство невосприимчиво к усталости и нарушению правил дорожного движения. Ей управляет только алгоритмы, которые прописывается специалистами в зависимости от ситуации на автомобильной дороге [6–8].

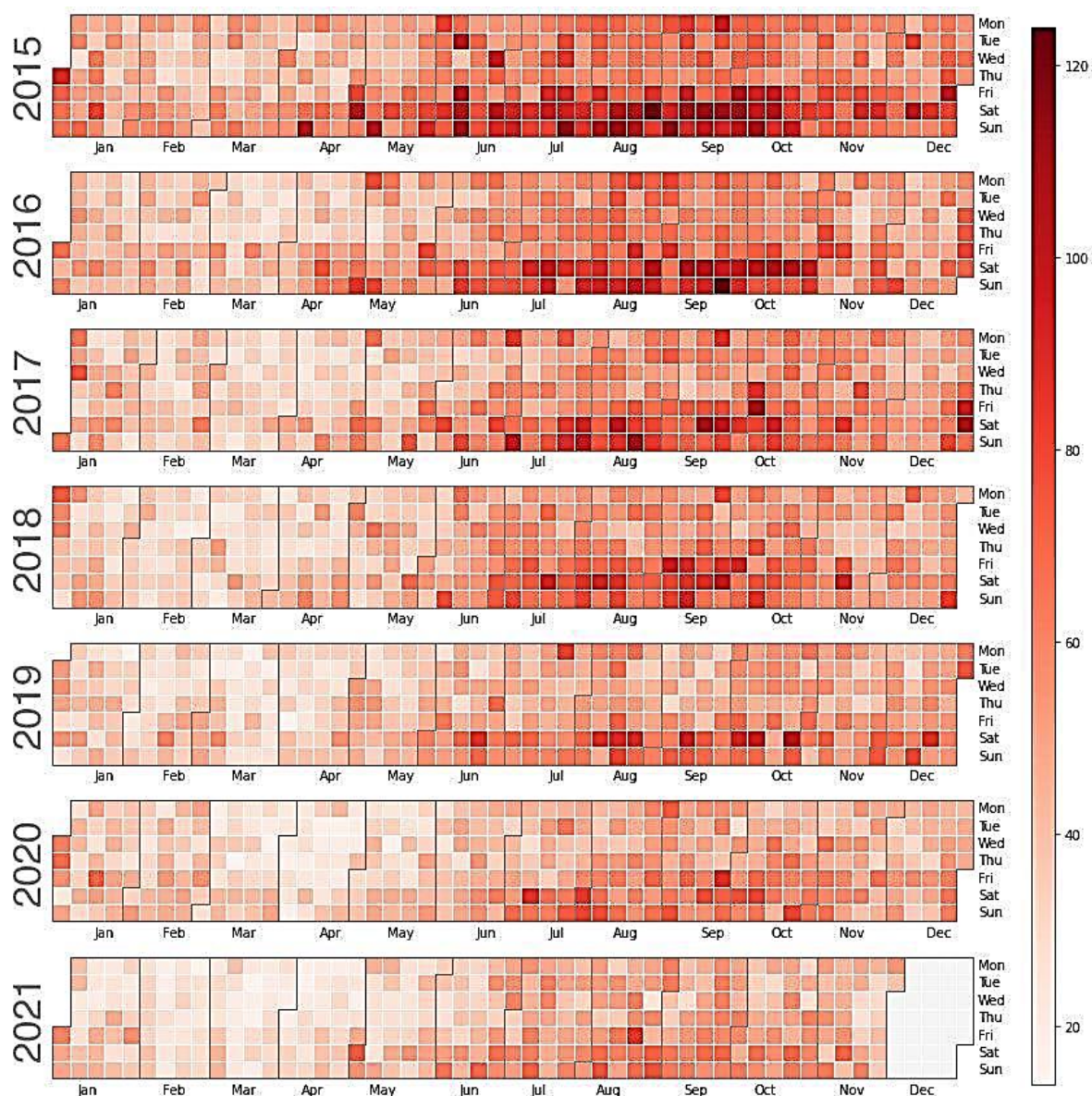


Рис. 1. Статистика ДТП со смертельным исходом за период 2015–2021 гг.

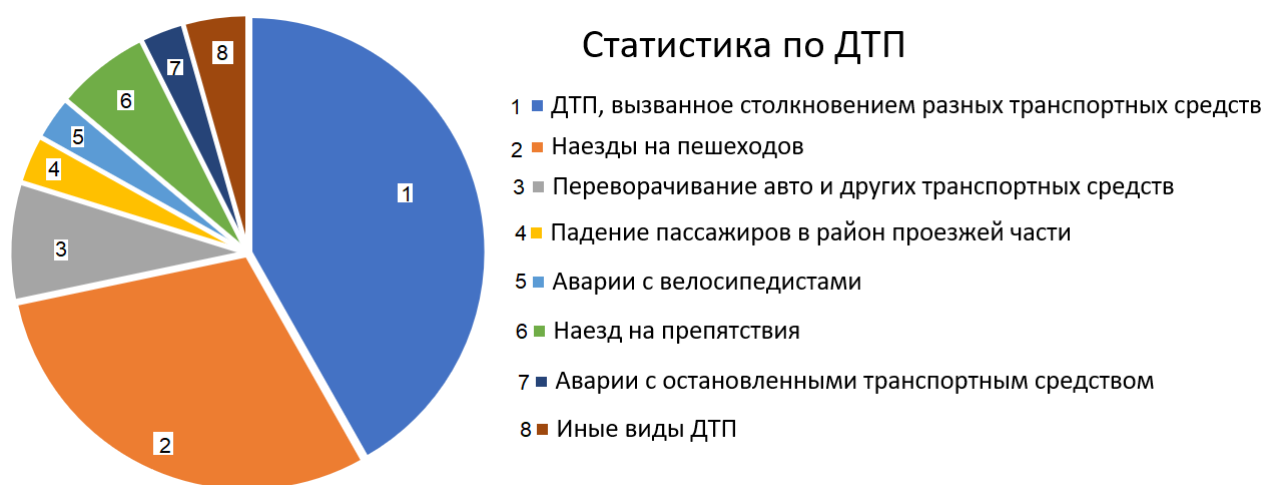


Рис. 2. Причины возникновения ДТП

Первоначальной необходимостью становится создание единой базы данных с атрибутивной информацией, используя которую транспортное средство сможет выбирать оптимальный и соответствующий правилам дорожного движения маршрут.

Объединение элементов дорожно-транспортной инфраструктуры и режимы их работы в интернет-базу, позволит беспилотным транспортным средствам подобрать оптимальную скорость на пути следования для уменьшения времени простоя в пробках и уменьшения вредных веществ в атмосферу [7–9].

Данную технологию применила компания Audi (система Traffic Light Information), представленная на рисунке 3. Комплекс получает данные от программы управления светофорами города, от компьютера, координирующего дорожное движение, от камер на перекрестках и сенсорах в асфальте, фиксирующих проходящий транспорт, от общественного транспорта (передвижение трамваев и автобусов), плюс собирает информацию от кнопок перехода, нажимаемых пешеходами.

Специальный алгоритм всё это анализирует и сравнивает со статистикой работы того или иного участка дорожной сети. Система вычисляет оптимальную скорость для движения и выводит информацию в виде подсказки для водителя.

Руководствуясь представленными данными, можно значительно сократить количество ДТП, в том числе и с тяжелыми последствиями.

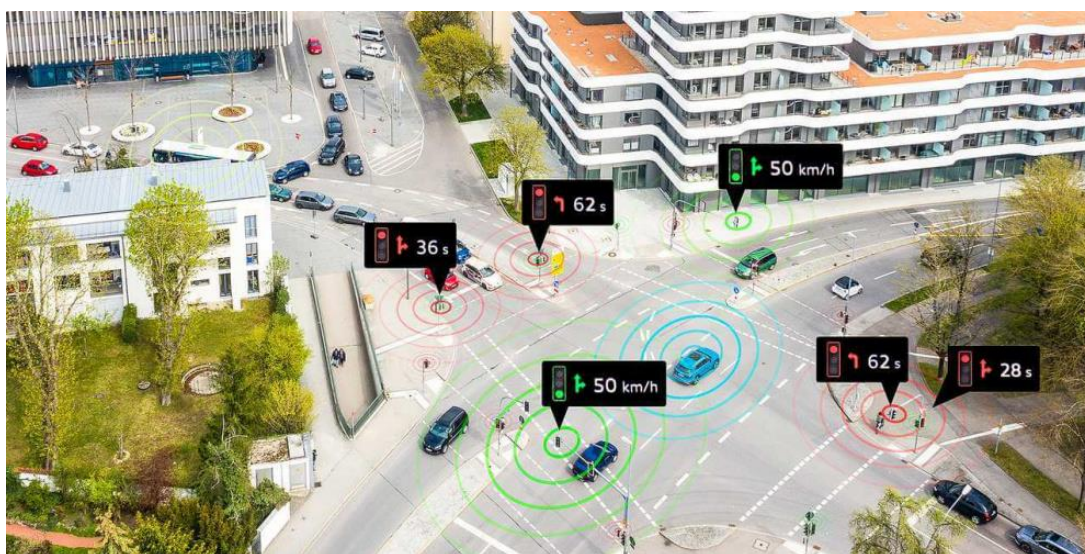


Рис. 3. Представление системы Traffic Light Information

Данная система позволяет автомобилистам не нарушать правила дорожного движения и экономить на расходах на топливо. Уменьшение времени, проведенного за рулем и изнуряющих заторов на дорогах (пробках), ведет к спокойной езде автомобилиста и к уменьшению вероятности возникновения усталости водителя, что в свою очередь уменьшает возможность возникновения дорожно-транспортного происшествия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.gibdd.ru>. (Дата обращения: 01.03.2022).
2. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56–60.

3. Talipova L., Kosyakov E., Polyakova I. Methods for converting industrial zones. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. С. 012071.
4. Бердник А.В., Шевченко С.М., Новик В.А., Алексеев С.В., Ахмед Х.А. Экономические последствия ДТП из-за недостатка освещенности на автомобильных дорогах Ленинградской области // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. 2021. С. 333–335.
5. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
6. Talipova L., Kosyakov E., Romanovich M., Lunyakov M. Change of the functional purpose of the object through urbanistic analysis. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 02011.
7. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
8. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстиков А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
9. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных операциях. Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 5. С. 46–50.

УДК 691.4

С.А. Курушина, В.А. Трепалин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ И БИТУМОВ НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ

*Цель работы* – сравнение физико-химических свойств полимерно-битумных вяжущих и битумов нефтяных дорожных.

В современных условиях специалисты-дорожники постоянно работают над тем, чтобы укрепить дорожное покрытие современными материалами в условиях возросшего транспортного потока с различными нагрузками и воздействия погодно-климатических факторов. Активное применение полимерно-битумных вяжущих и битумов нефтяных дорожных повышает долговечность и прочность дорожных одежд [1, 2].

Рассмотрим и сравним свойства битумов нефтяных дорожных вязких, физико-химические показатели которых должны соответствовать требованиям и нормам, прописанным в ГОСТ 33133-2014, и вяжущих полимерно-битумных дорожных на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол, показатели которых должны соответствовать требованиям и нормам, прописанным в ГОСТ Р 52056-2003.

Основные свойства асфальтобетона определяет органическое связующее [3]. Таковым является битум. Возможности дальнейшего повышения качества дорожного битума ограничены [4], а возможно, даже исчерпаны из-за увеличения глубины переработки нефти, ведущего к «обеднению» сырья, из которого получают битум методом окисления. Также известно, что сроки службы дорожных покрытий, выполненных из битум-минеральных композиций, составляют всего 50–70% от нормативных [5]. В связи с недостаточным температурным интервалом работоспособности, недостаточной трещиностойкостью и эластичностью возрастает актуальность внедрения и распространения асфальтобетонов, на основе модифицированных битумных вяжущих.

Стирол-бутадиен-стирол – полимер, являющийся термоэластопластом, а значит и объединяющий в себе положительные качества, эластомеров и термопластов. Применение СБС-полимера повышает эластичность покрытия, а также температуру размягчения [6]. Модифицированное вяжущее обладает в большей мере эластомерными характеристиками, что как предполагается позволит достичь более быстрого снятия напряжений от воздействия транспортного потока [7].

В таблице 1 представлены свойства модифицированных битумов и БНД на растяжимость.

Таблица 1 – Свойства модифицированных битумов и БНД на растяжимость

	ПВБ						БНД					
	ПВБ 300	ПВБ 200	ПВБ 130	ПВБ 90	ПВБ 60	ПВБ 40	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 70/100	БНД 50/70	БНД 35/50	БНД 20/35
Растяжимость при 0°С, см, не менее	25	25	20	15	11	8	6,0	4,0	3,7	3,5	Не определяется	

Анализ данных таблицы 1 показывает, что растяжимость при 0°С у модифицированных битумов выше. Имея большую эластичность модифицированный битум способен к большим обратимым деформациям и, следовательно, может лучше сопротивляться растущим нагрузкам на дорогу.

В таблице 2 проведен анализ свойств модифицированных битумов и БНД по температуре размягчения.

Таблица 2 – Свойства модифицированных битумов и БНД по температуре размягчения

	ПВБ						БНД					
	ПВБ 300	ПВБ 200	ПВБ 130	ПВБ 90	ПВБ 60	ПВБ 40	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 70/100	БНД 50/70	БНД 35/50	БНД 20/35
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	45	47	49	51	54	56	42	45	47	51	53	55

Температура размягчения битума характеризует его теплостойкость. По данным таблицы 2 видно, что модифицированные битумы имеют чуть большие температуры размягчения. Следовательно, они менее подвержены воздействию высоких температур.

В таблице 3 были рассмотрены свойства модифицированных битумов и БНД по температуре хрупкости.

Таблица 3 – Свойства модифицированных битумов и БНД по температуре хрупкости

	ПВБ						БНД					
	ПВБ 300	ПВБ 200	ПВБ 130	ПВБ 90	ПВБ 60	ПВБ 40	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 70/100	БНД 50/70	БНД 35/50	БНД 20/35
Температура хрупкости, °С, не выше	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-21	-20	-18	-16	-14	-11

Температура хрупкости характеризует поведение битума в покрытии: чем она ниже, тем выше качество битума. По данным таблицы 3 можно сделать вывод о том, что хрупкость ПВБ наступает при более низких температурах, что так же увеличивает интервал их работоспособности в сравнении с БНД.

Модифицированные битумы имеют больший интервал пластичности, определяющийся как разница температур размягчения и пластичности. Это означает что такие битумы имеют больший интервал работоспособности.

Сравнительный анализ физико-химических свойств полимерно-битумных вяжущих и битумов нефтяных дорожных показал, что:

1. Битумы, модифицированные действительно имеют лучшие показатели по ряду свойств.
2. Большая растяжимость модифицированных битумов, теплостойкость и температура хрупкости значительно расширяют температурный интервал работоспособности.
3. С помощью модификации получен гибкий материал, устойчивый к ультрафиолетовому излучению, которому не страшны высокие и низкие температурные колебания.

*Вывод.* Таким образом, применение модифицированных битумов будет эффективнее и выгоднее чем битумов нефтяных дорожных. Применение данных битумов положительно сказывается на основных физико-химических свойствах органических вяжущих, а соответственно улучшает показатели эксплуатационных, прочностных и деформационных свойств асфальтобетона, что влечет за собой увеличение качества и срока службы автомобильных дорог, а также безопасность дорожного движения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Русаков М.Н., Исмаилов А.М. Стирол-бутадиен-стирольные полимеры для дорожного строительства в Российской Федерации //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020.№ 87. DOI: 10.18720/CUBS.87.3.
2. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41–50.
3. Галлямова З.О. Модифицированные битумы для асфальтобетона. // Вестник МГСУ. 2010. №3. С. 49–51.
4. Быстров Н.В. Нормирование свойств модифицированных битумов. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. №5.
5. Алексеев С.В., Титова Л.А. Возможные способы ликвидации расслоения асфальтобетонной смеси. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 224–228.
6. Лазарев Ю.Г., Белихин С.В., Исмаилов А.М., Лабусов Н.В. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник научных трудов участников межвузовской НПК. ВА МТО. 2019. С. 87–91.
7. Попков И.В., Алексеев С.В. Расчёт экономической целесообразности применения противодеформационных мероприятий в основании дорожной одежды для предупреждения образования колеиности. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 341–344.

УДК 625.723

Е.В. Морозова, Д.Н. Пестова, Л.В. Талипова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Актуальность.* Планирование организации дорожного движения является обширной и трудоемкой задачей, важность которой сохраняется на всех этапах создания дороги и ее эксплуатации. После вступления в действие Федерального Закона №443 «Об организации

дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1] встал вопрос об учете всех изменений в проекте организации дорожного движения (ПОДД) в реальном времени и его актуализации по современным нормам. Такую задачу лучшим образом можно решить с помощью применения специализированных программных комплексов.

*Методы исследования.* Основополагающим для предпринимаемого исследования является метод теоретической оценки и сравнения разных программных обеспечений для разработки проектов организации дорожного движения.

*Цель работы.* Изучение характеристик выбранных программ для составления проектов организации дорожного движения и сравнение их возможностей, а также корректности работы.

*Задачи работы.* Проанализировать рынок отечественных и мировых программных обеспечений по организации дорожного движения, представить в сравнительном виде выбранные программы и дать характеристику их возможностей.

Существует ряд нормативных документов, регламентирующих использование технических средств организации дорожного движения в РФ, основным из которых является ГОСТ Р 52289-2019 [2].

Расположение используемых элементов инженерного обустройства, таких как разметки, дорожные знаки, светофоры, камеры, различные направляющие устройства и пр. на каждом участке конкретной дороги определяется проектом организации дорожного движения, процессы разработки которого, а также содержание и формат регламентируется «Порядок разработки и утверждения проектов организации дорожного движения на автомобильных дорогах» [3].

В прошлом разработка ПОДД имела сложную специфику, заключающуюся исключительно в ручном подсчете всех элементов дорожного обустройства, что замедляло работу, а впоследствии затрудняло актуализацию данных.

С появлением новейших программных комплексов, автоматизирующих многие этапы создания проектов, данный процесс упрощается, позволяя обеспечить ввод, редактирование и отображение всех требуемых элементов на автомобильной дороге [4].

Наиболее популярными программными комплексами в данной сфере являются: Titul-2005, Кредо организация движения, Robur, RapidPlan и IndorTrafficPlan. Для всех выбранных программ требуется операционная система Microsoft Windows 7 и выше. Характеристики и возможности вышеперечисленных программ представлены для сравнения в табличном виде, табл.1.

Данные программы позволяют оптимизировать процесс разработки ПОДД, что повышает производительность труда.

На примере ПО RapidPlan можно утверждать, что иностранные программы не содержат достаточно инструментария и соответствующих норм, необходимых отечественному специалисту. Как вывод проект будет выполняться в произвольном формате, и будет нуждаться в доработке.

Кроме функциональных характеристик, не менее важным является наличие интуитивно-понятного интерфейса, для легкого освоения программного комплекса. Для работы в ПК Титул-2005 или Кредо организация движения потребуются длительное обучение. Программа Robur направлена на создание полной BIM-модели автомобильной дороги до стадии эксплуатации и обслуживания, то есть ее специфика не предусмотрена для создания ПОДД.

Таблица 1 – Программные комплексы для составления ПОДД

Наименование ПК	Разработчик	Особенности
Титул-2005	ООО «Титул-2005»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Разработан собственный WEB-портал ГИС;</li> <li>- Оформление дорожных ведомостей не соответствует нормам;</li> <li>- Формирование отчетных документов общегосударственного образца, различных сводных ведомостей и др.;</li> <li>- Позволяет находить в базе данных заданные характеристики автомобильных, Платный доступ к программе.</li> </ul>
Кредо организация движения	ООО «Компания «Кредо-Диалог»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Выполняет автоматизированное проектирование и разработку проектов ОДД с возможностью последующего редактирования проектировщиком; Отсутствует импорт в DWG с целью редактирования условных знаков, временных направляющих устройств; Не предусматривается передача данных в ГИС;</li> <li>- Для работы требуются иные программные комплексы данного производителя; Лицензия от 5 до 35 т. руб.</li> </ul>
Robur	НПФ «Топоматик»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Нет возможности создания полного профиля дороги;</li> <li>- Возможен простой импорт/экспорт данных;</li> <li>- Реализована возможность импорта в программу кадастровых данных; Интуитивно-понятный интерфейс;</li> <li>- Предоставляется пробная версия; Лицензия 65,9 т. руб.</li> </ul>
RapidPlan	Invarion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Наложение ГИС, экспорт и импорт с программ САПР;</li> <li>- Удобный и простой интерфейс;</li> <li>- Отсутствует возможность создания некоторых элементов, таких как светофоры, ограждения, нет информации о продольном профиле дороги, указывать состояние объекта и невозможна привязка к координатам; \$45 в месяц.</li> </ul>
Indor TrafficPlan	ООО «ИндорСофт»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Интеграция с ГИС-программой госкомпании «Автодор» IndorRoad;</li> <li>- В одном проекте позволяет создавать, кроме проектируемой трассы, вспомогательные участки дорог; Удобное формирование ведомостей и чертежей; Импорт/экспорт с программами САПР;</li> <li>- Предоставляется доступ к пробной версии; от 19 до 69 т. руб.</li> </ul>

Среди программных комплексов российских разработчиков наиболее полно справляется со своей задачей IndorTrafficPlan. Система содержит все необходимые инструменты для создания проектов организации дорожного движения. IndorTrafficPlan решает широкий спектр задач, имеет возможность создавать проекты как отдельных дорог, так и для дорожных развязок и сетей, позволяя проектировать в дополнение не только временные дорожные знаки, разметку, но и элементы индивидуального ограждения (водоналивные баки, фундаментные блоки стеновые, сигнальные фонари, делиниаторы и т.д.), а интуитивно-понятный интерфейс упрощает работу. Программа автоматически составляет ведомости, подсчитывая такие параметры как площадь разметки, количество ограждающих элементов и т.п. Возможность обратной интеграции временных схем в ГИС [5] позволяет заказчику оперативно контролировать точность и количество разработанных временных схем, составленных подрядчиком.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральный закон от 29.12.2017 N 443-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2021);
2. ГОСТ Р 52289-2019. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств, 2020. – 134 с.;



3. Порядок разработки и утверждения проектов организации дорожного движения на автомобильных дорогах. М., 2006. 21 с.;
4. Кривопапов А.Д., Петренко Д.А., Скворцов А.В., д.т.н., Разработка проектов организации дорожного движения: настоящее и будущее//САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №2(3) С. 86–92;
5. Скворцов О.В. Требования безопасности дорожного движения и нормы проектирования автомобильных дорог в России и за рубежом // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования 2008. №4(31).

УДК 528.45

А.А. Митин, С.В. Киселёв, В.Е. Гац, Л.В. Талипова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*Цель работы* – анализ характеристик программных комплексов для обработки результатов мобильного лазерного сканирования, а также сравнение их возможностей и эффективности.

*Задачи работы* – исследовать российский и мировой рынок ПО для обработки облаков точек, дать характеристику быстродействия, эффективности и возможностей выбранных программ в сравнительной форме.

В настоящее время лазерное сканирование успешно используется на различных этапах всего жизненного цикла автомобильной дороги, например, при инженерных изысканиях, территориальном планировании, составлении проектов организации дорожного движения, ремонте и реконструкции [1, 2].

При использовании метода лазерного сканирования важно не только грамотно использовать сканирующее оборудование, но и эффективно обработать полученные результаты, получив полноценные модели автомобильных дорог для дальнейшего использования в САПР и ГИС при решении проектных задач [3].

В прошлом специалисты на постоянной основе сталкивались с нехваткой инструментария для обработки результатов сканирования. Сегодня же рынок предлагает проектировщикам огромное количество программ. Это могут быть как небольшие плагины и утилиты, так и комплексные интеллектуальные системы. Такая диверсификация программного обеспечения обусловлена многообразием инновационных алгоритмов, наборов инструментов, фильтров и пр. для ускорения работы с облаками точек, повышения эффективности и качества обработки данных [4].

Среди многообразия программного обеспечения для сравнительного анализа были выбраны несколько выделяющихся экземпляров: AutoCAD Civil 3D, VrMesh Studio и IndorCloud [5]. Корректность работы программ и их особенности будут анализироваться при помощи файлов мобильного лазерного сканирования Петровского переулка в г. Санкт-Петербург.

AutoCAD Civil 3D это программа от компании AutoDesk – крупнейшего разработчика САПР. Данное ПО способно одновременно отображать на экране 25 млн точек. Импорт файлов облаков точек производится только в формате. tcr или. tcs. В связи с этим, перед началом работы, файлы других форматов необходимо индексировать при помощи дополнительного программного обеспечения, что замедляет рабочий процесс. Программа содержит группу команд распознавания и «умную» привязку курсора к точкам в облаке. Также особого внимания заслуживает инструмент для создания поверхности из облака точек с возможностью фильтрации точек, не относящихся к поверхности грунта, при помощи методов простого среднего значения или алгоритма Крининга.

VrMesh Studio – программа от компании VirtualGrid. Компания распространяет ПО в виде разных пакетов поставок. В пакете Studio собраны все главные функции – рассмотрим положительные аспекты.

Импорт облака несколько переработан – происходит разбиение на блоки и создание поисковых индексов, которые сохраняются локально в формате RCP, перед этим предлагая оптимизировать процесс указанием типа съемки.

Далее работа с облаком происходит по двум сценариям – построение меша или взаимодействие напрямую с облаком. Первый сценарий обеспечивается большим списком пакетных операций (в том числе прореживание, удаление шумов, упрощение, заполнение пробелом и прочая работа с ошибками в структуре). Далее идет работа с мешем и его непосредственным редактированием. Второй сценарий по содержанию также работает пакетными функциями, но уже в полуавтоматическом режиме – классификация точек через команды классификации, извлечение линий с их типом (например ЛЭП, рельса, дорожная разметка). При этом необходим ручной контроль, например через окно разреза – для уточнения положения отдельных опорных точек на линиях. Минус данного сценария – в полуавтоматическом режиме создаются только двумерные формы (вместо опоры освещения не цилиндр, а вертикальные отрезок). Для реалистичного трехмерного отображения придется использовать ручную команду с указанием дополнительных опорных точек.

Таблица 1 – Программные комплексы для обработки результатов лазерного сканирования

Наименование	Разработчик	Применение	Особенности
AutoCAD Civil 3D	Autodesk	Топоплан	Возможность импорта облака точек в определенном формате с возможностью расположения по различным системам координат; Удобный и многофункциональный «штурвал» – как инструмент обзора; Большое количество инструментов для геодезии, построения ж/д путей и инфраструктуры.
VRMesh	Virtual Grid	ПГС, топоплан, архитектура	Встроенные макросы для пакетной обработки; Широкий функционал для обратного инжиниринга и изысканий на местности; Автоматическая классификация облаков точек при экстремальных изменениях рельефа.
IndorCloud	«ИндорСофт»	Дороги, топоплан, ПГС	Импорт облаков точек из популярных текстовых и двоичных форматов; Качественная визуализация точек благодаря алгоритму многомасштабного представления; Фильтрация и маркировка точек по интенсивности, классу; Экспорт в другие форматы облаков точек.
Credo 3D Скан	«Кредо-Диалог»	Дороги, топоплан, ПГС	Работа как с целым облаком, так и отдельными частями с возможностью настройки фильтров; Классификация объектов и геометрии; Распознавание объектов, границ поверхностей, дорожных знаков и ЛЭП; Инструменты для создания технических средств организации дорожного движения.
VisionLidar	Geo-Plus	Дороги, топоплан	Классификация при помощи кластеризации; Полуавтоматическое распознавание дорожной разметки; Возможность создания трассы на основе созданной линии; Редактор твердотельных моделей, позволяющий создавать меш и тетраэдризацию по облакам точек.

IndorCloud – один из пакетов компании Indorsoft. Продукты компании внесены в Единый реестр российских программ. Доступен импорт облаков точек из популярных текстовых и двоичных форматов, с возможностью дальнейшей привязки по координатам. В программе реализована качественная визуализация точек в модели независимо от их числа – благодаря алгоритму многомасштабного представления. Основная возможность данной программы – это экспорт отредактированного облака точек в другие программные продукты компании Indorsoft.

Характеристики и возможности вышеперечисленных программ, а также их аналогов, представлены для сравнения в табличном виде, см. табл. 1.

Проведенный анализ показывает, что основная часть функций по работе с облаком точек доступна практически в любом программном обеспечении. Однако, решающим критерием для выбора программы является область применения лазерного сканирования, а также специфика задачи, решение которой требует различных наборов инструментов и программных алгоритмов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мотуз В.О., Сарычев Д.С., Применение лазерного сканирования и 3D-моделей в жизненном цикле автомобильных дорог//САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №1(2). С. 12–15;
2. Бойков В.Н. САПР автодорог – перспективы развития//САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 6–9;
3. Сарычев Д.С., Обработка данных лазерного сканирования//САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 16–19. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.4;
4. Сарычев Д.С., Мобильное лазерное сканирование//САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. #1. С. 37–41.
5. Медведев В.И., Райкова Л.С., Программы для обработки данных лазерного сканирования местности//САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. №2(9). С. 11–31;

УДК 624.21.037

Л.С. Макаров, С.В. Алексеев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОПОР ПУТЕПРОВОДОВ

Безопасность движения по путепроводу во многом зависит от качества используемых материалов и конструкций. При строительстве путепровода особенно важно правильно рассчитать и подобрать опоры для обеспечения долговечности и надежности инженерного сооружения. Многие годы основным материалом для строительства опор служил железобетон. Но прогресс не стоит на месте. С каждым днем появляется все больше современных материалов, превышающих по многим характеристикам железобетон. Основными преимуществами современных материалов являются: легкость, износостойкость и прочность.

Критерии современного строительства путепроводов:

- Высокий уровень типизации конструкций и их элементов.
- Ориентация на облегченные конструкции.
- Отказ от гранитной облицовки.
- Резкое сокращение объемов котлованных работ.
- Повышение уровня сборности опор за счет применения блоков заводского изготовления.
- Активизация поисков путей дальнейшего сокращения материалоемкости опор и трудоемкости строительства.

*Материалы и методы.* Отдельное направление в создание инженерных сооружений получили нанокompозитные материалы. Высокотехнологичные композитные элементы берут за основу нанокультуры и имеют отличные эксплуатационные параметры. В состав современной арматуры входят наночастицы молибдена и ванадия которые препятствуют водородному охрупчиванию стали, тем самым снижая риск разрушения элементов. Для увеличения надежности сварных соединений используются присадки, включающие наночастицы кальция и магния. Эти частицы имеют свойство уменьшать размер зерен стали в местах формирования швов [4].

Внедрение новых технологий строительства мостов из стеклопластика и стекла стало революцией. Улучшение эксплуатационных параметров этих материалов не обошлось без применения все тех же нанотехнологий. Сегодня можно наблюдать ситуации, когда стеклопластиком при строительстве мостов заменяют часть металлических изделий [3]. Рассмотрим на примере расчета нагрузки на опору возможность замены стальной арматуры на стеклопластиковую с добавлением наночастиц [1].

*Конструирование и подбор опор.* Подбор типа опор ведется исходя из гидрогеологических условий местности, а также на основе расчетных данных пролета и нагрузки.

Примере расчета свайных опор.

$$H = \frac{q_B l^2 m}{8f},$$

где  $l$  и  $f$  – пролет и стрелка арки;  $q_B$  – суммарная временная нагрузка с учетом всех полос загруженности движением.

Вертикальное давление:

$$Q = \frac{q_B l m}{2}.$$

Усилия от постоянных нагрузок:

$$H = \frac{q_p l^2 m}{8f} \text{ и } Q = \frac{q_p l m}{2},$$

где  $q_p$  – постоянная нагрузка от веса верхнего строения пути, включая вес пролетного строения;  $m$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения веса, которым можно принять при отношениях  $f/l$ , равных 1/4, 1/3 и 1/2, равным соответственно 0,85; 0,8 и 0,7.

Коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma$  в данном случае принимаются большими единицы. Силы  $Q$  и  $H$  прикладываются к опоре в центрах опорных сечений и считаются распределенными поровну между всеми частями пролетного строения [2].

При эскизном расчете промежуточной опоры величины  $Q$  и  $H$  определяются аналогичным образом, но временная нагрузка располагается на одном пролете, а для постоянных нагрузок коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$  принимаются большими единицы для пролета, на котором установлена временная нагрузка, и меньшими единицы для другого (незагруженного) пролета, а также для опоры и фундамента [5].

Таким образом определили расчетную и нормативную нагрузку на все опоры путепровода или мостового сооружения.

Далее определим нагрузку на одну опору  $q_1 = 3744,87/8 = 468,1$  кН/м

При использовании стальной арматуры составит  $q_1 = 4648,53/8 = 581,06$  кН/м

Таким образом нагрузка на одну опору с использованием стеклопластика в качестве армирующего компонента меньше, чем нагрузка на конструкцию с использованием стальной арматуры.

Таблица 1 – Пример расчета нагрузки

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кН/м
Асфальтобетон ездового полотна $\delta=10$ см и литой асфальт тротуаров $\delta=2$ см $\gamma=23$ кН/м <sup>3</sup>	$0,1 \cdot 23 \cdot 10 + 0,02 \cdot 23 \cdot 2 \cdot 2 = 12,42$	1,5	$12,42 \cdot 1,5 = 18,63$
Защитный слой из армированного стеклопластиком бетона $\delta=4$ см $\gamma=25$ кН/м <sup>3</sup>	$0,04(10 + 0,25 \cdot 2 + 2 \cdot 2) 25 = 11,5$	1,3	$11,5 \cdot 1,3 = 14,95$
Гидроизоляция $\delta=10$ см $\gamma=15$ кН/м <sup>3</sup>	$0,1(10 + 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 2) 15 = 1,7$	1,3	$1,7 \cdot 1,3 = 2,21$
Выравнивающий слой $\delta=4$ см $\gamma=21$ кН/м	$0,04(10 + 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 2) 21 = 9,66$	1,3	$9,66 \cdot 1,3 = 12,56$
Перильное ограждение	$2,0 \cdot 2 = 4$	1,1	$4 \cdot 1,1 = 4,4$
Барьерное ограждение	$2,5 \cdot 2 = 5$	1,1	$5 \cdot 1,1 = 5,5$
Вес балки $\gamma \cdot h \cdot b$	$(0,19 \cdot 1,55 + 0,81 \cdot 0,2) 25 \cdot 9 = 74,2$	1,1	$74,2 \cdot 1,1 = 81,62$
Собственный вес промежуточной опоры на свайном основании	3277,27	1,1	$3277,27 \cdot 1,1 = 3605$
	$q_n = 3395,75$		$q = 3744,87$

*Вывод.* Нагрузка на одну опору с использованием стеклопластика в качестве армирующего компонента меньше, чем нагрузка на конструкцию с использованием стальной арматуры. Следовательно, стальная арматура имеет больший вес и меньшую износостойкость. Можно предположить, что использование стеклопластика в качестве армирующего компонента является эффективным и целесообразным. Но для подтверждения необходимо провести лабораторный и натурный эксперименты

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аверченко Г.А., Кириллова Д.Ю. Исследование работы стеклопластобетонных балок. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.. отв. ред. Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 42–44.
2. Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Трифонова А.А., Аверченко Г.А. Сравнение характеристик композитных материалов, применяемых в опорах мостовых сооружений. // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 237–239.
3. Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний. В сборнике: Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской НПК. 2021. С. 29–31.
4. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. Simulation model of the organization of technological transport movement at a mining enterprise. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering, IPDME 2020" 2021. С. 012008
5. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., Егосин А.М., Толстиков А.Н., Новик А.Н., Уколов С.А., Чернышов А.Г., Строгонов А.В., Алексеев С.В. Приспособление для монтажа защитной сетки из полимерных материалов. Патент на полезную модель RU 140522 U1, 10.05.2014. Заявка № 2013159198/13 от 30.12.2013
6. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных операциях. Вестник ВА МТО им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 5. С. 46–50.
7. Попков И.В., Алексеев С.В. Расчёт экономической целесообразности применения противодеформационных мероприятий в основании дорожной одежды для предупреждения образования колеи. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 341–344.

## ТЕХНИКА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Актуальность:* устройство земляного полотна – важнейшая часть дорожного строительства. При выполнении этого типа работы важно не только его качество, но и скорость возведения. Современные дорожно-строительные машины могут значительно ускорить процесс строительства. Критериями для отбора техники в данной статье являются: достаточная мощность техники, доступность техники у завода-изготовителя, целесообразность использования техники в настоящее время. В работе рассмотрена техника как российского, так и иностранного производства.

*Цель работы* – создание списка наиболее производительных единиц техники, эксплуатация которой является доступной по цене.

Для того, чтобы сравнить различные единицы техники, необходимо определить производительность каждого экземпляра. Эксплуатационная производительность бульдозера определяется по формуле:

$$P_{\text{см}}^{\text{э}} = \frac{3600V_{\text{п}}K_{\text{п}}K_{\text{укл}}K_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}K_{\text{р}}}$$

Для одинаковых условий ( $K_{\text{п}}; K_{\text{укл}}; K_{\text{р}} = 1; K_{\text{в}} = 0,775$ ) определяется производительность бульдозеров. Результаты вычислений и технические характеристики сведены в таблицу 1 и рисунок 1.

Таблица 1 –Характеристика бульдозеров

Название бульдозера	Завод-изготовитель	Объем призмы волочения, м <sup>3</sup>	Мощность двигателя кВт (л.с.)	Производительность, м <sup>3</sup> /час
СД110М	ХМЗ	3,39	121(165)	148,08
D6R2	Caterpillar	3,99	141(192)	190,38
D8R	Caterpillar	11,7	239(325)	534,22
Б15 ГСТ	ООО ПКП «ТПА»	7,5	183 (250)	328,75
Б10 Proffi	ООО ПКП «ТПА»	4,85	132(180)	218,06
Б14.6020 ЕН	ООО «ЧТЗ-Уралтрак»	7,5	158.1(215)	322,86
Т10М	ООО «ЧТЗ-Уралтрак»	4,85	132 (180)	212,46
Б10М	ООО «ЧТЗ-Уралтрак»	4,75	140 (190)	195,32
ТС-10 Добрыня	ЗАО «ЧСДМ»	4,87	132(180)	208,96
ТУ160	ХСМГ	4,5	142 (194)	211,75

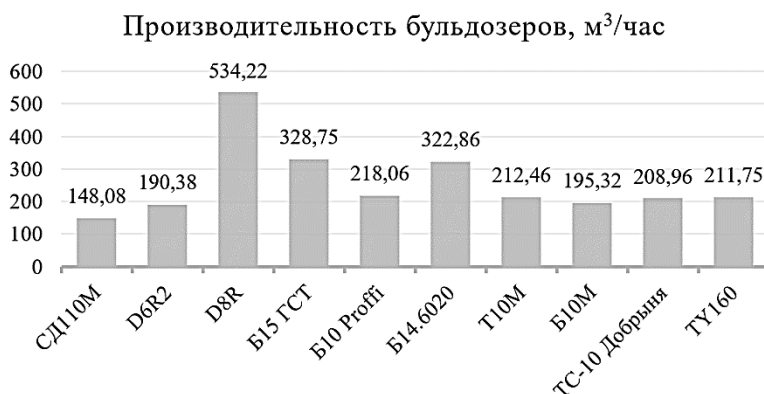


Рис. 1. Сравнение производительности бульдозеров

Таким образом, наиболее производительными являются варианты: Caterpillar D8R (534,22 м<sup>3</sup>/час), ООО ПКП «ТПА» Б15 ГСТ (328,75 м<sup>3</sup>/час) и ООО «ЧТЗ-Уралтрак» Б14.6020 ЕН (322,86 м<sup>3</sup>/час).

Сметная цена на эксплуатацию бульдозеров в базисном уровне цен по состоянию на 01.01.2022 представлены в таблице 2.

Таблица 2 –Сметные цены на эксплуатацию бульдозеров

Название бульдозера	Мощность двигателя кВт(л.с.)	Сметная цена без учета оплаты труда машинистов в базисном уровне цен, руб./маш.-ч	Оплата труда машинистов в базисном уровне цен по состоянию на 01.01.2022, руб./маш.-ч	Средний разряд машинистов	Сметная цена с учетом оплаты труда машинистов в базисном уровне цен, руб./маш.-ч
СД110М	121 (165)	1796	452	6	2248
D6R2	141 (192)	2350	452	6	2802
D8R	243 (330)	4003	482	7	4485
Б15 ГСТ	183 (250)	4003	482	7	4485
Б10 Proffi	132 (180)	2350	452	6	2802
Б14.6020	158 (215)	2350	452	6	2802
T10M	132 (180)	2350	452	6	2802
Б10М	140 (190)	2350	452	6	2802
ТС-10 Добрыня	132 (180)	2350	452	6	2802
ТУ160	142 (194)	2350	452	6	2802

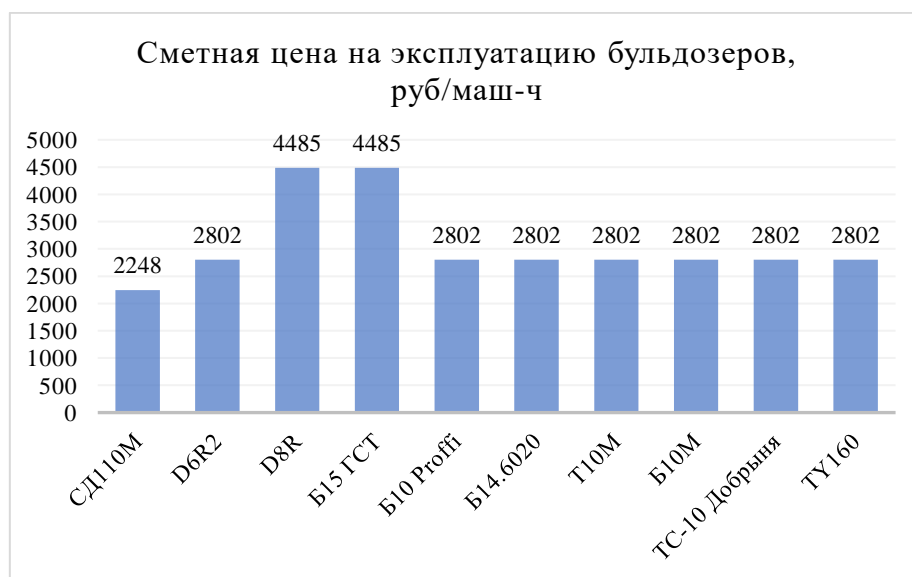


Рис. 2. Сравнение сметных цен на эксплуатацию бульдозеров

Таким образом, при наибольшей производительности, бульдозер Caterpillar D8R является одним из самых денежно затратных экземпляров. Поэтому наиболее целесообразным будет выбор бульдозера ООО «ЧТЗ-Уралтрак» Б14.6020 ЕН.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А. Проектирование производственной структуры дорожно-строительных организаций с учетом неопределенности структурообразующих факторов. Дороги и мосты. 2012. № 1 (27). С. 032–044.
2. Ермошин Н.А. Управление логистическими рисками при проектировании производственной структуры дорожно-строительных организаций. Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3 (24). С. 138–140.

3. Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Толстикова А.Н. Оптимизация параметров простоя подвижного состава в грузоперерабатывающих объектах // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. С. 191–194.
4. Лазарев Ю.Г., Белихин С.В., Исмаилов А.М., Лабусов Н.В. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сборник научных трудов участников межвузовской НПК. ВА МТО. 2019. С. 87–91.
5. Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 317–319.

УДК 625.76

М.Н. Арсеньева, О.Р. Бирюков  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Актуальность.* Дорожная сеть России на сегодняшний день является одной из крупнейших во всем мире, а именно, занимает пятую строчку рейтинга по общей протяженности дорог, которая по данным на 2021 год составляет 1 553 663 км. Большую протяженность автомобильных дорог имеют такие страны как США, Индия, Китай и Бразилия. Однако, неудовлетворительное состояние дорог называют одной из давних бед России, а учитывая, что Россия – самая большая страна в мире, ее территория нуждается в дальнейшем развитии сети автомобильных дорог, повышения их качества и приведения в нормативное состояние.

Поэтому реконструкция и совершенствование дорог существующей сети является одной из задач дорожного строительства, что подтверждается требованиями реализуемого в настоящее время национального проекта «Безопасные качественные дороги» в 84 регионах страны с 2019 г. по 2030 г.

Главная цель проекта – повышение качества жизни населения за счет повышения качества и доступности автомобильных дорог до 50% к 2024 году и до 60% к 2030 году [1, 2].

*Цель работы* – оценить эффективность реконструкции автомобильных дорог.

В процессе эксплуатации автомобильные дороги и сооружения подвергаются многолетнему и многократному воздействию автомобилей и природно-климатических факторов. Под совместным действием нагрузок и климата в автомобильной дороге и дорожных сооружениях накапливаются усталостные и остаточные деформации, появляются разрушения.

В результате эксплуатационное состояние существующих дорог не отвечает требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям дороги по обеспечению непрерывного, удобного и безопасного движения автомобилей с высокими скоростями, допустимыми габаритами, осевыми нагрузками и общей массой в любое время года и в любых условиях погоды. Для ликвидации этих негативных явлений, необходимо проведение мероприятий по реконструкции автомобильной дороги [2, 3].

Реконструкция дороги – это увеличение ее пропускной способности и несущей способности путем изменения на отдельных участках плана и продольного профиля, коренного переустройства дорожной одежды, земляного полотна и дорожных сооружений, как правило, с переводом в более высокую категорию, при котором параметры и



характеристики дороги повышаются до уровня, позволяющего при возросшей и прогнозируемой на перспективу интенсивности движения обеспечить нормативные требования к потребительским свойствам дорог и дорожных сооружений на период до очередной реконструкции [3, 4].

Только в 2021 г. в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» были выполнены работы почти на 5,7 тыс. объектах федеральных, региональных, межмуниципальных и местных автодорогах, из которых 42 – объекты строительства, 101 – реконструкции, на остальных выполнялись работы по капитальному ремонту и ремонту общая протяженность всех дорожных объектов составила 16 тыс. км.

В рамках федерального проекта «Региональная и местная дорожная сеть» продолжается приведение в нормативное состояние региональных дорог и дорожной сети городских агломераций.

В настоящее время доля автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения, находящихся в нормативном состоянии невелико, однако к 2024 г. планируется довести их количество до 50,9%, а к 2030 г. до 60%, а в городских агломерациях до 85% [5,6].

Общее количество запланированных для строительства и реконструкции автомобильных дорог и путепроводов по программе федерального проекта «Региональная и местная дорожная сеть» приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Количество запланированных для строительства и реконструкции автомобильных дорог и путепроводов

Наименование	2024 г.	2030 г.
Осуществление строительства и реконструкции АД регионального или межмуниципального, местного значения	166,6 км	1200 км
Осуществление строительства и реконструкции путепроводов регионального или межмуниципального, местного значения (реализуется с 2023 года)	146 шт.	2030 шт.

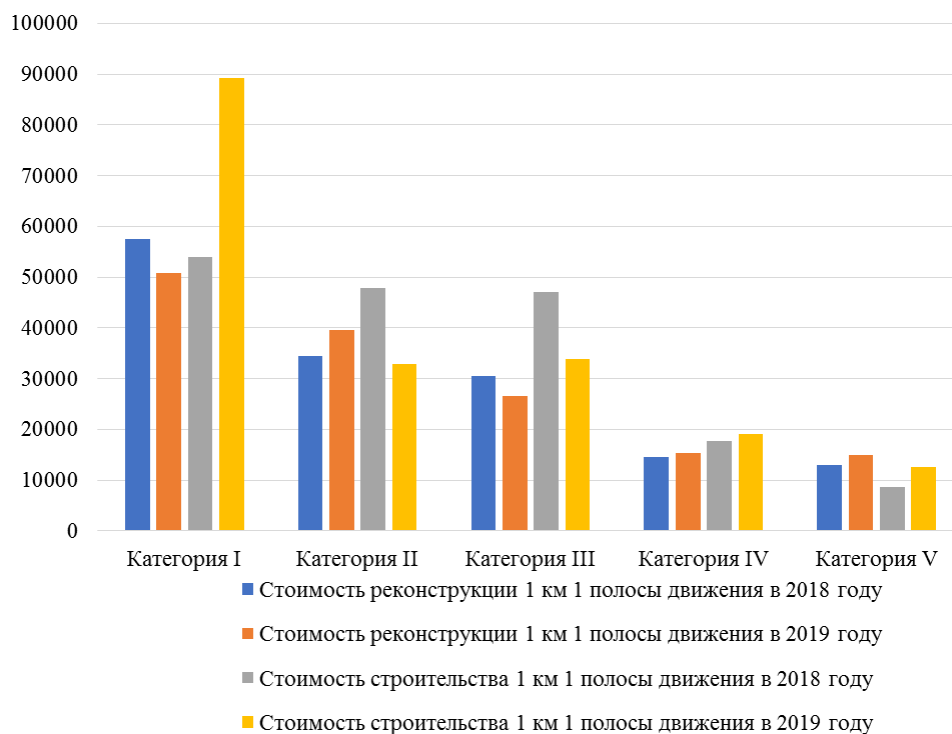


Рис. 1. Сравнение стоимости строительства и реконструкции автомобильной дороги

Оценка эффективности реконструкции дорог состоит в оценке стоимости реконструкции. Анализ данных о сравнении стоимости строительства и реконструкции приведены из материалов, подготовленных Министерством транспорта Российской Федерации на основе данных, представленных Федеральным дорожным агентством (Росавтодор), Государственной компанией «Российские автомобильные дороги», и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации (85 субъектов) за период 2018 и 2019 гг. из «Доклада о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации» [4–6].

Сравнение стоимости строительства и реконструкции автомобильной дороги приведены на рис. 1. По оси абсцисс указаны категории дороги, а по оси ординат стоимость 1 км 1 полосы движения в рублях.

Таким образом, анализ стоимости реконструкции и строительства автомобильных дорог свидетельствует, что по сравнению со строительством новой дороги реконструкция оказывается выгоднее, а качеством ничем ему не уступает, стоимость реконструкции в среднем меньше стоимости строительства автомобильной дороги, что особенно важно в условиях необходимости повышения транспортно-эксплуатационных показателей требуемой сети автомобильных дорог при недостаточном финансировании.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Национальный проект «Безопасные качественные дороги». Документ приведен в соответствие с Указом Президента России от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».
2. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
3. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных операциях. Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2016. № 5. С. 46–50.
4. Васильев К.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Выбор способа устройства поперечного уклона проезжей части при ремонте автомобильной дороги. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 297–300.
5. Алексеев С.В., Титова Л.А. Возможные способы ликвидации расслоения асфальтобетонной смеси. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 224–228.
6. Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 255–258.

УДК 691.492

С.В. Алексеев, А.М. Исмаилов, Д.Л. Симонов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ПОЛИФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БИТУМОВ К СТАРЕНИЮ

Многочисленные исследования и практический опыт показали, что процессы старения битумов, начинающиеся на технологических этапах и продолжающиеся в течение всего срока эксплуатации покрытий, оказывают критическое влияние на качество и срок службы дорожных одежд [1–3].

Технологией проектирования составов асфальтобетонных смесей по методологии объемно-функционального проектирования (ОФП) предусмотрена оценка склонности

битумов к старению по изменению результатов испытаний на динамическом сдвиговом реометре DSR.

Под старением битумов следует понимать процесс обратимых и необратимых изменений его химического состава и структурно-механических свойств, происходящих в процессе хранения, переработки и при эксплуатации в покрытии автомобильной дороги. Как правило процесс старения имеет два этапа. Это технологическое старение на этапе приготовления вяжущего для асфальтобетонов и процесс старения в результате работы покрытия при эксплуатации автомобильной дороги [3–5].

Старение образцов вяжущего в лабораторных условиях проводится по разработанной в рамках методологии методике: Rolling Thin-Film Oven Test (RTFOT) – старение под воздействием температуры и воздуха имитирующее краткосрочное старение вяжущего на этапах приготовления и укладки асфальтобетонных смеси. Так чем меньше изменяются показатели вяжущего после старения, тем лучше его эксплуатационные свойства, следовательно, срок службы покрытий [5, 6].

Процесс старения представляет собой, по сути, совокупность химических изменений, протекающих в материале под воздействием температуры, УФ-излучения, воздуха, осадков и дорожных реагентов, реакции взаимодействия компонентов битума с кислородом испарение из него легких фракций.

Опыт показал, что введение в битум полифосфорной кислоты (ПФК) позволяет снизить эмиссию легких углеводородов из вяжущего, а значит сохранить его свойства. Механизм действия ПФК недостаточно изучен, однако на основании данных тонкослойной хроматографии (TLC/Fill) можно утверждать, что введение небольших количеств ПФК-содержащих добавок позволяют улучшить стойкость битумов к старению.

Так в результате разделения образцов битума на 4 фракции (насыщенных и ароматических углеводородов смол асфальтенов) наблюдалось снижение эмиссии легких углеводородов при введении ПФК или добавок на ее основе в битум.

Целью проведенного исследования было выявление альтернативных материалов, выпускаемых в РФ для замены, импортируемой ПФК. В данной работе оценка склонности образцов вяжущего к старению была проведена по изменению показаний DSR до и после старения по методам RTFOT.

В исследовании были использованы: битум, модифицированный полимером марки PG 64-34 (без каких-либо добавок, замедляющих старение) адгезионные добавки «АМДОР-20Т» и «Дорос-АТ».

В результате лабораторного исследования получен ряд показателей вяжущего по сдвиговой устойчивости, представленные в таблицах 1 и 2. Однако необходимо отметить, что адгезионные свойства образцов в данной работе не рассматривались, так как данный показатель требует специального оборудования и не являлось целью работы.

Таблица 1 – Сводные данные исходного вяжущего по показателю сдвиговой устойчивости

Образец	Исходная сдвиговая устойчивость (dynamic shear rheometer (DSR))		
	Температура проведения испытания	$\frac{G}{\sin \delta'}$ , не менее 1,0 кПа при 10 рад/с	$t_{\max}$
Базовое вяжущее PG 64-34	64,0	2,372	74,8
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,2% Дорос-АТ		2,461	75,3
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,2% Амдор-20Т		1,876	76,7
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,4% Дорос-АТ		2,820	75,8
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,4% Амдор-20Т		2,491	78,9

Таблица 2 – Сводные данные состаренного методом RTFOT вяжущего по показателю сдвиговой устойчивости

Образец	Исходная сдвиговая устойчивость (dynamic shear rheometer (DSR))		
	Температура проведения испытания	$\frac{G}{\sin \delta}$ не менее 2,2 кПа при 10 рад/с	$t_{\max}$
Базовое вяжущее PG 64-34	64,0	2,760	68,7
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,2% Дорос-АТ		2,856	68,3
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,2% Амдор-20Т		2,763	69,1
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,4% Дорос-АТ		2,903	69,4
Модифицированное вяжущее PG 64-34+0,4% Амдор-20Т		3,207	75,3

*Вывод.* В результате проведенных испытаний на образцах битума марки PG64-34 и его модифицированных вариантах добавками №1 и №2 в количестве 0,2 % и 0,4% соответственно было установлено, что свойства состаренных по методам RTFOT образцов значительно изменяются. Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавки на основе ПФК могут замедлять процессы старения, протекающие в битуме, что видно по изменению параметров после старения:

- добавка №1 на 3,0%;
- добавка №2 на 28,7%.

Полученные лабораторные данные требуют экспериментального подтверждения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41–50.
2. Rusakov M.N., Ismailov A. Styrene-butadiene-styrene polymers for road construction in the Russian federation/ Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. № 2 (87). С. 23–40.
3. Ермошин Н.А., Алексеев С.В. Нормативно-правовые проблемы заблаговременной подготовки автомобильных дорог в интересах обеспечения военной безопасности государства / Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 9–13.
4. Алексеев С.В., Сенцов И.В. Анализ перспектив развития сети региональных дорог // В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 213–219.
5. Белихин С.В., Лазарев Ю.Г., Исмаилов А.М., Корзникова Т.А. Материалы для увеличения межремонтных сроков объектов транспортной инфраструктуры // В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2018. С.134–139.
6. Алексеев С.В., Титова Л.А. Возможные способы ликвидации расслоения асфальтобетонной смеси. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 224–228.
7. Ismailov A., Vokovaya N., Averchenko G. The impact modifier will factorit-c on the physico-mechanical properties of asphalt mix/ В сборнике: Proceedings of ECE 2020. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2021. С. 525–534.

А.С. Соколова<sup>1</sup>, О.Р. Бирюков<sup>1</sup>, Н.А. Ермошин<sup>1</sup>, С.А. Вуколов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
<sup>2</sup>Военная академия материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А.В. Хрулева

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

В целях экономического развития и освоения всей территории России требуется значительное расширение сети автомобильных дорог. Зона распространения вечномёрзлых грунтов занимает примерно 70% территории России, поэтому существует необходимость расширения использования этих регионов для развития автомобильных дорог в условиях вечномёрзлых грунтов (рис.1) [1].

*Цель работы* – провести анализ особенностей строительства автомобильных дорог в районах с вечномёрзлыми грунтами и принципы проектирования земляного полотна на них.

Проектирование автомобильных дорог в сложных геологических условиях, а именно в районах вечной мерзлоты, подвергается ряду проблем, связанных с рядом особенностей, которых нет в центральных и южных регионах. Существующие основные проблемы при строительстве представлены в табл. 1 [2].



Рис. 1. Распространение многолетнемерзлых грунтов по территории России [1]

При проектировании дорог в районах вечномёрзлых грунтов можно выделить три основных принципа:

Первый принцип – принцип сохранения вечномёрзлого состояния грунтов в основании в течение всего периода эксплуатации дороги, считается наиболее рациональным методом при строительстве на многолетнемерзлых грунтах [3]. Строительство дорог осуществляется на особо сложных по мерзлотно-геологическим условиям участках, при этом оттаивание грунта основания не допускается, так как это приведет к недопустимым деформациям и разрушению дорожной одежды (рис. 2, а).

Второй принцип – принцип проектирования с допущением оттаивания вечномёрзлых грунтов в основании на величину, определяемую расчетом по допустимым деформациям. При этом высота насыпи назначается из условия снегонезаносимости, а осадка при оттаивании и морозное пучение при промерзании не должны превышать допустимую величину (рис. 2, б).

Третий принцип проектирования заключается в предварительном оттаивании мерзлых грунтов за год до начала строительства дороги, с последующей подготовкой и осушением полосы отвода. Способ осуществляется на легкоосушаемых грунтах с низкой влажностью на участках высокотемпературной вечной мерзлоты [4, 5].

Таблица 1 – Особенности района вечной мерзлоты, влияющие на строительство

Особенности района вечной мерзлоты	Влияние на строительство
Недостаточная развитость инфраструктуры	Проблема транспортировки и стоимости доставки материалов, оборудования и рабочей силы
Неблагоприятные геолого-климатические условия	Проблема производства строительных работ
Сложные инженерно-геологические условия территории	Проблема деформации основания земляного полотна
Техногенные риски	Проблема быстрого устранения последствий аварии
Сжатые сроки производства работ	Обеспечение круглогодичного производства работ

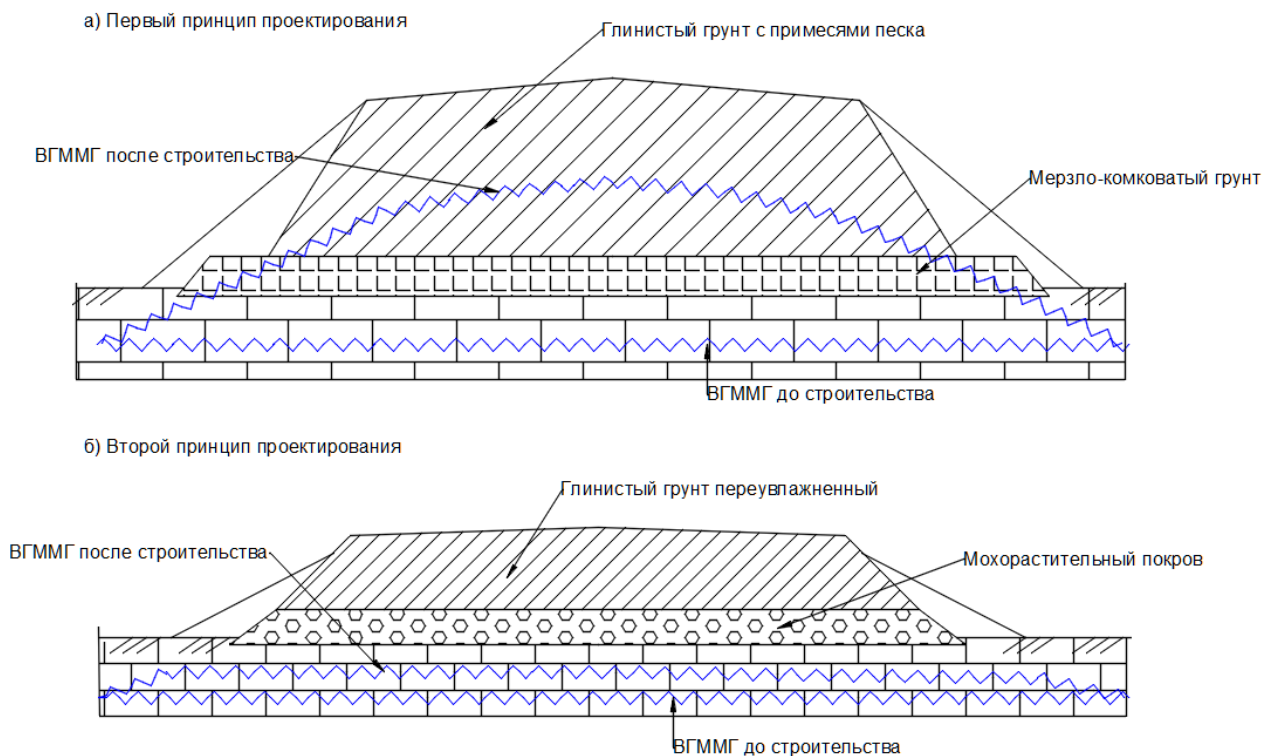


Рис. 2. Проектирование дорог в районах вечномёрзлых грунтов

Чтобы оценить характер оттаивания земляного полотна необходимо рассчитать глубину оттаивания в ее характерных точках (ось земляного полотна, бровка, подошва и середина откоса).

Расчет границ оттаивания для многослойной конструкции выполняют аналитическим способом по ОДМ 218.2.094–2018. В начале, рассчитывается глубина сезонного оттаивания конструкции насыпи ( $H_k$ ) по формуле:

$$H_k = H_{cn} + h_1 \left( 1 - \frac{H_{cn}}{H_{c1}} \right) + h_2 \left( 1 - \frac{H_{cn}}{H_{c2}} \right) + \dots + h_n \left( 1 - \frac{H_{cn}}{H_{c(n-1)}} \right),$$

где  $h_{1,2,\dots,n}$  – толщина конструктивного слоя;  $H_{c1,c2,\dots,cn}$  – глубина сезонного оттаивания соответствующих слоев.

Затем определяется глубина оттаивания ( $H_{от}$ ) в характерных сечениях (ось земляного полотна, бровка, подошва и середина откоса):

$$H_{от} = \psi\beta H_k,$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий экспозицию откоса;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий геометрию полотна.

После выполнения расчетов для каждого из рассматриваемых сечений земляного полотна, строятся графики глубины оттаивания в поперечном профиле земляного полотна и определяется расстояние от подошвы насыпи до ореола оттаивания по формуле:

$$h_{от} = H_{от} - H.$$

По величине  $h_{от}$  определяют ожидаемую осадку основания.

Величина осадки основания земляного полотна в сечении по оси земляного полотна определяется по формуле:

$$S_{осн} = eh_{от},$$

где  $e$  – относительная осадка грунта основания после его оттаивания под нагрузкой, доли единицы.

Проведем расчет устойчивости насыпи автомобильной дороги, запроектированной по второму принципу. Осадку нестабильного слоя рассчитывается по формуле:

$$S_n = h_n \left( 1 - \frac{k_y^{мерз}}{k_y} \right),$$

где  $h_n$  – толщина слоя мерзлого грунта насыпи, см;  $k_y^{мерз}$  – прогнозируемый минимальный коэффициент уплотнения мерзлого грунта;  $k_y$  – требуемый минимальный коэффициент уплотнения после оттаивания мерзлого грунта.

Полученные в результате расчетов осадки основания по характерным точкам сечения автомобильной дороги приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов осадки основания по характерным точкам сечения автомобильной дороги

Сечение поперечного профиля	$S_n$	$S_{осн}$	$S_{сумм}$
По оси	4,2	0,25	4,45
По бровке	4,2	1,67	5,87
По середине откоса насыпи слева	4,2	2,4	6,6
По середине откоса насыпи справа	4,2	1,4	5,6
По подошве насыпи слева		4	4
По подошве насыпи справа		3,7	3,7

Линия границы оттаивания под насыпью земляного полотна, полученная в результате расчетов показана на рис. 3.

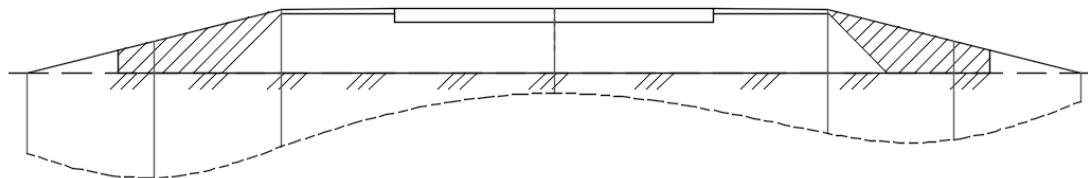


Рис. 3. Границы оттаивания грунта основания под насыпью земляного полотна

Таким образом, при проектировании автомобильных дорог по второму принципу в вечномерзлых грунтах можно сэкономить материалы и денежные ресурсы за счет уменьшения высоты насыпи, по сравнению с первым принципом проектирования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. – Москва, 2016. – 36 с.
2. Шепитько, Т.В. Правильная организация строительства путей сообщения на Севере как способ повышения качества / Т.В. Шепитько, С.Я. Луцкий, И.А. Артюшенко // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, Российский университет транспорта (МИИТ). – М.: Издательство «Перо», 2017. – С. 566–568.
3. Тепкина А.А., Коробова Е.Д., Морозов А.А., Алексеев С.В. Теплофизический расчет конструкции земляного полотна, выполненной с применением XPS-плит. // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 331–333.
4. Шуваев, А. Н. Анализ принципов проектирования земляного полотна автомобильных дорог в районах распространения вечномёрзлых грунтов в Западной Сибири / А.Н. Шуваев, М.В. Панова, С.В. Картавий. – DOI 10.31660/0445-0108-2020-1-114-121. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 1. – с. 114–121.
5. Аверченко Г.А., Мухарьямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6–16.

УДК 378

Л.А. Пепина, С.М. Шевченко, С.В. Алексеев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ ШУМОВОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

*Цель работы* – анализ влияния продольных шумовых полос на количество дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах на основе анализа данных по федеральных автомобильных дорогах Северо-Западного региона.

Для достижения поставленной цели был произведен анализ данных, предоставленных ФКУ УПРДОР «Северо-Запад», по дорожно-транспортным происшествиям на участках автомобильной дороги А-121 «Сортавала» (км 0+335 – км 143+790) и автомобильной дороги Р-21 «Кола» (км 12+230 – км 260+778), на которых в 2020 году были реализованы мероприятия по нанесению продольных шумовых полос.

Шумовая полоса – это элемент обустройства на поверхности покрытия дороги, либо непосредственно в слое покрытий конструктивных элементов дороги, вызывающий вибрацию элементов подвески автомобиля и повышенный шум, вынуждающий водителей снижать скорость движения и повышать внимание (ГОСТ 33025-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Полосы шумовые. Технические условия) [1, 2].

В работе Созонтовой А.Н. [3] указано, что шумовая полоса наряду с другими мероприятиями является одним из эффективных мероприятий для улучшения безопасности дорожного движения. Для оценки эффективности подобных мероприятий специалисты используют методику расчета, представленную в 10 разделе ОДМ 218.4.004-2009 «Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог».

Методика основана на расчете, который включает в себя такой параметр мероприятия, как коэффициент снижения доли ДТП [4–6]. Однако, документ был разработан в 2009 году и коэффициент снижения доли ДТП для шумовой полосы в нем отсутствует, так как использование шумовых полос в России активно началось с 2012 года. В связи с этим, в этой работе на основании данных предоставленных ФКУ УПРДОР «Северо-Запад» произведена оценка эффективности шумовой полосы на автомобильной дороге.



Оценка эффективности продольных шумовых полос произведена путем построения диаграммы в соответствии с методикой, представленной в ОДМ 218.6.025-2017 «Методические рекомендации по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах общего пользования».

В таблице 1 приведены показатели аварийности на восьми участках автомобильной дороги А-121 «Сортавала» и на трех участках автомобильной дороги Р-21 «Кола» до нанесения на них продольных шумовых полос (2019 г.) и после реализации данных мероприятий (2021 г.).

Таблица 1 – Показатели аварийности на участках автомобильных дорог с продольными шумовыми полосами

Наименование автомобильной дороги	Номер участка дороги	Протяженность участка, м	До нанесения шумовых полос (2019 г.)		После нанесения шумовых полос (2021 г.)	
			Количество ДТП	ДТП на 1 км (x)	Количество ДТП	ДТП на 1 км (y)
А-121 «Сортавала» СПБ – Сортавала – автомобильная дорога Р-21 «Кола»	1	550	3	5,5	7	12,7
	2	2000	2	1,0	5	2,5
	3	870	0	0,0	2	2,3
	4	2000	3	1,5	2	1,0
	5	1128	9	8,0	0	0,0
	6	1490	2	1,3	2	1,3
	7	1237	9	7,3	1	0,8
	8	875	2	2,3	0	0,0
Р-21 «Кола» СПБ – Петрозаводск – Мурманск – Печенга – граница с Норвегией	9	1000	3	3,0	2	2,0
	10	1000	10	10,0	5	5,0
	11	1000	4	4,0	0	0,0
			47		26	

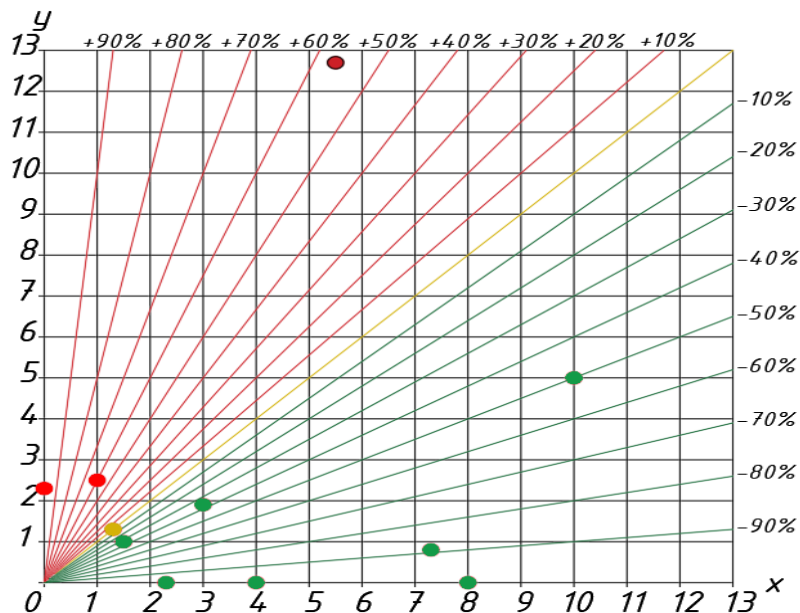


Рис. 1. Диаграмма разброса эффективности продольных шумовых полос на автомобильной дороге

По полученным значениям построен график в координатах  $x$ - $y$ . Длина осей графика равна разности максимальных и минимальных значений  $x$  и  $y$  (рис. 1). Расположение точек показывает наличие и характер связи между статистическими данными ДТП на участках дорог «до» и «после» нанесения шумовых полос. Точки, которые лежат на биссектрисе (желтая линия на рисунке 1), отражают участок концентрации дорожно-транспортных происшествий, где проведенное мероприятие никак не отразилось на безопасности движения, то есть количество ДТП на участке не изменилось после нанесения шумовых полос.

Анализ диаграммы показывает, что в семи случаях нанесение продольных шумовых полос оказало влияние на сокращении количества ДТП, в трех случаях был отмечен рост количества ДТП и на одном из участков аварийность осталась на прежнем уровне. Количество ДТП снизилось в интервале от 40 до 100 %.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что устройство на поверхности дорожного полотна продольных шумовых полос способствует снижению аварийности на участках дорог и повышает уровень безопасности на автомобильных дорогах примерно на 63% (на семи участках из 11 количество ДТП снизилось). Абсолютное снижение количества ДТП составило 21 случай или 44,7%.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Курбанов Н.Н., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Оценка качества сцепления шумовых полос. В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 347–350.
2. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56–60.
3. Алексеев С.В., Погонин С.Ю. Оптимизация улично-дорожной сети в крупных городах России. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 220–223.
4. Созонтова, А.Н. Мероприятия по безопасности дорожного движения на крутом повороте автомобильной дороги / А.Н. Созонтова, С.М. Шевченко, С.В. Алексеев // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. – С. 271–274.
5. Бердник А.В., Шевченко С.М., Новик В.А., Алексеев С.В., Ахмед Х.А. Экономические последствия ДТП из-за недостатка освещенности на автомобильных дорогах Ленинградской области. // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. ИСИ. СПб.: Политех-Пресс, 2021. С. 333–335.
6. Афанасьев А.С., Егшин А.М., Алексеев С.В. Логистическая модель выбора участков дорог добывающего предприятия для оснащения их автоматизированными средствами управления движением. // В сборнике: Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021. Сборник тезисов VIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 399–405.

УДК 65.014.1

О.Б. Крыль  
Военная академия материально-технического обеспечения  
им. генерала армии А.В. Хрулёва

### МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ШТАТНОЙ СТРУКТУРЫ МОСТОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Главным принципом, положенным в основу формирования организации, является принцип декомпозиции, заключающийся в разбиении системы целей структуры на подсистемы, реализация которых требует создания структурных подразделений, обладающих необходимыми свойствами.

В соответствии с этим математическая модель проектирования организационной структуры основана на описании процесса функционирования как решения некоторой глобальной задачи (например, строительство, восстановление мостов на автомобильной дороге) реализация которой в едином блоке (одним структурным подразделением) невозможна [1, 2]. При этом возможны два способа формирования структуры.

Один из них состоит в том, что предполагается известным число уровней иерархии организационной структуры и число структурных элементов в каждом из уровней (для получения такой информации может использоваться любая типовая структура).

При втором способе предполагается, что никакие параметры организации (число подразделений, количество уровней иерархии и др.) заранее неизвестны и декомпозиция общей задачи осуществляется исходя из возможности решения выделенных подзадач структурными подразделениями.

Как первый, так и второй способы укладываются в рамки решения общей задачи линейного или блочного линейного программирования [2–5].

Для преобразования задачи проектирования организационной структуры в задачу линейного программирования необходимо выполнить ряд последовательных шагов.

Шаг 1. Разложить общую задачу (цель) проектируемой организации на элементарные подзадачи (цели), реализация которых осуществляется «низовыми элементами» структуры.

Формирование множества «низовых элементов» осуществляется исходя из реально имеющихся (прогнозируемых) ресурсов (личного состава, техники, материалов и т.д.) и может быть выполнено:

- 1) на основе анализа существующих организационных структур;
- 2) расчетов с использованием существующих методик определения состава специализированных подразделений;
- 3) с помощью настоящей модели.

Шаг 2. Сформировать систему ограничений, накладываемых на организационную структуру.

Как правило, ограничения, характерные для всех организационных структур, можно разделить на несколько групп (подмножеств): затраты на создание, содержание и функционирование  $\{C\}$ ; требуемые объемы работ и их структура  $\{Q\}$ ; допустимые перерывы или требуемые сроки восстановления прерванного движения  $\{T\}$ ; показатели качества структур  $\{W\}$ ; объемы работ по обеспечению действий подразделений  $\{O\}$ . В свою очередь, каждое из этих подмножеств в зависимости от специфики создаваемых структурных подразделений распадается на более мелкие подмножества. Таким образом система ограничений имеет иерархическую структуру, отражающую иерархию создаваемой организационной структуры.

Шаг 3. Определить коэффициенты ограничений модели – показатели  $a_{ij}$ , количественные значения которых соответствуют вкладу каждого  $j$ -го ( $j = 1, \dots, m$ ) варианта «низового элемента» ОС  $X_{ij}$  в выполнение  $r$ -го требования к ней.

Расчет этих показателей для затрат, требуемых объемов работ и допустимых перерывов движения выполняется с использованием существующих методик определения экономичности структур и их нормативных возможностей.

Шаг 4. Составить уравнения ограничений, каждое из которых утверждает, что алгебраическая сумма вкладов каждого «низового элемента» в достижение одного из требований ( $Q, T, W, \dots$ ) больше либо равно (для  $T$  меньше либо равно) его численному значению.

При этом «вклад» представляет собой произведение коэффициента ограничений  $a_{ij}$  на количество  $x_{ij}$  структурных подразделений  $j$ -го вида.

Шаг 5. Определить уравнение целевой функции организационной структуры, позволяющее выбрать из всех допустимых переменных  $x_{ij}$ , которые будут соответствовать лучшему (наиболее эффективному) варианту организации (решению задачи).

Эффективность обычно измеряется либо количеством затрат, необходимых для получения определенного результата, либо результатом, полученным при определенных затратах

Для исследования адаптивности организации наиболее предпочтительным является критерий затрат. В соответствии с этим уравнение целевой функции представляет собой минимизацию алгебраической суммы расходов, выраженных в виде произведения коэффициента затрат  $c_{ij}$  на количество  $x_{ij}$  структурных подразделений  $j$ -го вида:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min . \quad (1)$$

Таким образом, в результате построения модели получается совокупность математических соотношений, описывающих все допустимые варианты создаваемой организационной структуры. Совокупность этих уравнений является ничем иным, как моделью линейного программирования.

После того, как модель построена задача формирования организационной структуры может быть сформулирована в математических терминах.

Формальную постановку этой задачи можно записать в следующем виде.

Минимизировать целевую функцию

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} \geq b_i, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} x_{ij} \leq b_{i+1}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}^{\text{факт}} x_{ij} \geq b_n, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \geq 1, \quad (6)$$

$$x_{ij} - \text{целочисленные для } \forall ij, \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq v_{ij} \dots \quad (9)$$

где  $i$  – индекс специализации (типа) «низового элемента» организационной структуры;  $j$  – индекс вида (варианта) «низового элемента»  $i$ -го типа;  $x_{ij}$  – количество «низовых элементов» организационной структуры  $i$ -го типа  $j$ -го вида;  $k$  – индекс вида требований к структуре, выполнение которых необходимо для достижения цели  $Go$ ;  $c_{ij}$  – суммарные приведенные затраты по  $i$ -му типу и  $j$ -му варианту «низового элемента» организационной структуры;  $b_i$  – численное значение  $i$ -го требования;  $a_{ij}$  и  $a_{ij}^{\text{факт}}$  – соответственно нормативные и потенциальные (обеспечиваемые надежностью, живучестью и мобильностью) возможности элемента  $x_{ij}$  по выполнению  $i$ -го требования;  $t_{ij}$  – время выполнения  $i$ -го требования «низовым

элементом»  $i$ -го типа  $j$ -го вида;  $u_{ij}$  – верхняя граница возможного изменения переменной  $x_{ij}$ , которая определяется нормой управляемости.

Целевая функция и ограничения задачи интерпретируются следующим образом:

- целевая функция (2) минимизирует затраты на создание, содержание и функционирование структуры;
- условия (3)–(5) требуют выполнения всех требований, предъявляемых к организационной структуре;
- условие (6) гарантирует включение в организационную структуру не менее одного «низового элемента»;
- условия (7)–(8) учитывают целочисленность и неотрицательность переменных  $x_{ij}$ ;
- условие (9) устанавливает максимальное количество структурных подразделений (элементов) нижестоящего уровня иерархии в структуре вышестоящего уровня.

Таким образом, предложенная методика формирования организационно-штатной структуры позволит обеспечить дальнейшее развитие организационно-методических основ планирования, выполнения и обеспечения строительства и восстановления мостов на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения в интересах мобилизации экономики, а также создания специальных формирований для передачи в ВС РФ и обеспечения функционирования экономики в военное время.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А. Проектирование производственной структуры дорожно-строительных организаций с учетом неопределенности структурообразующих факторов. Дороги и мосты. 2012. № 1 (27). С. 032–044.
2. Ермошин Н.А. Управление логистическими рисками при проектировании производственной структуры дорожно-строительных организаций. Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3 (24). С. 138–140.
3. Ермошин Н.А. Методология повышения адаптивности организационных структур дорожных войск. – Дисс... д.в.н., СПб.: ВАТТ, 2001, 272с.
4. Исмаилов А.М. Проектирование производственной структуры производственной базы дорожного хозяйства с учетом неопределенности структурообразующих факторов. В сборнике: Техника и технологии: роль в развитии современного общества. Материалы II Международной НПК. 2013. С. 189–197.
5. Ismailov A., Vokovaya N., Averchenko G. The impact modifier will factorit-c on the physico-mechanical properties of asphalt mix/ В сборнике: Proceedings of EECE 2020. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2021. С. 525–534.

УДК 69.057.51

А.В. Счастливая, А.В. Мишакова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СРОКА СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТА**

Использование несъемной опалубки подразумевает, что панели или блоки опалубки при достижении бетоном необходимой прочности становятся частью конструкции и впоследствии не демонтируются. Конструкция, смонтированная из таких блоков, заполняется арматурой, а затем бетонной смесью. Таким образом, применение данной технологии позволяет сократить сроки строительства за счет сокращения числа работ [1].

*Целью работы* является сокращение сроков строительства и затрат на устройство фундаментной плиты и стен здания при использовании несъемной опалубки.

В частности, для сравнения были выбраны несъемная опалубка из полистиролбетонных плит и щепоцементных плит и съемная деревометаллическая опалубка, как более стандартный и часто применяемый вариант. Компонентами, из которых состоит полистиролбетон, являются портландцемент, гранулы из пенополистирола, шлакопортландцемент и вода [2]. Материал обладает хорошей морозостойкостью, звукоизоляцией, высокими теплоизоляционными характеристиками, паропроницаемостью и малым влагопоглощением.

Материалом для щепоцементных плит служит древесная щепа хвойных пород на цементном связующем с минеральными добавками. Древесина хвойных пород обладает высокой смолистостью, что существенно увеличивает стойкость материала к бактериям по сравнению с другими породами дерева. В качестве достоинств щепоцементных плит можно отметить их экологичность, морозостойкость и высокие теплоизолирующие свойства [4].

Для расчета продолжительности строительства был использован постоянный состав рабочих звеньев, работ и количество смен в сутки для всех трех рассматриваемых вариантов. Однако при использовании съемной опалубки добавляются работы по ее разборке после выдержки бетона.

Данные, полученные в результате расчета, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Продолжительность работ по устройству фундаментной плиты и стен подвального этажа

Наименование	Длительность работ на одной захватке, дн.			Продолжит. строительства, дн.
	Устройство фундамента	Устройство стен	Общая	
Съемная	12,50	15,75	28,25	38,00
Несъемная (полистиролбетон)	10,75	11,25	22	32,50
Несъемная (щепоцементные плиты)	10,75	11,25	22	32,50

Далее были посчитаны затраты на использование каждого из трех видов опалубки согласно расценкам и коэффициентам из ТЕР-2001 СПб СБОРНИК № 6 Бетонные и железобетонные конструкции монолитные [3]. Стоимость материалов опалубки была взята с сайтов производителей [5, 6]. В связи с тем, что съемную опалубку можно использовать повторно, были рассмотрены два варианта ее получения – аренда и покупка. В случае покупки затраты на стоимость материалов были взяты на 1 цикл использования с учетом того, что по заявления производителя оборачиваемость опалубки – 300 циклов. Результаты расчета затрат представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет затрат

Наименование	Стоимость материалов, тыс. руб.	Затраты на оплату труда, тыс. руб.		Затраты на эксплуатацию машин и механизмов, тыс. руб.		Итого, тыс. руб.
		Фундамент	Стены	Фундамент	Стены	
Съемная (аренда)	1 075,03	1905,12	108,27	1486,06	84,46	4658,94
Съемная (покупка)	32,71	1905,12	108,27	1486,06	84,46	3616,62
Несъемная (полистиролбетон)	1 667,96	1428,84	81,20	1188,85	67,57	4434,42
Несъемная (щепцементные плиты)	77,60	1428,84	81,20	1188,85	67,57	2844,06

В связи с тем, что покупка съемной опалубки при условии дальнейшего использования получилась более выгодной, чем ее аренда, то в дальнейшем сравнении будет участвовать вариант с покупкой.

В качестве критериев для сравнения приняты три показателя: сокращение общей продолжительности строительства, сокращение длительности работ на одной захватке и снижение затрат. Для наиболее наглядного представления удобнее выразить эти показатели в процентах относительно аналогичных показателей для съемной опалубки.

Значения выбранных для сравнения показателей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение различных видов опалубки

Наименование	Сокращение продолжительности строительства, %	Сокращение длительности работ на одной захватке, %	Снижение затрат, %
Съемная	0,00	0,00	0,00
Несъемная (полистиролбетон)	14,47	22,12	-22,61
Несъемная (щепцементные плиты)	14,47	22,12	21,36

Таким образом, использование несъемной опалубки помогает сократить продолжительность строительства, что в свою очередь ведет к снижению затрат на оплату труда рабочих и эксплуатацию машин и механизмов. Однако на затраты в целом также влияет стоимость опалубки.

Согласно проведенному сравнению, оптимальным вариантом из трех является использование щепцементных плит. Помимо сокращения сроков строительства, их применение позволяет существенно снизить затраты (более чем на 20%). В то время как опалубка из полистиролбетона, напротив, повышает затраты на строительство объекта из-за высокой себестоимости материала.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- ГОСТ Р 52086-2003. Опалубка. Термины и определения // Госстрой России, ГУП ЦПП – 2003 – 45 с.
- ГОСТ 33929-2016. Полистиролбетон. Технические условия // М.: Стандартинформ – 2016 – 20 с.
- ТЕР-2001 СПб СБОРНИК № 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные // Санкт-Петербург – 2008 – 104 с.
- Старикова А.В. Современные опалубочные системы при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона / Данилова Д.С. // материалы Национальной научно-практической конференции (9 февраля 2018 г.). – Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. –с. 86–91.
- Строительная система VELOX «Технические решения по применению несъемной опалубки ВЕЛОКС для строительства жилых зданий из монолитного железобетона» – 86 с.
- МАРКО – система монолитного строительства (сайт производителей несъемной опалубки из полистиролбетона) <http://kolumb.ru/marko.php>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*Актуальность.* Модульное строительство превосходит традиционные методы строительства в аспекте графика, качества, предсказуемости и других целей проекта. Однако отсутствие понимания преимуществ и надлежащего управления уникальными рисками проектов с применением модульных технологий приводит к неоптимальной производительности и отказу от таких строительных проектов.

В связи с этим существует необходимость в определении универсального алгоритма, позволяющего оценить ключевые риски и преимущества модульной технологии строительства.

*Цель работы:* Определение универсального алгоритма оценки эффективности модульного строительства.

*Задачи работы:*

1. Определение инструментов для реализации исследования.
2. Формирование исходных данных.
3. Составление выборки рисков и сопоставляемых показателей.
4. Формирование алгоритма.

Для реализации исследования в первую очередь необходимо определиться с набором инструментов:

- Revit – программное обеспечение для моделирования.
- MS Project – программное обеспечение для формирования графиков строительства.
- Kreo Modular – программное обеспечение для оценки стоимости.
- Synchro – программное обеспечение для определения рисков на строительной площадке.

Следующим шагом определяется назначение здания. От данного фактора будут зависеть исходные данные проекта.

Точные данные о геометрических характеристиках, количественных показателях позволит получить цифровая модель здания и объекта-аналога.

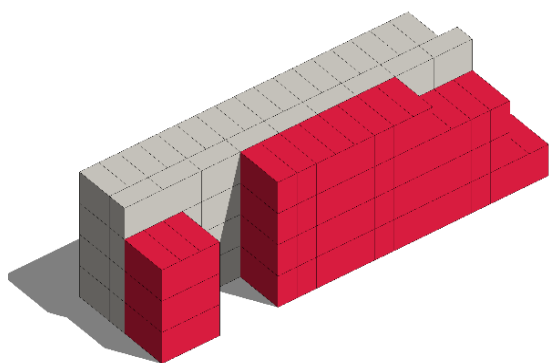


Рис. 1. Моделирование укрупненных единиц объекта строительства

В первой итерации в программном обеспечении для моделирования выполняется информационная модель здания в укрупненных единицах (формирование модулей).

Далее разрабатывается сопоставимый объект-аналог, выполненный в традиционной технологии: в данном случае монолитное здание с перекрестной конструктивной схемой.

С помощью полученных информационных моделей были сформированы первичные исходные данные для дальнейшего исследования.

Полученные ведомости объемов работ позволили сформировать укрупненные план-графики выполнения проектов и определиться с

примерными сроками и трудозатратами для выполнения проектов. Процесс с применением модульной технологии разделен преимущественно на две главные составляющие: процесс вне



и на строительной площадке: график на сборку одной единицы (модуля) и на возведение самого здания (монтаж модульных конструкций на площадке).

Далее в информационных моделях выполняется детализация объекта: разработка объемно-планировочных, конструктивных и архитектурных решений.

После выполнения этой задачи формируются точные объемы работ и ведомости расхода материалов. А также все предпринятые решения в проекте позволяют быть уверенным в его адаптивности: что он удовлетворяет все нормам и гарантирует комфортные и безопасные условия пребывания людей.

Следующим шагом выполняется формирование точных ведомостей объемов работ, данных о сроках и трудозатратах. Происходит корректировка план-графиков с учетом детализации проектов.

Большой объем работ по модульному строительству сосредоточен вне строительной площадки, это приводит к значительному сокращению времени строительства, контролю качества, сокращению отходов, повышению безопасности. Однако модульная конструкция также влечет за собой определенные риски [1, 2]. Для модульного строительства необходим систематический подход к управлению рисками, чтобы заинтересованные стороны строительного проекта могли их учитывать в проекте, соответствующим образом планировать сроки реализации и предотвратить перерасход бюджета и задержки графика.

Основываясь на обзоре соответствующих исследований [3–5], были определены следующие риски для сравниваемых технологий (табл. 1).

Для определения дополнительных рисков на строительной площадке в программном обеспечении Syncro выполняются сопоставимые 4D модели объектов строительства. Определяются потенциальные пространственные и временные коллизии.

Таблица 1 – Риски модульной и традиционной технологий

	Риски	Технология	
		Модульная	Традиционная
Временные	Изменение рыночной конъюнктуры	Низкий риск	Высокий риск
	Нехватка квалифицированной рабочей силы	Низкий риск	Высокий риск
	Влияние задержек материалов	Высокий риск	Средний риск
	Погода на строительной площадке	Низкий риск	Средний риск
	Расхождение с план-графиком проекта	Низкий риск	Высокий риск
Качественные	Повреждение от проникновения воды	Низкий риск	Высокий риск
	Товарность	Средний риск	Низкий риск
	Количество задач строительства	Низкий риск	Высокий риск
	Рабочие, выполняющие одинаковые задачи	Низкий риск	Высокий риск
	Использование пространства	Низкий риск	Средний риск
Экономические	Наименьшая общая стоимость	Высокий риск	Средний риск
	Издержки потери операционной выручки	Низкий риск	Высокий риск
	Затраты на финансирование	Низкий риск	Высокий риск
	Стоимость строительных отходов	Низкий риск	Средний риск

Следующим шагом выполняется технико-экономическое сравнение методов производства и механизации строительных работ. Сопоставляются общая продолжительность работ и максимальное число рабочих.

В веб-платформе Kreo Modular с помощью модуля для сравнения технологий объект будет преобразован в аналог с применением традиционной технологии. На данном этапе формируется отчетность в виде показателей, а также их сравнение. Применение цифрового инструмента позволит сравнить машинные и так называемые традиционные вычисления. Это будет гарантом точности полученных результатов.

При оценке эффективности выполняется определение и сопоставление себестоимости механизированных работ, фондоемкости работ и приведенных затрат на строительство объекта.

Данный перечень выполняемых действий формирует универсальный алгоритм оценки эффективности модульного строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 148–155.
2. Макарова Т.В., Беззубова О.С., Мраев М.В. Опыт и перспективные тенденции развития объемно-блочного домостроения // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 1. С. 165–171.
3. Ferdous W., Bai Y., Ngo T., Manalo A., Mendis P. New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings. *Engineering Structures*. 2019;183:883–893.
4. Lacey A.W., Chen W., Hao H., Bi K. Structural response of modular buildings – An overview. *J Build Eng*. 2018;16:45–56.
5. Kamali M., Hewage K. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2016;62:1171–1183.

УДК 692.232.44

А.Г. Бережная, А.Ю. Городишенина, Е.Б. Заводнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ФИБРОЦЕМЕНТНЫЕ ПАНЕЛИ ФИРМЫ КМЕВ ДЛЯ ОБЛИЦОВКИ НВФ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

*Актуальность.* В настоящее время существует множество облицовочных материалов для оформления и защиты фасадов возводимых зданий и сооружений, которые позволяют реализовать любые дизайнерские решения. Выбор облицовочного материала зависит от технических условий монтажа, финансовых возможностей и эстетических требований. Любой из видов облицовки создаст свою архитектурную выразительность фасадного решения. Одним из материалов, применяемых в качестве облицовки НФС, являются фиброцементные панели – материал искусственного происхождения, состоящий на 85–90% из цемента и на 10–15% из минеральных добавок и фибры – целлюлозных или синтетических волокон (армирующий компонент, придающий фиброцементным панелям прочность на изгиб). Фиброцементные панели обладают рядом преимуществ, такими как легкость (композит цемента и волокон обладает малой массой), негорючесть, стойкость к ультрафиолетовому излучению (материал не утратит пригодного внешнего вида после многих лет под лучами солнца), высокая ударная прочность и прочность на изгиб, низкая гигроскопичность (за счет гидрофобизаторов фиброцементные плиты не впитывают воду ни снаружи, ни изнутри), долговечность, морозостойкость, хорошие тепло- и шумоизолирующие свойства, относительно невысокая стоимость, экологическая чистота, простота и возможность производства монтажа в условиях отрицательных температур.

*Цель работы.* Целью данного исследования является определение пиковой ветровой нагрузки в летний и зимний периоды с учетом способа крепления облицовочной панели для здания высотой 129 м, расположенного в г. Санкт-Петербург.

*Объект исследования.* Панели КМЕВ «Ceradir V» с габаритными размерами 3000x455x14мм с креплением на крепежных планках и саморезах (по два винта в месте примыкания плиты к направляющей каркаса). Крепежные планки и саморезы крепят к вертикальным направляющим каркаса НФС.

В сертификатах соответствия производитель рассматриваемых панелей КМЕУ говорит, что использование панелей возможно до высоты 75 м. Однако, «КМ-Технология» в г. Москва использовали фиброцементные облицовочные панели для ЖК «Авиатика», верхняя отметка которого достигает 86 м [1].

Допускаемая ветровая нагрузка на облицовочную конструкцию с креплением на кляммерах и саморезах из условий обеспечения местной прочности панели [2]:

$$W_{\pm} = 3990,2 \text{ Па (407,1 кгс/м}^2\text{)}.$$

Допускаемый изгибающий момент в поперечном сечении панели по результатам испытаний [3]:

$$M_d = 47,3 \text{ Нм}.$$

Допускаемое значение ветрового давления (отсоса) на панели при шаге направляющих 600 мм – стандартный шаг крепления вертикальных направляющих каркаса (пояснение на рис. 1):

$$W_y = \frac{M_d}{KbH^2} = \frac{47,3}{0,125 \cdot 0,455 \cdot 0,6^2} = 2307,3 \text{ Па (235,4 } \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}\text{)}.$$

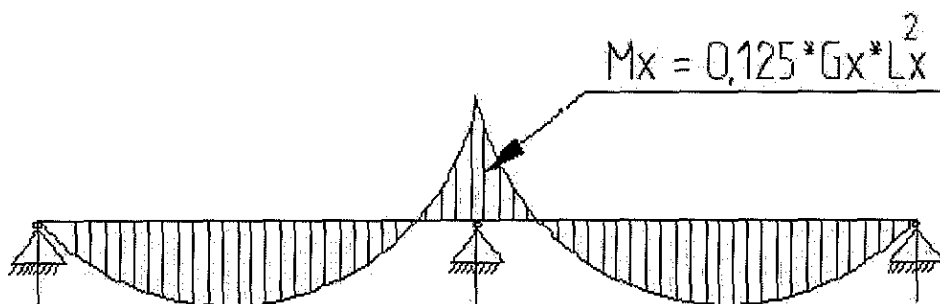


Рис. 1. Расчет несущей способности облицовочной конструкции

Для элементов ограждения и узлов их креплений (в частности, навесных фасадных систем и светопрозрачных конструкций фасадов и покрытий), согласно [4] п 11.2 и [5], необходимо учитывать пиковые положительные  $w_+$  и отрицательные  $w_-$  воздействия ветровой нагрузки по формуле:

$$w_{+(-)} = w_0 k(z_e) [1 + \xi(z_e)] c_{p,+(-)} v_{+(-)}, \quad (1)$$

где  $w_0$  – нормативное значение давления ветра (табл. 11.1 [4]);  $k(z_e)$  – коэффициент, учитывающий изменение давления ветра на эквивалентной высоте  $z_e$  (табл. 11.2 [4]);  $\xi(z_e)$  – коэффициент, учитывающий изменение пульсации давления ветра для эквивалентной высоты  $z_e$  (табл. 11.4 [4]);  $c_{p,+(-)}$  – пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (-); в расчет принимаем значения отрицательного аэродинамического коэффициента  $c_{p,-}$  по таблице В.12, приложения В1.17 [4];  $v_{+(-)}$  – коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (-) по таблице 11.8 [4].

Расчет ветровой нагрузки на облицовочную конструкцию навесной фасадной системы произведем для рядовой и угловой зон здания для эквивалентной высоты от 75 до 129 м с шагом 5 м, расположенного во втором ветровом районе (г. Санкт-Петербург), тип местности «С» (городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м по [4]).

Расчет ветровых нагрузок производится для летнего и зимнего времени года. Для рядовых зон фасада расчет действующих нагрузок производится для летнего и зимнего времени года. Для летнего времени полностью учитываются ветровые нагрузки. Для зимнего времени необходимо учитывать такие постоянные нагрузки, как гололедные. При учете гололедных нагрузок ветровые берутся в размере 60% от нормативных или расчетных значений.

Для угловых зон фасада гололедные нагрузки не учитываются, поэтому нагрузка одинакова для летнего и зимнего периодов.

По [4] коэффициент надежности по нагрузке для основной и пиковой ветровых нагрузок следует принимать равным 1,4.

Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета ветровой нагрузки

Эквивалентная высота $z_e$ , м	Расчетное значение пикового отрицательного воздействия ветровой нагрузки, кгс/м <sup>2</sup>			
	$w_-$			$w_+$
	Летний период		Зимний период	
	Рядовая зона	Угловая зона	Рядовая и угловая зоны	
75	118,7	217,7	71,2	118,7
80	121,8	223,4	73,1	121,8
85	123,1	225,6	73,8	123,1
90	125,3	229,7	75,2	125,3
95	127,5	233,7	76,5	127,5
100	128,6	235,7	77,1	128,6
105	130,9	240,2	78,6	130,9
110	133,4	244,6	80	133,4
115	135,8	248,9	81,5	135,8
120	138,1	253,2	82,9	138,1
125	140,4	257,4	84,2	140,4
129	142,3	260,7	85,3	142,3

Таким образом, для здания высотой 129 м:

- допустимое значение ветрового давления (отсоса) на панели при шаге направляющих 600 мм, равное  $235,4 \text{ кгс/м}^2 > 142,3 \text{ кгс/м}^2$  – нагрузка на рядовую зону в летний период;
- допустимое значение ветрового давления (отсоса) на панели при шаге направляющих 600 мм, равное  $235,4 \text{ кгс/м}^2 > 85,3 \text{ кгс/м}^2$  – нагрузка на рядовую и угловую зону в зимний период;
- допустимое значение ветрового давления (отсоса) на панели при шаге направляющих 600 мм, равное  $235,4 \text{ кгс/м}^2 < 260,7 \text{ кгс/м}^2$  – нагрузка на угловую зону в летний период.

*Вывод.* Применение фиброцементных фасадных панелей для высотного здания возможно только на рядовых участках стены, в то время как для угловых зон применение доступно только до 99 м ( $235,1 \text{ кгс/м}^2$ ). На угловых зонах свыше 99 м необходимо применение других фасадных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Фасадные панели КМЕУ. [электронный ресурс] URL: <https://www.kmew.ru/assets/pdf/manual.pdf>
2. ИЛ «Технополис» № 016 от «31» марта 2015 г.
3. ИЛ «Технополис» №86 от «12» августа 2019 г.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
5. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и ее действие на фасадные конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN2304-6295. 9(60). 2017. 44–57 с.

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
ДЛЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

*Актуальность.* Основными ограждающими конструкциями современных многоэтажных зданий являются витражные системы остекления благодаря их гибкости в отношении цвета, формы и способности визуально облегчить массивную бетонную конструкцию. Вследствие того, что современные витражные системы заменили собой ограждающие конструкции из бетона, к ним предъявляются требования по обеспечению энергетической эффективности здания, так как именно сквозь ограждающие конструкции здание теряет наибольшее количество тепла (более 40%) [1].

*Методы исследования.* Произведена оценка энергоэффективности пяти систем светопрозрачных конструкций в соответствии с существующей нормативной базой.

*Цель работы.* Целью данного исследования является снижение тепловых потерь высотного здания апартамент-отеля сквозь ограждающие конструкции.

*Задача.* Подбор оптимальной светопрозрачной конструкции из условия энергоэффективности остекления и экономической выгоды.

Наиболее популярным типом остекления является двухкамерный стеклопакет, состоящий из трех слоев стекла, последовательно разделенных между собой воздушными прослойками. Пространство между стеклами может быть заполнено как воздухом, так и инертными газами (например, аргоном) для уменьшения теплового потока, проходящего сквозь конструкцию.

Наравне с заполнением инертными газами, энергоэффективность стеклопакета может быть достигнута с помощью использования специальных покрытий с теплоотражающим составом. Внутреннее стекло, покрытое твердым составом из соединений металлов, называют К-стеклом, в то время как напыленное покрытие (так же называемое мягким) относят к I-стеклу [2].

Рассмотрены следующие виды остекления: двухкамерные стеклопакеты с заполнением воздухом, аргоном и криптоном [3], а также двухкамерные стеклопакеты с мягким и твердым селективными покрытиями. Была произведена оценка энергоэффективности данных стеклопакетов.

Определение достаточного уровня энергоэффективности конструкции определяется с помощью условия [4]:

$$R_0 > R_{req}, \quad (1)$$

где  $R_0$  – расчетное сопротивление теплопередаче конструкции;  $R_{req}$  – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции:

$$R_{req} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, зависящие от ГСОП,  $a = 0,000075$ ,  $b = 0,15$  [4]; ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, равно:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от})z_{от} = (22 - (-1,3)) \cdot 213 = 4962,9 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}, \quad (3)$$

$z_{от}$  – продолжительность отопительного периода;  $t_{от}$  – средняя температура наружного воздуха [5].

Таким образом,

$$R_{req} = 0,000075 \cdot 4962,9 + 0,15 = 0,522 \text{ (м}^2\text{C)/Вт}.$$

Расчетное сопротивление теплопередаче конструкций было определено в программе NormCAD для города Санкт-Петербург. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетное сопротивление теплопередаче

Наименование конструкции	$R_0, (m^2 \cdot ^\circ C) / Вт$
Двухкамерный стеклопакет с заполнением воздухом, 4-12-4-12-4	0,45
Двухкамерный стеклопакет с твердым селективным покрытием	0,48
Двухкамерный стеклопакет с мягким селективным покрытием	0,52
Двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном	1,1
Двухкамерный стеклопакет с заполнением криптоном	1,73

Таким образом, для уникального высотного здания по показателям энергоэффективности подходят два типа остекления: двухкамерные стеклопакеты с заполнением аргоном и криптоном. Вторым этапом исследования является экономическая оценка светопрозрачных систем, соответствующих требованиям энергоэффективности.

Согласно [1] расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания апартмент-отеля равен:

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p, \quad (4)$$

где  $V_{от}$  – отапливаемый объем здания, 91875 м<sup>3</sup>;  $q_{от}^p$  – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, для двухкамерного стеклопакета с заполнением аргоном  $q_{от}^p = 0,0856 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ , с заполнением криптоном  $q_{от}^p = 0,033 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ .

Затраты на тепловую энергию приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Затраты на тепловую энергию

Наименование конструкции	Расход тепловой энергии		Тариф, руб./Гкал [7]	Стоимость, руб./год
	кВт·ч/год	Гкал/год		
Двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном	1 553 933	1 336,4	1955,78	2 613 704,392
Двухкамерный стеклопакет с заполнением криптоном	1 031 943	887,5		1 735 754,75
			Разница в стоимости	877 949,642

Для оценки экономической эффективности необходимо рассчитать срок самоокупаемости конструкции. Исходя из того, что площадь остекления равна 13 244,73 м<sup>2</sup>, определим полную стоимость каждой фасадной системы (таблица 3).

Таблица 3 – Стоимость фасадных систем

	Стоимость 1 м <sup>2</sup>	Стоимость фасадной системы
Двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном	4 180	55 362 963,04
Двухкамерный стеклопакет с заполнением криптоном	6 190	81 984 866,32
Разница в стоимости	2 010	26 621 903,28

Срок, за который стоимость двухкамерного стеклопакета с заполнением криптоном окупится, будет равен:

$$PP = \frac{26\,621\,903,28}{877\,949,642} = 30,32 \text{ лет.}$$

*Вывод.* В ходе данной работы было проведено сравнение энергетической и экономической эффективности витражных систем остекления и подобран оптимальный вариант для высотного здания апартмент-отеля в городе Санкт-Петербург. Наиболее энергоэффективной системой остекления является двухкамерный стеклопакет с заполнением криптоном. Однако его использование не оптимально вследствие длительного срока окупаемости. Энергетически и экономически эффективной системой остекления является двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Energieeffizienzstrategie Gebäude / Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Öffentlichkeitsarbeit. – Berlin, 2015 – 32 S. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebäude.pdf> (дата обращения: 23.02.2022)
2. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. / Светопрозрачные конструкции и методы повышения из энергоэффективности. – СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ – 2015 г. – 17 с. – URL: <https://readera.org/svetoprozrachnye-konstrukcii-i-metody-povysheniya-ihjenergoeffektivnosti-14322245> (дата обращения: 23.02.2022)
3. Шибекко А.С. / Некоторые способы экономии тепловой энергии при производстве вертикальных стеклопакетов. – Минск, Белорусский национальный технический университет – 2018 г. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-sposoby-ekonomii-teplovoy-energii-pri-proizvodstve-vertikalnyh-steklopaketov/viewer> (дата обращения: 23.02.2022)
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология
6. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные
7. Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 12.11.2021 № 108-р – Администрация г. Санкт-Петербург, комитет по тарифам Санкт-Петербурга – URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ\\_kom/documents/npa/28404/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ_kom/documents/npa/28404/) (дата обращения: 06.03.2022)

УДК 728.1

Е.И. Белова, Я.А. Олехнович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СРАВНЕНИЕ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛОГО МНОГОЭТАЖНОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В современных городах с каждым годом увеличивается количество населения, поэтому растет востребованность и популярность строительства многоэтажных жилых зданий с применением различных технологий (рис. 1) [1].

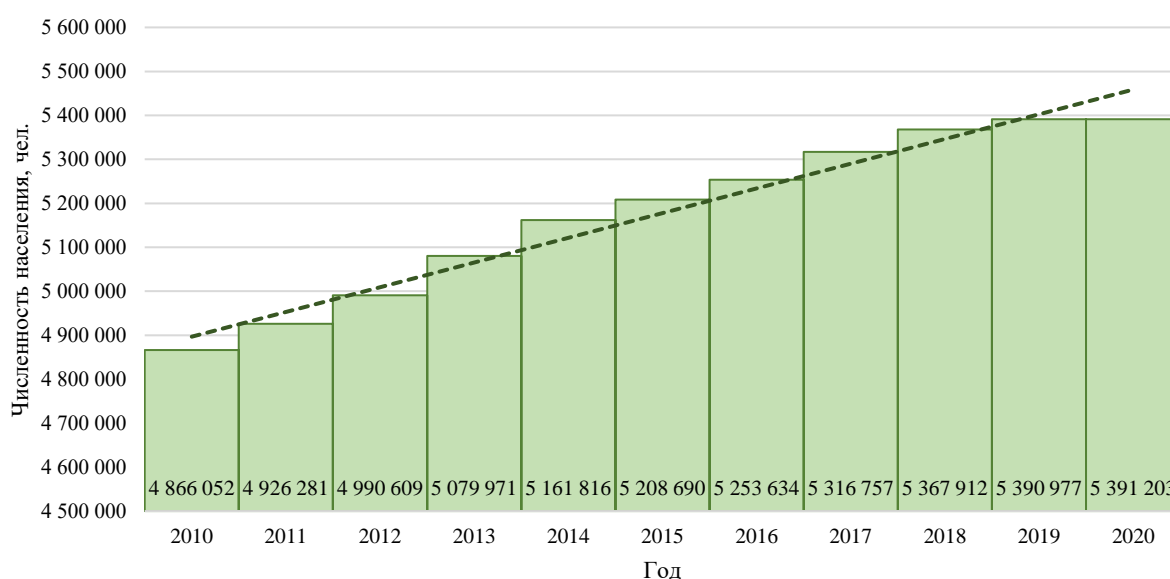


Рис. 1. Динамика численности постоянного населения в среднем за год в городе Санкт-Петербург [2]

Технологии возведения многоэтажных домов были абсолютно разными в меру прогресса, человеческих потребностей и возможностей. Сегодня потребительские качества к жилым зданиям определяются как удобство, современный эстетический и психологический комфорт и ценовая доступность. Также люди заинтересованы в скорости строительства и его качестве [3, 11].

В настоящий момент можно выделить несколько основных технологий строительства многоэтажных домов: монолитное [4–5], сборное [6–7] и сборно-монолитное строительство [8–9].

Проанализировав три технологии возведения жилых многоэтажных домов, можно сделать вывод о том, что каждый вид домостроения индивидуален и уникален, имеет свои достоинства и, конечно, не обходится без недостатков. Но наиболее универсальными в городских условиях являются технологии монолитного и сборно-монолитного домостроения.

Стоимость строительства напрямую зависит от выбранной технологии строительства. Вследствие этого вопрос о сравнении различных способах домостроения является сегодня актуальным.

*Целью работы* является сравнение стоимости строительства жилого многоэтажного дома, выполненного монолитным и сборно-монолитным способом. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие основные задачи:

1. Выбор метода расчета стоимости строительства;
2. Расчет стоимости строительства монолитного и сборно-монолитного жилого многоэтажного дома;
3. Анализ полученных результатов.

Согласно Приказа Минстроя РФ от 04.08.2020 № 421/пр, сметная стоимость строительства определяется:

- ресурсным методом;
- базисно-индексным методом;
- ресурсно-индексным методом.

Для составления сметы был выбран базисно-индексный метод. Его суть заключается в использовании системы текущих и прогнозных индексов цен по отношению к стоимости, определенной на базисном уровне или уровне предшествующего периода [10].

Краткая характеристика объекта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая характеристика многоэтажного жилого дома

№ п/п	Задание	Количество	Единица измерения
1	Размер здания в плане	13,36 x 38,78	м
2	Количество этажей	12	-
3	Высота этажа здания	3	м
4	Высота подвала	2,6	м
5	Количество лестниц	2	-
6	Количество шахт лифта	2	-
7	Количество буронабивных свай ( $d = 320$ мм)	54	-
8	Количество ж/б колонн (400×400 мм)	14	-
9	Наружные ж/б стены подвала, толщина	300	мм
10	Плита ж/б (ростверк), толщина	400	мм
11	Плита ж/б межэтажная, толщина	200	мм

Подробные результаты расчета стоимости приведены в таблице 2.



Таблица 2 – Сравнение сметной стоимости строительства несущих конструкций монолитного и сборно-монолитного жилого многоэтажного дома

№ п/п	Наименование работ	Ед. изм.	Стоимость	
			Технология монолитного домостроения	Технология сборно-монолитного домостроения
1	Устройство ж/б свай, бетонирование ростверка	руб.	13 249 687.77	13 249 687.77
2	Устройство ж/б колонн, стен и балок подвала. Устройство перекрытия над подвалом	руб.	7 159 486.67	7 159 486.67
3	Устройство ж/б стен 1 и 2 этажей. Устройство перекрытия над 1 этажом	руб.	8 356 493.42	10 563 159.76
4	Устройство ж/б стен типового этажа. Устройство перекрытий над типовым этажом	руб.	62 596 149.39	75 846 215.63
5	Устройство плиты покрытия. Устройство ж/б стен ЛЛУ	руб.	3 459 621.06	3 759 123.64
6	Устройство плиты покрытия ЛЛУ. Устройство ж/б лестниц	руб.	943 516.46	1 357 159.40
Общая сметная стоимость		руб.	95 764 954.77	111 934 832.87

Источник: данные получены автором.

График сметной стоимости строительства несущих конструкций представлен на рис. 2.

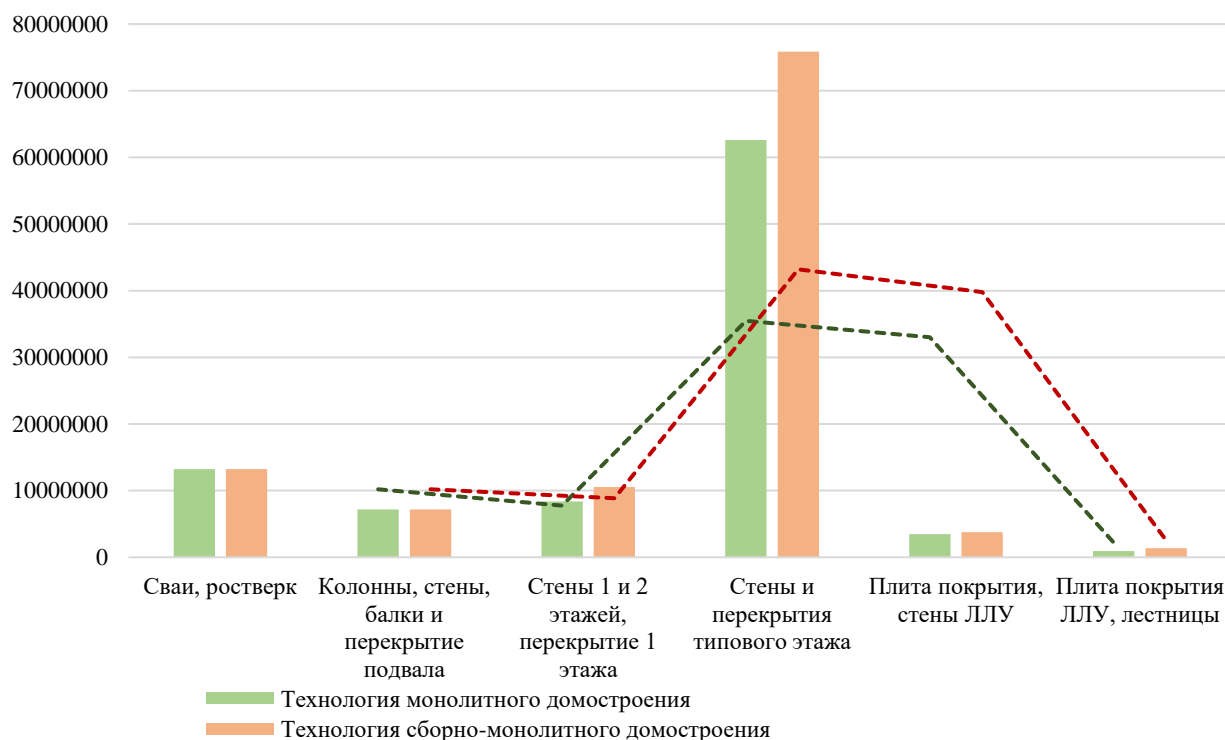


Рис. 2. График сметной стоимости строительства несущих конструкций

*Вывод:* согласно проведенным расчетам, общая сметная стоимость строительства монолитного дома составляет – 95 764 954.77 руб., сборно-монолитного – 111 934 832.87 руб. Разница связана с использованием более дорогих сборных конструкций, изготовленных на заводе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мирошникова И.М. Актуальность высотного строительства // В сборнике: Научные исследования: теория, методика и практика. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2017. С. 53–55.
2. Федеральная служба государственной статистики: сайт. – 1999. – [Электронный ресурс]: URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 08.12.2021).
3. Черенкова А.О., Черенкова Е.О. Технология строительства многоэтажных жилых зданий // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2016 № 12-4. С. 141–143.
4. Кадочкина А.С., Сегаев И.Н. Технология монолитного строительства многоэтажных домов // Аллея науки. 2018. Т. 5. № 4 (20). С. 275–278.
5. Serdyuchenko V., Gorodetsky I. Features of the construction of monolithic houses // The Scientific Heritage. 2021. № 72-1 (72). P. 68-70.
6. Блажко Д.Н., Гусева А.Л. Трудности и возможности современного панельного домостроения // AlfaBuild. 2017. № 1 (1). С. 111–120.
7. Gupta N., Kamal M.A., Brar T.S. Exploration of prefabricated building system in housing construction // J. Build. Mater. Struct. 8. 2021. P. 19–31.
8. Мартынова М.С., Сегаев И.Н. Панельное строительство: преимущества технологии // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 4 (20). С. 433–436.
9. Цопа Н.В. Организационно-технологические особенности сборно-монолитного каркасного строительства объектов коммерческой недвижимости // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 2-3 (56). С. 145–146.
10. Кынева А.И., Птухина И.С. Сравнительный анализ методов определения стоимости строительства // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 356–359.
11. Корнилов Ю.Н., Царёва О.С. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений. Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 4. С. 9–18.

УДК 692.82

С.А. Болобан, О.С. Гамаюнова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОСТЕКЛЕНИИ ФАСАДОВ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Остекление фасадов зданий – одна из основных причин теплопотерь зданий в зимний период и излишнего проникновения солнечной радиации внутрь здания в летний период, что приводит к дополнительным затратам на создание необходимого микроклимата [1–3].

*Цель работы* – выполнить сравнительный анализ современных решений в остеклении фасадов и выбрать оптимальный с точки зрения энергетической и экономической целесообразности.

Остекление фасада здания является одним из главных и важных этапов в строительстве здания. Правильный расчет теплопотерь и последующий правильный подбор вариантов остекления играет важную роль в обеспечении комфортного пребывания людей в помещении, так как стекло вносит самые большие теплопотери здания и их неправильный учет может повлечь серьезные последствия.

Рынок строительных материалов на сегодняшний день представляет несколько современных решений в области вариантов остекления:

- стекло с автозатемнением;
- стекло с изменяющейся прозрачностью;
- стекло с электрозатемнением;
- стекло со smart-пленкой;
- стеклопакеты с заполнением инертным газом;

- i-стекла и k-стекла.

Такое большое количество решений в сфере остекления фасадов показывает, что подбор правильного и технологичного остекления – это очень важный параметр. Основные принципы при выборе технологий остекления:

- повышение энергоэффективности стеклопакета;
- повышение шумоизоляции стеклопакета;
- создание приватной зоны обитания людей.

Рассмотрим подробнее несколько наиболее интересных и перспективных решений.

1. Стеклопакеты с заполнение инертным газом. Идея замены обычного межкамерного воздуха на другой более энергоэффективный газ существует многие годы. Основными инертными газами выступают аргон, криптон и ксенон, однако, большую популярность приобрёл аргон вследствие своей большей дешевизны (рис. 1).

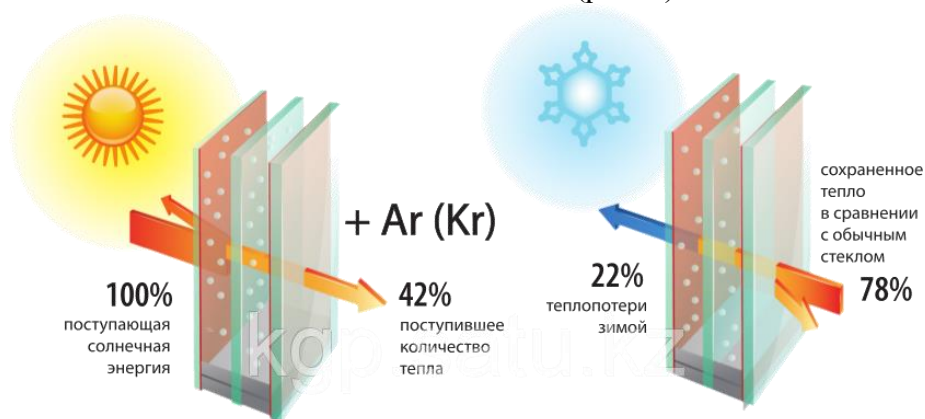


Рис. 1. Энергоэффективность аргоновых стеклопакетов

Основные преимущества такого решения в сравнении с обычным остеклением [4]:

- повышенный коэффициент сопротивления теплопередаче:  $0,52 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  против  $0,47 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ;
- повышение шумоизоляции на 40%;
- снижение светопропускания на 15%.

Таблица 1 – Расчет теплорасхода с разными типами стеклопакетов

Наименование стеклопакета	Средняя стоимость двойного стеклопакета, руб.	Переплата за стеклопакет с аргонem [4], руб.	Условная стоимость платежей за теплорасходы в месяц, руб.	Суммарный расход на теплорасходы на 9 месяц, руб.	Экономия в затратах на теплорасходы на 9 месяц, руб.
Обычный стеклопакет	5000	900	1000	$1000 \cdot 9 = 9000$	900
Стеклопакет с аргонem	5900			$(1000 - 1000 \cdot 0,1) \cdot 9 = 8100$	

Однако аргоновые стеклопакеты имеют один серьёзный недостаток – аргон со временем улетучивается, а значит постепенно окно будет терять свои преимущества перед обычным стеклопакетом. Такие стеклопакеты придется обновлять, что создаёт трудности в их обслуживании. Аргоновые стеклопакеты выходят дороже обычных стеклопакетов на 15–20%, однако, их энергоэффективность выше на 10%. Соответственно, со временем эти окна позволят не только окупить затраты, но и сэкономить на платежах за отопление. Согласно расчетам, приведенным в табл. 1, окна окупят вложенные перерасходы через 9 месяцев.

2. Применение стеклопакетов с электрозатенением/автозатемнением. Осуществление затемнения таких стекол основано на покрытии изнутри стекол специальной пленкой, которая способна реагировать на пропускание через нее электрического тока (рис. 2). Структуру пленки составляют частицы, которые в отсутствие тока направлены хаотично, что делает такую пленку светонепроницаемой, однако, при возникновении электрического поля эти частицы становятся повернуты одинаково, что создает условия для прохождения света, делая тем самым стекло прозрачным. Такие пленки имеют очень большую долговечность и работоспособность такого стекла зависит только от качества подключения. Минимальное потребление электроэнергии – 4 Вт/м<sup>2</sup>.

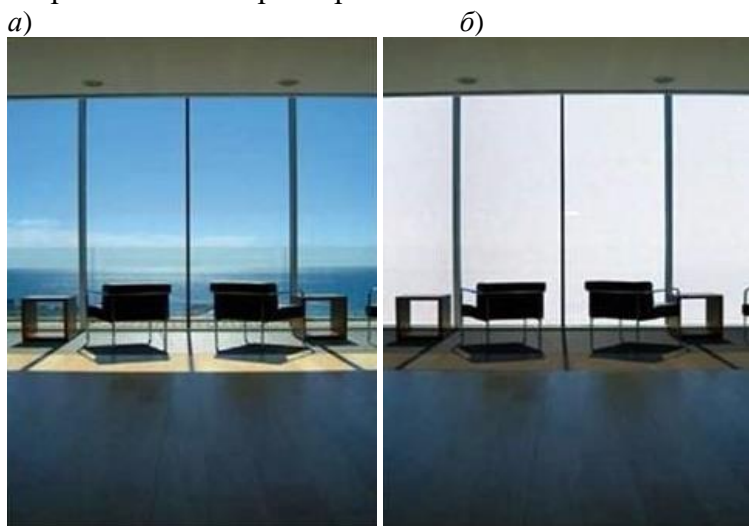


Рис. 2. Пример работы окон с электрозатенением:  
а – режим On, б – режим Off [5]

Технология использования стеклопакетов с автозатемнением основана на таких же принципах, меняется только активатор затемнения – здесь затемнение происходит под действием солнечных лучей, попадающих на пленку. Чем интенсивнее солнечный свет, тем сильнее будет затемняться пленка. Такая технология не требует никаких источников энергии для ее функционирования. Применение таких пленок очень перспективно при большом панорамном остеклении, так как может работать самостоятельно.

Главными достоинствами таких пленок является долговечная

работа и более высокий процент затемнения (до 40%) в сравнении со стеклопакетами с аргоном и способность становиться декоративным элементом для интерьера и фасада здания – пленки способны при затемнении менять свой цвет с прозрачного на любой другой.

Главным же минусом стекол с пленками является их высокая стоимость – 1 м<sup>2</sup> такого стекла в среднем стоит от 43 тыс. руб. [6]. Такие пленки окупают себя в долгосрочной перспективе за счет экономии на электроэнергии, однако, не каждый застройщик готов внести большую сумму сразу на момент строительства.

3. i-стекла и k-стекла. Основная идея i и k-стёкол – покрытие обычных стекол специальными окислами, которые повышают энергоэффективность. Такие стекла называют низкоэмиссионными. i и k-стекла между собой отличаются по способу производства: k-стекло получается путем спекания пленки с еще горячим стеклом (твердое энергосберегающее стекло), а i-стекло получается в результате нанесения тончайшей пленки толщиной в несколько нанометров (мягкое энергосберегающее стекло). Применение таких стекол позволяет улучшить теплоизоляцию, существенно сократить потери тепла – k-стекло способно отражать до 40% внутреннего тепла, а i-стекло – до 90%. Основным недостатком таких стекол является их пленка – такие стекла требуют аккуратной перевозки и монтажа, так как их специальное покрытие может быть достаточно просто повреждено, особенно i-стекло. Производители предлагают стеклопакеты с низкоэмиссионными стеклами в однокамерном исполнении за 2400 руб./м<sup>2</sup> [7], при этом показатели энергосбережения и светопропускания стеклопакета с таким стеклом в однокамерной компоновке гораздо выше, чем у двухкамерного стеклопакета с обычными стеклами, а цена выходит на 20% ниже. Также однокамерная компоновка легче двухкамерной на 10 кг/м<sup>2</sup>, что обеспечивает снижение нагрузки на оконную фурнитуру [8].

По результатам проведенного анализа существующих решений, их стоимости, достоинств и недостатков, можно сделать вывод, что стеклопакет с аргоном (низкоэмиссионное стекло) более предпочтителен для массового использования. Сложные и технологии хоть и показывают высокие технические показатели, но оказываются слишком дорогими и имеют долгую окупаемость. Такие стекла можно применять в зданиях по обслуживанию населения, например, в отелях, апартаментах, а также в жилых домах повышенного комфорт-класса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Маликова А.С. Энергоэффективное остекление бизнес-центра // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 3-9. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/3-9.pdf>
2. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 3-14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>
3. Миропольский П.С. Особенности остекления высотных зданий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 24-30. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/24-30.pdf>
4. Окна МК [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.okna-mk.ru> (дата обращения: 11.03.2022).
5. Smart class. Стекло с переменной прозрачностью. Смарт-стекло [Электронный ресурс]. – URL: <https://nayada-glass.ru/products/smart-steklo-v-moskve/> (дата обращения: 14.03.2022).
6. Lumen market [Электронный ресурс]. – URL: <https://spb.lumenmarket.ru/> (дата обращения: 11.03.2022).
7. Стеклопакеты [Электронный ресурс]. – URL: <https://oknabm.ru/catalog/accessories/steklopaket/> (дата обращения: 11.03.2022).
8. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5 (32). С. 112–128.

УДК 69.055

И.Е. Гераськина, А.Е. Радаев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ДРОБНО-ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Повышение требований к срокам и качеству строительства, наблюдаемое в современных условиях развития строительной отрасли, определяют необходимость в рациональном обосновании характеристик соответствующих процессов как с точки зрения длительности выполнения работ, так и эффективности функционирования привлекаемых технологических ресурсов. В частности, существующая на сегодняшний день вариативность трудовых и машинных ресурсов определяет альтернативность структуры соответствующих проектов строительства в том числе с точки зрения агрегированных показателей длительности и стоимости выполнения работ. Тем не менее, в общем случае упомянутые показатели вычисляются на этапе формирования проекта организации строительства с использованием методик, прописанных в нормативных документах. При этом указанные методики не учитывают влияние различных вариантов технологических ресурсов, имеющих различные параметры выработки и стоимости выполнения работ, на показатели длительности и суммарных затрат реализации проекта.

Данное обстоятельство определило целесообразность выполнения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств для обоснования характеристик технологических ресурсов, используемых в рамках процесса строительства, с применением средств оптимизационного моделирования. Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Обзор и анализ научных работ в области обоснования состава технологических ресурсов, используемых в рамках процесса строительства.
2. Формирование оптимизационной модели обоснования характеристик технологических ресурсов, используемых в рамках процесса строительства с использованием средств дробно-линейного программирования.

*Объектом исследования* является процесс строительства, реализуемый с использованием различных категорий технологических ресурсов. Предметом исследования являются характеристики вышеуказанного процесса в части количества различных категорий технологических ресурсов, а также суммарной длительности и стоимости выполнения работ.

На начальных этапах исследования был выполнен обзор и анализ научных работ в области обоснования состава технологических ресурсов, используемых в рамках процесса строительства [1–5]. По результатам выполнения указанных процедур сделан вывод о том, что подавляющее большинство научных разработок предполагает обоснование характеристик технологических процессов строительства без учета альтернативных вариантов технологических ресурсов в разрезе категорий, сопоставляемых с видами выполняемых работ;

Вышеперечисленные особенности определили целесообразность разработки оптимизационной модели обоснования характеристик технологических ресурсов, используемых в рамках процесса строительства с использованием средств дробно-линейного программирования. Основными положениями для формирования оптимизационной модели явились следующие:

1. Объектом рассмотрения является технологический процесс строительства, предполагающий выполнение в заданной последовательности определенных категорий работ (в общем количестве  $m$ ) в разрезе некоторого количества последовательно осваиваемых фронтов (в общем количестве  $n$ ); выполнение работ каждой отдельной категории  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) на последующем фронте начинается только после окончания выполнения работ на предшествующем фронте; выполнение работ последующей категории в рамках каждого отдельного фронта  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) начинается только после окончания выполнения работ предшествующей категории.

2. Выполнение работ каждой отдельной категории  $i$  производится с использованием технологических групп ресурсов (бригад рабочих – для трудовых ресурсов; отрядов техники – для машинных ресурсов); при этом ресурсы в составе каждой отдельной технологической группы можно разделить на следующие виды: ведущие ресурсы, выработка которых определяет общую производительность выполнения работ отдельной группой ресурсов; вспомогательные ресурсы, выработка которых не оказывает влияния на общую производительность выполнения работ группой; существует определенное соотношение между количеством ведущих и вспомогательных ресурсов в рамках отдельной группы для выполнения определенной категории работ.

3. Имеется некоторое количество альтернативных вариантов ведущих ресурсов  $z_i$ , используемых для выполнения каждой отдельной категории работ  $i$ ; альтернативные варианты ведущих ресурсов отличаются между собой параметрами сменной выработки и удельной стоимости выполнения работ.

4. Исходные данные для реализации модели включают в себя значения сменной выработки  $v_{ik}$  ( $ЕИ_i/(\text{см} \cdot \text{ед.})$ ) и удельной стоимости  $c_{ik}$  ( $\text{д.е.}/(ЕИ_i \cdot \text{ед.})$ ) выполнения работ технологической группой, включающей в себя единицу каждого альтернативного варианта  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, z_i$ ) ведущих ресурсов, используемых при производстве каждой отдельной категории работ  $i$ , а также суммарный объем работ  $q_{ij}$  ( $ЕИ_i$ ) каждой отдельной категории  $i$  в составе каждого отдельного фронта  $j$ ;  $ЕИ_i$  в данном случае обозначает единицу измерения объема работ категории  $i$ .

Структура оптимизационной модели определяется выражениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n (t_{i=m,j} + \Delta_{i=m,j}) \rightarrow \min; \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{ij} \geq 0, t_{ij} \in Z, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ij} \geq 0, \Delta_{ij} \in Z, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{ik} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, z_i; \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ij} \geq t_{i-1,j} + \Delta_{i-1,j}, i = 2, 3, \dots, m; j = 1; \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ij} \geq \sum_{j'=1}^j (t_{i-1,j'} + \Delta_{i-1,j'}) - \sum_{j'=1}^{j-1} (t_{ij'} + \Delta_{ij'}), i = 2, 3, \dots, m; j = 2, 3, \dots, n; \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{q_{ij}}{\sum_{k=1}^{z_i} v_{ik} \cdot x_{ik}} \leq t_{ij} \leq \frac{q_{ij}}{\sum_{k=1}^{z_i} v_{ik} \cdot x_{ik}} + \Delta, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_i^{\min} \leq \sum_{k=1}^{z_i} x_{ik} \leq x_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, m; \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n (t_{ij} + \Delta_{ij}) \leq T_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, m; \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{i=m,j} + \Delta_{i=m,j} \leq T_j^{\max}, j = 1; \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j'=1}^j (t_{i=m,j'} + \Delta_{i=m,j'}) - \sum_{j'=1}^{j-1} (t_{i=1,j'} + \Delta_{i=1,j'}) \leq T_j^{\max}, j = 2, 3, \dots, n; \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{k=1}^{z_i} C_{ik} \cdot v_{ik} \cdot x_{ik}}{\sum_{k=1}^{z_i} v_{ik} \cdot x_{ik}} \cdot \sum_{j=1}^n q_{ij} \leq C_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, m, \end{array} \right. \quad (12)$$

где  $Z$  – множество целых чисел;  $Z = \{\dots; -1; 0; 1; \dots\}$ .

5. Необходимо определить длительность  $t_{ij}$  и резерв  $\Delta_{ij}$  выполнения работ (см.) каждой отдельной категории  $i$  в рамках каждого отдельного фронта  $j$ , а также количество ведущих ресурсов  $x_{ik}$  (ед.) каждого альтернативного варианта  $k$  в составе технологических групп для каждой категории работ  $i$ , при котором обеспечивается наименьшая длительность выполнения работ при выполнении следующих условий:

– суммарное количество ресурсов, используемых для выполнения каждой отдельной категории работ  $i$ , должно соответствовать диапазону допустимых значений, ограниченному минимально  $x_i^{\min}$  и максимально  $x_i^{\max}$  допустимыми значениями (ед.);

– суммарная длительность выполнения работ каждой отдельной категории  $i$  в разрезе всех фронтов, а также суммарная длительность выполнения всех категорий работ в рамках каждого отдельного фронта  $j$  не должны превышать максимально допустимых значений  $T_i^{\max}$  и  $T_j^{\max}$  (см.);

– суммарная стоимость выполнения работ каждой отдельной категории  $i$  не должна превышать максимально допустимого значения  $C_i^{\max}$  (д.е.).

Таким образом, была разработана оптимизационная модель обоснования характеристик технологических ресурсов, которая соответствует поставленной задаче дробно-линейного программирования и потому может быть преобразована к линейному виду с последующей реализацией в современных программных средах с использованием алгоритма ветвей и границ.

На дальнейших этапах исследования предполагается модификация структуры модели для возможности рассмотрения трудовых и машинных ресурсов в качестве обособленных категорий, а также реализация модели на практическом примере с целью оценки практической значимости разработанного инструментального средства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кужин М.Ф. Методический подход к оптимизации организационно-технологических параметров строительного производства // Строительное производство. 2019. № 2. С. 39–44.
2. Пергаменщик Б.К., Ундозеров В.А. Производительность труда в строительстве в функции насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами // Экономика строительства. 2018. №5. С. 52–58.
3. Петроченко М.В., Стольникова К.А. Автоматизированный расчет объемов работ и назначения сметных норм элементам BIM-модели // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та 2019. С. 273–275.
4. Ундозеров В.А. Моделирование снижения производительности труда при увеличении насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами // Русский инженер. 2019. №2 (63). С. 47–48.
5. Ундозеров В.А., Македонска Р.Л. Оптимизация насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами по критерию сокращения сроков // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 7 (97). С. 114–118.

УДК 692.412

Г.С. Гапоненко, Т.Н. Солдатенко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСТРОЙСТВА КРОВЛИ

*Актуальность.* Кровля является одним из основных элементов любого строения, и призвана защищать стены и помещения здания от атмосферных осадков, ветра и других неблагоприятных факторов окружающей среды, поддерживать комфортную обстановку для проживающих в доме людей или благоприятные условия для размещенных внутри предметов. Поэтому к вопросу выбора кровельных материалов необходимо уделить пристальное внимание.

Материалы, применяемые для кровель, должны отвечать требованиям действующих нормативных документов [1]. Малая стоимость некоторых кровельных материалов на этапе устройства не даст гарантию, что это не обернется ежегодными крупными расходами на ремонт кровли. Поэтому нужно брать во внимание, что, заплатив один раз за долговечный и современный материал с хорошими характеристиками, потребитель получит большую экономию средств на дальнейшее содержание кровли. Это поможет увеличить срок эксплуатации и сохранить средства на дополнительные расходы [2].

*Цель работы:* провести анализ кровельных гидроизоляционных материалов и выбрать оптимальный вариант для устройства кровли.

*Задачи:*

1. Рассмотреть кровельные материалы для устройства кровли.
2. Составить сметную стоимость вариантов устройства и эксплуатации кровли.
3. Выбрать оптимальный вариант гидроизоляционного материала для устройства кровли.

На сегодняшний день существуют разные виды кровельных материалов для устройства плоской кровли зданий и сооружений, которые отличаются своими технико-экономическим показателям [3].

Рубероид можно назвать одним из самых распространенных гидроизоляционных покрытий как в советский период, так и сейчас. По сути, он представляет собой картон,



пропитанный битумом. С одной или обеих сторон рубероида имеется защитная подсыпка (песок, асбест, тальк и т.п.). Долговечность кровли из рубероида – 5–10 лет [4].

Стеклорубероид относится уже к несколько иным материалам, хотя внешне он мало чем отличается от рубероида. Все отличие – в начинке. В качестве основы в стеклорубероиде используется стеклоткань или стеклохолст, покрытые битумом. Срок эксплуатации 20 лет [5].

Несмотря на достоинства всех перечисленных материалов, на ступень выше их находится еврорубероид – самое современное и функциональное битумное покрытие. Срок эксплуатации 25 лет [6].

Полимерные мембраны – рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы, с которыми связан новый подход к устройству кровли и совершенствованию технологий гидроизоляции. ПВХ мембрана является прочным, гомогенным кровельным покрытием. Срок эксплуатации 50 лет [7].

Объект исследования: Апарта-отель площадью 770м<sup>2</sup> и сроком эксплуатации 150 лет.

Расчётные показатели сметной стоимости строительно-монтажных работ на устройство кровли Апарта-отеля с помощью рассматриваемых материалов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сметная стоимость вариантов устройства и эксплуатации плоской кровли

Название	Гарантийный срок службы, лет	Затраты на устройство кровли					
		Сметная трудоёмкость, чел.- час	Машины и механизмы, тыс. руб.	Средства на оплату труда, тыс. руб.	Стоимость материала кровли, тыс. руб.	Сметная стоимость строительных работ, тыс. руб.	Амортизационные расходы за 1 год срока эксплуатации, тыс. руб.
ПХВ мембрана	50	842,43	33,843	206,437	1214,421	2240,12	44,8
Еврорубероид	25	852,53	38,158	208,539	469,24	1334,102	53,36
Унифлекс	25	852,53	38,358	208,62	537,594	1418,372	56,73
Изопласт	20	980,84	26,944	250,096	964,814	2080,666	104,03
Петрофлекс	20	669,28	22,002	169,489	853,367	1654,684	82,73
Стеклорубероид	20	840,75	37,889	205,763	497,547	1358,922	67,94
Бистерол	15	955,24	26,648	244,598	606,134	1620,786	108,05
Рубероид	5	739	28,536	181,104	358,465	1095,19	219,04

Проанализировав полученные результаты, можно сделать выводы:

- При эксплуатации здания в течение 150 лет, работы по устройству кровли из материала «Бистерол» нужно будет проводить 10 раз, из материала «Унифлекс» и «Еврорубероид» – 6 раз, а из ПВХ – мембраны только 3 раза.
- «ПВХ-мембрана». Имеет наименьшее значение коэффициента амортизационных расходов (44.8).
- Оптимальными могут быть разные виды исследуемых материалов. Все зависит от предполагаемого срока эксплуатации здания. Например, если срок полезного использования объекта до 25 лет, то оптимальными являются Еврорубероид или Унифлекс.
- Несмотря на высокую сметную стоимость устройства кровли из материала «ПВХ-мембрана», с учетом всех остальных расчетных показателей, таких как: значения показателя долговечности, средних трудозатрат и расходов на машины и механизмы, оплату труда рабочих, можно сделать вывод, что самым оптимальным вариантом является материал «ПВХ-мембрана».

*Вывод.* Рассмотрев восемь видов кровельных материалов и составив сметную стоимость на каждый из них, можно сделать вывод, что для здания площадью кровли 770 м<sup>2</sup> и длительность эксплуатации 150 лет целесообразным будет выбор материала: «ПВХ-мембрана», так как благодаря высокому сроку эксплуатации, и высокому качеству после расчета, данный материал покажет себя как надежный, долговечный, а главное выгодный для устройства кровли.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 17.13330.2011. Кровли.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. ГОСТ 23835-79. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Классификация и общие технические требования.
4. ГОСТ 10923-93. Рубероид. Технические условия.
5. ГОСТ 15879-70. Стеклорубероид. Технические условия.
6. Горбов, А.С. Кровельные работы и материалы. – М.: Справочник строителя, 2005 – 144 с.
7. Петров К.С., Крищенко К.Г., Погосов К.Г., Жукова А.С. Применение современных строительных материалов и технологий при устройстве кровель. 2019 / Инженерный вестник Дона.

УДК 69.009

В.А. Гогина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

*Актуальность.* В настоящее время инвестиционно-строительный комплекс активно развивается и характеризуется возрастающим спросом на услуги по проектированию и созданию новых продуктов, расширению мощностей, внедрению инноваций, совершенствованию строительных технологий. Одной из важнейших экономических задач в настоящий момент является сокращение сроков строительства объектов. Зачастую около 70 % общих суммы потерь в период строительства составляет увеличение стоимости, связанное с несовершенством проектных решений. Следует отметить, что для комплексной оценки эффективности проектами необходимо использовать комплекс показателей, позволяющих оценить результативность и эффективность реализации проектов [1].

*Задачи:* оценить влияние критериев математической модели на продолжительность строительного процесса и сформировать систему критериев для математической модели.

Одним из путей повышения эффективности управления сроками и стоимостью строительства в мировой практике является внедрение подхода «управление проектами», отличительными чертами которого являются: параллельное проектирование и строительство; использование математических методов и информационных технологий для анализа вариантов реализации и оптимизации сроков и стоимости проектов. Известно множество способов оценки инвестиционно-строительных проектов [6]. Рассмотрим основные принципы оценки эффективности проекта:

- Рассмотрение проекта на протяжении всего жизненного цикла.
- Моделирование денежных потоков.
- Сопоставимость условий сравнения различных проектов.
- Учет фактора времени.
- Учет только будущих затрат и поступлений.
- Учет всех наиболее существенных последствий проекта.

- Учет наличия разных участников проекта.
- Многоэтапность оценки.
- Учет влияния на эффективность проекта потребности в оборотном капитале.
- Учет влияния инфляции и возможности использования при реализации проекта нескольких валют (многовалютность).
- Учет (в количественной форме) влияния неопределенности и риска, сопровождающих реализацию проекта.

Для оценки эффективности инвестиций чаще всего используют существующую классификацию показателей, а именно [2, 3]:

1) по виду интегрального показателя, выступающего в качестве критерия экономической эффективности инвестиций: абсолютные; относительные; временные;

2) по методу сопоставления разновременных денежных затрат и результатов: статические; динамические;

Однако непосредственная оценка эффективности осуществляется с помощью расчета системы показателей или критериев эффективности инвестиционного проекта и проводится по рекомендуемой системе следующих взаимосвязанных показателей [3]:

- чистый дисконтированный доход и ставка дисконтирования;
- индекс доходности;
- внутренняя норма доходности;
- срок окупаемости;
- коэффициент эффективности инвестиций.

Основные показатели эффективности проекта основаны на учете стоимости финансовых ресурсов во времени, которая определяется с помощью дисконтирования.

На основе вышеперечисленных показателей были сформированы следующие исходные данные [4, 5].

Таблица 1 – Исходные данные

№ п.п.	Наименование элемента исходных данных	Обознач.	
Базовые исходные данные			
1	Общее протяженность рассматриваемого временного интервала	$T$	
2	Длительность периода строительства	$x$	
3	Денежный поток	$CF$	
4	Предельное значение длительности периода строительства	$x^{\max}$	
5	Индекс периода	$t$	
6	Объем инвестиций	$I_t$	
Дополнительные исходные данные			
7	Характеристики закона распределения случайной величины индекса доходности	Мат. ожидание	$\bar{x}$
8		Среднекв. отклонение	$\sigma_x$

$$y = PI = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{\prod_{t'=1}^t (1 + k_{t'})}}{\sum_{t=1}^T \frac{I_t}{\prod_{t'=1}^t (1 + k_{t'})}}.$$

При этом должны соблюдаться следующие условия:

$$I_t = \begin{cases} I_{\tau=t}, t < \lceil x \rceil; \\ (1 - (\lceil x \rceil - x)) \cdot I_{\tau=t}, t = \lceil x \rceil; \\ 0, t > \lceil x \rceil. \end{cases} \quad CF_t = \begin{cases} 0, t < \lceil x \rceil; \\ (\lceil x \rceil - x) \cdot CF_{\tau=t-\lceil x \rceil+1}, t = \lceil x \rceil; \\ (\lceil x \rceil - x) \cdot CF_{\tau=t-\lceil x \rceil+1} + (1 - (\lceil x \rceil - x)) \cdot CF_{\tau=t-\lceil x \rceil}, t > \lceil x \rceil. \end{cases}$$

Таким образом, в работе представлены показатели эффективности проекта, которые легли в основу математической модели, а также были определены их пределы. Данная математическая модель может применяться для оценки сроков проекта и систематизации строительного процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Писарев Д.В. Экономический анализ инвестиционно-строительного проекта на стадиях его жизненного цикла// Экономический анализ: теория и практика. 2011, №22
2. Гилемханов Р.А., Брайла Н.В. Методы оценки финансово-экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов// Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2016. № 10 (49). с. 7–19
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2 редакция). Официальное издание. М.: Экономика, 2000. 421 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей (задачи и упражнения). М. «Наука». Главн. ред. физ.-мат. лит., 1969. 368 с
5. Емельянов Г.В., Скитович В.П. Задачник по теории вероятностей и математической статистике. Л.: Издат. ЛГУ, 1967. 332 с
6. Птухина И.С., Вяткин М.Е., Мусорина Т.А. Аспекты стоимостного инжиниринга, их роль и влияние на реализацию инвестиционного проекта//Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 9 (14). С. 46–56.

УДК 69.003.13

А.М. Горшков, В.И. Корсун  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОБОЛОЧЕК ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

*Цель работы* – определение экономической целесообразности применения модифицированных гидроизоляционных покрытий оболочек башенных испарительных градирен.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ технических отчетов натуральных обследований железобетонных башенных градирен [1, 2]. Согласно проведенным исследованиям коррозионных повреждений железобетона оболочек градирен [5–7], предлагается выделить три зоны для устройства гидроизоляционного покрытия вытяжной башни: зона А – наружная поверхность с внешней стороны, зона В – внутренняя поверхность от нижнего опорного кольца до перемычки горловины башни, зона С – поверхность от горловины до верхней кромки среза оболочки с внутренней стороны соответственно. Предлагаемая технологическая схема устройства гидроизоляции градирни представлена на рис. 1.

На первом этапе было установлено соответствие продукции, предлагаемой производителями на основе технико-коммерческих предложений, требованиям к мерам защиты выделяемых зон.

А – защитная система для наружной оболочки градирни на акрилатной и сополимерной основе с высокой стойкостью к CO<sub>2</sub>, воздействиям ультрафиолета и атмосферным осадкам.

В – защитная система для внутренней оболочки (2/3 нижней части) на эпоксидной основе с высокой стойкостью к воздействиям воды, конденсата и низкой влагопроницаемостью.

С – защитная система для внутренней оболочки (1/3 верхней части) на эпоксидной и полиуретановой основе с высокой стойкостью к воздействиям воды, конденсата, низкой влагопроницаемостью и устойчивостью к воздействию ультрафиолетовых лучей.

В результате исследований на первом этапе, было отмечено, что разработанная схема защиты оболочки градирни позволяет защитить внутреннюю поверхность бетона от агрессивных воздействий циркуляционной воды. В качестве основного критерия в выборе материалов определены паронепроницаемые системы с высокой адгезией к основанию, позволяющей запереть водяной пар от бетонной поверхности. Для наружной оболочки градирни основным критерием стали материалы с высокой паропроницаемостью и стойкостью к ультрафиолету, углекислому газу, что обеспечит водяным парам беспрепятственный выход из бетонной наружной поверхности оболочки градирни.

На втором этапе на основании сметной документации, выполненной на устройство гидроизоляции градирни Курской АЭС-2 сотрудниками сметных подразделений АО «Атомэнергопроект», был разработан новый объем работ на устройство вторичной защиты оболочки вытяжной башни в соответствии с разработанной схемой защиты и подобранными антикоррозионными материалами. Были составлены две локальные сметы, выполненные базисно-индексным способом по соответствующим ФЕР 81-02-06-2001, ФЕР 45-13-001-5, ФССЦ 113-0034, ФССЦ 113-0089, ФССЦ 113-0224 и ФССЦ 101-5910.

Сметная стоимость устройства железобетонной оболочки гиперболической градирни высотой в 179 м (115 ярусов с длиной образующей 1,5 м) по предложенной схеме с гидроизоляционным покрытием из материалов на акрилатной и сополимерной основе в текущем уровне цен составила 273 098 908 рублей. Это на 13,76% (37 578 172 руб.) дороже, чем сметная стоимость такой же градирни с типовой антикоррозионной защитой в 235 520 736 руб. в текущем уровне цен.

Разница в ценах между работами с применением проектной гидроизоляции и предложенной системой антикоррозионной защиты, помимо разницы в цене самих применяемых материалов, зависит от повышенного коэффициента оплаты труда рабочих и машинистов.

Устройство гидроизоляции на акрилатной и сополимерной основе требует дополнительной обработки поверхности возводимых межъярусных стыков и конструктивных швов бетонирования. Это необходимо для обеспечения более прочного межслойного сцепления и компенсации теплового расширения, способного спровоцировать появление трещин[3, 4].

В качестве показателей экономической эффективности были рассчитаны сметная рентабельность, цена потребления и приведенные затраты.

Расчеты показали, что отдача от выполнения антикоррозионной защиты с современными технологиями несущественно выше (около 1,1%), чем при устройстве гидроизоляции проектного решения.

Согласно РД ЭО 1.1.2.05.0697-2006 срок эксплуатации железобетонных конструкций градирни составляет 50 лет. Эксплуатационные затраты на обслуживание и поддержку градирни в надлежащем состоянии, исходя из отчетов по ремонту и эксплуатации

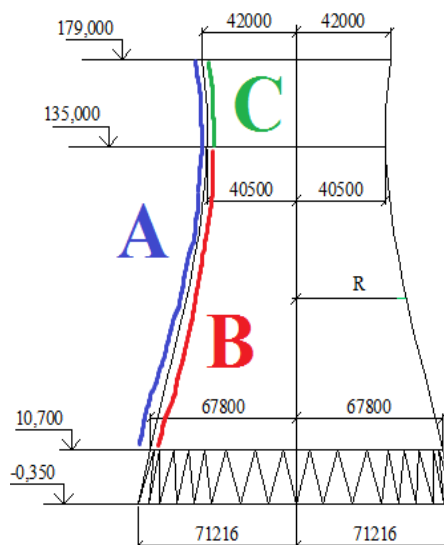


Рис. 1. Технологическая схема устройства гидроизоляции градирни

железобетонных башенных градирен, усредненно составляют 12 млн руб./год [9]. По подсчетам, при предлагаемой системе защиты снижаются затраты на проведение ремонта железобетонных конструкций градирни и затраты снижаются до 9,8 млн руб./год.

Изменение приведенных затрат на обслуживание ж/б башенной градирни с типовым устройством гидроизоляции (847 520 736 руб.) и на обслуживание ж/б башенной испарительной градирни с устройством антикоррозионного покрытия с материалами на акрилатной и сополимерной основе (772 898 908 руб.) в течение проектного срока службы в 50 лет, приведено на рис. 2.

Поскольку строительство объектов атомной энергетики находится в ведении государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», для расчета была принята ставка дисконтирования Центрального банка (ЦБ) Российской Федерации в 8.2%, спрогнозированная на основе статистических данных изменения ставок дисконта ЦБ за последние 10 лет.

По итогам дисконтирования затраты на градирню с проектным антикоррозионным покрытием и с гидроизоляцией из модифицированных материалов составили 153 496 978 руб. и 112 189 201 руб. соответственно.

Таким образом, можно заключить, что стоимость капитальных затрат на возведение железобетонной башенной испарительной градирни с выполнением гидроизоляции на 13,76% выше, чем на возведение подобной железобетонной башенной испарительной градирни с применением типового решения по устройству антикоррозионного покрытия.

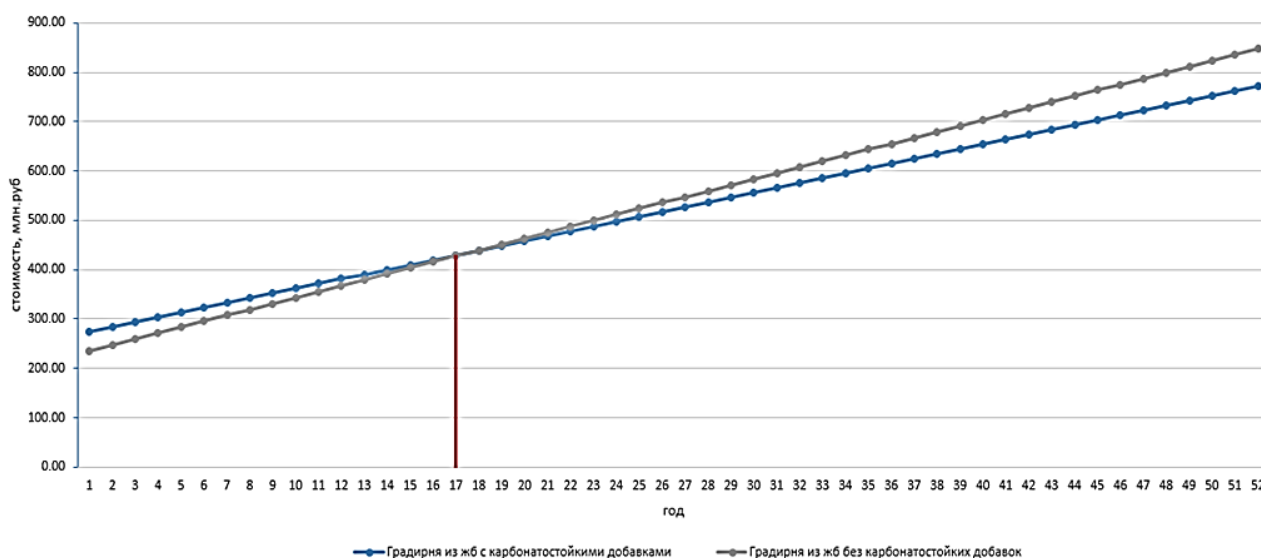


Рис. 3. Приведенные затраты

Принимая во внимание затраты на эксплуатацию сооружения, проведение технологических ремонтов и поддержание его в работоспособном состоянии, следует сделать вывод о том, что эксплуатационные затраты (с учетом дисконта) на железобетонную башенную испарительную градирню с антикоррозионным покрытием на акрилатной и сополимерной основе (приведенные затраты на эксплуатацию составляют 772 898 908 руб.) на 27% ниже затрат на подобную железобетонную башенную испарительную градирню, с типовыми гидроизоляционными покрытиями (приведенные затраты на эксплуатацию составляют 847 520 736 руб.).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СЭ 09/11-75-ТО. Техническое обследование строительных конструкций градирни No1 площадью орошения 3200 м<sup>2</sup> / под ред.: Я.В. Овчаров. – СПб.: ООО «ИЦ «Стройэксперт», 2015. – 193 с, ил.
2. Отчет по результатам обследования железобетонной оболочки вытяжной башни градирни No1 Ростовской АЭС филиала «Невский» ПАО «ТГК-1» / под ред.: А.П. Гусев. – Санкт-Петербург: ООО «ВЭСТ», 2017. – 64 с. ил.
3. Зайцев А.А., Максимовских А.В., Калошина С.В. Вторичная защита бетона от коррозии // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. No 1. С. 266–272.
4. Синькевич А.Н., Мучинская А.В. Проблемы эксплуатации башенных градирен из монолитного железобетона // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2013. No 9. С. 172–176.
5. Швец Г.А., Корсун В.И. Устройство защитных покрытий железобетонных башенных градирен // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. No 3. С. 30–40.
6. Busch D., Harte R., Kratzig W.B., Montag U. New natural draft cooling tower of 200 m of height // Engineering Structures. 2002. No 24. С. 1509–1521.
7. ВСН 25-80. Инструкция по натурным испытаниям и исследованиям башенных градирен большой производительности // Техэксперт: профессиональные справочные системы. 2021. URL: <http://docs.cntd.ru/document/471809086> (дата обращения: 17.10.2021).
8. NO-1/855/P/2018. Отчет по исследованию и разработке технических характеристик, свойств и долговечности систем покрытий: Icosit 2406 Primer / Icosit 2406 Deck и Sikagard-700S / Sikagard-680S, применяемых на градирнях Туровской электростанции, Богатыня, Польша. INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ. Варшава. 2018. С. 9.
9. Технический отчет о результатах эксплуатационных испытаний, проведении технологических и ремонтных работ железобетонных башенных испарительных градирен с естественной тягой воздуха. Этапы 1,2,3 АО «Атомэнергопроект».

УДК 69.003.12

А.В. Гусеева, В.И. Овчинникова, С.М. Шевченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СТОИМОСТЬ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ПРОРАБОТОК ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Разработка предпроектной документации положениями Градостроительного кодекса РФ от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ и Положением о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, утвержденным постановлением Правительства от 16.02.2008 г. № 87, не предусмотрена. В связи с этим порядок определения стоимости разработки предпроектной документации в Справочниках базовых цен на проектные работы в строительстве отсутствует. Предпроектная документация может разрабатываться по заданию заказчика, что отражается в задании на проектирование. В случае необходимости разработки предпроектной документации его затраты могут быть рассчитаны в соответствии с трудоемкостью работ по согласованию с заказчиком, либо, в соответствии с калькуляцией затрат по форме ЗП, а также может быть определена от общей стоимости разработки проектной и рабочей документации с понижающим коэффициентом, учитывающим реальную трудоемкость выполнения работ. В данной курсовой работе будет рассмотрена калькуляция затрат на предпроектные проработки инвестиционно-строительного проекта (далее – ИСП) по форме ЗП [1–3].

Поскольку в приказе Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 04.08.2020 № 421/пр "Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации" отсутствуют формы смет на проектные и изыскательские работы (ранее они были

в методике 81-35.2004 , форма 3П). В связи с отсутствием ее в новой методике, как же все-таки можно сослаться на правомерность ее использования?

Можно напрямую сослаться на Приказ Минрегиона РФ от 29\_12\_2009 N 620 Об утверждении Методических указаний по применению справочников базовых цен на проектные работы в строительстве, где в п. 2.1.4 написано: «Цена разработки проектной и рабочей документации на строительство объектов, для которых цены в Справочниках не приведены и не могут быть приняты по аналогии, определяются расчетом стоимости в соответствии с калькуляцией затрат (форма 3П)».

Так как цены в справочниках на разработку предпроектной стадии не установлены на законодательном уровне, то применение формы 3П здесь является оптимальным.

На предпроектной стадии задействованы службы: перспективного строительства, маркетинга, финансов, сметно-договорной отдел, проектировочный, так как необходим инженер-проектировщик отдела генерального плана для расчета ТЭПов и формирования требований по социальным и инженерным объектам, а также отдел календарного планирования для составления графика строительства [4, 5].

В таблице 1 приведен перечень специалистов, участвующих в разработке предпроектной стадии ИСП.

Таблица 1 – Состав отделов, разрабатывающих предпроектную документацию

№ п/п	Отдел	Необходимое количество специалистов, чел.	Средний месячный оклад одного специалиста, руб.
1	Служба перспективного строительства	2	55 000
2	Маркетинговый отдел	2	60 000
3	Отдел финансов	1	64 500
4	Сметно-договорной отдел	1	61 000
5	Проектировочный отдел	1	61 600
6	Отдел календарного планирования	1	60 800
Итого		8 человек	

Расчет средней оплаты труда за один чел.-час, руб. ведется по формуле:

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{160}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – размер средней месячной заработной платы, приведенной в таблице 1 для каждого специалиста (руб.); 160 – сумма отработанных часов в месяц, при условии 40-часовой рабочей недели и отсутствии праздничных дней (ч.)

Итого оплата труда, руб. за один чел.-час: 21 108,13 руб.

Накладные расходы (% от п.1) и накопления (прибыль). Для расчета накладных расходов и прибыли воспользуемся формулой из п. 5.5 Методических указаний о порядке разработки государственных сметных нормативов "Справочники базовых цен на проектные работы в строительстве" (внесен Приказом Минстроя России от 04.06.2015 N 406/пр):

$$C = \frac{3}{k_{з.п.}}. \quad (2)$$

где  $C$  – базовая цена (стоимость разработки) проектной документации, руб.; 3 – основная заработная плата производственного персонала (специалистов проектных подразделений) проектной организации, руб.;  $k_{з.п.}$  – коэффициент, устанавливающий долю заработной платы производственного персонала в общих затратах на проектирование ( $k_{з.п.} = 0,3-0,65$ ). Принимаем  $k_{з.п.} = 0,475$  (среднее значение)

Подставим значения в (2) и получим базовую цену проектной документации, равную:

$$C = \frac{21108,125}{0,475} = 44438,16 \text{ руб.}$$



Всего:  $21\ 108,13 + 44\ 438,16 = 65\ 546,28$  руб.

Налог на добавленную стоимость (20%):  $65\ 546,28 - (65\ 546,28 \cdot 0,2) = 13\ 109,257$  руб.

Итого общая стоимость подготовки одного проекта с НДС составляет:  $65\ 546,28 + 13\ 109,257 = 78\ 655,54$  руб.

Таким образом, стоимость проектирования одного проекта составит 78 655,54 руб. без учета командировочных расходов и прочих других затрат, так как учесть данные показатели не представляется возможным.

Форма ЗП может использоваться для расчета стоимости трудозатрат в случаях отсутствия цен в Справочниках базовых цен и/или по требованию заказчика, несмотря на упразднение документа МДС 81-35.2004, однако, напрямую на данную форму ссылаться нельзя. Согласно приказу №421 (п.171б) затраты на подготовку обоснования инвестиций, осуществляемых в инвестиционные проекты по созданию объектов капитального строительства, необходимо включать в сводный сметный расчет в 12 главе, тем не менее в приказе отсутствуют какие-либо нормативные ссылки на способы расчета данных затрат. Чтобы осуществить расчет затрат на проектирование, нужно сослаться на приказ №621, который дает нам право осуществить калькуляцию данных затрат по форме ЗП. Таким образом калькуляция трудозатрат по форме ЗП превращается в калькуляцию на подготовку обоснования инвестиций, осуществляемых в инвестиционные проекты по созданию объектов капитального строительства.

При отсутствии сметных нормативов на отдельные виды работ согласно п. 13 приказа №421 допускается определение их сметной стоимости по конъюнктурному анализу. Конъюнктурный анализ является основанием и подтверждением той или иной цены. Так как на создание предпроектной стадии нет определенных расценок и сметных норм, то в данном случае обосновывающим документом станет калькуляция трудозатрат по форме ЗП.

Нормативов по требованиям к составу предпроектной документации и времени ее выполнения не существует, потому денежные и временные показатели, в зависимости от сложности проектов могут сильно варьироваться; организация-исполнитель сама определяет фактическое время участия специалистов в разработке проекта экспертным путем. Тем не менее заказчик вправе потребовать обоснование приведенных в расчете цифр.

Полученная по расчету сумма за один проект (78 655,54 руб.) является весьма усредненной, так как невозможно учесть полный перечень необходимых работ и специалистов, ведь у каждой строительной компании свой подход к разработке предпроектной документации, что возвращает нас к пунктам, описанным выше.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексеева Н.А., Сапожников Д.А. Использование методов определения стоимости строительства в составе предпроектных проработок // Вектор экономики. 2022. № 1 (67). С. 30–35.
2. Журавлев П.А., Марукян А.М. Обоснование планируемой стоимости инвестиционно-строительных проектов // Вестник МГСУ. 2020. № 12 (15). С. 1693–1707.
3. Карпова Е.А. Проблемы определения инвестиционной стоимости на предпроектной стадии строительства: Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения, 2021: Томск, Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2021. С. 128–133.
4. Ракова К.С., Третьяков А.С. Процедура составления предпроектной документации // Молодежь и наука: Шаг к успеху, 2021. Курск, Юго-Западный государственный университет. 2021. С. 384–387.
5. Баисов М.У., Крижанивская Т.В. Стадии проектирования: предпроектная проработка, ОТР, ПД, РД: Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования, 2019. Тюмень, Тюменский индустриальный университет. 2019. С. 227–230.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Планирование инвестиций является стратегической и одной из наиболее сложных задач управления строительными проектами. Существенной особенностью строительства является и то, что в строительстве участвуют большое количество организаций и имеет место привлечение строительной техники из других организаций [1]. При оценке объема инвестиций важно анализировать все аспекты экономического окружения проекта: экономическую неопределенность его реализации, возможность финансирования, механизмы привлечения инвестиций, конъюнктуру строительного рынка, налоговые условия, наличие производственных мощностей и материальных ресурсов, сроки выполнения работ на разных стадиях жизненного цикла и др. [2].

Исходя из того, что инвестиционная стоимость проекта должна учитывать интересы всех его участников (инвестора, заказчика, подрядчика), а также конъюнктуру рынка, наиболее целесообразным способом ее расчета является комплексное применение методов бизнес-оценки строительных объектов: затратного, доходного и сравнительного (рыночного).

Целью работы является исследование возможности интегральной оценки стоимости проекта на прединвестиционном этапе, позволяющей определить оптимальную стоимость проекта, путём согласования полученных по известным методам результатов для определения компромиссной и наиболее достоверной интегральной стоимости объекта.

Затратный метод (рис. 1) предполагает расчёт стоимости объекта, основанный на определении затрат, необходимых для приобретения, воспроизводства либо замещения объекта оценки с учетом износа и устаревания [3].

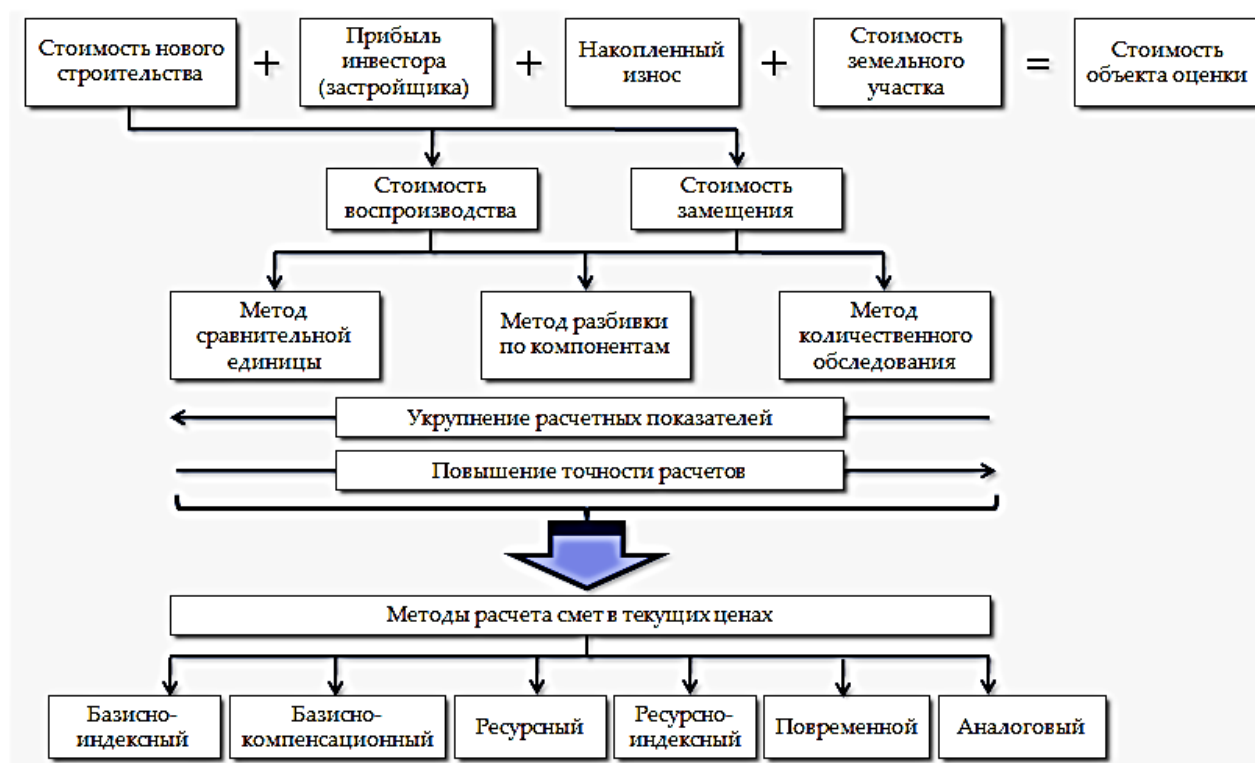


Рис. 1. Процедура оценки стоимости объекта затратным подходом

Данный метод включает в себя два способа оценки стоимости проекта:

- Первый – это метод определения индексированной балансовой стоимости по известным методикам определения сметной стоимости строительства.
- Вторым способом является метод восстановительной стоимости, учитывающий при определении привлекательности проекта стоимость восстановления объекта, т.е. позволяет оценить привлекательность проекта с точки зрения вложений в уже построенный объект с аналогичными технико-экономическими параметрами.

Доходный подход к оценке стоимости объектов недвижимости – совокупность методов оценки стоимости объекта строительства, основанных на определении ожидаемых доходов от объекта [4].

Основной способ расчёта стоимости ИСП базируется на методе дисконтированного денежного потока, модели Инвуда и модели Гордона. Денежный поток – это сальдо поступлений по бизнесу (со знаком «плюс») и платежей (со знаком «минус») [5]. Формула для расчёта дисконтированного денежного потока  $ДП_t$  момент времени  $t$  с учетом ставки дисконта  $i$  выглядит следующим образом:

$$Ц = \sum_{t=1}^n \frac{ДП_t}{(1+i)^t}.$$

Формула для расчёта дисконтированного денежного потока выглядит следующим образом:

$$Ц = \frac{ДП_t}{i + \frac{1}{S_n(n,i)}},$$

где  $ДП_t$  – это прогнозируемые по инвестиционно-строительному проекту на будущий период  $t$  денежные потоки для собственного капитала;  $i$  – ставка дисконта, определяемая по методу САРМ;  $\frac{1}{S_n(n,i)}$  – дополнительный доход с каждого рубля инвестиций, вложенного в инвестиционно-строительный проект.

Формула для текущей оценки инвестиционно-строительного проекта по модели Гордона имеет следующий вид:

$$Ц = \frac{ДП_t}{i - \alpha},$$

где  $\alpha$  – средний темп прироста доходов с инвестиционно-строительного проекта в указанном остаточном периоде.

Сравнительный рыночный подход утверждает, что инвестор не заплатит за товар больше его рыночной цены, то есть при наличии нескольких схожих объектов он выберет тот, который имеет наименьшую цену. Сложность сравнительного подхода заключается в необходимости внесения корректирующих коэффициентов на отличия оцениваемого объекта от аналогов.

Анализ рассмотренных методов показал, что ни один из них нельзя считать исключительным, поскольку каждый метод позволяет оценить стоимость проекта либо со стороны заказчика и инвестора (доходный и сравнительный), либо подрядчика (затратный). Поэтому вполне естественным направлением совершенствования методических основ технико-экономического обоснования проектов в строительстве является разработка моделей, методов и методик, учитывающих как интересы заказчика и инвестора (государства и частного инвестора), так и интересы подрядчика и пользователей с точки зрения комфортных условий эксплуатации и обеспечения его безопасности.

В связи с этим для интегральной оценки стоимости строительного проекта предлагается использовать метод мультиаддитивной свёртки частных показателей стоимости, рассчитанных затратным, доходным и сравнительным (рыночным) методами.

Интегральный показатель стоимости проекта  $C$  определяется по зависимости

$$C = \sum_{i=1}^n \alpha_i g_i; \quad \sum_i \alpha_i = 1,$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент значимости подхода в сложившейся рыночной ситуации;  $g_i$  – инвестиционная стоимость проекта, рассчитанная с использованием  $i$ -го подхода.

Коэффициент значимости подхода  $\alpha_i$  в сложившейся рыночной ситуации осуществляется одним из известных методов: расстановки приоритетов, анализа иерархий, относительных предпочтений, экспертных оценок.

Таким образом, анализ методов затратного, доходного и сравнительного подходов в целях технико-экономического обоснования строительных проектов показал:

1. Методы затратного подхода, используя экономическую информацию о нормах расхода и ценах ресурсов, моделируют процесс затратного ценообразования и получают в итоге затратную цену предложения. В силу этого оценка стоимости, как правило, получается завышенной.

2. Методы сравнительного подхода применяют документально подтвержденную ценовую информацию на аналоги, т.е. оперируют все теми же ценами предложения. Завышение результатов умеренное.

3. Методы доходного подхода дают верхнюю предельную цену, на которую может согласиться инвестор, руководствуясь здравым смыслом сопоставления своих сегодняшних затрат с будущими доходами. Оценка на основе доходного подхода дает несколько заниженный результат. Инвестиционная стоимость проекта высчитывается с применением экономических правил и учитывает такие факторы как ставка Центробанка, уровень инфляции, список банков, предоставляющих проектное финансирование и ряд других экономических параметров, необходимых для определения стоимости проекта.

Установлено, что каждый из рассмотренных подходов к оценке инвестиционной стоимости объектов строительства имеет свои преимущества и недостатки, ввиду чего возникает необходимость согласования полученных результатов для определения компромиссной и наиболее достоверной интегральной стоимости объекта.

Для интегральной оценки стоимости строительного проекта предлагается использовать методику расчета, заключающуюся в расчете обобщенного показателя посредством синтеза частных показателей стоимости с использованием метода мультиаддитивной свертки стоимости, так как в данном случае удастся снизить долю субъективизма при оценке результатов технико-экономического обоснования проекта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Белоликов В.Т., Птухина И.С., Солдатенко Т.Н., Телешев В.И. Ценообразование и сметное дело в строительстве: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 81 с.
2. Финансовое и инвестиционное планирование на предприятии: краткий курс лекций для студентов II курса направления подготовки 38.03.02 «Менеджмент» / И.В. Павленко // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 55 с
3. Приказ от 20 мая 2015 года N 297 Об утверждении Федерального стандарта оценки «Общие понятия оценки, подходы и требования к проведению оценки (ФСО N 1)».
4. Экономика недвижимости: Учебное пособие – Владим. гос. ун-т; Сост.: Д.В. Виноградов, Владимир, 2007. – 136 с.
5. Оценка бизнеса: учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. / С. В. Валдайцев– М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 576 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

*Актуальность.* В текущее время стремительно увеличиваются объемы и ускоряются темпы строительства, что усложняет организацию технологических процессов в строительной сфере, а также поднимает вопрос эффективности управления качеством строительных работ. Качество является одним из главных факторов, определяющих успех строительных проектов, так как при отсутствии четкой и слаженной системы организации управления качеством будут страдать стоимостные и временные факторы, в значительной степени влияющие на выбор потребителем заказчика.

Некорректное представление о действующих стандартах, некачественное изготовление строительных конструкций, отсутствие должного планирования и координации ресурсов, а также нарушение контроля качества строительных работ, невозможность быстро реагировать на изменение условий на объекте являются основными причинами возникновения потерь качества во время реализации строительных проектов.

Для решения проблем контроля качества активно применяется автоматизация систем управления строительными проектами посредством программных продуктов. Разработанные программные решения позволяют не только уменьшить и устранить некоторые потери качества, но и, сокращая стоимость и сроки строительства, позволяют улучшить показатели эффективности строительства, поэтому возрастает актуальность расширенного использования программного обеспечения для организации управления качеством в строительстве [1–3].

*Методы исследования.* В работе был произведен детальный сравнительный анализ применяющихся для организации управления качеством строительных проектов программных продуктов по таким показателям, как функциональность, стоимость, степень планирования, степень ведения отчетности и управления документацией, степень обеспечения совместной работы, степень автоматизации.

*Цели и задачи работы.* Проанализировать программные продукты: «Lement Pro», «PlanRadar», «Bentley Synchro», «Адепт» – исходя из их ключевых показателей эффективности. Сравнить выбранное программное обеспечение по отобранным показателям. Провести оценку полученных результатов, сделать выводы о преимуществах и недостатках программных продуктов, возможности широкого внедрения данного программного обеспечения на практике в строительных организациях.

Применение цифровых инструментов повышают эффективность строительства, увеличивают производительность труда, помогают подрядным организациям, исполнителям строительных работ справиться с рядом трудностей, включая учет постоянных изменений стоимости трудовых ресурсов, увеличение стоимости строительных материалов и используемого оборудования, задержку транспортировок, временные потери на ожидание, недолжное планирование строительных процессов, отсутствие способов быстрого взаимодействия и реагирования участников строительства [4–5].

Для эффективного планирования процесса строительства, исключения несоответствий и потерь качества строительных работ, для получения фактических данных по выполненным работам и сравнения этих данных с характеристиками, заранее установленными исходя из принятых проектных решений и действующих нормативных документов, в целях достижения принятых плановых показателей применяются следующие программные продукты:

- «Lement Pro» – комплексное решение для управления проектами, контроля за качеством выполнения задач, подходящее для работы проектировщиков, руководителей, исполнителей строительных работ. Программа позволяет структурировать информацию, вести документацию, визуализация текущие состояния объекта, обмениваться заданиями между участниками строительства;
- «PlanRadar» – инструмент, позволяющий управлять различными видами документации (проектной, рабочей, исполнительная), оперативно реагировать на обнаруженные на стройплощадке дефекты, управлять рабочими задачами, проводить контроль качества строительных работ, выполнения техник безопасности;
- «Bentley Synchro» – программное обеспечение, предназначенное для моделирования, планирования, визуализации, проведения симуляций и контроля проекта. Программа позволяет поэтапно вести документацию, проверять модели и данные в форматах 2D, 3D и 4D, координировать действия участников строительного процесса, следить за выполнением работ с постоянным обновлением;
- «Адепт» – комплекс программ, позволяющих осуществлять ресурсное, календарное планирование строительства, управлять информацией о поставках материалов и оборудования, производить расчет объемов и смет на основании созданной BIM модели, осуществлять мониторинг хода строительства, вести исполнительную документацию, контролировать и планировать исправление нарушений с помощью визуализации в единой системе.

Таблица 1 – Сравнение программных продуктов по ключевым показателям эффективности

Показатель/ПО	«Lement Pro»	«PlanRadar»	«Bentley Synchro»	«Адепт»
Функциональность	Средний набор функций, создающий единое рабочее пространство	Средний набор функций, позволяющий выполнять оптимизировать отдельные процессы	Обширный функционал, охватывающий большое кол-во процессов	Обширный функционал, содержащий комплексные инструменты
Степень планирования	Планирование базовых мероприятий (тех. обслуживание, последовательность процессов)	Низкая степень планирования процессов, постановка сроков отдельных задач	Детальное планирование любых задач, возможность визуального планирования	Высокая степень ресурсного, календарного и постановочного планирования
Степень ведения отчетности	Формирование и контроль выпуска отдельных документов	Хранение всех видов документации, ведение журнала объекта, электронная подпись документов	Высокое удобство ведения, хранения различного вида отчетностей, комплексные инструменты управления документацией	Высокая степень ведения всей документации, с возможностью разделения доступа, возможность электронного согласования
Стоимость, от тыс. руб./год	150	200	300	250
Степень обеспечения совместной работы	Высокая скорость работы и оперативный доступ всех участников к актуальной информации	Высокая степень обеспеченности совместной работы, мобильная коммуникация со всеми участниками процессов	Очень высокая степень обеспеченности совместной работы, возможность поддерживать согласованность действий участников на высоком уровне	Очень высокая степень взаимодействия участников строительства, возможность оперативного вмешательства в процессы
Степень автоматизации	Средняя степень автоматизации, есть мобильное приложение, совместимость с другими программными комплексами	Средняя степень автоматизации, есть мобильное приложение, совместимость с облачными хранилищами, отдельными проектными программами	Очень высокая степень автоматизации процессов, сбора необходимых данных, расширенный набор аналитических инструментов	Высокая степень автоматизации процессов, автоматических уведомлений, наличие мобильного приложения, ограниченная совместимость с др. программами

Данные программные продукты были проанализированы по ключевым показателям степени эффективности. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

*Результаты и выводы.* В результате данного исследования был произведен сравнительный анализ программного обеспечения для организации управления качеством. Наиболее эффективным из рассмотренных программных продуктов для организации строительных процессов и управления качеством является «Bentley Synchro», позволяющий четко планировать последовательность работ, дающий комплексные аналитические инструменты анализа данных, обеспечивающий высокую степень ведения отчетности и совместной работы, но по стоимости подходящий крупным строительным организациям.

Для средних и малых строительных организаций подойдут программные решения «Lement Pro», «PlanRadar» ввиду сбалансированного набора функций и стоимости.

Оптимальным решением будет программное обеспечение «Адепт». Данный продукт обладает широким функционалом, высокой степенью автоматизации, и также даёт возможность взаимодействовать участникам процессов, вести отчетность и планировать работы на высоком уровне, но имеет ограниченную совместимость с другими программными комплексами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Эльшейх А.М., Аламиди Ш. Г., Албо-Хассан А. Разработка системы управления качеством проектов в строительстве. Экономика: вчера, сегодня, завтра, 2021 г. №21. 124–132 с.
2. Котлярова Ю.К., Седлицкая А.В., Прокофьева Г.И. Роль и развитие цифровых технологий на строительных предприятиях в России. Проблемы управления отраслевой и региональной экономикой, 2021 г. №67. 811–813 с.
3. Кашуба С.О. Анализ возможностей применений программного комплекса Bentley Synchro Pro для автоматизации и мониторинга строительного производства. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020 г. 2108–2111 с.
4. Rui Y., Yaik-Wah L., Siang T. C. Construction project management based on building information modeling. Civil engineering and architecture, 2021. №9. 2055–2061 pp.
5. Mazars T., Francis A. Chronographical spatiotemporal dynamic 4D planning. Automation in Construction, 2020. №112. 1–11 pp.

УДК 644.1

А.А. Демьшева, А.Ю. Городишенина, Е.Б. Заводнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ЗЕЛеной КРОВЛИ»

*Актуальность.* В настоящее время все больше внимания уделяется энергоэффективности зданий и сооружений, поскольку их стремительно увеличивающееся количество ведет к высокому потреблению тепла. Для сокращения теплопотерь необходимо изучить различные типы ограждающих конструкций, а также выявить оптимальные и благоприятно влияющие на окружающую среду технологии создания покрытий. В этой сфере себя отлично зарекомендовали зеленые кровли, которые могут сократить потери тепла через нее [1–3].

*Цель.* Произвести оценку влияния зеленых кровель на энергетическую эффективность зданий.

*Задачи.* Произвести теплотехнический расчет по СП 50.13330.2012 [4]. Теплотехнический расчет включает в себя:

1. Расчет сопротивления теплопередаче кровельной конструкции;
2. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.

Для сравнения и выбора наилучшего покрытия рассмотрим кровельные пироги трех типов: первый тип – зеленая кровля с использованием экструзионного пенополистирола, второй тип – зеленая кровля с термической изоляцией из полиизоцианурата, третий тип – стандартный кровельный пирог (табл. 1) [5–6].

Рассчитаем общее сопротивление и удельные потери тепла типовой крыши и «зеленых кровель» с разными типами утеплителей для Санкт-Петербурга. Благодаря этому будет понятно на сколько хорошо проходит тепло сквозь кровельный пирог.

Для этого необходимо найти общее сопротивление кровли, которое определяется по формуле СП 50.13330.2012 [4]:

$$R_{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum \frac{\delta_n}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{int}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012 [4],  $\alpha_{\text{int}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C),  $\alpha_{\text{ext}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012 [4],  $\alpha_{\text{ext}} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Таблица 1 – Состав кровельных пирогов

№	Материал слоя	Толщина $\delta$ , мм	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·°C)
Тип наружного покрытия 1 и 2			
1	Грунт	50	1,16
2	Дренажная мембрана	9	0,251
3.1	Экструзионный пенополистирол (для 1 типа)	90	0,032
3.2	Термический материал из полиизоцианурата (для 2 типа)	90	0,024
4	Геотекстиль термообработанный	0	0,08
5	Полимерная мембрана	2	0,23
6	Геотекстиль термообработанный	0	0,08
7	Цементно-песчаная смесь	40	0,93
8	Уклонообразующий слой из керамзитобетона	50	0,41
9	Монолитный железобетон	200	2,04
Тип наружного покрытия 3			
1	Техноэласт ПЛАМЯ СТОП ЭКП	4	0,22
2	Унифлекс ВЕНТ ЭПВ	3	0,22
4	Цементно-песчаная смесь	40	0,93
5	Уклонообразующий слой из керамзитового гравия	50	0,19
6	Экструзионный пенополистирол	70	0,032
7	ТЕХНОБАРЬЕР	3	0,22
8	Монолитный железобетон	200	2,04

Удельные потери теплоты  $U$  определим по формуле СП 50.13330.2012 [4]:

$$U_3 = \frac{1}{R_{\text{усл}}}. \quad (2)$$

Для более понятной оценки влияния зеленых кровель на годовой расход тепловой энергии проведем расчет потерь тепла на отопление  $Q_{h_1}^y$ , кВт·час/год, за отопительный период, по формуле СП 50.13330.2012 [4]:

$$Q_{h_1}^y = 0,024 D_d \sum \frac{A_i}{R_i} n, \quad (3)$$

где 0,024 – переводной коэффициент потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции из Вт·сут. в кВт·ч (1 сут. = 24 ч, 1 Вт = 0,001 кВт, 1 Вт·сут. = 0,024 кВт·ч);  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода, здания, расположенного в Санкт-Петербурге, равные



4796 °С·сут./год;  $A_i$  – площадь  $i$ -го типа наружной ограждающей конструкции, принимаемая для рассматриваемого здания;  $R_i$  – приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го типа наружной ограждающей конструкции;  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху и уменьшающий разность температур для отдельного ограждения, которое не соприкасается с наружным воздухом; для совмещенного покрытия принимается равным 1.

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты выполненных расчетов

Элемент конструкции	Тип наружного покрытия 1	Тип наружного покрытия 2	Тип наружного покрытия 3
Условное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \frac{\text{С}}{\text{Вт}}$	$R_1 = 3,34$	$R_2 = 3,45$	$R_3 = 3,11$
Удельные потери теплоты, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{С})}$	$U_1 = 0,299$	$U_2 = 0,29$	$U_3 = 0,322$
Потери тепловой энергии на отопление, $\frac{\text{кВ}\cdot\text{ч}}{\text{год}}$	$Q_{h_1}^y = 54864$	$Q_{h_2}^y = 53115$	$Q_{h_3}^y = 58921$

*Вывод.* Полученные результаты показывают, что озеленение крыши в г. Санкт-Петербург способствуют уменьшению теплотерь через ограждающие конструкции. Разница между обычной кровлей и лучшей из «зеленых кровель» составляет более 5 тысяч кВт·ч/год, а значит потребуются подводить меньше тепла к зданию для обеспечения комфортного пребывания людей. Это также сказывается на экономической составляющей отопления зданий. Стоит отметить, что таким образом происходит увеличение озеленения в городе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мальцева Е., Егорова Д. Зеленая кровля. Ее применение в климатических условиях Санкт-Петербурга // Журнал «Синергия наук». №. 21. 2018.
2. Кульпин, С.И. Преимущества применения "зеленых" крыш с точки зрения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций / С. И. Кульпин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 1(6). Стр. 54–59.
3. Нечаева, О.А. Зеленые крыши – решение проблем экологии города//Аллея науки. Т. 2. № 1(28). 2019. Стр. 21–24.
4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Москва. 2012. – 95 с.
5. Руководство по проектированию и устройству эксплуатируемых и зеленых крыш//Корпорация ТехноНИКОЛЬ. 2012.
6. Техническое руководство. Эксплуатируемые и зелёные кровли//Компания Dörken. 2014.

УДК 624.159

Е.Г. Денисова, И.С. Птухина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ

В настоящее время для строительства подземной части зданий и сооружений разработано множество технологий. Разные условия возведения зданий требуют индивидуального подхода. Открытый способ строительства является самым распространённым: при данном способе строительства предварительно выкапывается котлован на полную глубину. Однако не всегда есть возможность устройства котлована, в

особенности в условиях плотной застройки и примыкающих к строительному объекту коммуникаций. В таком случае используется метод «Top down», в котором предусмотрена поярусная разработка грунта. Это не единственные факторы, которые позволяют остановиться на той или иной технологии, требуется очень тщательно оценивать методы строительства, чтобы выбрать оптимальный вариант [5].

*Цель работы:* оценить возможное влияние устройства подземной части здания на окружающую застройку открытым способом строительством и методом «Top down».

«Top down» эффективно применяется в случаях, когда в плотную к проектируемой подземной части здания или заглубленному сооружению при-мыкают существующие сохраняемые здания и требуется минимизировать влияние строительства на них, требуется минимизировать строительные и финансовые риски путем минимизации или полного исключения усиления фундаментов окружающих сохраняемых зданий и заглубленных сооружений, неприемлемо анкерное крепление ограждения котлована из-за сложности геологических и гидрогеологических условий, особенностей рельефа или отсутствия разрешений на использование со стороны согласующих надзорных органов или владельцев соседних зданий и сооружений [3].

Однако, из-за определённых технологических ошибок во время строительства, на соседние сооружения может оказываться негативное влияние, включая осадку и деформации.

Технология «Top down» достаточно комплексная и включает в себя множество процессов, нарушение которых может привести к отрицательному воздействию на проект. Поэтому необходимо проанализировать возможные риски, возникающие на разных этапах (табл. 1).

Таблица 1

Этап	Описание технологии	Риски
Стена в грунте	Благодаря конструктивным особенностям, технологии, методам устройства она выдерживает значительные механические, химические нагрузки, защищает котлован во время разработки, строительную площадку от обрушения, цокольные этажи от проникновения грунтовых вод и промерзания. При устройстве стены в грунте очень важно использовать бетонные смеси с низким В/Ц, обеспечить достаточную плотность бетона, а также не допускать загрязнение бетонной смеси и большой разрыв между бетонированием смежных заходов.	Неправильное устройство стены в грунте может привести к деформациям, осадке соседних зданий, проникновению грунтовых вод на участок строительства.
Устройство свайного фундамента	Свайный фундамент достаточно универсален, так как подходит для болотистых, торфяных грунтов, грунты прибрежных зон и регионов с большой глубиной промерзания. Помимо этого, фундамент устойчив к разнонаправленным нагрузкам и имеет высокий запас прочности.	Из-за несоблюдения технологий при забивке свай могут произойти механические повреждения свай (сколы, растрескивания, трещины), неправильное расположение свай. Самое лёгкое последствие этих ошибок – замена свай. Помимо этого, неправильное устройство свай может также привести к деформациям соседних зданий из-за перемещения грунтов.
Бетонирование плит перекрытий (роль распорных конструкций)	Бетонирование плит перекрытий, которые выполняют роль распорных конструкций. Работы по бетонированию плит ведутся по мере удаления грунта малогабаритной техникой через технологические отверстия выполненного ранее перекрытия. Это позволяет избежать обрушения, а также минимизировать рабочее пространство.	При допуске погрешностей при устройстве распорной системы может произойти обрушение стены, которое приведёт к смещению грунтового массива.

Как можно заметить, в технологии «Тор down» в условиях плотной городской застройки очень важно уделить внимание устройству стены в грунте и свайного фундамента [4].

Таким образом, минимальные последствия, к которым могут привести ошибки на данных этапах в условиях плотной городской застройки – перемещение грунтов, которое не повлияет на перемещение соседних зданий или перемещение произойдет в допустимом промежутке. Тем не менее, нарушения также могут привести к деформациям соседних зданий, трещинам или даже к обрушению. Эту проблему усилит присутствие по соседству зданий культурного наследия, которые охраняются государством.

Несмотря на возможное негативное воздействие на соседние сооружения из-за технологических ошибок, зона влияния строительства при применении метода «Тор down» примерно в два раза меньше, чем при открытом способе устройства подземной части (рис. 1) [1].

Был проведен математический прогноз зоны влияния строительства подземного комплекса Москвы на прилегающую территорию, существующую застройку. Как показали результаты выполненных исследований, распространение воронки оседания грунта вокруг ограждающей конструкции котлована прогнозируется на 30–80 м [2]. Эти цифры зависят от метода крепления и конструкций ограждений. Был произведен расчет зон влияния в соответствии с пунктом 9.36 СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», при разных методах крепления и конструкций ограждений. Для нового строительства принимается глубина котлована, равную 9,95 м.

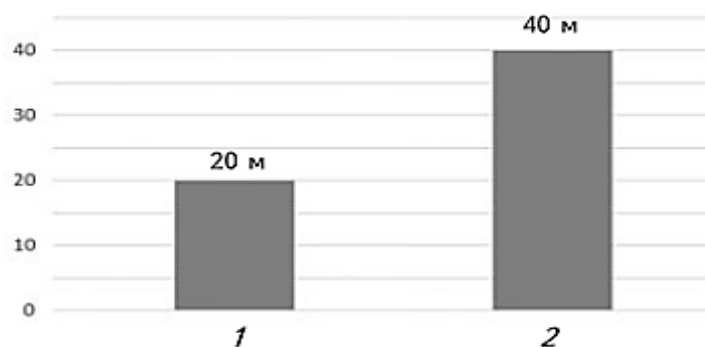


Рис. 1. Сравнительный анализ предварительной зоны влияния строительства при применении метода «Тор down» (1) и открытого способа (2) устройства подземной части здания на примере бизнес-центра в Москве, при глубине фундамента отметки подошвы фундамента -9,95 м

В результате расчета получены следующие величины зоны влияния строительства на прилегающую территорию:

1. При использовании ограждения котлована с креплением анкерными конструкциями, но не более  $2L$ , где  $L$  – суммарная длина горизонтальной проекции тела анкера и его тяги, ориентировочный радиус зоны влияния  $r_{зв} = 49,75$  м;

2. При использовании ограждения из стальных элементов (труб, двутавров и т.п.) с консольным креплением либо креплением стальными распорками или подкосами, а также при устройстве котлована в естественных откосах (от нижней границы откоса), ориентировочный радиус зоны влияния  $r_{зв} = 39,8$  м;

3. При использовании монолитной или сборно-монолитной железобетонной конструкции ограждения котлована (по технологии «стена в грунте», буронабивных секущихся свай и т.п.) с консольным креплением либо креплением стальными распорками или подкосами, а также при использовании ограждения из стальных элементов (труб, двутавров и т.п.) и экскавации грунта в котловане под защитой монолитных железобетонных перекрытий, ориентировочный радиус зоны влияния  $r_{зв} = 29,85$  м;

4. При использовании монолитной или сборно-монолитной железобетонной конструкции ограждения котлована (по технологии «стена в грунте», буронабивных секущихся свай и т.п.) и экскавации грунта в котловане под защитой монолитных железобетонных перекрытий, ориентировочный радиус зоны влияния  $r_{зв} = 19,9$  м.

Таким образом, в обоих методах устройства подземной части здания, радиус зоны влияния, очень сильно уменьшаются при использовании технологии «стена в грунте». Однако зона влияния также зависит от грунтов, расположенных на участке строительства. Поэтому перед выбором способа строительства подземной части сооружения, необходимо проводить предварительные расчеты, которые позволят определить оптимальный метод строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Dovolnov I.S. Analysis of the applicability of methods of underground construction of civil and industrial buildings // Architecture, Construction, Transport. 2021. № 2(96). С. 50–57.
2. Чунюк Д.Ю. Оценка и управление рисками при строительстве подземных сооружений открытым способом // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 120–123.
3. Юферева К.А. Особенности возникновения дефектов в конструкциях зданий, возведенных с использованием технологии “Top-Down” на примере объектов метрополитена. 2019.
4. Гончаров А.А. Выбор метода возведения подземной части здания // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С. 57–61.
5. Орехов В.В., Алексеев Г.В. Прогноз влияния строительства подземного комплекса на окружающую застройку // Вестник МГСУ. 2017. № 8. С. 839–845.

УДК 69.003.13

Ю.А. Демидова, О.М. Кротов, П.А. Громыко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РИСКОВ ПРИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОМ ПАРТНЕРСТВЕ

Оценка рисков, то есть анализ вероятных изменений ключевых показателей любого инвестиционного проекта, способствует более эффективному взаимодействию между участниками партнерства. Разделение рисков при государственно-частном партнерстве (далее – ГЧП) также оказывает положительное влияние на итоговую стоимость проекта – снижая её, так как за каждый определенный риск отвечает та сторона, которая сможет наилучшим образом контролировать его [1]. Заключение концессионных соглашений между государством и частным инвестором является в России и за рубежом наиболее распространенным видом ГЧП.

*Цель работы* – разработка матрицы распределения ключевых рисков между сторонами государственно-частного партнерства.

Причин использования ГЧП достаточно много, так, со стороны государства могут быть опасения нарушения стабильности рыночной системы, влияние внешних факторов, бюджетные ограничения, и другие. Избежать подобные проблемы помогает разделение, а именно, некоторые риски легче решать государственным организациям, другие – частным фирмам [1]. Подобная практика долгосрочных взаимодействий широко используется во многих секторах экономики: опыт дорожного строительства, здравоохранение, возведение спортивно-оздоровительных комплексов и стадионов, строительство портов. Основное распределение объема инвестиций заключенных соглашений в 2021 г. в процентном соотношении по сферам инфраструктуры представлено на рис. 1.

По данным статистики национального центра государственно-частного партнерства за последний год по состоянию на 30.12.2021 реализовано 2855 проектов, по которым заключены концессионные соглашения. Они занимают лидирующую позицию по общему объему

инвестиций в сравнении с остальными формами реализации ГЧП [2]. Показатели проекта, в том числе доходы и расходы, напрямую зависят от финансирования проекта, распределения ответственности между участниками [3]. Условные обязательства обеих сторон можно разделить на явные, то есть те, что прописаны в заключаемом контракте или ином соглашении, и неявные – те, что возникают в процессе проектирования, строительства, управления проектом, а также на стадии его эксплуатации [4]. Типичные риски проектов ГЧП также часто включают в себя форс-мажорные обстоятельства, законодательные, политические изменения, риск дефолта [5].



Рис. 1. Объем инвестиций по отраслям, %

В работе продемонстрированы типовые риски, встречающиеся по проекту с использованием механизма государственно-частного партнерства. В табл. 1 представлена матрица основных рисков между сторонами ГЧП.

Таблица 1 – Матрица распределения ключевых рисков между сторонами государственно-частного партнерства

Виды рисков	Распределение рисков		
	Частный партнер	Частный партнер / Государство	Государство
Риски проектирования: согласование проектно-сметной документации, установление сроков проектирования		•	
Риски земельного участка: наличие обременений, сервитут, расположение в охранных зонах, состояние почвы			•
Безопасность строительной площадки	•		
Риски строительства: соблюдение норм и требований, контроль качества, превышение стоимости строительства, доступность трудовых ресурсов, превышение сроков строительства, деятельность подрядных и субподрядных организаций	•		
Задержки сроков строительства, вызванные деятельностью государственных органов власти			•
Форс-мажоры: незастрахованные риски, влияние социальных, политических изменений		•	
Риск эксплуатации объекта строительства		•	
Рыночные риски: инфляция, изменение курса валют, доп. финансирование	•		

Таким образом, распределение наиболее распространенных рисков между партнерами происходит исходя из эффективности для проекта ГЧП, они изначально прописываются в договоре или соглашении. В большинстве случаев инвестор берет на себя ответственность за обстоятельства, связанные с проектированием, возведением и эксплуатацией объекта, государство, в свою очередь, обеспечивает минимизацию рисков, связанных с земельным участком, политическими и социальными аспектами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Афанасьева К.А., Борисенко А.А., Птухина И.С. Методика выбора формы партнёрства при реализации программ реновации – ГЧП // Тенденции развития науки и образования, 2019. № 49-8. С. 11–14. DOI 10.18411/lj-04-2019-148
2. Meunier D., Quinet E. Public Private Partnership // International Encyclopedia of Transportation, 2021. С. 385–391. DOI:10.1016/B978-0-08-102671-7.10073-9
3. Кружкова И.И. Развитие государственно-частного партнерства в России // Экономическая среда, 2020. № 4(34). С. 13–17. DOI: 10.36683/2306-1758/2020.04/13-17
4. Андросова И.В., Михайлов О.В. Использование цифровых технологий при реализации проектов государственно-частного партнерства: российский и зарубежный опыт // Экономика и управление: проблемы, решения, 2021. Т. 5. № 10(118). С.112–119. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2021.10.05.014
5. Краснопева Н.А., Морозкина А.К. Условные бюджетные обязательства по проектам ГЧП в России и БРИКС: оценка и механизмы снижения рисков // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика, 2021. Т. 16. № 4. С. 146–170. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-04-07
6. Zhou J. Risk identification and prevention of commercial banks participating in PPP projects // Евразийский юридический журнал. 2021. № 1(152). С. 461–463. DOI: 10.46320/2073-4506-2021-1-152-461-463

УДК 698.3

П.Р. Зарипова, О.С. Гамаюнова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ФОРМУЛА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ

Энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции – это конструкции, предназначенные для обеспечения необходимой естественной освещенности помещений, энергетической эффективности и визуального контакта с окружающей средой [1]. Энергоэффективные свойства оконных конструкций зависят от оконного профиля, качества монтажа и стеклопакета [2–6].

Теплосберегающее энергоэффективное остекление особенно важно в холодных регионах, так как одной из основных причин большого расхода энергии являются потери через ограждающие конструкции – порядка 40% тепла.

Энергосберегающие стекла хорошо работают зимой, удерживая тепло внутри, но летом требуется дополнительное охлаждение из-за высокой пропускной способности солнечных лучей. При увеличении количества слоев стекла уменьшаются теплопотери, но также уменьшается и светопропускания способность, вследствие чего для увеличения освещенности в помещении требуется увеличивать площадь окон, но это в свою очередь приводит к ещё большим теплопотерям.

Энергоэффективное остекление дает возможность экономить на отоплении и кондиционировании, не позволяя перегреваться помещениям в летний сезон и охлаждаться в зимнее время.

*Цель работы* – определить формулу энергоэффективного стеклопакета с учетом заданных климатических условий и минимальной стоимости.

Согласно СП 50.13330 2012 «Тепловая защита зданий» теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующему требованию: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0^{\text{норм}}$  ((м·°С)/Вт), следует определять по формуле (1):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p, \quad (1)$$




где  $R_0^{\text{тп}}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции ((м·°С)/Вт); следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), (°С·сут)/год;  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства; принимается равным 1.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0^{\text{тп}}$  определяем по формуле (2):

$$R_0^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, принимаемые по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Таблица 1 – Сравнительные характеристики наиболее распространенных стеклопакетов

Вид стеклопакета			
Характеристика			
Вариант остекления	Однокамерный энергосберегающий стеклопакет, 24 мм	Двухкамерный стеклопакет, 32 мм	Двухкамерный энергосберегающий стеклопакет, 32 мм
Формула стеклопакета	4М1-16-4И	4М1-10-4М1-10-4М1	4М1-Ar10-4М1-Ar10-И4
Сопротивление теплопередаче стеклопакета, (м·°С)/Вт	0,53	0,47	0,71
Коэффициент направленного пропускания света (не менее), %	75%	72%	68%
Значение температуры поверхности стекла внутри помещения при условии соотношения температур улицы 0 °С, в помещении +20 °С	14,2 °С	13,1 °С	19,0 °С
Звукоизоляция (не менее), Дб	26 Дб	27 Дб	28 Дб

Градусо-сутки отопительного периода определяют по формуле (2):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха, °С;  $z_{\text{от}}$  – продолжительность отопительного периода, сут./год;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

Подставив соответствующие значения в формулы (1) – (3) получаем:

$$\text{ГСОП} = (+20 - (-1,3)) \cdot 213 = 4536,9 \text{ (°С} \cdot \text{сут)/год;}$$

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,000075 \cdot 4536,9 + 0,15 = 0,49 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}};$$

$$R_0^{\text{НОРМ}} = 0,49 \cdot 1 = 0,49 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}};$$

$$R_0^{\text{ТР}} \geq R_0^{\text{НОРМ}}.$$

В табл. 1 представлены основные характеристики наиболее распространенных вариантов остекления.

На строительном рынке Санкт-Петербурга представлена более широкая линейка стеклопакетов. Теплотехнические и стоимостные характеристики сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика различных видов стеклопакетов

№	Вариант остекления (формула стеклопакета)	Коэффициент сопротивления теплопередаче, (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	Средняя стоимость за 1 м <sup>2</sup> , руб.
1	4М1-16-4М1	0,30	1100
2	4М1-16-И4	0,32	1450
3	4М1-Аr12-4М1	0,59	1300
4	4М1-Аr16-4И	0,66	1500
5	4М1-10-4М1-10-4М1	0,47	1950
6	4М1-12-4М1-12-4М1	0,49	2050
7	4М1-Аr10-4М1-Аr10-4М1	0,49	2100
8	4М1-Аr12-4М1-Аr12-4М1	0,52	2200
9	4М1-12-4М1-12-И4	0,68	2400
10	4М1-16-4М1-16-И4	0,72	2500
11	4М1-Аr6-4М1-Аr6-И4	0,64	2650
12	4М1-Аr10-4М1-Аr10-И4	0,71	2800
13	4М1-Аr12-4М1-Аr12-И4	0,75	2950
14	4М1-Аr16-4М1-Аr16-И4	0,80	3100

Коэффициент сопротивления теплопередаче не должен быть меньше нормативного  $R_0^{\text{НОРМ}} = 0,49 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$ , следовательно, стеклопакеты со значением  $R^{\text{ТР}} = 0,30$  (первый стеклопакет); 0,32 (второй стеклопакет); 0,47 (пятый стеклопакет) не подходят для климатических условий Санкт-Петербурга.

Таким образом можно сделать вывод, что использование одного или более энергоэффективных стекол увеличивает значение коэффициента сопротивления теплопередаче. Лучше всего в жилых зданиях использовать двухкамерные стеклопакеты. Самым оптимальным вариантом будет двухкамерный стеклопакет с низкоэмиссионным энергосберегающим стеклом и формулой 4М1-12-4М1-12-И4, который так же имеет среднюю стоимость среди вышеприведенных стеклопакетов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Голованова Л.А., Ерошенко А.С. Особенности энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Том 5. № 4. С. 63–70.
2. Маликова А.С. Энергоэффективное остекление бизнес-центра // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 3-9. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/3-9.pdf>
3. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 6 (98). С. 9808.
4. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 3-14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>
5. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5 (32). С. 112–128.



6. Миропольский П.С. Особенности остекления высотных зданий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 24-30. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/24-30.pdf>
7. Стеклопакет и коэффициент сопротивления теплопередачи [Электронный ресурс]. – URL: <https://rusokna.ru/news/steklopaket-i-koefficient-soprotivleniya-teploperedachi> (дата обращения: 12.03.2022).
8. Gerasimova E., Galyamichev A., Dogru S. Stress-strain state of insulated glass unit in structural glazing systems // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 6 (98). С. 9808.
9. Гамаюнова О.С., Гумерова Э.И. Энергосберегающее остекление как метод повышения энергоэффективности высотных зданий // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 339–341.

УДК 69.003.12

Е.Ю. Иванов, С.С. Зимин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

В ходе разработки проекта реконструкции исторических зданий далеко не всегда получается использовать эффективные типовые решения. Это связано с тем, что конструктив исторических зданий отличается как от конструктива современных зданий, так и от других исторических зданий. Поэтому нередко необходимо рассмотреть и сравнить различные варианты проектных решений.

*Цель работы* – разработка эффективной конструкции стропильной фермы для реконструкции кровли исторического здания.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: разработка вариантов конструктивной схемы стропильной фермы; расчет фермы и подбор сечений; сравнение технико-экономических показателей ферм.

Здание, для которого разрабатывается проект реконструкции, – историческое здание Склада пенькового завода. Результаты расчетов показали, что жесткость и прочность стропильных ферм склада не обеспечены, однако проектом предусмотрено сохранить их, однако они не подлежат реконструкции, а также представляют историческую ценность. Одно из возможных решений – установить новые фермы, которые будут воспринимать нагрузку. В данном проекте реконструкции задача осложняется тем, что в здании имеется центральная несущая кирпичная стена, которая выше, чем крайние стены (рис. 1). Это означает, что спроектированная ферма должна будет проходить над выступающей центральной стеной. Таким образом, было разработано три конструкции треугольной фермы с приподнятым нижним поясом (рис. 2).

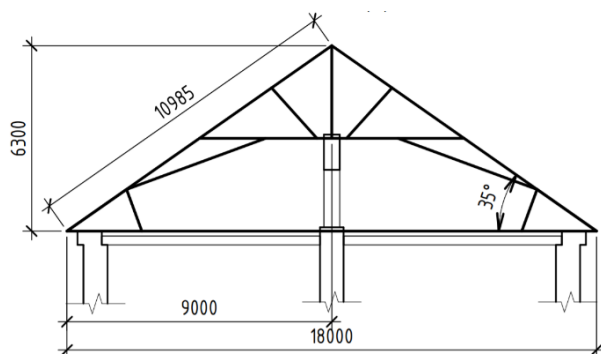


Рис. 1. Разрез кровельной части здания

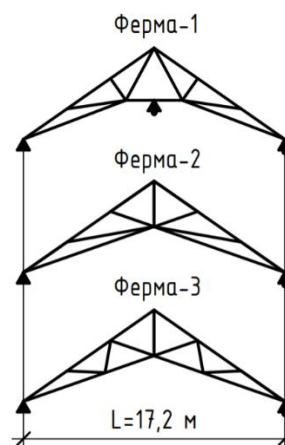


Рис. 2. Разработанные конструктивные схемы стропильных ферм

Сечения элементов фермы приняты из стальных гнутых замкнутых профилей (ГОСТ 30245-2003) из стали марки С245. Расчет ферм выполнялся в ПК SCAD Office, результаты подбора сечений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сечения элементов ферм и их масса

Элемент фермы	Ферма-1		Ферма-2		Ферма-3	
	Сечение, мм	Масса, кг	Сечение, мм	Масса, кг	Сечение, мм	Масса, кг
Верхний пояс	120×4	299,25	140×4	351,96	120×4	299,25
Нижний пояс	100×4	261,34	120×4	259,64	100×4	213,96
Решетка	80×4	104,74	100×4	243,16	80×4	169,93
Затяжка	60×4	24,96	–	–	–	–

Одним из способов [4] сравнения технико-экономических показателей фермы – сравнение их заводской стоимости изготовления.

$$C_{\text{ом}} = 1,035(C_{\text{пр}}k_{\text{пр}} + 1,5)k_{\text{отх}},$$

где  $C_{\text{пр}}$  – оптовая цена набора профилей проката в конструкции [5], руб.;  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент приплат к оптовым ценам, учитывающий приплаты за дополнительные испытания и мерность, для стали марки С245 равен 1,09;  $k_{\text{отх}}$  – коэффициент отходов, равный для конструкций их прокатных профилей 1,035.

После определения стоимости материалов, необходимых для изготовления фермы, необходимо рассчитать трудоемкость ее изготовления:

$$T = k_{\text{т}}\varphi_{\text{т}}c\sqrt{G_0n_0},$$

где  $G_0$  – масса основных деталей конструкций, т;  $n$  – количество основных деталей конструкций, шт.;  $k_{\text{т}}$  – коэффициент, учитывающий повышение трудоемкости при применении стали повышенной прочности, для стали марки С245 равен 1;  $c$  – коэффициент, для ферм из замкнутых гнутых профилей 4,1;  $\varphi_{\text{т}}$  – строительный коэффициент трудоемкости.

Заводская стоимость определяется по формуле:

$$C_{\text{ф}} = 1,15(C_{\text{ом}} + \alpha T(1 + k_{\text{н}})),$$

где  $\alpha$  – среднечасовая заработная плата, равный 483 руб./час [6];  $k_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, пропорциональные трудоемкости, равный 2,6.

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета технико-экономических показателей ферм

	Стоимость основных материалов, руб.	Трудоемкость изготовления, чел-ч	Заводская стоимость изготовления, руб.
Ферма 1	45834	16,62	85951
Ферма 2	58672	16,02	99508
Ферма 3	45663	15,83	84173

В результате сравнения трех видов конструкции стропильной фермы можно сделать вывод, что третий вариант фермы является наиболее выгодным решением, причем разница в заводской стоимости изготовления в сравнении с первым и вторым вариантами составляет 2,5% и 17% соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. – Введ. 2011 – 05–20. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, институт ОАО "НИЦ "Строительство", ЦНИИПСК им. Мельникова и др., 2011. – 109 с.
- СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. – Введ. 2011.05.20. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2011, – 102 с.

3. Проектирование металлических конструкций. Часть 1 «Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования» / под ред. А.Р. Туснина – СПб.: Перо, 2020. – 468 с.
4. Лихтарников, Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с
5. Цены на металлопрокат [Электронный ресурс] / Велунд Сталь Спб – Режим доступа: <https://gk-velund-stal-spb.blizko.ru/tovary> (дата обращения: 11.03.2022).
6. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций в целом по экономике Российской Федерации в 1991-2021гг. [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 11.03.2022).

УДК 698.821

А.Ч. Ким, О.С. Гамаюнова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ПАНОРАМНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Фасадное остекление обеспечивает привлекательный образ и эстетичность здания, а внутри гарантирует обилие дневного света. Но именно остекление фасадной системы является одной из основных причин теплопотерь зданий в зимний период, при этом в летний период происходит излишнее проникновение солнечной радиации внутрь зданий, что приводит к дополнительным затратам на охлаждение воздуха и создание необходимого микроклимата [1–3].

*Цель работы* – выполнить сравнительный анализ вариантов панорамного остекления высотного здания.

*Задачи:* ознакомиться со стеклопакетами панорамного остекления, провести теплотехнический расчет и сравнить приведенное сопротивление теплопередаче с требуемым сопротивлением теплопередаче.

Для достижения поставленной цели было рассмотрено несколько двухкамерных стеклопакетов с формулами остекления: 4i-14Ar-4-14Ar-4i, 4-14-4-14-4, 6A-14-4-14Ar-4i. Двухкамерная конструкция состоит из трех стекол, между которыми пространство заполнено аргоном. Тройные стекла значительно уменьшают теплопотери. Были проведены исследования, в результате которых получено, что тепловые потери  $q$  в однокамерных стеклопакетах составили 5,3 Вт/м<sup>2</sup>, что значительно превышает потери в двухкамерных стеклопакетах [4].

Аргон, в отличие от воздуха, обладает очень малой проводимостью и составляет 0,016 Вт/м<sup>2</sup> [5]. Теплопередача через остекление с аргоном снижается на 1,1 Вт/м<sup>2</sup> и дополнительно может быть уменьшена до 0,8 Вт/м<sup>2</sup> путем применения ночной изоляции [6].

Проведем теплотехнический расчет панорамного остекления высотного здания. Так для ограждающей светопрозрачной конструкции нормируемое значение сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{норм}}$  определяется по формуле (1):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} m_p = 0,66 \cdot 1 = 0,66 \left[ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right], \quad (1)$$

где  $R_0^{\text{тп}}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, равный 1.

Характеристика стеклопакетов представлена в табл. 1.

Необходимо для каждой конструкции определить условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания  $R_0^{\text{усл}}$  по формуле (2):

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_S R_S + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (2)$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый согласно табл.4 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, 23 Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый согласно табл.6 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Таблица 1 – Характеристики светопрозрачных ограждающих конструкций

№ п/п	Тип светопрозрачной конструкции	Толщина стеклопакета, мм	Значение сопротивления теплопередаче, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Wt}$	Стоимость, руб./м <sup>2</sup>
1	Двухкамерный стеклопакет 4i-14Ar-4-14Ar-4i	40	1,56	2800
2	Двухкамерный стеклопакет 4-14-4-14-4	40	0,54	1575
3	Двухкамерный стеклопакет 6A-14-4-14Ar-4i	42	0,8	3000

Для двухкамерного стеклопакета 4i-14Ar-4-14Ar-4i:

$$R_0^{ysl} = 0,12 + 1,56 + 0,043 = 1,723 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для двухкамерного стеклопакета 4-14-4-14-4:

$$R_0^{ysl} = 0,12 + 0,54 + 0,043 = 0,703 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для двухкамерного стеклопакета 6A-14-4-14Ar-4i:

$$R_0^{ysl} = 0,12 + 0,8 + 0,043 = 0,963 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{np}$  определяется в соответствии с формулой (3):

$$R_0^{np} = R_0^{ysl} \cdot r, \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов, проемов, обрамляющих ребер, принимаемый согласно табл.1 ГОСТ Р 54851-2011 «Конструкции строительные ограждающие неоднородные».

Для двухкамерного стеклопакета 4i-14Ar-4-14Ar-4i:

$$R_0^{np} = 1,723 \cdot 0,8 = 1,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для двухкамерного стеклопакета 4-14-4-14-4:

$$R_0^{np} = 0,703 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для двухкамерного стеклопакета 6A-14Ar-4-14Ar-4i:

$$R_0^{np} = 0,963 \cdot 0,8 = 0,77 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

*Вывод:* стеклопакет 4-14-4-14-4 обладает низкой стоимостью по сравнению с другими вариантами, однако не удовлетворяет требования по тепловой защите. Стеклопакет 6A-14Ar-4-14Ar-4i обладает высокой стоимостью, но выполняет требования по тепловой защите и имеет отличительную особенность: наружное стекло является ударостойким. Приведенное сопротивление стеклопакета 4i-14Ar-4-14Ar-4i больше требуемого. Такой вариант остекления вполне подойдет для строительства энергоэффективного бизнес-центра в климатических условиях Санкт-Петербурга.

При строительстве бизнес-центра важно защитить нижние этажи здания от возможных криминальных атак, поэтому для их защиты будет целесообразно использовать остекление со стеклопакетом 6A-14Ar-4-14Ar-4i, а для остальной части здания – энергоэффективный стеклопакет 4i-14Ar-4-14Ar-4i.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Маликова А.С. Энергоэффективное остекление бизнес-центра // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 3–9. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/3-9.pdf>
2. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 3–14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>
3. Миропольский П.С. Особенности остекления высотных зданий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 24–30. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/24-30.pdf>
4. Чоу Т.Т., Ли С., Лин З. Инновационные стекла для климата, требующего охлаждения // Материалы солнечной энергии и солнечные элементы. 2010. №94. С. 212–220.
5. Смит Н., Исаакс Н. Анализ затрат и выгод вторичного остекления в качестве альтернативы модернизации для новозеландских домохозяйств // Экологическая экспертиза. 2009. № 2(1). С.69–80.
6. Лю М., Витчен К.Б., Гейзельберг П.В., Винтер Ф.В. Разработка упрощенного и динамичного метода для двойного остекления фасада с ночной изоляцией. 2013. №58. С. 163–171.

УДК 69.001.5

А.В. Ковтун, Д.С. Андреева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### МНОГОЗОНАЛЬНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ФАСАДЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

*Цель работы* – изучить режимы работы системы двойного фасада и проверить расчетом его энергоэффективность.

Строительная отрасль имеет огромное влияние на экологическую обстановку на нашей планете. Энергоэффективное строительство поможет сократить количество потребляемой зданием энергии в период его эксплуатации, а значит поможет уменьшить негативное влияние на экологию прилегающих территорий. Тема экологической обстановки в современном мире стоит особенно остро, поэтому внедрение энергоэффективных технологий так актуально.

Система двойного вентилируемого фасада может значительно уменьшить энергетическую потребность здания, так как обеспечивает эффективное взаимодействие между внутренним пространством здания и изменчивой окружающей средой [1]. Такая система представляет собой фасад, состоящий из двух отдельных плоских элементов, которые позволяют внутреннему или внешнему воздуху проходить через систему [2]. Как правило, внешний контур представляет собой стеклянное полотно [3].

Двойной вентилируемый фасад классифицируется по трем критериям с последующим разделением в рамках каждого критерия [4–6]:

1. Способ осуществления вентиляции (естественная; принудительная (механическая); гибридная вентиляция);
2. Способ разделения фасада (с поэтажным разделением полостей (типа коробка, коридорного типа); с выделением воздушных шахт; с полостями высотой в несколько этажей);
3. Режимы вентиляции в пространстве между оболочками (наружная воздушная завеса; внутренняя воздушная завеса; подача воздуха; откачка воздуха; буферная зона).

В таблице 1 приведено сравнение четырех вариантов организации полостей по трем характеристикам: звукоизоляция, пожароопасность и воздухообмен.

Режим вентиляции может варьироваться в зависимости от погодных условий путем регулирования работы клапанов. Наиболее часто можно увидеть комбинацию, когда происходит переключение с системы буферной зоны на систему наружной воздушной завесы. Эта смена систем вентилирования удобна тем, что появляется возможность оптимизировать работу системы вентиляции в летнее и зимнее время (буферная зона эффективнее в зимнее время, наружная воздушная завеса в летнее).

Для определения энергоэффективности данного типа фасада был произведен расчет с помощью сервиса Green Building Studio. Для сравнения был выполнен расчет также для однослойного фасада из трехслойного стекла с аргоном и вентилируемого фасада с двойной камерой. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 4 – Сравнение характеристик фасада при разных способах разделения полостей между оболочками

	Тип коробка	С выделением шахт	Коридорный тип	С полостями в несколько этажей
Звукоизоляция	Используется в шумных местностях и при специальных требованиях к звукоизоляции между смежными помещениями	Уменьшенное количество отверстий для обмена воздухом с окружающей средой (в сравнении с типом коробка) обеспечивает повышенную звукоизоляцию помещений от шума с улицы	Проблемы со звукоизоляцией между помещениями, объединенными одним «коридором»	Применим, если высокий уровень шума с улицы, но проблемы со звукоизоляцией между помещениями
Пожароопасность	Низкая Помещения никак не связаны друг с другом	Низкая Помещения связаны лишь шахтами	Средняя Помещения связаны в пределах этажа	Высокая Большое количество помещений связаны друг с другом
Воздухообмен	Открывающиеся окна, подходит для естественной вентиляции	Следует быть аккуратными, так как потоки объединяются в шахтах	Следует следить за тем, чтобы отработанный воздух нижних помещений не попадал в приемники свежего воздуха вышележащих помещений (решается организацией диагонального перемещения воздуха в полостях)	Как правило, в помещениях за таким фасадом необходима принудительная вентиляция

Таблица 5 – Сравнение энергоэффективности трех типов фасадных систем с помощью сервиса Green Building Studio

	Однослойный фасад (трехслойное стекло с аргоном)	Двойной вентилируемый фасад	Фасад с двойной камерой
Годовая стоимость энергии	\$93 688	\$82 958	\$82 336
Ежегодные выбросы CO <sub>2</sub> (эквивалент большого внедорожника)	6,8 внедорожников/год	5,7 внедорожников/год	5,8 внедорожников/год
Ежегодное потребление энергии (электрическая, кВтч/топливо, МДж)	548 299/ 1 358 111	489 719/ 1 147 359	484 715/ 1 156 228
Энергия жизненного цикла (электричество, кВт/топливо, МДж)	16 448 973/ 40 743 330	14 691 570/ 34 420 770	14 541 459/ 34 686 840

**Вывод:** за счет снижения ежегодного потребления электрической энергии на 11% и топлива на 15,5% относительно однослойного фасада обеспечивается снижение годовой стоимости энергии на 12%. Как результат, происходит снижение ежегодных выбросов CO<sub>2</sub> на 16%. Таким образом, очевидно энергетическое преимущество вентилируемых фасадов перед однослойным, которое выражается в долговременной перспективе путем снижения затрат на электроэнергию и топливо.

В ходе расчета также выясняется, что фасад с двумя камерами по некоторым параметрам оказывается более эффективным, чем двойной фасад, однако, из-за сложности конструкции его возведение будет более дорогим. Из этого следует вывод о том, что двойной вентилируемый фасад является на данный момент золотой серединой между энергоэффективностью и стоимостью установки самой конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Double Skin facades and their influence on the form of contemporary buildings // Researchgate.net URL: [https://www.researchgate.net/publication/235898875\\_Double\\_Skin\\_Facades\\_And\\_Their\\_Influence\\_On\\_The\\_Form\\_Of\\_Contemporary\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/235898875_Double_Skin_Facades_And_Their_Influence_On_The_Form_Of_Contemporary_Buildings) (дата обращения: 02.03.2022).
2. Poirazis Harris Double Skin Façades, a literature review. A report of IEA SHC Task 34 ECBCS Annex 43. – Lund: 2006. – 247 с.
3. Васильева И.Л., Немова Д.В., Ватин Н.И. Внедрение двойных стеклянных фасадов на территории Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2019. – №9. – С. 51–62.
4. Oesterle Eberhard, Leib, Lutz, Heusler: Double-Skin Facades. Integrated planning. – Prestel Publishing, 2001. – 208 с.
5. Lou W., Huang M., Zhang M., Lin N. Experimental and zonal modeling for wind pressures on double-skin facades of a tall building // Energy Build. – 2012. – №54. – С. 179–191.
6. Haase M., Marques da Silva F., Amato A. Simulation of ventilated facades in hot and humid climates // Energy Build. – 2009. – №4. – С. 361–373.

УДК 69.001.5

О.М. Кротов, Ю.А. Демидова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ НА ПРАКТИКЕ

*Цель работы* – определить эффективность применения мобильных строительных 3D-принтеров по сравнению со стационарными на примере печати элемента ограждающей конструкции здания.

Для достижения поставленной цели было проведено два испытания – печать бетоном с помощью стационарного и мобильного 3D-принтеров. Стационарный строительный принтер имеет четыре опоры и подвижную порталную балку [1], вдоль которой передвигается печатающая головка. Рабочая область такого принтера всегда принимается на 10 % больше самого объекта [2]. По сравнению со стационарным принтером мобильный строительный принтер имеет подвижную вертикальную раму с перемещающейся вдоль нее балкой с печатающей головкой [3]. Основным преимуществом в данном случае является мобильность проведения работ, а также отсутствие лимитов рабочей площадки вдоль одной из осей. Для строительной 3D-печати в данной работе использовалась специально спроектированная смесь на основе ремонтного состава из экологически чистых материалов [4].

Сегодня наиболее применяемым является строительный 3D-принтер порталного типа [5] из-за своей точности и достаточно невысокой цены, однако мобильные принтеры за счет стабилизации рамы позволяют получать также ровные и недеформированные слои. Применение мобильных строительных 3D-принтеров актуально при создании ряда однотипных сооружений, работы в условиях сурового климата, а также труднодоступных для человека мест. В данной работе были напечатаны конструкции стен (рис. 1) на двух типах принтеров. Конструкция стены совмещает в себе три продольные линии и ребро жесткости в виде треугольных диафрагм.

Ниже представлена таблица (табл. 1) со сравнением времени подготовки и проведения процессов печати. В данной таблице учитывается как время сборки, печати, так и различия между установками.

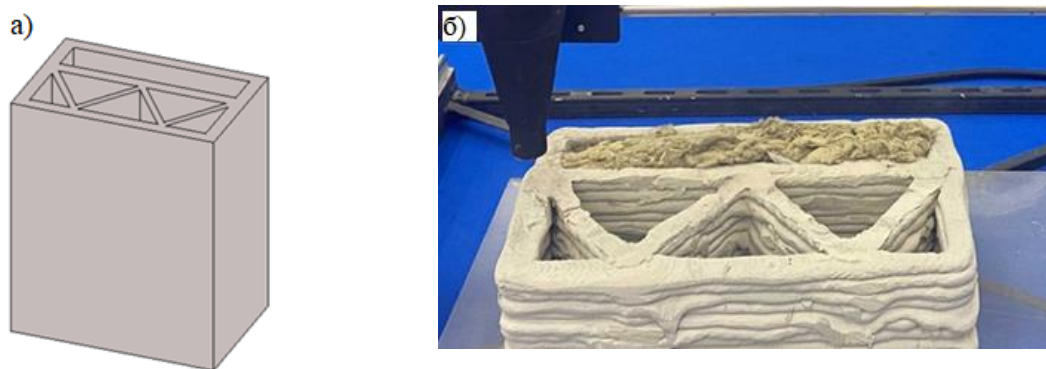


Рис. 1. Конструкции стен для строительной печати: а – макет стены, б – напечатанная стена

Таблица 1 – Сравнение времени печати конструкции стены

	Мобильный строительный 3D-принтер	Стационарный строительный 3D-принтер
Время сборки установки, мин.	1,5 (установка рамы на подвижные платформы)	6 (установка опор принтера, выравнивание, монтаж портальной балки)
Время подготовки модели к печати, мин.	10 (эскиз, создание G-кода)	10 (эскиз, создание G-кода)
Время печати, мин. (параллельно замешивается смесь для печати и подается на печатающую головку)	40 (вдоль рамы поднимается балка)	50 (печатающая головка поднимается относительно портальной балки)
Время разборки принтера и промывки печатающей головки, мин.	6	10
Время на перенос напечатанного объекта на место хранения, мин.	0	10
Итого, мин.	57,5	86
Отсутствие ограничений по рабочей площадке вдоль одной из осей	+	–

Как видно из таблицы, общее время печати блока с помощью мобильного строительного 3D-принтера меньше на 28,5 мин., чем с помощью стационарного. Данная разница во времени объясняется достаточно долгим процессом по точной установке стационарного принтера, медленному поднятию головки и переносу блоков в место хранения. Также можно сделать вывод о том, что мобильный принтер обладает возможностью безостановочной печати вдоль одного из рабочих направлений, что повышает производительность установки, а также сокращает временные и рабочие издержки по переносу оборудования. Так, в случае с мобильным строительным 3D-принтером блоки остаются на местах, поскольку передвигается именно принтер и нет необходимости убирать объекты из области печати.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Li Z., Wang L., Ma G., Sanjayan J., Feng D. Strength and ductility enhancement of 3D printing structure reinforced by embedding continuous micro-cables // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 264. P. 1–15.
2. Souza M.T., Ferreira I.M., Guzi de Moraes E., Senff L., Novaes de Oliveira A.P. 3D printed concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printing parameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 32. P. 1–15.
3. Вольф Р.Дж.М., Бос Ф.П., Салет Т.А.М. Механическое поведение 3D-печатного бетона в раннем возрасте: Численное моделирование и экспериментальные испытания. Cement and Concrete Research 106. 2018. С. 103–116.



4. Лазарев Ю.Г, Беляева С.В., Петроченко М.В., Кротов О.М. 3D экологически чистая бетонная печатная модель подготовки. XIII Международная научно – практическая конференция “Состояние и перспективы развития АПК. INTERAGROMASH 2020. 175. 2020. С. 1–7.
5. Беляева С.В., Кротов О.М., Гокканен А.И., Обмачкин В.А. Применение 3D-принтера в строительной отрасли. Неделя науки – 2019, СПбПУ. 2020. С. 83–85.

УДК 69.003

С.В. Ли, О.С. Гамаюнова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ «DIAGRID» В ФАСАДНОМ ОСТЕКЛЕНИИ

*Цель работы* – сравнить стоимости производства работ по устройству двух вариантов несущих конструкций высотного здания: с использованием системы «diagrid» в качестве дополнительного усиления; с увеличенным сечением стен ядра жесткости.

Задачи исследования:

- рассмотреть треугольную систему «diagrid» в качестве дополнительного усиления конструкции высотного здания для уменьшения горизонтальных перемещений;
- произвести расчет усилий и деформаций модели с металлическим каркасом;
- произвести анализ результатов армирования и расчета усилий здания;
- оценить материалоемкость и трудозатраты работ по устройству конструкций здания;
- сравнить стоимости производства работ для двух вариантов.

Для уменьшения горизонтальных деформаций высотного здания было предложено введение дополнительных металлических конструкций по фасаду здания, которые будут представлять собой треугольную решетку. Схематическое изображение сетки типового этажа в ПК SCAD представлено на рис. 1.

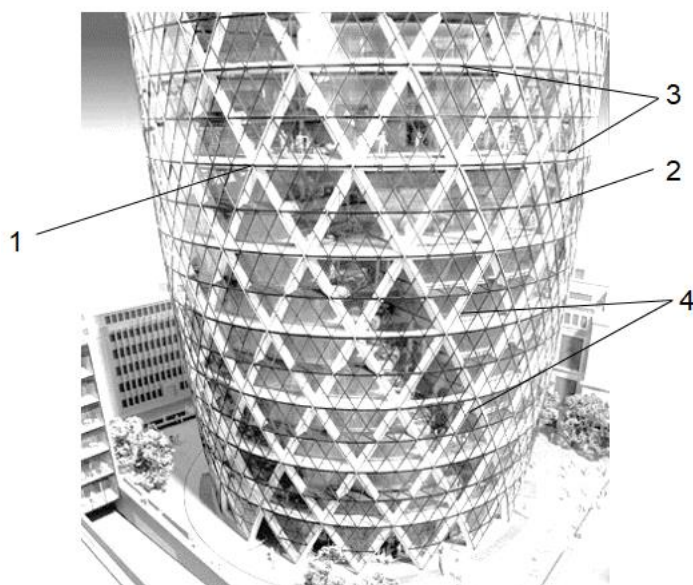


Рис. 1. Металлический каркас системы «diagrid»:  
1 – кольцевые балки, соединенные с плитой перекрытия; 2 – кольцевая балка межэтажная;  
3 – узлы; 4 – наклонные элементы

На первом этапе теоретических исследований были создана модель высотного здания в ПК Revit, а также собраны нагрузки с учетом назначения здания – научно-исследовательский институт. Первоначальная модель содержала в себе только железобетонные несущие конструкции: ядро жесткости, колонны, балки, плиты перекрытия, ростверк и сваи.

Следующий этап включает в себя перенос модели в ПК SCAD и приложение нагрузок на здание. Также в проекте заданы приближенные характеристики грунтов основания и их взаимодействие со свайным фундаментом здания.

После получения результатов расчета следует анализ усилий и деформаций конструкций. Усилия в

несущих конструкциях позволяют зданию функционировать в нормальном режиме. Деформации продавливания и осадки не превышают предельно допустимых значений. Отклонение здания по оси  $Y$  имеет значения большие, чем критические [1].

На четвертом этапе рассмотрены два варианта решения проблемы повышенных деформаций: увеличение сечения стен ядра жесткости и введение дополнительных металлоконструкций. Модель системы «diagrid» построена согласно методике [2], что исключает появление моментов в узлах конструкции. Согласно исследованию Космодемьянова В.А. и Родимова А.А. [3], увеличение угла между наклонным элементом и горизонтальной плоскостью влечет за собой увеличение количества и общей длины наклонных элементов, что приведет к большим затратам металла, но уменьшает растягивающие и сжимающие усилия в конструкции треугольной решетки. Оптимальный угол наклонного элемента к горизонтальной плоскости для зданий высотой более 24 этажей лежит в диапазоне 65–75° [4–5].

В первом случае увеличение сечения повлечет за собой изменения в архитектуре внутри здания, что приведет к уменьшению полезной площади. Также из-за увеличения жесткостных характеристик ядра распределение нагрузок на сваи будет более равномерным. Но вследствие увеличения сечения возрастет собственный вес стен, что приведет к росту усилий в сваях, который спровоцирует повышение площади требуемого армирования. Увеличение нагрузок также приведет к изменениям полей армирования ростверка и к приросту требуемой площади армирования.

Во втором случае значительно увеличится расход металла, но сохранится архитектура, так как фасадное остекление включает в себя металлические профили, которые могут менять свое сечение в зависимости от результатов расчета. Результаты армирования свай, ростверка и колонн показали значения, отличающиеся от первой модели на величину до 20%. Деформации здания в направлении оси  $Y$  значительно меньше, чем в варианте со стенами, и не превышают допустимого предельного значения [1].

Для оценки двух вариантов конструкций с точки зрения экономичности произведен расчет стоимости строительных работ. Результаты расчета стоимости работ по устройству подземного паркинга и типового надземного этажа представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета локальных смет

Наименование работ	Стоимость, тыс. руб.
1 Вариант (стены толщиной 0,3 м)	
Подземный этаж	160 125,345
Надземный этаж	19 667,491
2 Вариант (система «diagrid»)	
Нулевой цикл	154 545,062
Надземный этаж	17 547,648

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что использование системы «diagrid» в фасадном остеклении в качестве дополнительных конструкций усиления рациональней и экономичней по сравнению с вариантом использования стен с увеличенным сечением: подземный этаж дешевле на 3%; надземный типовой этаж – на 11%.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
- Анохин Н.Н. Строительная механика в примерах и задачах. Часть 1. 4-е изд. М: Изд-во АСВ, 2016 – 335 с.
- Космодемьянов В.А., Родимов А.А. Опыт моделирования несущей конструкции – системы Diagrid – Инженерный вестник Дона №6, 2021 г. – эл. ресурс.
- Panchal N.B., Patel V.R., Pandya I.I., Optimum Angle of Diagrid Structural System, International Journal of Engineering and Technical Research. Vol. 2. No. 6, 2014 г. – 157 с.
- Srisangeerthan S., Hashemi M.J., Rajeev P., et al., Review of performance requirements for intermodule connections in multistory modular buildings, Build J., 2020 г. – 28 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ. ЕЁ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

*Актуальность.* Долговечность и эффективность конструкции является основополагающими в высотном строительстве. Последние годы все чаще используются новые материалы и технологии для повышения долговечности возводимого сооружения [8], снижения стоимости строительства, а также ускорения процесса. Строительные материалы будут выбирать по экологическим признакам. И одним из видов подобных материалов теперь могут служить композиты.

Строительная отрасль является наиболее перспективной для применения композитов в качестве несущих конструкций. Замена традиционной стали и железобетона композитными материалами позволяет уменьшить массу всей конструкции, при сохранении её механических характеристик [1].

*Метод исследования:* метод сравнения существующих материалов, метод анализа полученных данных.

*Цель работы:* анализ существующих композитных материалов и подбор оптимальных для уменьшения веса и стоимости железобетонных конструкций без потери несущей способности.

*Задачи:* сбор информации о видах композитных материалов; выявить преимущества и недостатки композитов; сравнить стальную арматуру с композитной.

Полимерные композиционные материалы – это материалы, состоящие из двух или более компонентов, таких как: полимерной основы, связующего вещества, добавок и наполнителей. Исходя из требуемых свойств, изменив состав, соотношение компонентов и их количество при производстве, можно получить широкую вариацию готовой продукции [2,3].

Классифицируя композитную арматуру, можно выделить 5 видов, которую обозначают в соответствии с армирующим наполнителем:

АСК – стеклокомпозитная; состоит из неорганического стрелка, наиболее популярная, обладает небольшим весом, низкой стоимостью, высокой прочностью на растяжение (4585 МПа), модуль упругости 85 ГПа;

АБК – базальтокомпозитная; состоит из габродиобаза и базальта, прочность на растяжение равна 4100 МПа, модуль упругости равен 110 ГПа;

АУК – углекомпозитная; пиролиз органических волокон прекурсоров, редко применяется из-за высокой стоимости, но имеет наибольшую прочность (4300–4900 МПа) и наибольший модуль упругости (230–240 ГПа);

Более широкое применение имеет стекловолокно и базальтовое волокно, так как армирование углеволокном и амидным волокном имеет высокую стоимость. Область применения определяется набором необходимым набором параметров, эксплуатационными характеристиками и их стоимостью [4].

Композитная арматура более долговечна по сравнению со стальной, что увеличивает срок службы всей конструкции. В первую очередь, главным достоинством композита является его прочность на растяжение. Согласно ГОСТ 31938-2012, таб. 4, предел прочности композитной арматуры (приводятся крайние значения для стекловолокна и углепластика): при растяжении – 800–1400 МПа; при сжатии – 300 МПа (для всех видов); при поперечном срезе – 150–350 МПа, в то время как расчетное сопротивление стали составляет 230–670 МПа (согласно СП 16.13330.2017). Она имеет большие перспективы для применения в условиях агрессивных сред, так как базальтопластиковая арматура имеет высокую химическую

стойкость, низкий удельный вес, высокую прочность на разрыв. Другими преимуществами композитов являются: высокая радиопрозрачность и магнитоинертность; жизненный цикл изделий многие производители декларируют сроком не менее 100 лет [5].

Полимерные композиты – пожароопасные материалы, пожарно-технические характеристики которых обусловлена свойствами полимерного связующего [6]. Их горение характеризуется высокой температурой и большей скоростью распространения пламени. И это сопровождается значительным дымообразованием и выделением большого количества токсичных продуктов. Кроме повышенной пожароопасности ПКМ, существуют проблемы, ограничивающие использование ПКМ в строительстве [7]:

- проблема недостаточности нормативно-технической литературы в области проектирования конструкций на основе строительных композиционных материалов;
- проблема нехватки научно-технической базы для исследований строительных композиционных материалов;
- проблема расчета конструкций на основе строительных композиционных материалов в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Ниже представлены сравнительная таблица (табл. 1) и графики физико-механических характеристик стали и композитных материалов (рис. 1–3).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика стальной арматуры и стеклопластиковой арматуры «Ребар»

Характеристики	Арматура	
	Стальной арматурный прокат класса А400	Арматура стеклопластиковая АСК «Ребар»
Материал	Сталь	Стеклопластик на основе эпоксидной смолы
Нормативное сопротивление растяжению, МПа	390	800-1000
Модуль упругости, МПа	200 000	50 000
Коэффициент линейного расширения	13-15	9-12
Плотность, т/м <sup>3</sup>	7,85	2,0
Коррозийная стойкость к агрессивным средам	Низкая	Высокая
Электропроводность	Электропроводна	Диэлектрик
Выпускаемые диаметры	6–40	4–11
Длина	Стержни длиной до 11,7 м	В соответствии с заявкой покупателя, до 200 м
Долговечность	В соответствии со строительными нормами	Прогнозируемая долговечность не менее 80 лет

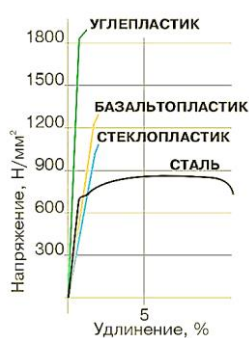


Рис. 1. Прочность композитов на растяжение

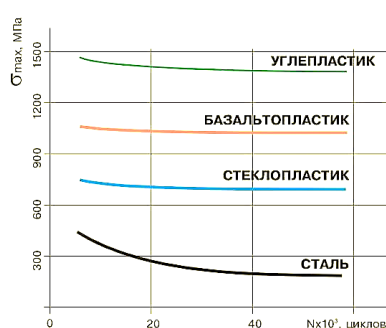


Рис. 2. Усталостная стойкость

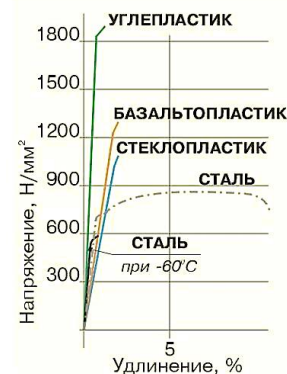


Рис. 3. Поведение композитных материалов в условиях низких температур

*Выводы.* Резюмируя, можно выделить достоинства и недостатки композитных материалов.

Преимущества: высокая прочность, лёгкость, долговечность, отсутствие коррозии, низкая теплопроводность, радиопрозрачность, магнитоинертность.

Недостатки: высокая стоимость, недостаточное количество подготовленных специалистов, пожароопасность, недостаточность нормативно-технической литературы, сложность расчета конструкции в системах автоматизированного проектирования.

Обзор различных литературных источников показывает возможность применения полимерных композитных материалов в строительной сфере. В настоящее время, доля использования композитных материалов еще мала, что обусловлено их пожарной опасностью. С использованием огнезащитных средств или модификации состава композитных изделий в ближайшее время, стальную арматуру можно будет полностью заменить на композитную.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Байер В.Е. Материаловедение для архитекторов: Учебное пособие. АСТ, Транзиткнига: Астрель. 2005. 254 с.
2. Blagojević J. et al. A review to cast polymer composite materials for interior environments // Applied Engineering Letters. 2020. Vol. 5, № 1. P. 1–7.
3. Kumar V.V. et al. A review of recent advances in nanoengineered polymer composites // Polymers. MDPI AG, 2019. Vol. 11, № 4. P. 24–31.
4. Леонова А.Н., Шевчук Е.А., Губская К.В. Основные виды композитной арматуры. Её преимущества и недостатки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2020. № 2. С. 334–338.
5. Reddy Nagavally R. Composite Materials-History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, and Applications // Int. J. Mech. Prod. Eng. 2017. № 5. P. 2320–2092.
6. Гравит М.В., Лазарев Ю.Г., Мальчева А.В. Пожарная опасность композитных материалов // Строительные материалы. 2021. № 9. С. 54–64.
7. Семёнов В.В., Буторов И.А. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в промышленном и гражданском строительстве. 2016. Том 4, № 4. С. 129–137.
8. Царёва О.С., Гуменный А.В. Определение абсолютных деформаций зданий по изменениям расстояний между опорными пунктами и деформационными марками. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 5. С. 496–502.

УДК 692.231.3

Е.А. Мамаева, А.Ю. Городишенина, Е.Б. Заводнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

*Актуальность.* При подборе материалов и выбора технологии производства ограждающих конструкций необходимо учитывать природно-климатические условия района, в котором планируется возведение объекта строительства [1]. Это является актуальной проблемой для города Санкт-Петербург, так как развитие высотного строительства началось относительно недавно. Поэтому к подбору ограждающих конструкций необходимо подойти с учётом изменчивости погодных условий и принятой на этапе проектирования конструктивной системы.

*Цель работы.* Снижение тепловых потерь высотного здания посредством проведения теплотехнического расчёта и сравнения характеристик ограждающих конструкций.

Согласно ГОСТ 30247.1-94 [2], ограждающие конструкции – это конструкции, выполняющие функции ограждения или разделения помещений здания.

В данной статье будут рассмотрены различные виды ограждающих конструкций, для удобства их характеристики были сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Примеры ограждающих конструкций и их характеристики

№	Наименование	Достоинства	Недостатки
1	Навесные лёгкие панели	Сниженный вес; экономия эксплуатируемой площади помещения	Высокий показатель трещиностойкости; отсутствие достаточной вентиляции утеплителя
2	Навесные железобетонные панели	Высокие прочность и устойчивость	Большие значения собственного веса
3	Навесные светопрозрачные фасадные конструкции [3]	Конструкциями обеспечивается достаточный уровень освещённости помещений	Значительные потери тепла
4	Вентилируемые фасады	Большой выбор материалов; хороший уровень теплоизоляции; быстрый монтаж в любое время года; долгий срок службы; устойчивость к атмосферным изменениям; пожаростойкость	При неправильном монтаже может нарушиться пожаростойкость и вентиляция стен
5	Сэндвич-панели с применением ПУР/ПИР [4]	Долгий срок службы; малый объёмный вес; высокая адгезионная способность; устойчивость к гниению, разложению; устойчив к сезонным колебаниям температур и атмосферных осадков	Группа горючести материалов Г3-Г4
6	«Мокрые» фасады [5]	Хороший уровень теплоизоляции; срок службы до 25 лет; небольшой собственный вес; имеет малое количество точек промерзания.	Невозможность возведения во время выпадения осадков или при высокой влажности; монтаж без тепловых пушек возможен только при температуре выше +5 °С

На основании приведённых в Таблице 1 данных можно сделать вывод, что наиболее подходящими для дальнейшего рассмотрения являются варианты 4, 5 и 6. В Таблице 2 показаны принятые составы данных ограждающих конструкций для дальнейшего расчёта.

Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций проводится по следующим формулам:

1. Расчёт значения требуемого сопротивления теплопередаче.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче  $R_o^{TP}$ :

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП = 4051 °С · сут/год;  $a = 0,0003$ ;  $b = 1,2$  для соответствующего типа здания.

$$R_o^{TP} = 0,0003 \cdot 4051 + 1,2 = 2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

$$R_o^{\text{НОРМ}} = R_o^{TP} m_p = 2,42 \cdot 1 = 2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}. \quad (2)$$

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимаем равным 1.

Таблица 2 – Состав ограждающих конструкций и их характеристики

№	Наименование	Состав конструкции	Толщина $\delta$ , мм	Теплопроводность $\lambda(B)$ , Вт/(м·°С)
1	Вентилируемые фасады	Газобетон на цементном вяжущем ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ )	150	0,43
		Техновент Н (технониколь)	100	0,04
		Техновент стандарт (технониколь)	50	0,038
		Композит/керамогранит/фиброцемент	–	–
2	Сэндвич-панели с применением ПУР/ПИР	Сталь	1,5	47,4
		Пенополиуретан ( $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ )	200	0,04
		Сталь	1,5	47,4
		Композит/керамогранит	–	–
3	«Мокрые» фасады	Газобетон на цементном вяжущем ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ )	150	0,43
		Клеевой слой	–	–
		Плиты минераловатные ( $\rho = 75 \text{ кг/м}^3$ )	150	0,063
		Декоративная штукатурка	–	–
		Армирующая сетка	–	–
		Цементно-перлитовая штукатурка ( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ )	10	0,26
		Покраска	–	–

## 2. Расчёт удельных потерь теплоты.

Условное сопротивление теплопередаче,  $R_0^{ysl}$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, определим по СП 50.13330.2012 с изменениями №1 [6]:

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta_n}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций;  $\alpha_{ext} = 12 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для наружных стен с воздушной прослойкой;  $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для наружных стен без воздушной прослойки.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания рассчитывается по СП 23-101-2004 [7]:

$$R_0^{np} = R_0^{ysl} r, \quad (4)$$

где  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений, принимаем равным 0,65.

Необходимо выполнение следующего условия:

$$R_0^{np} > R_0^{norm} = 2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

После проведения расчётов, были получены следующие значения приведенного сопротивления теплопередаче. Для удобства они сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты теплотехнического расчёта

Ограждающая конструкция	$R_0^{np}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Вентилируемый фасад	2,83
Сэндвич-панели с применением ПУР/ПИР	3,36
«Мокрый» фасад	2,7

*Вывод.* Несмотря на то, что по результатам расчётов приведённое сопротивление теплопередаче сэндвич-панели с применением ПУР/ПИР в качестве теплоизоляционного материала в 1,19 и 1,24 раза больше, чем для вентилируемого фасада и «мокрого» фасада соответственно, необходимо учесть и другие характеристики данных фасадных систем. В связи с высокой горючестью материалов использование сэндвич-панелей с применением ПУР/ПИР является небезопасным. Что касается «мокрого» фасада, то это является не лучшим выбором для строительства в г. Санкт-Петербург из-за высоких требований к технологии монтажа при изменчивых климатических условиях. Поэтому оптимальным выбором ограждающей конструкции для высотного здания при строительстве в г. Санкт-Петербург является вентилируемый фасад.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Котков Р.В., Мороз А.А., Молодин В.В. Ограждающая конструкция высотного здания. 2021.
2. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
3. Швецов А.Е., Плешкова К.А. Структура и материалы ограждающих конструкций. 2018.
4. Андросов А. А., Бачин С. В., Попоудин Д. П. О способах производства трехслойных ограждающих конструкций с применением PIR/PUR в качестве материала среднего слоя. 2019.
5. Тебенькова М.А. Навесные вентилируемые фасады и «мокрые»: понятия, характеристики, сравнение. 2020
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
7. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.

УДК 693.5

Р.В. Мотылев, Т.Т. Дуюков

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*Цель работы* – снижение плотности неавтоклавного пенобетона, за счет повышения прочности, путём микроармирования хризотил-асбестом.

В Республике Саха (Якутия) в суровых климатических условиях и в условиях труднодоступности северных районов, необходимо применять технологии строительства с высокими теплотехническими характеристиками и минимальными расходами на транспортировку используемых строительных материалов. Одним из таких технологий строительства является устройство монолитного пенобетона. Преимущество использования данной технологии обуславливается тем, что финансовые расходы на транспортирование строительных материалов в труднодоступные районы сравнительно мала.

В северных районах проблема в потребности в строительстве новых детских садов, школ, складов для хранения продуктов обстоит очень остро. Для решения данной проблемы необходимы технологии строительства домов с высокими теплотехническими характеристиками и минимальными расходами на транспортировку строительных материалов [1].

Применять монолитный пенобетон, высоких плотностей (D300, D400), не целесообразно, так как расход цемента на 1м<sup>2</sup> наружной стены, увеличивается по мере увеличения плотности. Поэтому задача повышения прочности, не повышая плотность пенобетона, является одним из актуальных задач. Повышение прочности пенобетона, может дать возможность снизить плотность. Снижение плотности приведет к значительной экономии ресурсов на строительство, в особенности расхода цемента [2].

На рис. 1, показано влияние плотности пенобетона на расход цемента, для устройства наружной стены. Данные графика были рассчитаны для условий г. Среднеколымск,



Республики Саха (Якутия). Со среднесуточной наружной температурой воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$ , продолжительностью периода с температурой наружного воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$  – 277 суток. В качестве объекта строительства был принят производственное помещение с температурой внутреннего воздуха –  $16^{\circ}\text{C}$  [8, 9].



Рис. 1. Влияние плотности пенобетона на расход цемента

Большинство исследователей отмечают, что оптимальным решением повышения прочности является добавление различных видов армирующих волокон [4].

Учеными ТГАСУ были разработаны различные составы пенобетона по улучшению основных свойств пенобетона. На кафедре строительных материалов и технологий ТГАСУ накоплен большой опыт применения различных видов волокон в пенобетонных смесях. Множество исследований было направлено на применение полипропиленовых и базальтовых волокон. Так, работами Кудякова А.И. доказано увеличение

кратности и стойкости водо-отделения при смешении пены с волокнами базальта и полипропилена. Также, подобрано оптимальное содержание волокна, при котором кратность и стойкость водо-отделения показывают максимальное значение. Кудяков доказал, что высокодисперсные волокна ускоряют процесс структурообразования в пенобетоне. Это связано с хорошей адгезией волокон с высокой прочностью и модулем упругости, армированием цементной матрицы, а также высокой щелочной стойкостью по отношению к формирующейся среде твердеющего цемента. По результатам испытания на сжатие видно, что при добавлении 0,1% базальтового волокна идет увеличение прочности на 28% по сравнению с контрольным пенобетоном. Положительным влиянием на прочность он объясняет тем, что адсорбцией добавки на поверхности гидратированных частичек цемента, что приводит к преимущественному микроармированию и повышению прочности цементного камня околопорового пространства пенобетона. [3]

Повышение прочностных показателей пенобетона неавтоклавного твердения в условиях строительной площадки, невозможно без добавления фибры. Фибра должна срастаться в структуру пенобетона и работать как арматура для железобетона. Хризотил-асбест один из самых прочных на разрыв фибр, которую можно использовать как микроарматуру для пенобетона.

Основной проблемой использования хризотила в пенобетонах является то, что в процессе замеса происходит их агрегация в комкование, что значительно ухудшает все физико-механические свойства пенобетона.

В эксперименте использовали хризотил-асбестовое волокно трёх разных марок – 6К-30, 4-30 и 3-60, выбранное на основе исследований о влиянии на пенные структуры. Отобранные волокна, предоставленные ООО «Комбинат «Волна» г. Красноярск, характеризуются наилучшими показателями повышения стойкости пены по критериям синерезиса, осадения столба и стойкости в поризованном растворе. В качестве вяжущего вещества применялся портландцемент марки М400 производства ОАО «Якутцемент» и речной песок с поймы реки Лена.

Образцы изготавливали из стандартного раствора, состоящего из цемента и песка в соотношении 1:3 по массе и при водоцементном отношении, равном 0,5. Хризотил-асбест добавляли 1% от массы цемента. Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона представлены в таблице 1.

Марка хризотил-асбеста	Прочностные характеристики	
	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на сжатие, МПа
Контроль без фибры	2,2	7,8
3-60	2,34	8,1
4-30	2,7	8,3
6К-30	1,9	6,4

Показано, что добавление хризотил-асбеста марок 3-60 и 4-30 в цементные композиты, способствует повышению их прочности, причем значительное повышение прочности на сжатие и изгиб (на 10 и 25 %) характерно для хризотила-асбеста марки 4-30. Это связано с тем, что волокна хризотила относятся к классам силикатов и активно взаимодействуют с компонентами цементного вяжущего. Также волокна, плотно срастаясь с цементным камнем, обладают армирующим действием. Однако волокна марки 6К-30, напротив, негативно сказываются на характеристиках цементного камня, снижая прочность на изгиб на 13 % и прочность на сжатие на 17 %. Это связано с тем, что марка 6К-30 подразумевает более мелкий фракционный состав с преобладанием фракции менее 0,4 мм и менее, что значительно сказывается на водопотребности системы. Хризотил адсорбирует воду, предназначенную для гидратации цемента, что замедляет процесс новообразования необходимых гидросиликатов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования.
2. ГОСТ 25485-2019 Бетоны ячеистые. Техническое условие.
3. Кудяков А.И. Пенобетон дисперсно-армированный теплоизоляционный естественного твердения / А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 2 (43). – С. 127–133
4. Егорова А.Д. Хризотил-асбестовое волокна как микроарматура для цементного пенобетона / А.Д. Егорова, П.П. Заровняев, Н.А. Дьяконов, В.А. Шилов, Т.Т. Дуюков, А.М. Маисов // Сборник статей V всероссийского научно-практической конференции. – 2018. – №1 – С. 143–145.
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
6. СП 131.13330.2020 Строительная климатология.

УДК 692.23

А.И. Наурусова, К.И. Стрелец

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### УЛУЧШЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ЗДАНИИ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ

*Актуальность.* Одним из способов улучшения микроклимата здания является установка озеленения на наружных конструкциях. Затенение фасада растениями снижает температурный градиент на внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций, что предполагает увеличение сопротивления теплопередаче конструкции [1]. Проверим данные утверждения с помощью теплотехнического расчета.

*Цель работы* – проанализировать теплотехнические характеристики стандартного ограждающей конструкции и конструкции с модулями вертикального озеленения.

Проведем сравнение теплотехнических расчетов для фасадов двух типов (рис. 1): первый тип с модулями вертикального озеленения, второй – стандартный.

1. Выполним расчет сопротивления теплопередачи

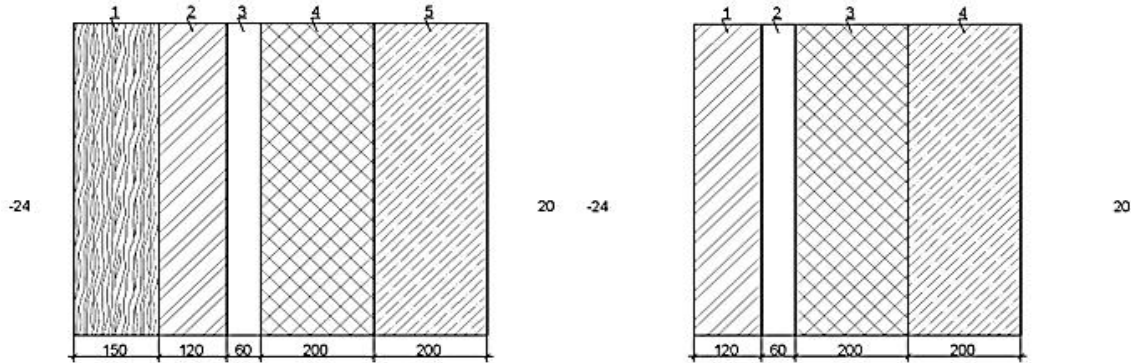


Рис. 1. Схема ограждающей конструкции для 1 тип (справа) и для 2 тип (слева)

Составы ограждающих конструкций первого и второго типа представлены в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

Таблица 1 – Состав ограждающей конструкции 1 типа

№ п/п	Наименование слоя	Толщина слоя $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м°C)	Паропроницаемость $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
1	Модуль вертикального озеленения [5]	0,15	0,28	0,19
2	Кладка из кирпича ( $\rho = 1\,400\text{ кг/м}^3$ )	0,12	0,64	0,14
3	Воздушная прослойка	0,06	0,18	0
4	ТН Техноблок Стандарт	0,2	0,04	0,03
5	Железобетон	0,2	2,04	0,03

Таблица 2 – Состав ограждающей конструкции 2 типа

№ п/п	Наименование слоя	Толщина слоя $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м°C)	Паропроницаемость $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
1	Кладка из кирпича ( $\rho = 1\,400\text{ кг/м}^3$ )	0,12	0,64	0,14
2	Воздушная прослойка	0,06	0,18	0
3	ТН Техноблок Стандарт	0,2	0,04	0,03
4	Железобетон	0,2	2,04	0,03

Результаты вычислений условного сопротивления приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета  $R_0^{усл}$

Условное сопротивление теплопередачи, м <sup>2</sup> °C/Вт	
1 тип ограждающей конструкции	2 тип ограждающей конструкции
6,31	5,78

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче по формуле (1) и нормативного сопротивления (2):

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 2,54 \text{ м}^2\text{°C/Вт}; \quad (1)$$

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{TP} \cdot 0,63 = 1,6 \text{ м}^2\text{°C/Вт}, \quad (2)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода (°C), определяются по формуле (3):

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от})z_{от} = 4473,2^\circ\text{C} \cdot \text{сут}, \quad (3)$$

где  $z_{от}$  – продолжительность, сут. отопительного периода принимаемая по таблице 1 [2].

Условное сопротивление теплопередаче  $R_0^{усл}$  определим по формуле (4) из [3]:

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (4)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{np}$  определим по формуле (5) из [4]:

$$R_0^{np} = R_0^{ysl} \cdot r \quad (5)$$

Результаты вычислений приведённого сопротивления приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты расчета  $R_0^{np}$

Приведенное сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> °C/Вт	
1 тип ограждающей конструкции	2 тип ограждающей конструкции
5,81	5,32

По требованиям теплопередаче величина приведенного сопротивления должна быть больше нормативного значения. Сравним полученные результаты по условию (6):

$$R_0^{np} > R_0^{norm}; \quad (6)$$

$$5,81 > 1,6 \text{ – для 1 типа}; \quad 5,31 > 1,6 \text{ – для 2 типа}.$$

Условие (6) верно, т. е. ограждающая конструкция в обоих случаях соответствует требованиям по теплопередаче.

$$R_0^{np}(1 \text{ тип}) = 5,81 \text{ м}^2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} > R_0^{np}(2 \text{ тип}) = 5,31 \text{ м}^2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

По полученным данным видно, что приведенное сопротивление теплопередаче для первого типа конструкции больше, чем для второго, так как теплоизоляция из-за озеленения повышается, а теплотери ограждающих конструкции снижаются [5].

2. Определим температуры на границах слоев наружной стены:

Вычислим температуры  $t_i$  на границах слоев по формуле (7):

$$t_i = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0^{ysl}} R_x \quad (7)$$

Записываем полученные данные в табл. 5.

Таблица 5 – Температуры  $t_i$  на границах слоев

№ границы слоя	Температура на границе слоев, °C	
	1 тип ограждающей конструкции	2 тип ограждающей конструкции
1	19,5	19,5
2	19,1	19
3	-1,9	-3,9
4	-3,3	-5,4
5	-4,1	-6,3
6	-6,4	-

По табл. 5 построим график распределения температур на границах слоев ограждающих конструкций (рис. 2).

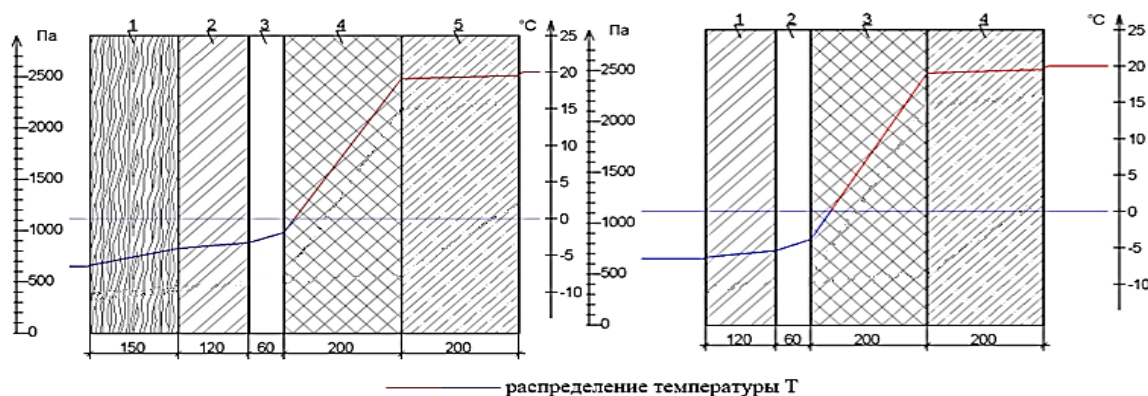


Рис. 2. График распределения температур

*Вывод.* В ходе сравнения двух наружных конструкций можно сделать вывод, что благодаря вертикальному озеленению показатель сопротивления теплопередачи конструкции увеличился на  $0,5 \text{ м}^2 \frac{\text{°C}}{\text{Вт}}$ , также градиент на внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций – уменьшился (рис. 2). Таким образом, исходя из результатов теплотехнического расчёта, микроклимат проектируемого здания улучшился.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Wood A. Bahrami P. Safarik D. Green Walls in High-Rise Buildings – 2014.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий
5. Тишков А.А., Осокин Н.И., Сосоновский А.В. Влияние синузий мохообразных на деятельный слой арктических почв, 2013 г.

УДК 697.133

Е.О. Обвинцева, А.Ю. Городишенина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЗЕЛЕННОГО ФАСАДА, УСТАНОВЛИВАЕМОЙ В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

*Актуальность.* В настоящее время крайне актуальны проблема защиты окружающей среды, отношение к природе и окружающему нас миру. Успех предпринимательства часто ассоциируют именно с эффективной политикой в отношении окружающей среды, строительные компании стараются внедрять «зеленые» технологии.

Одним из эффективных путей решения проблемы энергосбережения является озеленение фасадов и крыш для регулирования температуры и влажности в зданиях. Их преимущество – формирование здорового образа жизни в больших городах, прежде всего, за счет поглощения пыли, сокращения уровня шума и защиты строительных ограждающих конструкций от атмосферных воздействий, также это один из самых действенных и эстетичных способов улучшить микроклимат современных городов [1].

*Цель работы.* Раскрытие конструктивных особенностей создания вертикальных садов и их классификация, возможные решения устройства зеленых фасадов в г. Санкт-Петербург.

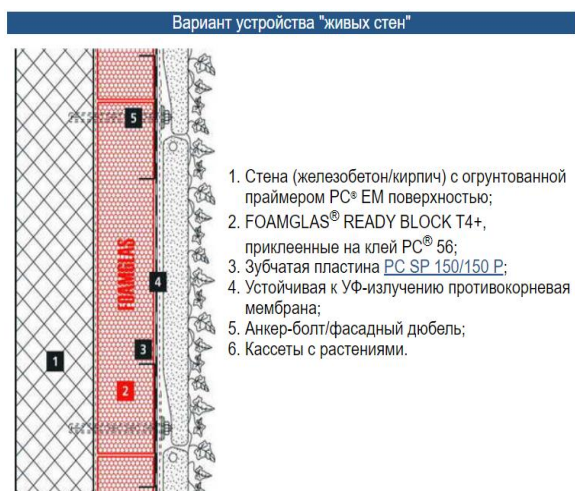


Рис. 1. Вариант устройства зеленого фасада

Система живых стен состоит из подготовленных панелей с высаженной растительностью, которые образуют вертикальные модули или создают эффект «ковра». Эти панели могут быть изготовлены из пластика, пенополистирола, синтетической ткани, а также из глины, металла, бетона. Панели способны поддерживать большое разнообразие и высокую плотность посадки растений. Живые стены состоят из трёх составляющих: металлического каркаса, слоя ПВХ, и кассет с растениями. Смесь растительности в такой системе состоит из многолетних цветов, низких кустарников, различных видов папоротников и разнотравья, мхов и т.д.

Эта система хорошо работает в разных климатических условиях. В этой системе может использоваться автоматический полив и подпитка растений необходимыми жидкими и быстрорастворимыми в воде микроудобрениями, что позволяет сделать более простой и лёгкий уход за такой системой [2].

Одним из вариантов установки зеленого фасада в России является система из плит из пеностекла FOAMGLAS (рис. 1) [3].

Необходимо провести расчет сопротивления теплопередачи представленной конструкции для следующего пирога без учета кассет с растениями:

1) слой 1, железобетон, толщина  $\delta_1 = 250$  мм, согласно прил., табл. Т., строка 199 [4], коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 2,04$  Вт/(м·°С), удельная теплопроводность сухого материала  $c_1 = 0,84$  Вт/(кг·°С), удельная масса сухого материала  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>, влажность материала  $w_1 = 3$  %;

2) слой 2, пеностекло, толщина  $\delta_2 = 150$  мм, согласно прил., табл. Т., строка 223 [4], коэффициент теплопроводности  $\lambda_2 = 0,051$  Вт/(м·°С), удельная теплопроводность сухого материала  $c_2 = 0,84$  Вт/(кг·°С), удельная масса сухого материала  $\gamma_2 = 125$  кг/м<sup>3</sup>, влажность материала  $w_2 = 1$  %;

3) слой 3, противокоревая мембрана, толщина  $\delta_3 = 1$  мм, согласно прил., табл. Т., строка 237 [4], коэффициент теплопроводности  $\lambda_3 = 0,05$  Вт/(м·°С), удельная теплопроводность сухого материала  $c_3 = 2$  Вт/(кг·°С), удельная масса сухого материала  $\gamma_3 = 26$  кг/м<sup>3</sup>, влажность материала  $w_3 = 2$  %.

Для фасадов, выполняемых на территории Санкт-Петербурга, температура холодной пятидневки и температура воздуха наиболее холодных суток равны  $-27^\circ\text{C}$  и  $-31^\circ\text{C}$  соответственно согласно [5].

Расчет проводится согласно СП 50.13330.2012 [4]:

1. Найдем сопротивление теплопередаче для каждого материала:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,25}{2,04} = 0,12 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,15}{0,051} = 2,94 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,01}{0,05} = 0,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Тогда общее сопротивление теплопередаче:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + 0,12 + 2,94 + 0,2 + \frac{1}{23} = 3,42 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $\alpha_v, \alpha_n$  – коэффициенты, принимаемые согласно таблиц 4 и 6 [4], 8,7 и 23,2, соответственно.

2. Определим степень массивности слоев (для первого слоя):

– удельная теплоемкость влажного материала находится по формуле:

$$c_{w1} = \frac{c_1 + 0,01w_1}{1 + 0,01w_1} = \frac{0,84 + 0,01 \cdot 3}{1 + 0,01 \cdot 3} = 0,84 \text{ Вт/(кг} \cdot \text{°C)};$$

– объемная масса влажного материала:

$$\gamma_{w1} = \gamma_1 \left(1 + \frac{w_1}{100}\right) = 2500 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right) = 2575 \text{ кг/м}^3;$$

– коэффициент теплоусвоения:

$$S_1 = 0,51 \sqrt{\lambda_1 c_{w1} \gamma_{w1}} = 0,51 \sqrt{2,04 \cdot 0,84 \cdot 2575} = 33,88 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)};$$

– тепловая инерция:

$$D_1 = S_1 R_1 = 33,88 \cdot 0,12 = 4,07;$$

Для следующих слоев расчетные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные значения для всех слоев

Номер слоя	$c_w, \text{Вт}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	$\gamma_w, \text{кг}/\text{м}^3$	$S, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$	$D$
1	0,84	2575	33,88	4,07
2	0,84	126,25	1,19	3,5
3	1,98	26,52	0,83	0,166

3. Общая тепловая инерция:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 4,07 + 3,5 + 0,166 = 7,736;$$

$$D > 7, \text{ следовательно, конструкция массивная.}$$

4. Градусо-сутки отопительного периода,  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$ , определяют по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})z_{\text{от}} = (20 + 1,3) \cdot 213 = 4537,$$

где  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ\text{C}$ , принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3 по ГОСТ 30494-2011 [6];  $t_{\text{от}}, z_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ , и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2012 [5].

5. Минимальное сопротивление теплопередаче:

$$R_o^{\text{TP}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \cdot 4537 + 1,4 = 2,99 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт},$$

где  $a, b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 [4].

Требуемое условие:

$$R_o^{\text{TP}} \leq R_o;$$

$$2,99 < 3,42.$$

Следовательно, данная конструкция подходит для эксплуатации в условиях климата Санкт-Петербурга.

*Выводы.* В результате расчета выявлено, что конструкция зеленого фасада может использоваться на территории Санкт-Петербурга. Зеленый фасад обладает высокой энергоэффективностью и помимо этого рядом очевидных преимуществ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Корниенко С.В. Зеленое строительство – комплексное решение задач энергоэффективности, экологии и экономии // Энергосбережение. 2017. № 3.
2. Зеленский В.А. Конструктивные особенности создания вертикальных садов // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12
3. Зеленые фасады с пеностеклом FOAMGLAS. [Электронный ресурс]. – URL: <http://o-p-i.ru/promyshlennoe-proektirovanie/91-tipu-sten-s-primeneniem-foamglas/615-zelenye-fasady.html>
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. [Электронный ресурс]. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525>
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>
6. ГОСТ ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053>

УДК 69.002.5

В.И. Овчинникова, А.В. Гузеева, А.Е. Радаев  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ КВАДРАТИЧНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В современных условиях функционирования строительной отрасли, которая характеризуется ужесточением требований к строительным проектам в части сроков

реализации, стоимости и качества производимых работ, особенно актуальными становятся задачи обоснования технологического процесса строительства в части распределения строительных машин по отдельным фронтам работ. Указанные задачи обусловлены стремлением строительных предприятий к рациональному обоснованию операционных затрат, связанных в том числе с привлечением строительной техники для обеспечения надлежащего уровня качества выполнения работ в рамках строительных проектов.

При этом результаты анализа литературы в области решения вышеуказанных задач свидетельствуют об ограниченности или отсутствии рациональных средств, позволяющих запланировать выполнение большого количества работ с максимально предпочтительными значениями критериев стоимости и длительности реализации технологического процесса. Данное обстоятельство определило целесообразность проведения данного исследования.

Целью исследования является разработка методики обоснования характеристик технологического процесса строительства на основе квадратичной оптимизации.

Достижение указанной цели обеспечивается посредством выполнения основных следующих задач исследования:

1. Обзор и анализ научных трудов отечественных и зарубежных авторов в данной области;

2. Разработка оптимизационной модели обоснования характеристик технологического процесса строительства в части объемов рабочего времени комплектов строительных машин в разрезе фронтов работ для обеспечения минимальных суммарных затрат на выполнение работ с использованием алгоритмов квадратичной оптимизации.

3. Разработка и реализация методики на практическом примере.

На начальных этапах исследования был выполнен обзор литературы по рассматриваемой тематике. По результатам выполнения процедуры сделан следующий вывод.

Достаточно большое количество литературных источников [1–6] представляют собой разработки методического характера и содержат по большей части результаты обзора научных трудов и практические рекомендации в области решения следующих подзадач:

- применение инструментов оптимизации при решении задач эффективного использования парка строительных машин [1–4];
- основные технологические процессы строительства с использованием подъемно-транспортного оборудования [5–6].

Важно отметить, что вышеуказанные инструментальные средства имеют недостатки, связанные с трудностью обеспечения адекватности получаемых результатов. Именно поэтому на последующих этапах исследования будут рассмотрены вопросы целесообразности применения средств квадратичной оптимизации для решения рассматриваемой прикладной задачи.

Структура оптимизационной модели определяется следующими выражениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m \left( C_i \sum_{j=1}^n x_{ij} \right) \rightarrow \min; \quad (1) \\ x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \quad (2) \\ \sum_{i=1}^m p_{ij} x_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (3) \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq f_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (4) \end{array} \right.$$

Исходные данные и неизвестные переменные оптимизационной модели представлены на рисунке 1.



В рамках финального этапа исследования была произведена реализация разработанной оптимизационной модели в целях ее адекватности и возможности применения в реальных условиях. Ниже, на рисунке 2 представлены результаты реализации модели, а именно, суммарные затраты на аренду строительной техники. Значение является оптимальным, поскольку соответствует рациональному распределению строительных машин по фронтам работ.

Индекс комплекта строительных машин		Производительность комплекта в составе фронта с индексом ( $j$ )					Фонд времени	Базовые затраты на ед. времени работы	Удельный прирост затрат на ед. объема рабочего времени
		1	2	3	4	5			
$i$		$P_{ij-1}$	$P_{ij-2}$	$P_{ij-3}$	$P_{ij-4}$	$P_{ij-5}$	$f_i$	$c_i^0$	$c_i$
-		м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	ч	д.е./ч	д.е./ч
1		68,4	54,9	38,7	54,9	74,7	60	35	18,6
2		74,7	74,7	77,4	41,4	64,8	87	24,8	20,5
3		86,4	56,7	66,6	67,5	53,1	80	18,4	94
4		59,4	48,6	89,1	86,4	57,6	82	29	14,4
Плановый объем работ	$q_j$	м <sup>3</sup>	5100	3790	3270	1700	3420		

Индекс комплекта строительных машин		Объем рабочего времени в рамках фронта с индексом ( $j$ )					Сумм. объем рабочего времени	Суммарные затраты на аренду строительных машин в рамках фронта с индексом ( $j$ )				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
$i$		$x_{ij-1}$	$x_{ij-2}$	$x_{ij-3}$	$x_{ij-4}$	$x_{ij-5}$	$\Sigma_j x_{ij}$	$C_{ij-1}$	$C_{ij-2}$	$C_{ij-3}$	$C_{ij-4}$	$C_{ij-5}$
-		м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup> /ч	ч	д.е.	д.е.	д.е.	д.е.	д.е.
1		14,22	0,00	0,00	0,00	45,78	60	16363,61	0,00	0,00	0,00	52696,39
2		18,16	50,74	0,00	0,00	0,00	87	26098,07	72916,27	0,00	0,00	0,00
3		17,43	0,00	0,00	0,00	0,00	80	28888,82	0,00	0,00	0,00	0,00
4		21,29	0,00	36,70	19,68	0,00	82	24433,01	0,00	42111,57	22577,01	0,00
Фактический объем работ	$\Sigma_i p_{ij} \cdot x_{ij}$	м <sup>3</sup>	5100	3790	3270	1700	3420					

Рис. 1. Исходные данные и неизвестные переменные

№ п.п.	Наименование расчетной характеристики	Обознач.	Ед. Изм.	Значение
1	Суммарные затраты на аренду строительных машин	$C^\Sigma$	д.е.	286084,8

Рис. 2. Результаты реализации модели

Полученные результаты соответствуют реальным условиям функционирования парка строительных машин, что говорит о высокой практической значимости работы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шафранский, В.Н. Определение потребности в строительных машинах / В.Н. Шафранский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Стройиздат, 1969. – 153 с.
2. Абдразаков, Ф.К. Оптимизация парка землеройных машин для проведения строительных и эксплуатационных работ на мелиоративных системах / Ф.К. Абдразаков, Д.Г. Горюнов. – Саратов, Изд-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005. – 144 с.
3. Пермяков В.Б. Математическая модель оптимизации структуры парка машин дорожно-строительной техники // Изв. вузов. Строительство. – 1998. – №7. – с. 93–96.
4. Сорокин П.И. Оптимальное использование машин на земляных работах в дорожном строительстве / П.И. Сорокин. – М: Транспорт, 1973. – 284 с.
5. Белецкий Б.Ф. Строительные машины и оборудование: Справочное пособие для производителей механизаторов, инженерно-технических работников строительных организаций, а также студентов строительных вузов, факультетов и техникумов / Б.Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. Изд. второе, преработ. и дополн. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005, – 608 с.
6. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб. для строит. специальностей вузов / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов – М.: Высшая школа, 2006 – 574 с.

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ  
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*Цель работы* – провести исследование метода закрепления мерзлого грунта.

Для достижения цели, которая была поставлена, предложен новый рабочий состав для стабилизации грунтового основания

Находясь на стадии разработки любых методов для укрепления грунтов, для изменения первоначальных свойств, необходимо учитывать особенности и свойства тонкодисперсной части грунта, химические, минералогические составы, генетические признаки грунта, а также состав поглощающего комплекса и емкость обмена. Все эти особенности являются научной основой при укреплении грунтов.

Рассматриваемый участок для укрепления представлен многокилометровой терригенной толщей верхнего палеозоя (каменноугольная, пермская системы) и мезозоя (триасовая, юрская системы). Нерасчлененные четвертичные образования представлены делювиальными и элювиальными отложениями переработки якутской свиты среднеюрских отложений, верхней континентальной свиты средне-нижне юрских отложений и табагинской свиты неогеновых отложений аллювия восьмой надпойменной террасы р. Лены. Элювий и делювий пользуется распространением на пологих участках междуречий в верхних частях склонов средней крутизны. По степени засоленности: супеси, суглинки и пески незасоленные. По степени пучинистости: грунты от слабопучинистых до чрезмернопучинистых.

На первом этапе при теоретических исследованиях были рассмотрены все методы улучшения свойств грунтов, выявлено направленное изменение свойств местных грунтов путем модифицирования активными веществами специального действия, а именно стабилизаторами и добавками. Добавляемое вещество называют модификатором, его введение в малых количествах в состав материала вызывает не только изменение структуры, но и его свойств [1].

По технологической схеме изготовления образцов, были изготовлены для проведения исследования цилиндрические образцы (рис. 1). Использовалось технологическое оборудование, разработанное в Институте неметаллических материалов СО РАН Якутска [2]. Диаметр и высота образца – 50 мм. Продолжительность сушки составила – 28 дней. Формовочная влажность – 10–14 масс. %, усилие прессования – 3 МПа, количество портландцемента – 2–5 масс. %, содержание стабилизаторов варьировалось – 0,001–0,01 масс. %. Исследовалось влияние количества добавок, вводимых в образец, на прочность при сжатии и определены оптимальные значения [3].

Экспериментально было установлено, что основное количество влаги, вне зависимости от рецептур, из материала удалялось за трое суток, и скорость десорбции, а также количество остаточной влаги не зависит от исходной влажности. В начале сушки свободная вода в глинистых грунтах испаряется с большой скоростью, передвигаясь по капиллярам к поверхности, что и объясняет полученные результаты. Продолжая сушку, силы, которые удерживают влагу на поверхности, возрастают, что и замедляет процесс сушки [4].

Также изучен процесс увеличения плотности образцов с увеличением влажности исходного сырья. 14 масс. % – влажность для достижения максимальной плотности в условиях эксперимента.

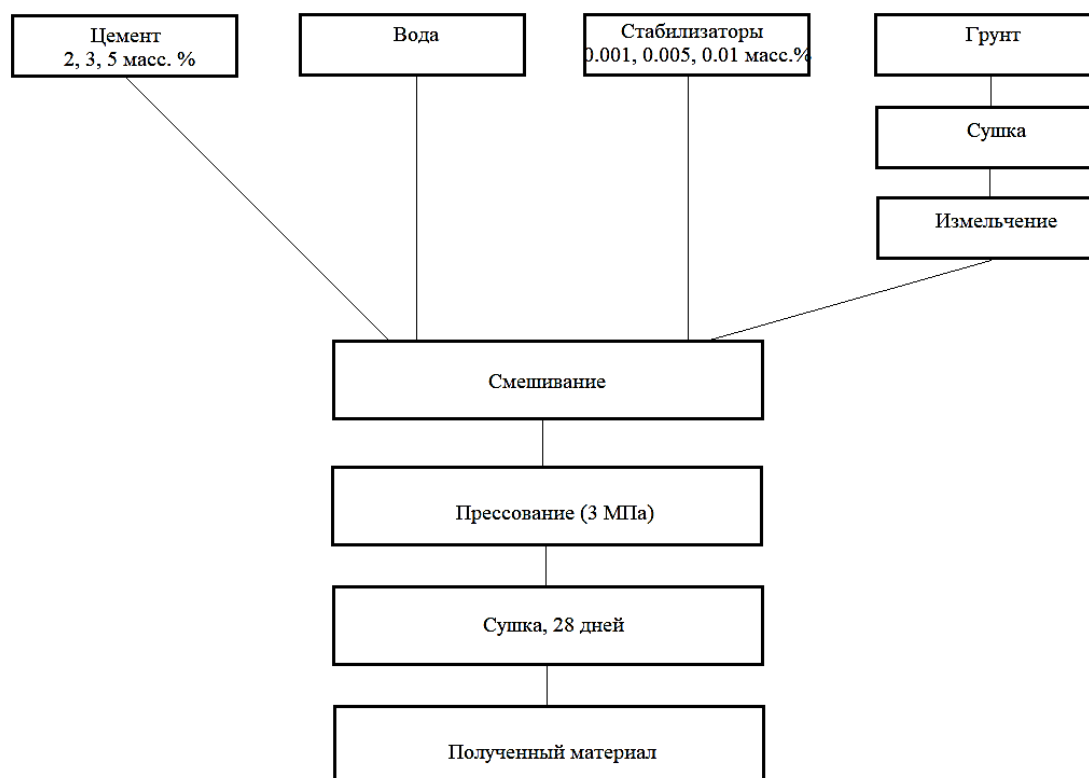


Рис. 1. Технологическая схема по изготовлению образца

При введении различного количества цемента и стабилизатора плотность образцов меняется незаметно. Положительные тенденции наблюдались при содержании цемента на отметке 3 масс. %, а стабилизатора 0,005 масс. %.

Изучив поведение образца в зависимости от температур, было выявлено, что при понижении температуры происходит уплотнение, форма пор становится щелевидной, наблюдается процесс сжатия, а при повышении температур, происходит набухание образца (рис. 2).

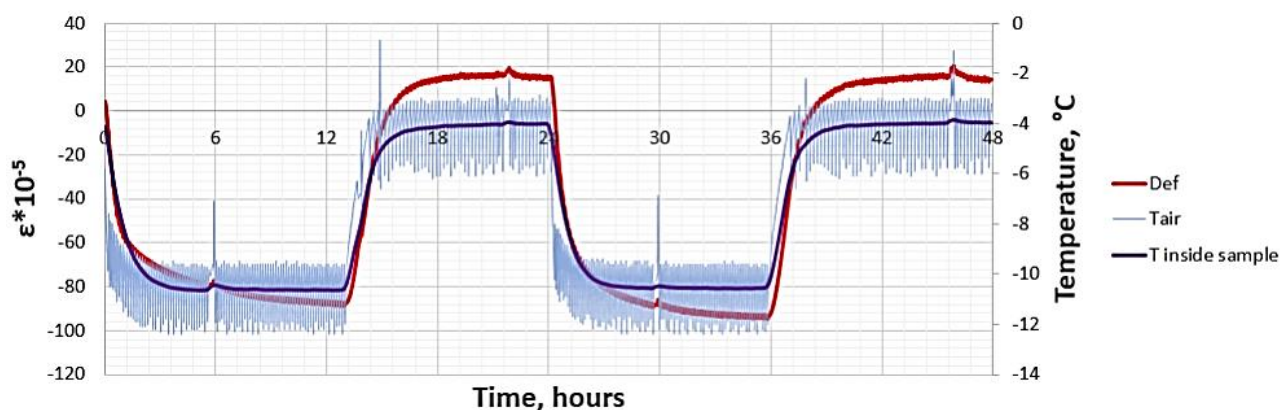


Рис. 2. Изменение деформации в зависимости от температуры внутри образца

Проводя сравнение коэффициентов расширения в различных фазах температур, было выявлено, что деформации на сжатие имеют большие значения, чем при расширении, подтверждая факт термоусадки мерзлого грунта, оставляя с каждого цикла все меньше воды (рис. 3).

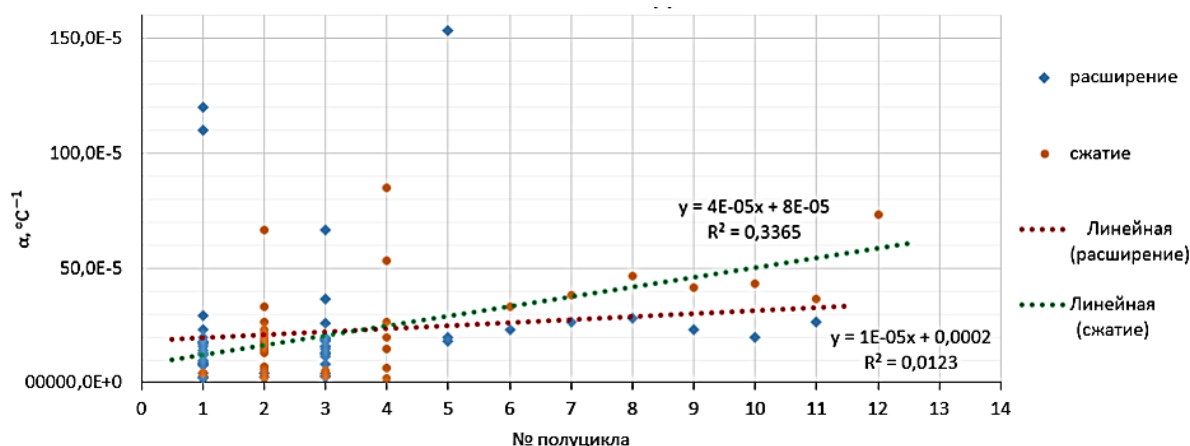


Рис. 3. Сравнение коэффициентов расширения испытуемых образцов в зависимости от теплового нагружения

Дальнейшие исследования заключались в выявлении линейного повышения прочности материала при увеличении количества стабилизатора [5]. Установлен предел прочности при сжатии образцов – 3,89 МПа, что на 64 % выше показателей ГОСТа.

Таким образом, был разработан оптимальный состав для укрепления мерзлого грунта, который позволил получить материал с высоким значением физико-механических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Авдеева А.А., Шлыкова И.Д., Субботина С.А., Беяева С.В., Васюткин Е.С. Особенности возведения зданий в условиях Крайнего Севера //Материалы научно-практической конференции: Композитные материалы в строительстве объектов транспортной инфраструктуры. – 2018. – С. 93–98.
2. Попов С.Н., Степанов И.И., Черский И.Н. Оборудование для полусухого прессования мелкоштучных строительных материалов // Неметаллические материалы и конструкции для условий Севера. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, – 1996.
3. ГОСТ 26447-85. Определение прочности на сжатие грунтов. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. Ибрагимов М. Н., Семкин В. В., Шапошников А. В. Цементация грунтов инъекцией растворов в строительстве. М.: АСВ, – 2017.
5. ГОСТ 30491-97. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущим». М.: Изд. стандартов, 1997.

УДК 69.009

А.С. Панченко, В.А. Гогина, И.С. Птухина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО ВЛОЖЕНИЯ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ В ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

*Актуальность:* перед заказчиком всегда стоим выбор определенного проекта, куда ему следует вложить свой капитал. В новой «экономической реальности» становится все сложнее принимать решение относительно того, какие проекты следует реализовывать, так как ошибка при выборе инвестиционно-строительного проекта (далее ИСП) может привести к потере денег и дальнейшему банкротству. При грамотном подходе необходимо провести комплексный анализ проекта, который позволит оценить варианты и принять верное решение. Данный анализ осуществляется с помощью различных методов и с учетом определенных критериев.

*Задачи:* проанализировать существующие критерии для оценки эффективности ИСП и сформировать системы критериев для рационального вложения денежных средств в ИСП.

Известно множество способов оценки инвестиционно-строительных проектов. И самое первостепенное, без чего в дальнейшем не может быть рассмотрен ИСП, это его экономические составляющие.

Оценка эффективности инвестиций представляет собой один из самых важных этапов в процессе принятия инвестиционных решений. От того, насколько объективно и всесторонне проведена эта оценка, зависят сроки возврата вложенного капитала и темп развития проекта [1]. Эффективность производства определяется конечным результатом работы компании или производственных единиц, а также отражает уровень организационно-управленческой деятельности.

Говоря о методах оценки эффективности инвестиционного проекта на практике используют динамические показатели, которые мы и рассмотрим далее в данной статье [3]:

1. Чистый дисконтированный доход (ЧДД, NPV). Данный показатель рассчитывается как разность дисконтированных значений денежных притоков и оттоков, создаваемых инвестиционно-строительным проектом за расчетный период. В основе расчета NPV лежит различная стоимость денег во времени, а определяется показатель методом дисконтирования.

Условия принятия инвестиционного решения на основе данного критерия сводятся к следующему:

- если  $NPV > 0$ , то проект эффективен;
- если  $NPV < 0$ , то проект неэффективен;
- если  $NPV = 0$ , то принятие проекта не принесет ни прибыли, ни убытка.

2. Внутренняя норма доходности (ВНД, IRR). Данный показатель равен значению ставки дисконтирования, при котором NPV равен нулю.

$$IRR = i, \text{ при котором } NPV = 0.$$

Экономический смысл показателя заключается в том, что он отражает максимально допустимый уровень затрат для ИСП, выше которого проект становится нерентабельным.

3. Индекс рентабельности инвестиции (PI). Относительный показатель эффективности ИСП, характеризующий прибыль на единицу затрат [2]. Чем больше значение данного показателя, тем эффективнее инвестиционно-строительный проект. PI рассчитывается отношением чистого дисконтированного дохода к первоначально вложенным инвестициям:

$$PI = NPV/IC.$$

Также существует дисконтированный индекс доходности (DPI), который является модификацией индекса рентабельности инвестиций. Данный показатель позволяет учесть не единовременные инвестиции в первом периоде времени, а инвестиции в течение всего срока реализации проекта.

4. Индекс доходности (DPI) – это отношение суммы приведенных эффектов к величине дисконтированных капитальных вложений. Он определяется по формуле:

$$DPI = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \alpha_t.$$

PI и DPI показывают эффективность использования средств в ИСП.

Условия принятия проекта по данному инвестиционному критерию следующие:

- если  $PI > 1$ , то проект следует принять;
- если  $PI < 1$ , то проект следует отвергнуть;
- если  $PI = 1$ , проект ни прибыльный, ни убыточный. Несложно заметить, что при оценке проектов, предусматривающих одинаковый объем первоначальных инвестиций, критерий PI полностью согласован с критерием NPV [2].

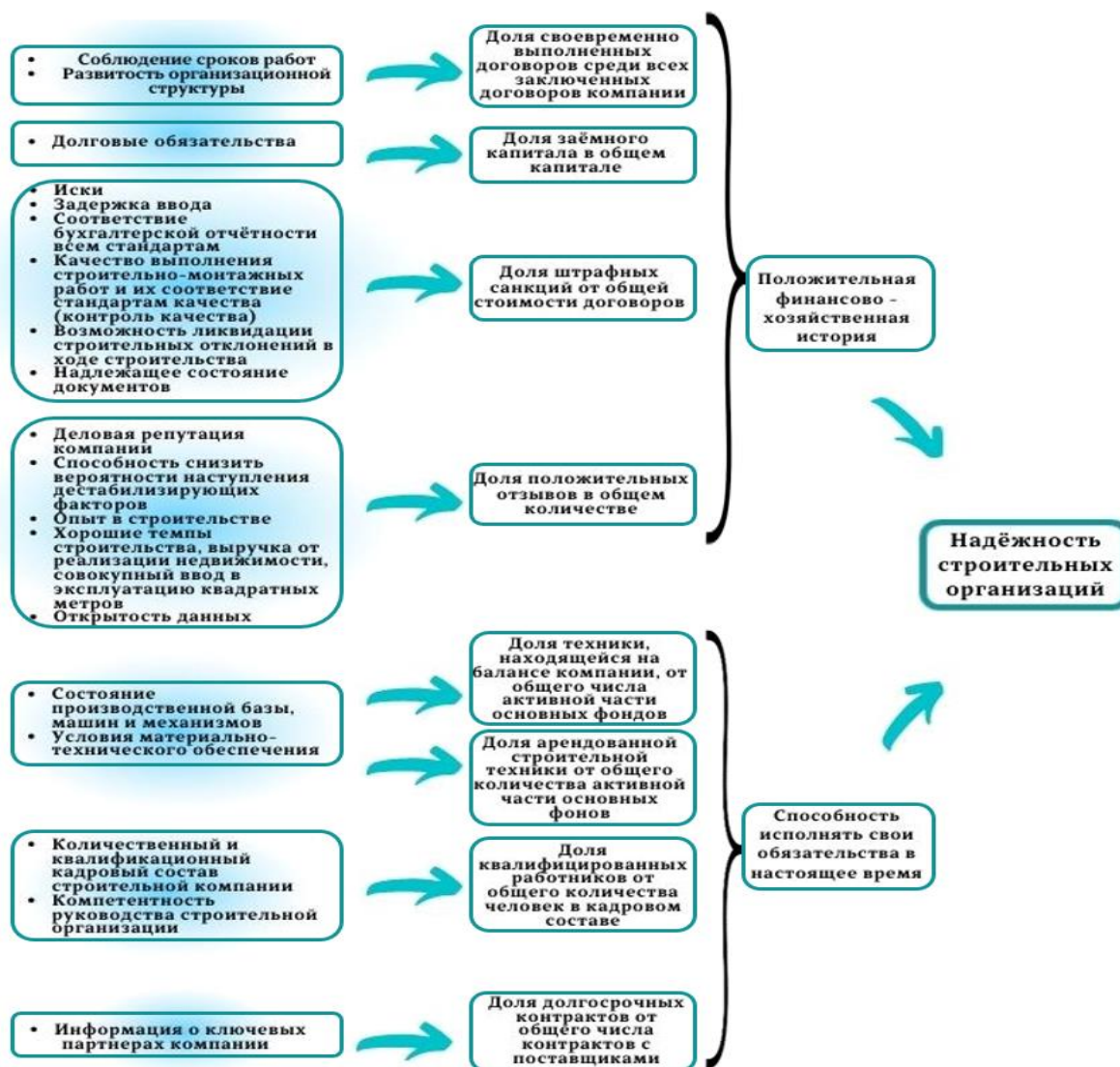


Рис.1. Систематизированная схема выявленных и сформированных критериев надёжности строительных организаций

Надёжность строительной организации выражается в способности организационно-технических, финансовых и управленческих решений обеспечить в заданных пределах достижение необходимого экономического результата, исходя из поставленных целей [3].

В ходе анализа научных источников [3–5], в которых были проведены исследования по оценке надёжного функционирования и устойчивого развития строительной организации, выявлены критерии, по которым можно производить данную оценку. Тем самым, если будут учтены данные критерии (рис. 1, левый столбец) при принятии решения об эффективном инвестировании, подрядная строительная организация будет обладать должным уровнем надёжности для всех участников своей деятельности.

Для того, чтобы упорядочить данные факторы и привести их к соизмеримому друг с другом виду применим метод группировки данных, который систематизирует материал и выявляет характерные и типичные взаимосвязи процессов.

Таким образом, были сформулированы и упорядочены в схематичной форме (рис. 1) критерии, выражаемые в числовом значении для удобства работы с ними. Полученные критерии необходимо учитывать инвесторам при реализации своего капитала в ИСП. Опираясь на показатели данных факторов, можно оценить эффективность проекта, сократить возможность возникновения риска потерять вложенные средства или минимизировать его последствия.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Писарев Д.В. Экономический анализ инвестиционно-строительного проекта на стадиях его жизненного цикла// Экономический анализ: теория и практика. – 2011 – № 22.
2. Гилемханов Р.А., Брайла Н.В. Методы оценки финансово-экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов// Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. № 10 (49). – 2016 – с. 7–19
3. Андреева, Г. С. Рейтинговая оценка надежности строительной организации / Г. С. Андреева // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 104–106.
4. Жавнеров П.Б., Гинзбург А.В. Повышение организационно-технологической надежности строительства за счет структурных мероприятий // Вестник МГСУ. 2013. № 3. С. 196–200.
5. Абакумова М., Рычагов М. 20 самых надежных застройщиков страны. Рейтинг Forbes / Forbes.ru. 29.10.2019. URL: <https://www.forbes.ru/biznes-photogallery/386153-20-samyh-nadezhnyh-zastroyshchikov-strany-reyting-forbes>

УДК 69.009

А.С. Панченко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МЕТОДОМ ПРИВЕДЕНИЯ ИХ К ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ СИСТЕМЕ

*Цель:* сформировать взаимосвязанную систему показателей для оценки надёжности строительной организации.

Комплексная оценка надёжности строительной компании необходима инвестору для принятия решения о заключении с ним договора подряда. Надёжность строительной организации выражается в способности организационно-технических, финансовых и управленческих решений обеспечить в заданных пределах достижение необходимого экономического результата, исходя из поставленных целей [1]. Для этого необходимо в разработанную систему критериев ввести их граничные условия [2] и разработать математическую модель, позволяющую оценить надёжность подрядчика по каждому критерию в отдельности и затем прийти к итоговой комплексной оценке показателя надёжности организации.

Рассмотрим подробнее иерархическую структуру показателей надёжности строительной компании в виде схемы (рис. 1), представленной ниже.



Рис. 1. Иерархическая структура показателей надёжности строительной компании

Необходимым условием является тот факт, что частные показатели изначально имеют количественные измерения.

Описание исходных данных представлено в таблице 1, описание расчетных характеристик приведено в таблице 2.

Для обеспечения сопоставимости значений абсолютных показателей  $q_{ijk}$  необходимо привести их к одинаковому масштабу с помощью операции нормирования по формуле [3]:

$$q_{ijk}^N = \frac{q_{ijk} - q_{ijk}^{worst}}{q_{ijk}^{best} - q_{ijk}^{worst}} \quad (1)$$

При том должны соблюдаться условия:

$$q_{ijk}^N \in [0; 1];$$

$$q_{ijk} \in [q_{ijk}^{worst}; q_{ijk}^{best}].$$

Таблица 1 – Исходные значения структуры показателей и частных показателей для рассматриваемых альтернативных компаний

№ п.п.	Наименование элемента исходных данных	Ед. изм.	Обозначение
1	Исходные данные		
1.1	Общие исходные данные – характеристики структуры показателей		
1.1.1	Количество ключевых показателей	ед.	$m$
1.1.2	Количество частных показателей, соответствующих $i$ -му ключевому показателю	ед.	$n$
1.1.3	Количество альтернативных компаний-подрядчиков	ед.	$k$
1.1.4	Индекс ключевого показателя	–	$i$
1.1.5	Индекс частного показателя	–	$j$
1.1.6	Индекс альтернативной компании	–	$k$
1.2	Исходные данные – значения частных показателей		
1.2.1	Значение $j$ -го частного показателя в составе $i$ -го ключевого показателя для $k$ -ой компании ( $j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$ )	–	$q_{ijk}$

Таким образом, происходит формирование нормированных значений параметров, соответствующих интервалу  $[0; 1]$ , в котором минимальное значение соответствует наименее предпочтительному значению, а максимальное – наиболее предпочтительному (относительно конкретного параметра), либо наоборот.

Таблица 2 – Расчетные характеристики частных, ключевых и интегрального показателей для каждой альтернативной компании

№ п.п.	Наименование расчетной характеристики	Ед. изм.	Обозначение
1	Наиболее предпочтительное значение $j$ -го частного показателя в составе $i$ -го ключевого показателя для $k$ -ой компании ( $j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, z$ )	–	$q_{ijk}^{best}$
2	Наименее предпочтительное значение $j$ -го частного показателя в составе $i$ -го ключевого показателя для $k$ -ой компании ( $j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, z$ )	–	$q_{ijk}^{worst}$
3	Нормированное значение $j$ -го частного показателя в составе $i$ -го ключевого показателя для каждой альтернативной компании $k$ ( $j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, z$ )	–	$q_{ijk}^N$
4	Нормированное значение $i$ -го ключевого показателя для каждой альтернативной компании $k$ ( $i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, z$ )	–	$Q_{ik}^N$
5	Коэффициент значимости учёта $j$ -го частного показателя в составе $i$ -го ключевого показателя ( $j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$ )	–	$\alpha_{ij}$
6	Нормированное значение интегрального показателя для каждой альтернативной компании $k$ ( $k = 1, 2, \dots, z$ ).	–	$Q_k^N$
7	Коэффициент значимости учёта $i$ -го ключевого показателя в составе интегрального показателя ( $i = 1, 2, \dots, m$ )	–	$\beta_i$



То есть для каждого конкретного частного показателя наиболее предпочтительное значение и наименее предпочтительное формируются на основе основной выборки компаний-подрядчиков [4]:

$$q_{ijk}^{best} = \begin{cases} \max_k \{q_{ijk}\}; & \text{если при увеличении } q_{ijk} \text{ предпочтительность увеличивается;} \\ \min_k \{q_{ijk}\}, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$q_{ijk}^{worst} = \begin{cases} \min_k \{q_{ijk}\}; & \text{если при увеличении } q_{ijk} \text{ предпочтительность увеличивается;} \\ \max_k \{q_{ijk}\}. & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Ключевой показатель  $Q_{ik}^N$  вычисляется по формуле:

$$Q_{ik}^N = \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} q_{ijk}^N, \quad (2)$$

где  $a_{ij}$  – коэффициент значимости учёта  $j$ -го частного показателя в составе  $i$ -го ключевого показателя, который может быть определен с помощью метода экспертных оценок [5].

При том должны выполняться условия:

$$Q_{ik}^N \in [0; 1];$$

$$\sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} = 1.$$

Интегральный показатель вычисляется по формуле:

$$Q_k^N = \sum_{i=1}^m \beta_i Q_{ik}^N, \quad (3)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент значимости учёта  $i$ -го ключевого показателя в составе интегрального показателя, который может быть определен с помощью метода экспертных оценок [5].

При том должны выполняться условия:

$$Q_k^N \in [0; 1];$$

$$\sum_{i=1}^m \beta_i = 1.$$

Таким образом, в работе представлены показатели математической модели, отражающие упорядочение и систематизацию значений критериев надёжности строительной организации, которые в составе итоговой математической модели будут апробированы методом математического анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреева, Г.С. Рейтинговая оценка надёжности строительной организации / Г. С. Андреева // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 104–106.
2. Звонарев, С.В. 3-42 Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с.
3. Мхитарян В.С. [и др.] ; под редакцией В.С. Мхитаряна. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 490 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-00616-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт.– URL: <https://urait.ru/bcode/412967>
4. Баврина А.П. Основные понятия статистики // Медицинский альманах. 2020. №3 (64). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-ponyatiya-statistiki>
5. Анохин А.Н. Методы экспертных оценок. Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ, 1996. – 148 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИФИКАТОРОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Классификаторы строительной информации (КСИ) начали активно обсуждаться в РФ в 2020 году, и в Градостроительный кодекс были внесены поправки, определяющие понятие и область применения классификатора строительной информации. Тема исследования крайне актуальна, так как к 2022 г. классификаторы строительной информации должны быть, введены в эксплуатацию и применяться в проектах, связанных с государственным финансированием [1]. Однако к началу 2022 года КСИ не закончены и не утверждены, а методические рекомендации по работе с ними не опубликованы, поэтому для данного исследования была взята версия классификаторов от 17.12.2021 (самая поздняя на данный момент) ФАУ «ФЦС» (Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»), действующая в настоящее время. Итогом разработки КСИ должно стать полное их внедрение в проекты объектов строительства, связанные с государственным финансированием. Проверкой классификаторов будет заниматься экспертиза на стадии ПД, она будет также проверять правильность кодов и соответствие их 3D модели или XML-схеме.

*Цель работы* – анализ технологии работы с существующими классификаторами строительной информации.

Так как результаты тестирования использования КСИ на экспериментальных строительных объектах еще не опубликованы, было принято решение о тестовом введении классификаторов на производственном участке фармацевтического завода в разделе ОВ. Повсеместное внедрение КСИ на государственном уровне является лишь вопросом времени, поэтому обучение работе с классификаторами является важной задачей. В данном исследовании целью ставится не разработка структуры и состава классификаторов, как это делалось в статьях [2–3], а работа с уже созданными российскими классификаторами и разработка рекомендаций по их изменению и доработке, так для этого были выбраны методы моделирования процессов работы с КСИ, заключающиеся во внедрении классификаторов в разработку документации.

КСИ, которые имеются на данный момент, основаны на ГОСТ Р ИСО 12006-2–2017, который был введен в 2017 г. (в настоящее время отменен). Основные принципы из этого ГОСТ остались неизменны – это деление на следующие группы:

- Результат (1–6 таблицы).
- Процесс (7–15).
- Ресурс (16–20).
- Характеристика (21 таблица).

Так как на стадии проектной документации раздела «Вентиляции» в экспертизу идут только принципиальные схемы систем вентиляции (подраздел «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети») и таблица воздухообмена, если экспертиза ее запросит [4], то для прохождения экспертизы достаточны только таблицы 1\_ПЗo/RZo [5], в которых находятся классы для помещений.

Для тестового задания был выбран производственный участок фармзавода, состоящий из 13 помещений, на котором происходит цикл по созданию фармацевтических продуктов.

Для помещений были назначены классы в соответствии с их назначением, а для помещений производственного цикла был назначен класс ВВ (табл. 1).

Таблица 1

№	Наименование помещения по проекту	Класс	Наименование помещения по таблице КСИ
1	Кладовая суточного запаса сырья	CAF030	Склад сырья и готовой продукции
2	Накопление жидких отходов	CAA010	Зона хранения, обеззараживания и переработки отходов производства
3	Шлюз для материалов	EAA030	Тамбур-шлюз
4	Шлюз для персонала	EAA030	Тамбур-шлюз
5	Весовая	ВВ	Производственное пространство
6	Реакторный зал	ВВ	Производственное пространство
7	Коридор	EAC010	Коридор
8	Кладовая уборочного инвентаря	СВВ030	Помещение уборочного инвентаря
9	Моечная	ВВF030	Помещения для обработки и обеззараживания предметов
10	Хранение чистой тары	CAA030	Склад хранения контейнеров
11	Фасовка	ВВ	Производственное пространство
12	Измельчение	ВВ	Производственное пространство
13	Сушка	ВВ	Производственное пространство

Так как точный класс для производственных помещений в данной версии КСИ отсутствует, то им был назначен общий класс для производственных пространств со следующим описанием: замкнутое пространство в специально предназначенных зданиях и сооружениях, в котором постоянно (по сменам) или периодически (в течение рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей. Аналогичный результат с отсутствием необходимых классов был получен авторами [6], которые проводили подобное исследование для мостостроения. Пример ввода КСИ показан на рис. 1 с блок схемой одного помещения, который войдет в принципиальную схему всего производственного участка. Изменением является появление класса ВВ рядом с наименованием помещения «Измельчение».

Так же в таблице КСИ присутствуют классы для систем вентиляции, которые не фигурируют в контроле качества, т.к. трассы, установки и обслуживающее оборудование проектируются в дальнейшем на стадии РД, которая не идет в экспертизу. Но наличие этих классов на наш взгляд обязательно, если мы хотим получить полный производственный цикл от предпроектной стадии до утилизации объекта.

Таким образом, применение КСИ в разделе ОВ на стадии ПД не внесет существенных изменений, т.к. на этой стадии графическая часть состоит только из принципиальных схем.

Касательно разницы применения КСИ на различных стадиях проектирования, на стадии ПД формируется первый вариант таблицы воздухообмена для разработки будущей РД. В таблицу построчно назначается класс для каждого помещения и системы вентиляции (общеобменная, противодымная и т.д.). На стадии РД и далее заносятся классы в системы воздуховодов и обслуживающее оборудование непосредственно в цифровую модель, которая в последствии будет меняться на протяжении всего производственного цикла.

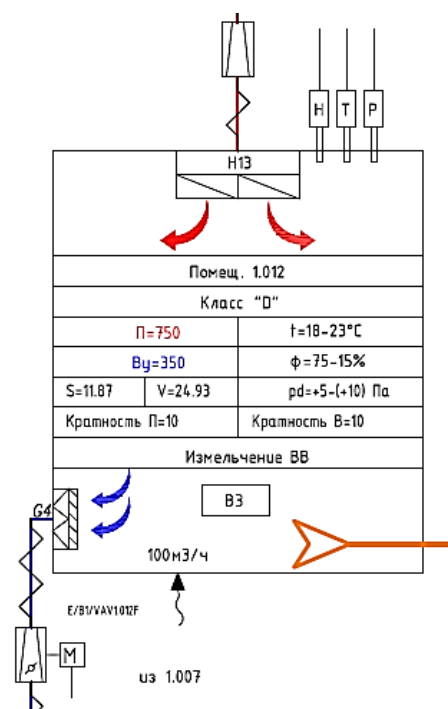


Рис. 1

Резюмируя вышесказанное, отметим, что необходимо доработать систему КСИ, так как отсутствуют классификаторы для специфических помещений промышленных объектов, которые широко не используются (например, помещения производственного цикла: создание лекарственного сырья, его обработка, фасовка и т.д.)

Также после добавления новых классов для фармацевтического производства следует разделить КСИ по отраслям, так как ошибочно создавать огромный регламентирующий каталог, который будет одновременно содержать классы для фармацевтического завода, школы, ресторана, жилого здания и других объектов. Это приведет к «перегрузке» каталога КСИ и наличию информации, которая потребуется только для использования в узконаправленных проектах и при этом не будет использоваться повсеместно (в КСИ присутствуют коды для кинотеатров и обслуживающих их помещений). Разумно, на наш взгляд, использовать принципы деления на отдельные виды работ, как это реализуется, например, в сметных нормах ГЭСН.

Все вышеперечисленное поможет логически выстроить и изменить в лучшую сторону классификаторы, с которыми совсем скоро предстоит работать строительным организациям в РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 28 сентября 2020 г. № 1558 “О государственной информационной системе обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации”
2. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2020. №6. С.567–906.
3. Тимченко В.С., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Тимченко О.В., Осипов Н.А. Разработка элементов классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства в части процессов проектирования, управления строительными процессами и строительной информации // Вестник МГСУ. 2021. №7. С.926–954.
4. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию"
5. Сайт классификатора строительной информации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа (Дата обращения: 14.01.2022)- URL: <http://ksi.faufcc.ru>
6. Бреус Н.Л., Ахметов Д.Р. Применение классификатора строительной информации в области мостостроения // Школа науки. 2021. №6 (43). С.18–22.

УДК 69.003

Ф.С. Поветьев, И.С. Птухина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Главная задача любого предприятия, вне зависимости от его вида организационной формы, – это увеличение прибыли и минимизация издержек производства. Правда, не все руководители, проводя управленческий учёт, учитывают затраты на охрану труда в соотношении с другими показателями, характеризующими экономическую эффективность производства. А это не только обеспечение «здоровых и безопасных условий труда» (ст.139 «Кодекс законов о труде РФ»), но и серьезная экономическая проблема. Отсутствие прямой связи с производством и продажей продукции затрудняет просчитать эффект от вложения средств в безопасность жизнедеятельности. Согласно статистике, наиболее большие финансовые потери происходят из-за несчастных случаев на производстве.

*Целью работы* является сравнительная оценка объемов вложения в предупредительные меры по сокращению несчастных случаев и частотой этих случаев. В исследовании проведены: анализ производственного травматизма в РФ по всем отраслям экономики и

отдельно – в строительной отрасли; анализ объемов финансирования предупредительных шагов по уменьшению травматизма и сравнение их с частотой несчастных случаев.

Для минимизации затрат необходимо проводить мероприятия по оптимизации условий труда по предотвращению травматизма.

В последнее время предлагается много методик по созданию определённых программ по снижению риска травматических случаев в строительстве. Они все имеют много общего и направлены на решение двух основных задач:

- 1) выявление экономического и социального ущерба, причинённого предприятию и людям (производственный травматизм, профзаболевания, текучесть кадров и т.д.);
- 2) экономическая эффективность от мероприятий по безопасности условий труда

Наиболее результативным оказался статистический метод. Он даёт возможность увидеть целиком картину производственного травматизма, развить политику предприятия и подготовить мероприятия по предупреждению несчастных случаев. Для оценки степени производственного травматизма обычно используют следующие показатели:

Коэффициент частоты ( $K_{ч}$ ) – количество несчастных случаев на 1000 человек за изучаемый период:

$$K_{ч} = N \frac{1000}{P}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество несчастных случаев за данный период (обычно год),  $P$  – среднесписочное число работающих.

Коэффициент тяжести травматизма ( $K_{т}$ ) – среднее число дней нетрудоспособности на одного пострадавшего от несчастного случая за рассматриваемый период:

$$K_{т} = \frac{\sum D}{N}, \quad (2)$$

где  $\sum D$  – общее число дней временной нетрудоспособности

Коэффициент частоты смертности ( $K_{с}$ ) – процент несчастных случаев со смертельным исходом:

$$K_{с} = N_{с} \frac{1000}{P}, \quad (3)$$

где  $N_{с}$  – количество несчастных случаев со смертельным исходом.

Обобщая данные производственного травматизма, используют коэффициент условных трудовых потерь  $K_{обоб}$  по формуле:

$$K_{обоб} = K_{ч} \cdot K_{т} + K_{с} \cdot 6000, \quad (4)$$

где 6000 – условные трудовые потери в днях на один несчастный случай со смертельным исходом.

Для оценки сокращения производственного травматизма используют формулу:

$$\Delta K_{обоб} = K_{обоб i} - K_{обоб}(i + 1), \quad (5)$$

где  $\Delta K_{обоб}$  – величина экономии трудовых потерь,  $K_{обоб i}$  и  $K_{обоб}(i + 1)$  – условные трудовые потери до проведения мероприятий и после [5].

Данные статистических анализов за 2016–2020 г. показывают, что риск травматизма в строительной отрасли превосходит такие же показатели в других областях экономики. Из табл. 1 видно, что около 8% несчастных случаев приходится на строительство, 17% – со смертельным исходом. Проанализировав табл. 1, 2 видим, что показатели коэффициентов частоты и смертности постепенно снижаются, а средства, вложенные в охрану труда, увеличиваются.

Экономический эффект от мероприятий рассчитывается при помощи затрат на мероприятия по улучшению безопасности труда  $S$  и материальных издержек  $Z$ .

Расходы на охрану труда  $S$  показывают деятельность предприятия и его руководства по созданию безопасных условий труда и включают затраты, обеспечивающие нормальную деятельность предприятия.

Таблица 1 – Данные по общему производственному травматизму в РФ [2, 3]

Годы	Показатель производственного травматизма в РФ по всем отраслям экономики			Показатель производственного травматизма в строительной отрасли РФ			Доля несчастных случаев в строительстве, %		Израсходованные средства по охране труда на одного рабочего в рублях
	$N_{общ.}$	$N_{см.}$	$\frac{N_{см.}}{N_{общ.}} \cdot 100\%$	$N_{общ.}$	$N_{см.}$	$\frac{N_{см.}}{N_{общ.}} \cdot 100\%$	От всех учётных случаев	От всех несчастных случаев со смертельным исходом	
2016	26744	1290		2157	213		8,0	16,5	3197
2017	25445	1138		2146	214		8,4	18,8	6724,2
2018	23597	1072		1930	190		8,2	17,7	10930,4
2019	23343	1055		1823	166		7,8	15,7	14862,4
2020	20503	912		1575	144		7,6	15,7	18825,3

Таблица 2 – Данные по производственному травматизму в строительной отрасли [2, 3]

Годы	Показатель производственного травматизма в РФ по всем отраслям экономики			Показатель производственного травматизма в строительной отрасли РФ		
	$K_{ч.}$	$K_{см.}$	$\frac{K_{см.}}{K_{ч.}} \cdot 100\%$	$K_{ч.}$	$K_{см.}$	$\frac{K_{см.}}{K_{ч.}} \cdot 100\%$
2016	1,3	0,062	4,7	1,8	0,177	9
2017	1,3	0,056	4,3	1,8	0,179	9
2018	1,2	0,054	4,5	1,7	0,165	9,3
2019	1,2	0,053	4,4	1,6	0,142	8,9
2020	1	0,045	4,5	1,3	0,122	9,3

Для этого используют формулу:

$$S = S1 + S2 + S3, \quad (6)$$

где  $S1$  – затраты за определенный период на механизмы и средства, обеспечивающие прочность конструкций или сооружений во время строительства или монтажа; расходы на устройства различных приспособлений, предоставляющих безопасность работ на высоте; их стоимость; расходы на СИЗ;  $S2$  – затраты на осуществление обучения по охране труда;  $S3$  – заработная плата работников по технике безопасности

Материальные последствия вследствие производственного травматизма  $Z$  определяют материальные потери коллектива в связи с недоработками по охране труда. Их подсчитывают следующим образом [5]:

$$Z = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5 + Z6 + Z7, \quad (7)$$

где  $Z1$  – затраты по больничным листам по нетрудоспособности из-за производственного травматизма и профзаболеваний;  $Z2$  – затраты на компенсацию заработной платы;  $Z3$  – затраты на выдачу единовременных пособий;  $Z4$  – выплата дополнительных расходов, связанных с несчастным случаем;  $Z5$  – затраты на возмещение морального ущерба;  $Z6$  – доплаты за неблагоприятные условия работ;  $Z7$  – выплаты на социальное страхование.

Все затраты формируются соответствующими статьями бухгалтерского учета.

Экономическая эффективность отдельных мероприятий по повышению производственной безопасности анализируется подсчетом показателя общей экономической эффективности  $\mathcal{E}_{общ}$  [5]:

$$\mathcal{E}_{общ} = Zi + \frac{Z(i+1)}{S(i+1)}, \quad (8)$$

где  $Z_i$  – материальные расходы до внедрения мероприятий по улучшению охраны труда;  $Z(i+1)$  – материальные расходы после внедрения мероприятий;  $S(i+1)$  – затраты на осуществление мероприятий по улучшению охраны труда.

Оценка экономического эффекта мероприятий по повышению безопасности труда рассчитывается по показателю экономии удельных приведенных затрат  $\Delta\Pi_u$ :

$$\Delta\Pi_u = \left[ \frac{(S_i + Z_i)}{P_i \cdot 1000} \right] - \left[ \frac{(S_{i+1} + Z_{i+1})}{P_{i+1} \cdot 1000} \right], \quad (9)$$

где  $(S_i + Z_i)$  – затраты на производственную безопасность и материальные убытки до внедрения мероприятий;  $(S_{i+1} + Z_{i+1})$  – затраты на безопасность и материальные убытки после внедрения мероприятий;  $P_i, P_{i+1}$  – количество работающих до внедрения мероприятий и после их внедрения [5].

Анализ состояния безопасности труда в организации должен происходить путём определения социального и экономического эффектов мероприятий по повышению безопасности жизни. Социальный – должен проявляться в снижении уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, экономии материальных затрат на улучшение условий работы.

Как показал проведенный анализ, имеет место обратная зависимость: с увеличением вложенных в мероприятия средств плавно снижается число случаев производственного травматизма. Однако видно, что в строительстве, по отношению к другим видам экономической деятельности, показатель частоты травм остается довольно высоким.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Минько, В.М. Математическое моделирование в охране труда: моногр. /В.М. Минько. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 248 с.
2. Оперативные данные Роструда по травматизму за 2020 г.
3. Производственный травматизм в Российской Федерации в 2020 году. Бюллетень.
4. Россия в цифрах. 2020: Карг. стат. сб./Росстат – М., 2020 – 550 с.
5. Севастьянов Б.В, Селюнина Н.В, Сандуляк В.И. Экономика безопасности труда: учебное пособие – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2008.
6. Трудовой кодекс РФ.

УДК 692.4

А.А. Полюх, Л.В.Талипова  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИНВЕРСИОННОЙ КРОВЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

*Актуальность.* В связи с возрастанием плотности застройки в крупных городах России, возникает потребность в обустройстве общественных пространств в стесненных условиях городской среды. Данную задачу возможно решить путем обустройства эксплуатируемых кровель жилых и общественных зданий. При этом необходимо уделить особое внимание тепло- и гидроизоляции системы, так как в таком случае она воспринимает повышенные статические и динамические нагрузки. Для повышения срока службы эксплуатируемой крыши применяют кровельные системы инверсионного типа, располагая гидроизоляцию под слоем теплоизоляции с целью защиты гидроизоляционного ковра от воздействий окружающей среды. Такая конструкция позволяет предохранить гидроизоляционный ковер от воздействия ультрафиолетовых лучей, перепадов температур, механических повреждений и циклов замораживания-оттаивания [1].

Инверсионные кровли получают все более широкое распространение в североевропейских странах, таких как Норвегия, Швеция и Финляндия [2]. Однако в России проектировщики довольно редко прибегают к подобным проектным решениям в силу их малой изученности.

Согласно СП 17.13330.2017 [3], теплоизоляцию плоских инверсионных кровель необходимо предусматривать из плитных материалов в один слой с водопоглощением не более 0,7% по объему за 28 суток и прочностью на сжатие не менее 100 кПа. При этом, расчетную толщину теплоизоляционного слоя необходимо увеличивать на 10% из-за вероятности потери тепла при попадании воды в стыки плит, что может привести к образованию конденсата [4]. Не допускается механическое крепление слоев гидро- и теплоизоляции.

*Цель работы* – определение оптимального состава инверсионной кровельной системы в климатических условиях г. Санкт-Петербург.

*Метод исследования* – теоретическая оценка целесообразности применения инверсионных кровельных систем различного состава в условиях г. Санкт-Петербург.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- оценка российского рынка готовых кровельных систем;
- выбор материалов для исследования;
- проведение сравнительного анализа различных вариантов устройства инверсионной кровли на основе механических, физических и прочих характеристик.

В ходе теоретического исследования для сравнения были выбраны две инверсионные кровельные системы от российского производителя «Технониколь»: ТН-КРОВЛЯ Тротуар (рис. 1а) и ТН-КРОВЛЯ Барьер Тротуар (рис. 1б) [5]. Обе системы имеют схожий состав, за исключением материалов гидроизоляционных ковров. В первой системе гидроизоляция представлена двумя слоями битумно-полимерной мембраны «Техноэласт ЭПП», во второй – одним слоем ПВХ-мембраны «LOGICBASE V-SL». В качестве теплоизоляционного слоя в обоих случаях используются плиты экструзионного пенополистирола «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF».

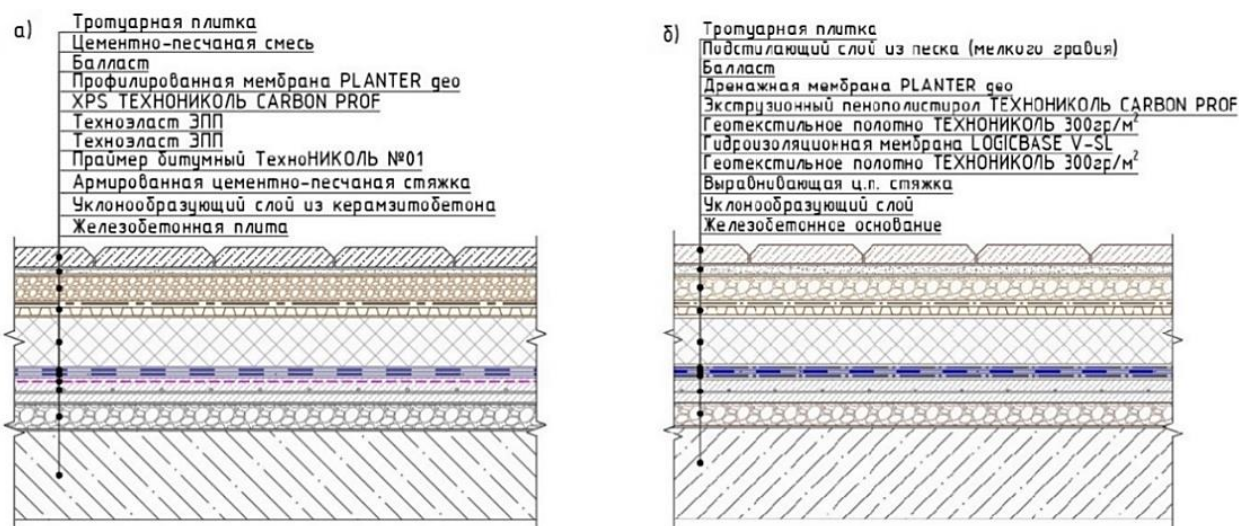


Рис. 1

В ходе исследования была составлена сравнительная таблица (таблица 1) различных характеристик двух видов гидроизоляционных ковров.



Таблица 1 – Характеристики инверсионных кровельных систем

№ п/п	Параметр сравнения	Битумно-полимерная мембрана «Техноэласт ЭПП»	ПВХ-мембрана «LOGICBASE V-SL»
1	Толщина 1 слоя, мм	4,0	1,5
2	Масса 1 м <sup>2</sup> 1 слоя, кг	5,0	2,0
3	Размер рулона (длина × ширина), м	10 × 1	20 × 2,05
4	Гибкость на брусе радиусом 5 мм, °С	не более -25	не более -45
5	Сопротивление динамическому продавливанию, мм	не менее 2000	не менее 700
6	Сопротивление статическому продавливанию, кг	не менее 20	не менее 20
7	Технология монтажа	Наплавление при помощи ручной горелки	Сварка соединительных швов горячим воздухом
8	Наружная температура при монтаже, °С	от -5 до +25	от +5 до +45/от -10 до +15 (в зависимости от марки материала)
9	Потенциальный срок службы, лет	25-30	100
10	Цена за 1 м <sup>2</sup> 1 слоя [6], руб.	391,00	1058,30
11	Стоимость монтажа [7], руб./м <sup>2</sup>	120,00	200,00
12	Стоимость ремонта [7], руб./м <sup>2</sup>	440,00	95,00

На основе таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

- общая масса 1 м<sup>2</sup> двухслойной гидроизоляции из битумно-полимерной мембраны составляет 10 кг, в то время как масса гидроизоляции из ПВХ-мембраны (с учетом необходимости устройства двух разделительных слоев из геотекстиля массой 0,3 кг/м<sup>2</sup> в системе «ТН-КРОВЛЯ Барьер Тротуар») – 2,6 кг, что в 3,8 раз меньше;
- мембрана «LOGICBASE V-SL» в сравнении с мембраной «Техноэласт ЭПП» сохраняет свою прочность и гибкость при более низких температурах. Средняя температура воздуха в Санкт-Петербурге в наиболее холодные месяцы составляет -7,9°С...-10,4°С [8], следовательно, использование полимерной мембраны позволяет производить работы по монтажу кровельной системы в более холодный период года;
- оба образца имеют одинаковое сопротивление статическому продавливанию, однако сопротивление динамическому продавливанию битумно-полимерной мембраны в 2,8 раз больше, чем сопротивление ПВХ-мембраны. При этом, в инверсионных кровлях гидроизоляция надежно защищена верхними слоями от воздействий внешней среды, соответственно, данный фактор теряет свою значимость;
- монтаж ПВХ-мембраны, в отличие от битумно-полимерной мембраны, исключает использование открытого пламени, что является более безопасным методом для рабочих. При этом размеры одного рулона «LOGICBASE V-SL» в два раза превышают «Техноэласт ЭПП», в связи с чем увеличивается скорость монтажа ПВХ-мембраны, так как уменьшается количество стыков;
- заявленный производителем срок службы мембраны «LOGICBASE V-SL» в 3–4 раза больше срока службы «Техноэласт ЭПП»;
- цена 1 м<sup>2</sup> 1 слоя «Техноэласт ЭПП» в 2,7 раз ниже, чем «LOGICBASE V-SL». С учетом необходимости огрунтовки поверхности битумным праймером «ТЕХНОНИКОЛЬ №01» (70,9 руб./м<sup>2</sup>) перед монтажом мембраны «Техноэласт ЭПП» и устройства двух разделительных слоев из геотекстиля (145 руб./м<sup>2</sup>) при использовании мембраны «LOGICBASE V-SL», общая стоимость 1 м<sup>2</sup> двухслойного гидроизоляционного ковра из битумно-полимерной мембраны составляет 852,9 руб., а однослойного ковра из ПВХ-мембраны – 1348,3 руб., что больше на 63,3%;

- стоимость монтажа 1 м<sup>2</sup> ПВХ-мембраны (без учета дополнительных работ) на 40% больше битумно-полимерной мембраны;
- стоимость ремонта 1 м<sup>2</sup> ПВХ-мембраны на 78,7% меньше битумно-полимерной мембраны.

*Выводы.* При обустройстве инверсионной кровли важную роль играет качество гидроизоляционного ковра, так как его ремонт осложняется необходимостью демонтажа всех вышележащих слоев кровельной системы. В связи с чем применение ПВХ-мембраны в качестве гидроизоляции инверсионной кровли более предпочтительно, так как она имеет более длительный срок службы и более пригодна для использования в климатических условиях Санкт-Петербурга. Более того, кровля с ПВХ-мембраной оказывает меньшую нагрузку на основание и отличается большей скоростью и безопасностью монтажа. При этом уменьшается возможность ошибок и неточностей работы за счет минимизации количества стыков материала. Однако стоимость материалов и монтажа ПВХ-мембраны значительно выше битумно-полимерной мембраны. При этом, стоимость обслуживания и ремонта инверсионной кровли с ПВХ-мембраной ниже, в связи с чем необходимы дополнительные исследования по определению срока окупаемости подобных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Захаров А.В., Сычкина Е.Н., Пономарев А.Б. Энергоэффективные конструкции в строительстве // Пермь: изд-во Пер. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 103 с.
2. Tugushev A. Inverted roofs in North, Finland and Russia // LAB University of Applied Sciences, 2021. – 82 p.
3. СП 17.13330.2017 Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76.
4. Misar I., Novotny M. Defects and behavior of inverted roof from the point of building physics // MATEC Web of conferences, 2017, vol. 93.
5. ТехноНАВИГАТОР – Технический портал ТехноНИКОЛЬ [Электронный ресурс]. URL: <https://nav.tn.ru/> – (Дата обращения 04.03.2022).
6. Официальный интернет-магазин ТехноНИКОЛЬ [Электронный ресурс]. URL: <https://shop.tn.ru/> – (Дата обращения 04.03.2022).
7. Кровля, кровельные работы под ключ в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. URL: <https://spb.krovlyaural.ru/> – (Дата обращения 17.03.2022).
8. Характеристика климата Санкт-Петербурга – Экологический портал Санкт-Петербурга, комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=1091> (Дата обращения 17.03.2022).

УДК 624.139.55

А.А. Ринейская, Е.С. Колосов  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ПРОКЛАДКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ С МЁРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ ОСНОВАНИЯ

*Актуальность.* Нефть является значимым сырьём, её добыча и транспортировка на территории Российской Федерации часто происходит в условиях вечной мерзлоты, которая занимает 65% земель нашей страны [1]. Для транспортировки углеводородов в местах распространения вечномёрзлых грунтов существует три основных метода прокладки магистральных трубопроводов: подземный, наземный и надземный [2]. Однако чётких указаний по применению того или иного метода нет, потому как на выбор способа установки влияет множество факторов, которые необходимо учитывать [3–5].

Выявление оптимального способа прокладки магистральных трубопроводов может предотвратить возможные аварии, а также сократить расходы на устройство труб, их

эксплуатацию и ремонт. Следовательно, исследование вопросов прокладки магистральных нефтепроводов является актуальной задачей.

*Цель работы:* исследовать температурное влияние магистральных нефтепроводов на многолетнемёрзлые песчаные грунты.

*Задачи работы:*

1. Моделирование нефтепроводов трёх способов установки в мёрзлом песке в ПК PLAXIS 2D.
2. Анализ полученных глубин оттаивания, составление рекомендаций на основе исследования.

*Методы исследования.* Моделирование и расчёт температурного взаимодействия трубопровода, мёрзлого песка, мха и климата в ПК PLAXIS 2D.

Исходные данные параметров траншеи, насыпи и опор трубопроводов были приняты согласно требованиям СП 25.13330.2020, СП 36.13330.2012 и ГОСТ 31447-2012 [2, 6–7]. Теплотехнические характеристики песка, среднемесячные температуры воздуха приняты по техническому отчёту [8]. Моховый слой в данной работе был смоделирован по рекомендациям [9]. Температура нефти принята 60 °С. Схемы моделей представлены на рисунках 1, 3 и 5.

В ПК PLAXIS 2D были созданы модели нефтепроводов, установленных подземным, наземным и надземным способами в условиях мёрзлого песка, согласно схемам (см. рис.1, 3, 5) и исходным данным [2, 6–9]. Для того, чтобы произошло взаимодействие климата, мха и мёрзлого грунта, а также произошла стабилизация их температур, во всех моделях первый год рассчитывался без устройства трубопроводов и подготовительных работ (снятия растительного слоя, рытья траншеи, устройства насыпи и опор).

Полученные температурные поля через год эксплуатации представлены на рис. 2, 4 и 6.

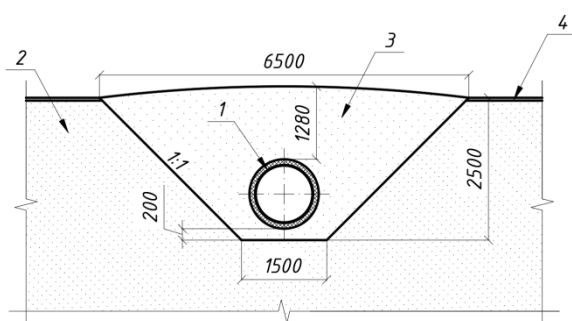


Рис. 1. Схема подземной прокладки трубопровода в песчаном мёрзлом грунте: 1 – тело трубопровода; 2 – песчаный грунт основания; 3 – песчаный привозной грунт обратной засыпки; 4 – моховый слой

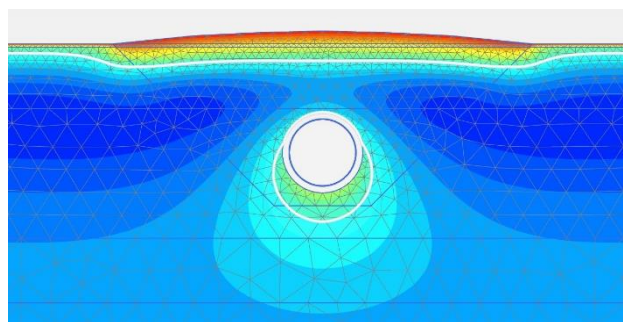


Рис. 2. Температурные поля нефтепровода, установленного подземным способом в условиях мёрзлого песка

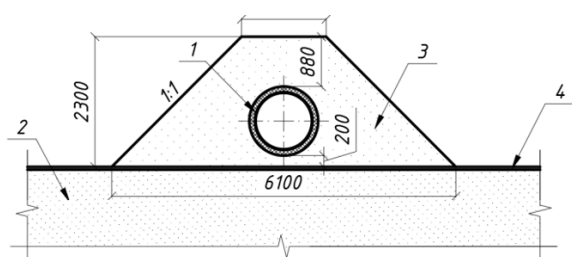


Рис. 3. Схема наземной прокладки трубопровода в песчаном мёрзлом грунте: 1 – тело трубопровода; 2 – песчаный грунт основания; 3 – песчаный привозной грунт насыпи; 4 – моховый слой

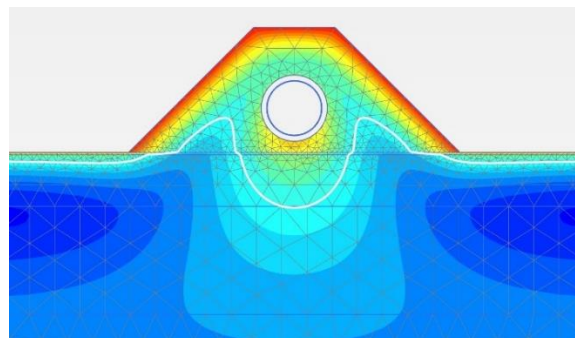


Рис. 4. Температурные поля нефтепровода, установленного наземным способом в условиях мёрзлого песка

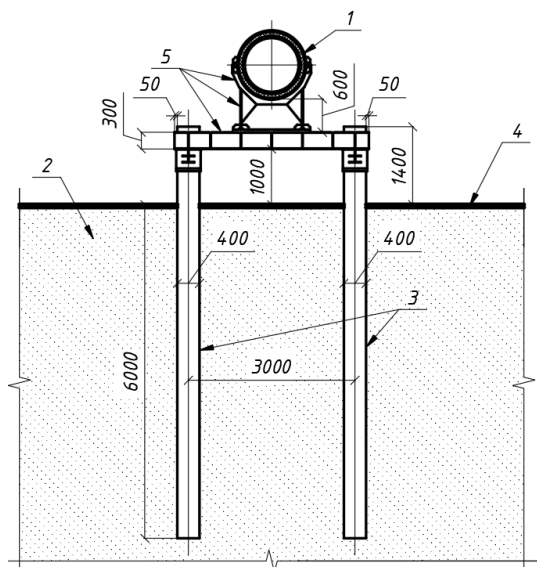


Рис. 5. Схема надземной прокладки трубопровода в песчаном мёрзлом грунте: 1 – тело трубопровода; 2 – песчаный грунт основания; 3 – опорные сваи; 4 – моховый слой; 5 – конструкция опоры

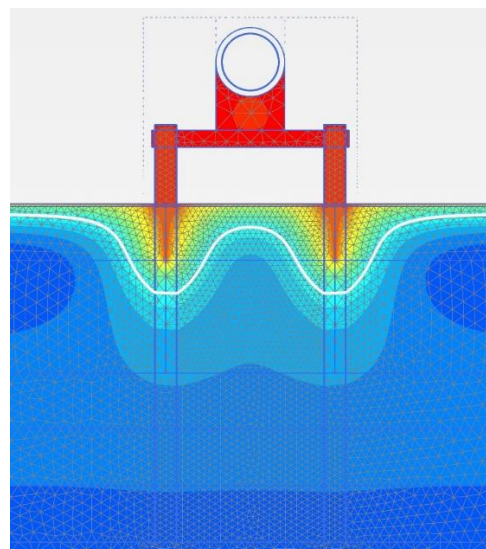


Рис. 6. Температурные поля нефтепровода, установленного надземным способом в условиях мёрзлого песка

Полученные значения глубин оттаивания мёрзлого песка в течение года эксплуатации нефтепроводов были проанализированы и сведены в график (рис. 7).

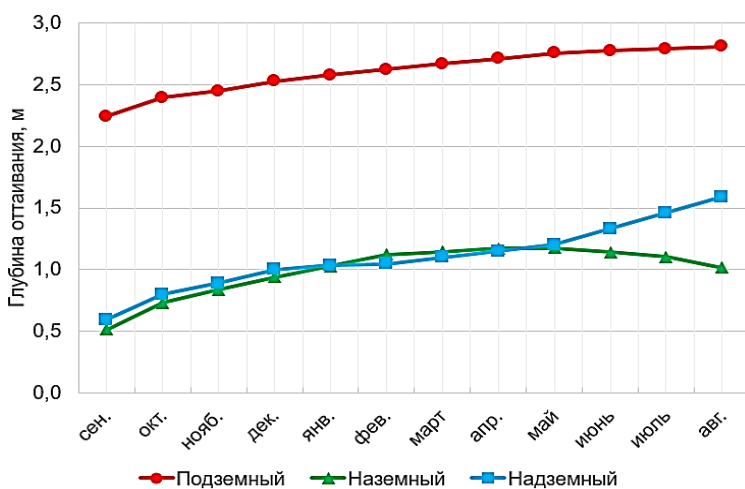


Рис. 7. График изменения глубины оттаивания в течение года для нефтепроводов, установленных тремя разными способами в условиях мёрзлого песка

*Выводы:*

1. Характер изменения глубины оттаивания наземного и надземного способов прокладки нефтепроводов в первые месяцы эксплуатации схож, но с наступлением контрастно тёплых месяцев глубина протаивания у надземного метода начинает активно возрастать, а при наземном методе даже уменьшается. По мнению авторов, это явление объясняется тем, что стальные конструкции опор являются мостиками холода и, нагреваясь, передают тепло в мёрзлый грунт.

2. В наземном методе в течение холодных месяцев грунт

постепенно охлаждается под воздействием климата, пока тепловая энергия от трубопровода воздействует на область под ним и протапливает её. К моменту наступления тёплого периода года у грунта основания накапливается достаточно энергии, которая гасит тепловое излучение от нефтепровода и ореол протаивания уменьшается.

3. Минимальное значение глубины оттаивания мёрзлого песка для нефтепроводов через год их эксплуатации наблюдается при наземном способе прокладки, так как и мёрзлый грунт, и моховый слой при таком методе остаются ненарушенными. Соответственно, наземная технология прокладки нефтепроводов является наиболее эффективной.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. / [А. В. Бородко и др.]; под ред. А.В. Бородко. – М.: Роскартография, 2007. – 495 с.
2. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. – М.: Минстрой РФ, 2021. – 145 с.
3. Муталова, Л.М. Анализ проблем прокладки нефтепроводов на вечной мерзлоте / Л.М. Муталова, Ф.М. Мустафин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 5–6. – С. 20–22.
4. Гаррис, Н.А. Третий принцип использования мерзлых грунтов в качестве основания трубопроводов / Н.А. Гаррис, Э.А. Закирова // Территория «Нефтегаз». – 2017. – № 5. – С. 70–78.
5. Харионовский, В. В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях / В.В. Харионовский. – Л.: Недра, 1990. – 180 с.
6. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. – М.: Госстрой, 2013. – 93 с.
7. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. – 32 с.
8. Технический отчёт по выполненным инженерно-геологическим изысканиям. Больничный комплекс на 22 койки с поликлиникой на 104 посещений в смену в с. Хонуу Момского района. – ООО «Стандартпроект», 2020. – 80 с.
9. Тишков, А.А. Влияние синузий мохообразных на деятельный слой арктических почв / А.А. Тишков, Н.И. Осокин, А.В. Сосновский // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – №3. – С. 39–46.

УДК 624.139.53

А.А. Ринейская, Н.Б. Колосова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОХОВОГО СЛОЯ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СПОСОБЕ УСТАНОВКИ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

*Актуальность.* Вопросы, связанные с технологией подземного устройства магистральных трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, в настоящее время являются актуальными, поскольку в практике существует достаточно примеров повреждений труб при эксплуатации (всплытие, смещение от оси и т.д.), связанных с величиной глубины оттаивания грунта [1–3].

Учитывая допущение, что наличие слоя мха на поверхности обратной засыпки траншеи может предотвратить аварии трубопровода, исследование его влияния на глубину оттаивания весьма актуально.

*Цель работы:* исследовать температурное влияние восстановления мохового слоя на поверхность обратной засыпки при подземном методе устройства магистральных трубопроводов в многолетнемёрзлых грунтах.

*Задачи работы:*

1. Моделирование подземных трубопроводов в мёрзлых грунтах в ПК PLAXIS 2D.
2. Анализ полученных глубин оттаивания, составление рекомендаций на основе исследования.

*Методы исследования.* Моделирование и расчёт температурного взаимодействия трубопровода, мёрзлого грунта, мха и климата в ПК PLAXIS 2D.

Исходные данные параметров траншеи и трубопроводов были приняты согласно требованиям СП 25.13330.2020, СП 36.13330.2012 и ГОСТ 31447-2012 [4–6], а теплотехнических характеристик грунтов, среднемесячных температур воздуха – по техническим отчётам [7–8]. Характеристики мха – согласно работе Тишкова А.А. и других [9].

Схема моделей на примере мёрзлого песка представлена на рисунке 1 (схема для моделей стандартного подземного метода без восстановления мха аналогична и отличается лишь отсутствием мохового слоя на поверхности обратной засыпки). Температура нефти была принята +60 °С, а газа: +20 °С.

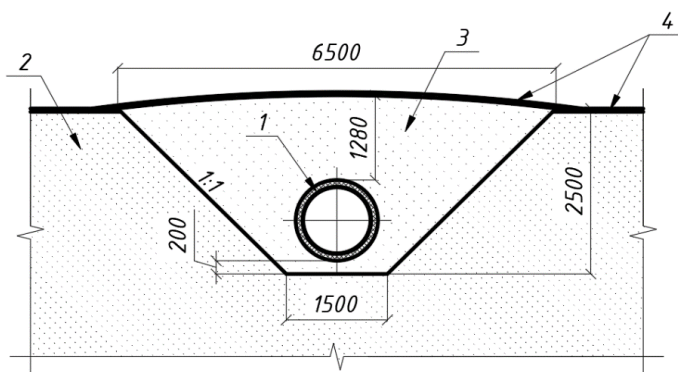


Рис. 1. Схема подземной прокладки трубопровода в песчаном мёрзлом грунте с восстановленным моховым слоем:  
 1 – тело трубопровода; 2 – песчаный грунт основания; 3 – песчаный привозной грунт обратной засыпки; 4 – моховый слой

В ПК PLAXIS 2D были созданы модели нефте- и газопроводов, установленных подземным способом в условиях мёрзлых песка, супеси, суглинка и глины без восстановленного мохового слоя и с ним, согласно схеме (рис.1) и исходным данным [4–9]. Первый год был рассчитан без учёта траншеи и трубопроводов, чтобы сформировалось температурное взаимодействие между грунтом, мхом и наружным воздухом. Далее были установлены трубопроводы, которые эксплуатировались на протяжении ещё одного года.

В результате расчётов были получены температурные поля после года эксплуатации магистральных трубопроводов. Распространение температур на примере нефтепровода без восстановленного мохового слоя и с ним можно видеть на рисунках 2–5, а и б соответственно.

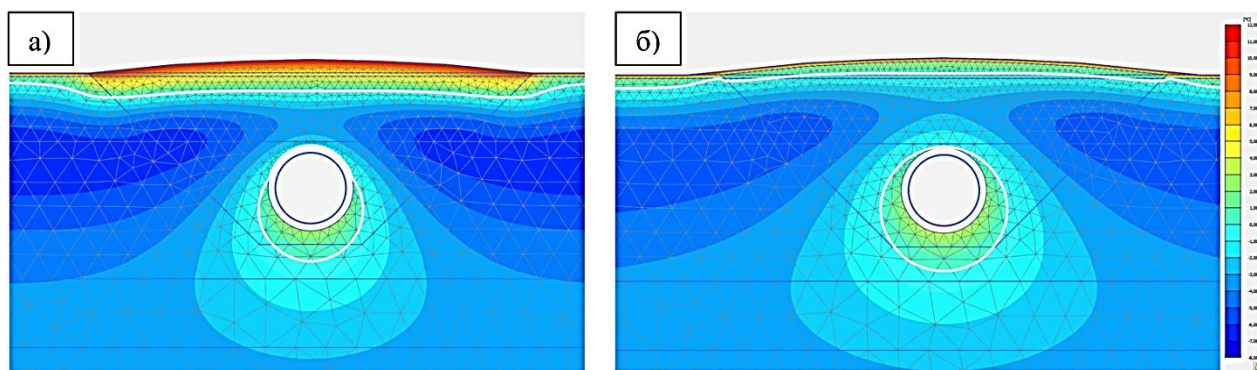


Рис. 2. Температурные поля подземного нефтепровода в условиях мёрзлого песка а) без восстановленного мохового слоя; б) с восстановленным моховым слоем

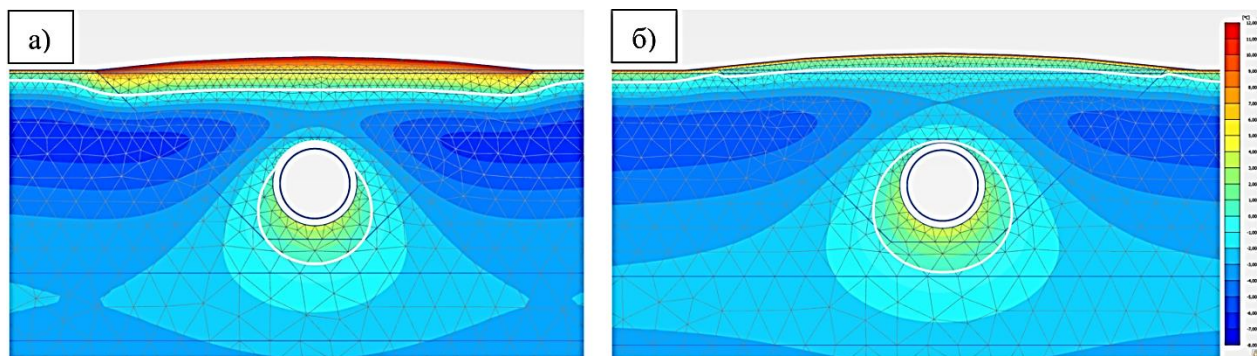


Рис. 3. Температурные поля подземного нефтепровода в условиях мёрзлой супеси а) без восстановленного мохового слоя; б) с восстановленным моховым слоем

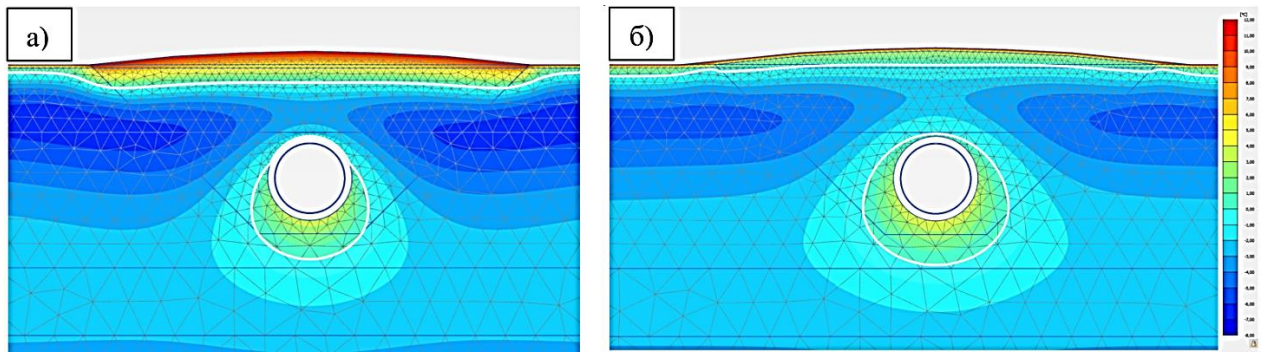


Рис. 4. Температурные поля подземного нефтепровода в условиях мёрзлого суглинка а) без восстановленного мохового слоя; б) с восстановленным моховым слоем

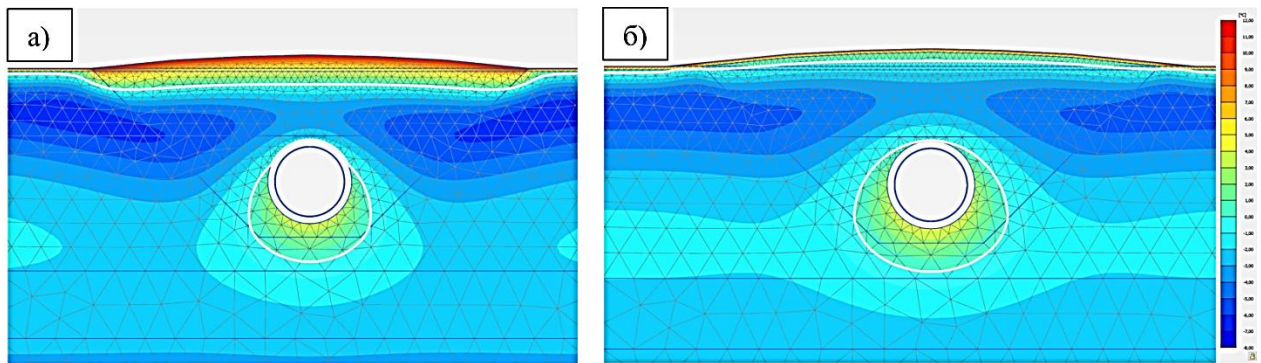


Рис. 5. Температурные поля подземного нефтепровода в условиях мёрзлой глины а) без восстановленного мохового слоя; б) с восстановленным моховым слоем

Полученные значения глубин оттаивания мёрзлых грунтов через год эксплуатации трубопроводов были проанализированы и сведены в графики (рис. 6, а, б).

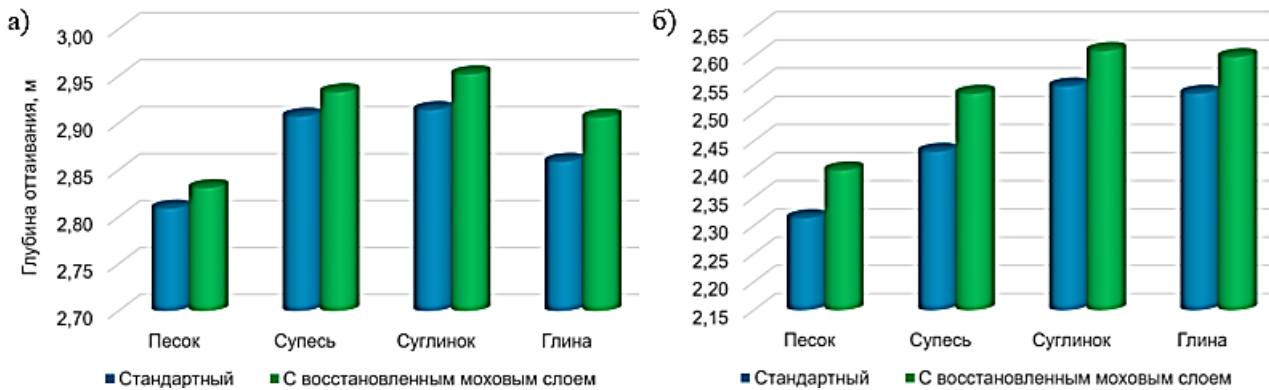


Рис. 6. Графики сравнения глубин оттаивания подземного (а) нефтепровода; (б) газопровода стандартной укладки и способа с восстановленным моховым слоем в условиях мёрзлых грунтов

**Выводы:**

1. Значения глубин оттаивания у газопроводов максимально возрастают на 4,24 %.
2. Значения глубин оттаивания у нефтепроводов возрастают незначительно (максимально на 1,64 %). Это можно объяснить переходом распространения тепла от вертикального направления к горизонтальному. В этом случае с увеличением глубины заложения нефтепровода температура мёрзлого грунта понижается, и вероятность её повышения мала.

3. Восстановление мохового слоя увеличивает глубину оттаивания грунтов и не даёт положительного эффекта, так как мох выступает в роли теплоизоляционного слоя и не позволяет грунту траншеи промерзнуть в холодный период года на значительную глубину.

4. Таким образом, восстановление растительно-мохового слоя на поверхности обратной засыпки при подземной прокладке магистральных трубопроводов не эффективно.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гаррис, Н.А. Третий принцип использования мерзлых грунтов в качестве основания трубопроводов / Н.А. Гаррис, Э.А. Закирова // Территория «Нефтегаз». – 2017. – № 5. – С. 70–78.
2. Муталова, Л.М. Анализ проблем прокладки нефтепроводов на вечной мерзлоте / Л.М. Муталова, Ф.М. Мустафин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 5–6. – С. 20–22.
3. Харионовский, В.В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях / В.В. Харионовский. – Л.: Недра, 1990. – 180 с.
4. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. – М.: Минстрой РФ, 2021. – 145 с.
5. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. – М.: Госстрой, 2013. – 93 с.
6. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.
7. Технический отчёт по выполненным инженерно-геологическим изысканиям. Том 2. Строительство поисковых скважин №№7,8, 9 Южно-Джункунского участка недр. – ООО «Навигатор», 2017. – 182 с.
8. Технический отчёт по выполненным инженерно-геологическим изысканиям. Больничный комплекс на 22 койки с поликлиникой на 104 посещений в смену в с. Хонуу Момского района. – ООО «Стандартпроект», 2020. – 80 с.
9. Тишков, А.А. Влияние синузий мохообразных на деятельный слой арктических почв / А.А. Тишков, Н.И. Осокин, А.В. Сосновский // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2013. – №3. – С. 39–46.

УДК 69.003.13

М.Д. Рожина, М.А. Сафошкин, Г.А. Бардина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ИНВЕСТОРОВ ПО СОХРАНЕНИЮ ОКН В РОССИИ

В России большое количество объектов культурного наследия (далее ОКН) нуждаются в реставрационных работах. Интерес инвесторов к таким объектам недвижимости крайне низок. Здания разрушаются и есть риск их полной утраты.

*Цель работы* определить приоритетные виды стимулирования частных инвесторов к сохранению ОКН, а также оценить эффективность существующих программ, действующих в настоящее время в России.

Анализ зарубежного опыта сохранения архитектурного наследия показал, что наиболее эффективным механизмом является государственно-частное партнёрство – ГЧП [1]. ГЧП предполагает обоюдовыгодную совместную деятельность публичного и частного партнеров, которая позволяет публичному партнеру более эффективно решать социально-экономические цели и задачи, а с другой стороны – способствует повышению конкурентоспособности организаций на внутреннем и внешнем рынке. Такая форма взаимодействия сторон в вопросе сохранения наследия играет неопределимую роль, так как инвестору предлагаются более выгодные льготные условия, а государство сохраняет наследие страны посредством внебюджетного финансирования. Федеральный закон “Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации” от 25.06.2002 № 73-ФЗ статьей 13 предусматривает для частных инвесторов определенные преференции для



осуществления ГЧП, а именно льготную арендную ставку, право на ее уменьшение на сумму произведенных затрат или части затрат либо вовсе компенсацию затрат [2]. Иными словами, определенные льготы для частных инвесторов в российском законодательстве существуют, но как именно их получить и на каких конкретных условиях закон не указывает, так как ссылается на органы местного самоуправления.

Для изучения степени вовлеченности регионов в проблему, а также уточнения эффективности местных программ по сохранению ОКН, а именно программы «1 рубль за 1 м<sup>2</sup>» [3], были направлены запросы в администрации нескольких городов РФ: Астрахань, Белозерск, Великий Устюг, Владимир, Выборг, Коломна, Ростов-на-Дону, Тюмень, Чистополь, Ярославль. По данной программе ОКН предоставляются инвестору в долгосрочную аренду на 49 лет по льготной ставке 1 рубль за 1 м<sup>2</sup>, которая начинает действовать после реализации инвестором работ по реставрации. В каждом регионе условия могут несколько отличаться, но, в целом, общая концепция программы остается неизменной. Данная программа введена в Москве с 2012 г, в Санкт-Петербурге с 2018 г., а в регионах осуществляется только последние пару лет.

Несмотря на то, что часть ответов были получены, они не содержали конкретных результатов, ввиду недавнего срока введения льготных условий. Работы по реконструкции ОКН еще не были завершены либо инвесторы не берутся за предлагаемые архитектурные памятники. Низкая заинтересованность инвесторов, вероятно, объясняется недостатком информации на многих этапах процесса: о реализации самой программы и техническом состоянии объектов (невозможность прогнозирования затрат) и их специфики (нужны квалифицированные кадры).

Согласно статистике, на данный момент программа «1 руб. за 1 м<sup>2</sup>» смогла поддержать только 0,06% объектов, которые нуждаются в реставрации. Такими темпами, в стране перспектива потери примерно 50% ОКН за следующие 10-20 лет.

По результатам запросов в администрации можно сказать, что многие регионы уже обеспокоены проблемой сохранения наследия и предпринимают определенные действия в виде введения специальных государственных программ, которые сейчас не пользуются большим спросом среди частного бизнеса.

Для оценки заинтересованности инвесторов был проведен опрос предпринимателей в разных регионах. Так, например, при общении с Золотаревым Михаилом выяснилось (директор ООО «Союз-Прогресс» в г. Киров), что бизнесмен не имеет никаких льгот несмотря на то, что им были отреставрированы 12 ОКН полностью за собственные средства, и которые сейчас сдаются в аренду под кафе, офисы, медицинские центры и т.д., то есть под объекты малого и среднего бизнеса. Программ поддержки инвесторов в регионе нет. Среди существенного числа проблем инвестор особенно отмечает неповоротливость местной администрации. Так, например бизнесмен на протяжении 6–7 лет находится на стадии переговоров с администрацией по вопросу реставрации «Питейного дома» в г. Кирове. Объект находится уже в аварийном состоянии [4]. Администрация города заявляет, что здание необходимо для дальнейшей эксплуатации в качестве музея, однако средства в бюджете пока для этого отсутствуют.

Несколько иная ситуация обстоит в регионах, где программы по поддержке инвесторов есть. Павел Мазин и Евгений Калугин – предприниматели и участники программы «Аренда за рубль» в городе Уфе и Омске соответственно. Конечно, они столкнулись с определенными трудностями, но все же оба предпринимателя отмечают, что условия программы очень выгодные и продолжают в ней участвовать и дальше.

Евгений Калугин из Омска использует здание в качестве офиса для своей же компании. Так затраты на текущий ремонт составляют всего 100 000 руб. в год, вместо аренды такого же помещения за 1,5 млн рублей в этом же районе города. Павел Мазин из Уфы сдает здание в

субаренду. Благодаря программе инвестор платит за аренду здания всего 1300 руб. в год, а сдает площадь уже в субаренду по рыночной ставке – 1 млн рублей в год.

Внешний вид сохраненных объектов вышеописанными предпринимателями приведен на рис. 1–2 [5–6].



Рис. 1. Дом 5 на ул. Пушкина до и после проведения работ по восстановлению Е. Калугиным

Каждый из инвесторов больше всего отметил дефицит информации о таких объектах на всех этапах – об их состоянии, процедуре взаимодействия сторон и восстановления непосредственно, а также уровня инвестиционной привлекательности.

Итак, на основании опыта инвесторов можно сделать вывод о том, что программы, предполагающие льготные условия аренды ОКН, достаточно эффективны и привлекательны для инвесторов, особенно в случае с небольшими объектами. Если же преференции и программы в регионе отсутствуют, то сохранение наследия становится практически нереализуемой задачей. Среди предпринимателей требуется активное освещение проблемы сохранения архитектурного наследия, а также специальных программ, льготные условия которых, возможно, должны иметь больше вариаций для объектов разных типов.



Рис. 2. «Образцовая хлебопекарня Николая Даниловича Егоршина купца I гильдии 1905 г.» в Уфе до и после реставрации П. Мазиным

В продолжение данного исследования планируется сформулировать предложения по изменению законодательства Российской Федерации и определить типологические особенности ОКН различного назначения с уточнением их приоритетного приспособления под современное использование с учетом экономической и социальной значимости.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблемы инвестирования в объекты культурного наследия: Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года / сост.: М.Д. Рожина, Г.А. Бардина – СПб.: СПбПУ, 2021. – 181–184 с.

2. Федеральный закон от 25.06.2002 №73-ФЗ “Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации”.
3. Что такое программа “1 рубль за метр”? // Администрация Санкт-Петербурга. Официальный сайт: [сайт], – URL: <https://stroj.mos.ru/infographics/proghramma-1-rubl-za-1-kvadratnyi-mietr> (дата обращения 20.03.2021)
4. В Кирове закрыли «Приказную избу». Что теперь будет с экспозицией и сотрудниками музея // Интернет-портал «Свойкировский.рф» [сайт], – URL: <https://kirov-portal.ru/news/poslednie-novosti/v-kirove-zakryli-prikaznyu-izbu-chto-teper-budet-s-ehkspoziciej-i-sotrudnikami-muzeya-28362/> (дата обращения 20.03.2021).
5. Как я восстановил деревянный дом 1893 года и сделал в нем офис // Тинькофф журнал [сайт], – URL: <https://journal.tinkoff.ru/dom-za-rubl/> (дата обращения 20.10.2021).
6. В Уфе бизнесмен восстановил дореволюционную пекарню. Показываю, что получилось // Яндекс Дзен [сайт], – URL: [https://zen.yandex.ru/media/ed\\_ns/v-ufe-biznesmen-vosstanovil-dorevoliucionnuju-pekarniu-pokazyvaiu-chto-poluchilos-61a230498e38fa39490a5cc6](https://zen.yandex.ru/media/ed_ns/v-ufe-biznesmen-vosstanovil-dorevoliucionnuju-pekarniu-pokazyvaiu-chto-poluchilos-61a230498e38fa39490a5cc6) (дата обращения 20.01.2022).

УДК 692.4

В.М. Саматова, О.С. Гамаюнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫСОТНОГО БИЗНЕС-ЦЕНТРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЗЕЛЕНАЯ КРОВЛЯ»

Применение технологии «зеленая кровля» является одним из способов снизить негативное влияние строительства на окружающую среду и обеспечить комфортные условия для жизни и деятельности человека. Для офисных, административных и общественных зданий «зеленая кровля» – один из способов привлечения клиентов [1, 2].

*Цель работы* – выполнить сравнительный анализ влияния технологии «зеленая кровля» на энергоэффективность здания.

Для достижения поставленной цели на примере высотного здания бизнес-центра, расположенного в г. Санкт-Петербург, был произведен теплотехнический расчет для двух типов кровельных конструкций: стандартная кровля и «зеленая кровля». Структурная схема исследуемых кровельных покрытий с толщинами слоев представлена на рис. 1. Энергоэффективность здания определяется согласно требованиям, изложенным в [3] и методике, приведенной в статье [4].

На первом этапе теплотехнического расчета согласно прил. Е и прил. Т [3] для двух типов кровельных покрытий были определены: коэффициенты теплопроводности  $\lambda_B$  отдельных слоев конструкций, приведенное  $R_0$  и нормируемое  $R_0^{\text{норм}}$  сопротивление теплопередаче. По аналогии вычислены требуемые и расчетные сопротивления теплопередаче для всех ограждающих конструкций здания бизнес-центра (табл. 1).

В соответствии с [5, 6] описаны климатические характеристики района строительства, без которых невозможно определение нормируемого сопротивления  $R_0^{\text{норм}}$  и допустимости применения по теплотехническим показателям выбранных ограждающих элементов здания.

На основании расчетов выявлено, что приведенное сопротивление теплопередаче «зеленой» кровли практически в 1,5 раза выше, чем у стандартной кровли. Такое расхождение вызвано наличием большего количества слоев в конструкции «зеленая кровля» и высокими показателями коэффициентов теплопроводности  $\lambda_B$  отдельных слоев конструкций.

На втором этапе исследования был произведен расчет годового расхода тепловой энергии на отопление  $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$  для двух типов кровель с учетом того, что потери тепловой энергии осуществляются только через ограждающие конструкции.

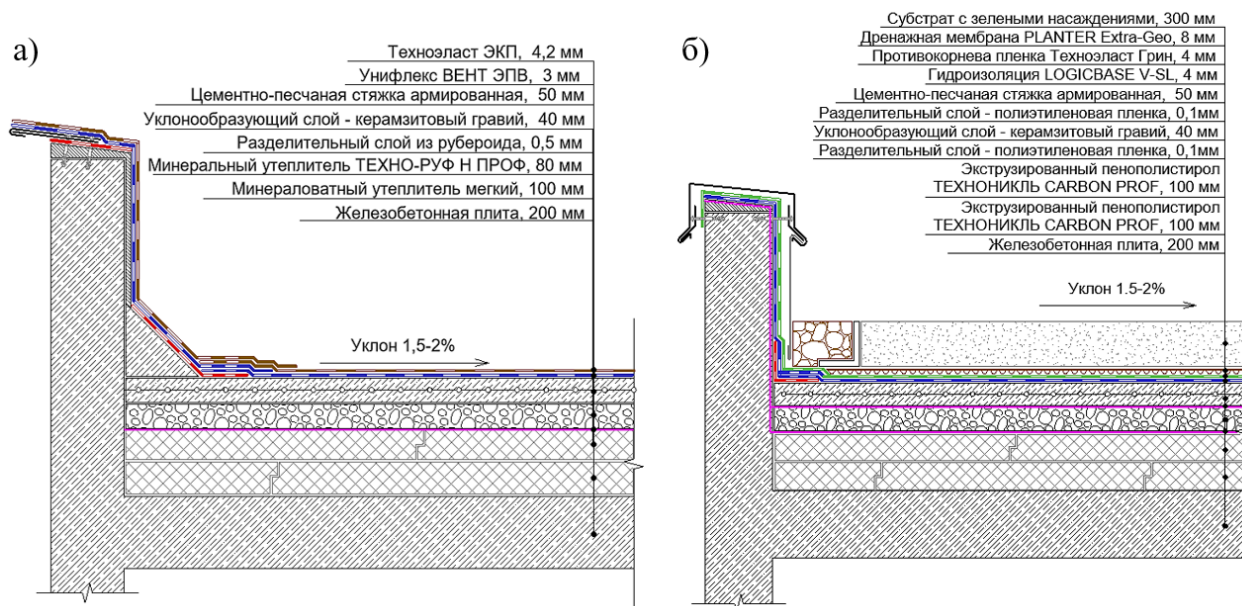


Рис. 1. Устройство кровли: а – стандартная кровля; б – «зеленая» кровля

Таблица 1 – требуемые и расчетные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемое сопротивление теплопередаче $R_{i^{тp}}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт	Расчетное сопротивление теплопередаче $R_i$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт
1	Наружные стены:		
	вентилируемый фасад – $A_{w1}$ стекло-прозрачный фасад – $A_{w2}$	2,48 0,41	3,25 0,69
2	Окна, двери на эксплуатируемые кровли – $A_f$	0,41	1,1
3	Входные наружные двери:		
	стекло-прозрачные – $A_{ed1}$ металлические – $A_{ed2}$	0,25 1,48	0,4 1,1
4	Покрытие («зеленая» кровля) – $A_c$	3,305	7,08
4.1	Покрытие (типовая кровля)	3,305	4,78
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом – $A_f$	2,79	2,99
6	Полы по грунту – $A_{f1}$	3,305	6,89
6.1	Стены заглубленных помещений	2,47	3,46

По полученным значениям годовых расходов  $Q_{от}^{год}$  (Гкал) и стоимости 1 Гкал тепловой энергии, были найдены экономические затраты на отопление в первое полугодие 2022 г. Согласно [7] стоимость 1 Гкал тепловой энергии для Санкт-Петербурга равна 1784,87 руб. Результаты расчета годовых затрат тепловой энергии приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Годовые затраты тепловой энергии за отопительный период

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Годовой расход тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, $Q_{от}^{год}$		Затраты тепловой энергии на отопление здания руб./год
		кВт·ч/год	Гкал/год	
1	Бизнес-центр с применением «Зеленой кровли»	2306160,89	1983,30	3539929,75
2	Бизнес-центр с применением типовой кровли	2316552,37	1992,24	3555880,55
-	Разница значений между п.2 и п.1	10391,48	8,94	15950,80

Для рассматриваемого высотного здания бизнес-центра экономические затраты на отопление при стандартном кровельном покрытии превышают затраты при использовании технологии «зеленая кровля» на 15950,8 руб.

Таким образом, при расчёте энергоэффективности для высотного здания с двумя типами кровельных покрытий, было выявлено, что использование технологии «зеленая» кровля не только сокращает расход тепловой энергии за отопительный период, но и уменьшает затраты на отопление. Следовательно, применение технологии «зеленая кровля» увеличивает теплоэнергоэффективность здания и позволяет сократить финансовые затраты.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Саматова В.М., Гамаюнова О.С. Энергетическая эффективность зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. – 2021. – № 4(4). – С. 24–32. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/24-32.pdf>
2. Пашкевич В.А. Зеленое строительство и энергоэффективность Лахта Центра // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 12-19. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/1/12-19.pdf>
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012. 100 с.
3. Копылова А.И., Богомолова А.К., Немова Д.В. Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10 (49). С. 20–34.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* – М.: Минстрой России, 2020. 153 с.
5. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Москва Стандартинформ, 2013. 15 с.
6. Распоряжение Комитета по тарифам СПб от 20.12.2021 № 221-р. Об установлении цен (тарифов) в сфере теплоснабжения открытого акционерного общества «Территориальная генерирующая компания №1» (Невский филиал, СПб), на территории Санкт-Петербурга на 2019–2023 гг. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ\\_kom/documents/npa/29363/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ_kom/documents/npa/29363/) (дата обращения: 11.03.2022).

УДК 692.232.45

М.А. Семенов, Т.Н. Солдатенко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МЕДИАФАСАДА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

*Цель работы* – выбрать систему медиафасада для высотного здания.

Повсеместное распространение медиаобъектов, их активное внедрение в городское пространство, а также качества, направленные на формирование коммуникаций и воздействующие на человека, стали причинами возникновения различных проблем в современной практике. Анализ объектов медиа-архитектуры позволил выделить некоторые негативные последствия воздействия этих объектов в различных направлениях [1].

Медиаархитектура может влиять как на внутреннюю структуру здания, так и на окружающее городское пространство. Часто эти проблемы связаны с освещением и излишним энергопотреблением медиафасада. Важно при проектировании здания с медиафасадом учитывать качество освещения внутри интерьера, так как медиаэлементы фасада могут препятствовать проникновению естественного света внутрь помещения.

Одним из важных аспектов проектирования зданий с медиафасадами является достижение визуального комфорта находящихся внутри здания людей. Для того чтобы уменьшить световое воздействие на внутреннее пространство здания, необходимо использование специальных стекол с возможностью регулировки уровня прозрачности. Такое стекло становится матовым в то время, когда включается медиафасад, к примеру ночью.

Не менее значительным является визуальное воздействие объекта медиаархитектуры на городское пространство и людей снаружи здания. Динамический характер транслируемых визуальных образов могут оказывать негативное психологическое влияние на население, находящееся в непосредственной близости [2].

Кроме того, важно учитывать тот факт, что медиафасад абсолютно неприменим для некоторых городских зон (жилых и т.д.) и может использоваться только в тех районах городов, где располагаются коммерческие, общественно-развлекательные здания и общественные пространства.

В настоящее время наиболее распространены дисплейные медиафасады. Они подразделяются на кластерные (пиксельные), сетчатые, модульные, акриловые и реечные [3].

Пиксельные медиафасады представляют собой систему стальных тросов с герметичными светодиодными кластерами. За счет своей конструкции данный вид медиафасада обладает значительной массой, в отличие от сетчатой системы, которая помимо маленького веса обладает еще и большой гибкостью [4].

Модульный медиафасад обеспечивают наиболее четкое и яркое изображение на более близких расстояниях. Структура данного медиафасада представляет собой систему корпусов со встроенными светодиодами, припаянными к печатной плате. Плата оснащена индивидуальным блоком питания и охлаждающим элементом.

Полной противоположностью модульного медиафасада, который обладает не только большим весом, но и нулевой прозрачностью, является акриловый медиафасад. Акриловый медиафасад собирается из отдельных кабинетов, представляющих собой стеклопакеты со светоотражающим покрытием. Между листами интегрированы взаимозаменяемые светодиодные SMD кластеры. Светодиоды коммутируются при помощи невидимых человеческому глазу проводников. В кромку стеклопакета вмонтирован кабель питания [5].

Еще одна разновидность медиафасадной системы – реечный медиафасад. Конструкция представляет собой светодиоды, которые закреплены на металлических ламелях.

Также, кроме вышеперечисленных проблем, остается нерешенным вопрос об ограниченности режима работы медиафасада. Светодиоды блекнут при солнечном свете, что негативно сказывается на качестве транслируемой картинке в дневное время. Иными словами, днём большая часть светодиодных медиафасадов не работает. Поэтому в светлое время суток конструкции медиафасадов становятся частью архитектурного решения здания. Ввиду ограниченности внешнего вида кластерные или сетчатые медиафасады не всегда легко вписать в общую концепцию внешнего облика здания, так как корпуса светодиодов выполняются в белом или черном исполнении, в отличие от стекол со встроенными светодиодами, которые позволяют интегрировать индивидуальное дизайнерское решение в конструкции здания или на выбранные элементы фасада (например, можно использовать окрашенное стекло или стекло с шелкографией).

Путем анализа сайтов производителей [6], технической документации и существующих технических карт на устройство медиафасадов была составлена сравнительная таблица каждого вида медиафасадной системы (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение медиафасадных систем

Медиафасадная система	Кластерная	Сетчатая	Модульная	Акриловая	Реечная
Яркость, Кд/ м <sup>2</sup>	1500	5000	9000	7500	7000
Температура эксплуатации	от -40°С до +40°С	от -40°С до +40°С	от -40°С до +40°С	от -40°С до +50°С	от -40°С до +40°С
Степень защиты	IP65	IP65	IP30-68	IP20	IP65
Срок службы	8–10 лет	8–10 лет	8–10 лет	10–12 лет	8–10 лет
Прозрачность, %	~80	~85	~0	~75–92	~50
Вес, кг/м <sup>2</sup>	~12	~7	~18	~12–13	~15
Стоимость, тыс. руб./м <sup>2</sup>	70	44	75	80	75

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод:

- реечный и модульный медиафасады обладают значительной массой;
- модульный медиафасад обладает нулевой прозрачностью и его невозможно установить перед остекленной поверхностью из-за требований по естественному освещению;
- реечный медиафасад имеет 50% прозрачность, из-за чего также могут возникнуть проблемы при расчете инсоляции помещений;
- акриловый медиафасад обладает хорошими показателями по прозрачности конструкции, однако его можно устанавливать только на остекленные поверхности изнутри помещения. Также акриловый медиафасад имеет больший срок службы;
- кластерный и сетчатый медиафасады обладает схожими характеристиками по прозрачности (80% и 85% соответственно), обладают небольшим весом;
- акриловый медиафасад обладает 90% прозрачностью. Стекла со встроенными светодиодами можно выполнить любой формы, благодаря чему можно рассматривать несколько вариантов крепления данной системы.

Таким образом, оптимальными вариантами медиафасадной системы для высотного здания являются сетчатый и акриловый медиафасад. Сетчатый фасад обладает сравнительно небольшой массой и наименьшей стоимостью. Однако по сроку службы и прозрачности данный медиафасад уступает акриловому. Следовательно, в зависимости от внешних условий расположения медиафасада и от бюджета, следует выбирать один из данных фасадов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Федоров О.П., Волкова И.Д. Медиафасады в архитектуре. Их роль и место в информационном обществе. Вестник гражданских инженеров №3. 2018;
2. Птичникова Г.А., Королева О.В., Черничкина О.В. Медиаархитектура в городском пространстве: проблемы и негативные практики. Современная архитектура мира №13. 2019;
3. Кузнецов Н.В. Конструктивные особенности применения медиафасадов в общественных зданиях различного назначения. Современные инновации №2. 2018;
4. Евтушенко А.И., Колотиенко М.А., Ковалев В.В., Турянская В.А. Внедрение медиафасадов в городское пространство: конструктивные и архитектурные решения. Инженерный вестник Дона №4. 2018;
5. Булгакова Е.А., Забегина А.Р. Современные технологии в решении архитектуры медиафасадов. Вестник МИТУ-МАСИ №2. 2018;
6. AGC-Yourglass [Электронный ресурс] / AGC Glass Europe. URL: <https://www.agc-yourglass.com>.

УДК 658.512.6

А.Д. Сиротина, Е.Б. Заводнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ ВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА

*Актуальность.* Одной из задач стратегического и тактического управления инвестиционно-строительным проектом является ввод объекта в эксплуатацию в установленный срок с минимальными трудозатратами и финансовыми вложениями [1]. В особенности это касается уникальных зданий и сооружений, к которым относятся высотные многофункциональные центры, большепролетные объекты. Завершение строительства таких проектов в директивный срок осложняется длительностью мероприятий с существованием множества задач и разноплановым использованием трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Повышается потребность в четкой организационной работе и планировании всего комплекса работ. Учитывая эффективность применения конструктивной системы из

железобетонного каркаса в строительстве уникальных объектов, также необходимо определять особенности возведения указанных зданий, их специфику работ, способов организации и совмещенности задач [2–3].

Появляется необходимость выбора технически продуманного решения не только для реализации конструктивных, архитектурных решений, но также и для организации ведения работ на всем жизненном цикле проекта. В частности, принимается решение по выбору способа составления календарного плана строительства. Решение основывается на принципе последовательности, использования аналогов, комплексности и, с приходом BIM-технологий, принципе вариативности [2].

С цифровизацией процессов в строительной сфере появляется понятие вариантного проектирования, используемое на всех этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта [4]. В результате такого метода определяется способ ведения как объекта целом, так и календарного плана, выбранного с точки зрения наибольшей эффективности и целесообразностью исполнения. Суть метода заключается в оценивании показателей выбранного принципа организации возведения объекта.

*Цель работы.* Оценка критериев оптимизации вариантного проектирования календарного плана инвестиционно-строительного проекта на примере высотного здания общественно-делового центра.

*Задачи работы.*

1. Получение исходных данных об объекте по признаку уникальности, функциональному назначению, конструктивной схеме и особенности хода реализации проекта;
2. Изучение стандартных методов составления календарных планов на возведение монолитных зданий в России;
3. Определение существующих методик разработки и оценки календарных планов строительства;
4. Оценка оптимизации вариантного проектирования календарного плана на основе существующих методик под исходный объект.

Использованы методы исследования, такие как наблюдение, описание, формализация и классификация.

Объект исследования – 28-этажный общественно-деловой Центр.

Адрес земельного участка: г. Санкт-Петербург, набережная Мартынова, участок 1, (юго-западнее пересечения с Проекторной улицей). Признак уникальности – высота более 100 м. Высота здания – 121,8 м. Проектируемое здание состоит из одной секции, включающей 28 надземных и 2 подземных этажа. Размеры здания в осях 40,0×28,0 м.

Высота подземного, первого и типового этажа – 4,2 м. Функциональное назначение здания – арендуемые под офисы помещения. Класс сооружения – КС-3. Класс функциональной пожарной опасности общественного здания – Ф4.3. Несущие конструкции здания представляют собой каркасно-монолитную конструктивную схему. Несущими монолитными элементами являются: железобетонные колонны, балки, плиты перекрытия, стены подземного паркинга, ростверк, зона лестнично-лифтового узла. Ядро жесткости расположено по центру здания.

Для разработки календарных планов зданий из монолитного железобетона в России принято использовать поточный метод строительства, предложенный русским профессором В.А. Афанасьевым. Способы ученого заключались в формировании расчета и оптимизации неритмичных потоков по методам непрерывного использования ресурсов, непрерывного освоения фронтов и, наиболее применяемого, метода критического пути [5]. Использование методов позволило строительным организациям получать качественные модернизированные календарные планы по сравнению с прошлыми аналогами.



В ходе составления календарного плана монолитной системы здания следует анализировать возможность сохранения бесперебойной работы бригад и отсутствие простоев фронтов. Факт уникальности здания, наличие разнообразных машин и механизмов, рабочих на стройке одновременно создает сложную задачу по определению оптимального соотношения работ между собой по технологии, количеству трудовых и материальных ресурсов.

Вариантное проектирование позволяет определить эффективное решение в части организации строительства посредством анализа критериев срока, последовательности выполнения, использования материалов, трудозатрат в числе бригады [5]. Использование экономических показателей, таких как функциональное назначение объекта, дальнейшая эксплуатация и технические характеристики строительных материалов определяют потребность в составлении решения, ведущего к окончанию строительства в установленный директивный срок [4–5].

Используются дифференциальные критерии для разработки конкурентноспособных вариантов [4]. Критериями являются своевременность выполнения работ, соответствие потребности в ресурсах, эффективность использования ресурсов, совмещенность во времени, непрерывность использования ресурсов, равномерность использования ресурсов, критичность работ, непрерывность освоения фронтом работ, насыщенность фронтом работ ресурсами, эффективность динамики капитальных вложений и продолжительности работ.

Для уточнения варианта анализируются масштабность, назначение, сложность и местоположение объекта [5]. Отмечаются такие компоненты формирования эффективной организации, как возможность совместного учета методов поточной организации, технические и трудовые ресурсы и степень концентрации работ.

Определенные критерии являются основанием для анализа эффективности трех методов поточного строительства: метода критического пути, метода непрерывного использования ресурсов и метода освоения фронтов с последующим выбором оптимального варианта.

Для оценки выделены семь критериев оптимизации вариантного проектирования календарного плана.

#### 1. Равномерность использования ресурсов.

Анализ по методу проводится при помощи коэффициента неравномерности движения материальных, трудовых и технических ресурсов по формуле (1):

$$K = \frac{N_{max}}{N_{cp}}, \quad (1)$$

где  $N_{max}$  – максимальное число трудовых, материальных или технических ресурсов согласно представлению «График ресурсов» в MS Project;  $N_{cp}$  – среднее число трудовых, материальных или технических ресурсов согласно представлению «График ресурсов» в MS Project.

#### 2. Длительность выполнения работ.

Проводится сравнение длительностей выполнения работ, по результату которого определяется минимальная из возможных длительность исходя из суммарной задачи проекта в MS Project. Рекомендуются проводить сравнение длительностей на типовой этаж и здание в целом для укрупненной оценки результата.

#### 3. Количество простоев.

В методе суммируются дни, в которые не задействованы каждый из видов ресурсов, с дальнейшим сравнением по разработанным календарным планам. Производится анализ количества и качества растяжения и задержек связей.

#### 4. Непрерывность освоения фронтов.

Анализируется непрерывность освоения фронтов при помощи построения циклограмм.

#### 5. Насыщенность фронтов работ ресурсами.

Анализируется представление «График ресурсов» в MS Project на предмет пустых столбцов – промежутков времени, в ходе которых наблюдается отсутствие трудовых, материальных или технических ресурсов.

6. Построение S-кривой проекта по длительности работ и проценту завершения.

На основе календарного плана определяются промежутки, по которым составляется процентная диаграмма хода проекта от подготовительных до завершающих работ.

*Выводы.* Получение критериев оценивания оптимизации вариантного проектирования в будущем позволяет проанализировать, какой из разработанных способов следует использовать по ходу строительства уникального объекта. Таким образом, выбранный метод по критериям оптимальности способен снизить финансовые, ресурсные и временные потери. Появляется возможность исполнить цель по приведению заказчика, исполнителя и потребителя к нужному результату.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства // Стройиздат: Ленингр. отд-ние. 1990. с.302.
2. Репелев, А.И., Нефедова, В.К. Проблемы монолитного строительства и пути их решения / А.И. Репелев, В.К. Нефедова. – Петербургская школа поточной организации строительства: I Всероссийская НПК, посвященная 95-летию со дня рождения профессора В.А. Афанасьева. 19–20 февраля 2018 г.; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 106 с.
3. Богуславский А.М., Гезенцевей Л.Б. Дорожный асфальтобетон. М. Изд-во: Транспорт, 1985 г. 350 с.
4. Величкин В.З., Абдуллаев Г.И., Морозова Т.Ф., Птухина И.С. Организация строительства. Технико-экономическая оценка качества поточной организации работ.: учеб. пособие / В.З. Величкин, Г.И. Абдуллаев, Т.Ф. Морозова, И.С. Птухина – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 166 с.
5. Васин А.П., Красноперова Н.Ю. Вариантное проектирование строительных процессов на примере строительства здания железнодорожного вокзала в г. Глазове / А.П. Васин, Н.Ю. Красноперова. // Петербургская школа поточной организации строительства: I Всероссийская НПК, посвященная 95-летию со дня рождения профессора В.А.Афанасьева. 19–20 февраля 2018 г.; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 106 с.
6. Оценка и сравнение вариантов организации работ // XXXVI неделя науки СПбГПУ: материалы Всероссийской межвуз. НТК, 26 ноября – 1 декабря 2007 г. СПб.: ИСФ. – 2009.

УДК 692.829

А.А. Степанов, А.Ю. Городишенина, Е.Б. Заводнова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Актуальность.* Недавнее обязательство многих стран бороться с пагубными последствиями использования энергии ископаемого топлива привлекло внимание мирового сообщества к осуществлению политики, направленной на достижение оптимальных энергетических показателей и использование возобновляемых источников энергии. Строительство зданий с устойчивыми энергетическими системами в первую очередь играет важную роль в такой политике [1–3].

Солнечная батарея – это многочисленные фотоэлектрические преобразователи, которые соединены между собой в единую систему. Они прямо преобразуют солнечную энергию в постоянный ток [4].

*Цель работы.* Подобрать оптимальный вариант фотоэлектрической фасадной системы для административного здания высотой 118 м в г. Санкт-Петербург.

Стоит понимать, каким образом работают солнечные батареи (рис. 1) [5]. После попадания солнечных лучей на фотоэлемент в нём начинается генерация неравновесных электронно-дырочных паров. Избыточные электроны и так называемые «дырки» частично

переносятся через р-п-переход с одного слоя проводника на другой. Благодаря этому во внешней цепи возникает напряжение. Положительный полюс источника тока формируется на контакте р-слоя, а на п-слое – отрицательный. После этого фотоэлементы подключаются к внешней нагрузке, играя роль аккумулятора, и образуют замкнутую цепь. В результате солнечная панель работает, пропуская через себя электроны, а аккумулятор в это время накапливает заряд.

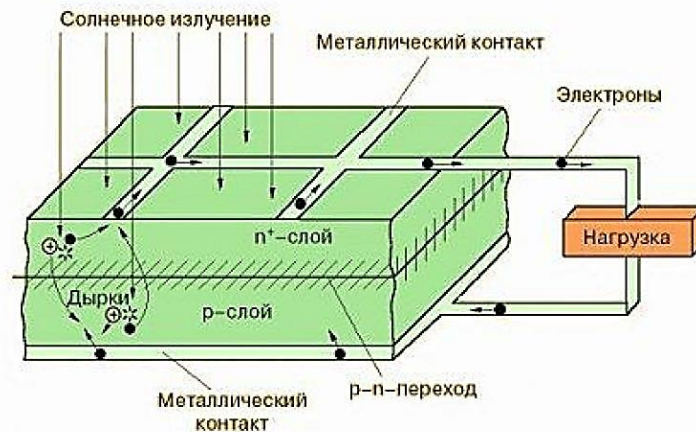


Рис. 1. Принцип работы солнечной батареи

Различают несколько поколений фотоэлектрических преобразователей (далее – ФЭП), в зависимости от материала, конструкции и способа производства:

1. ФЭП первого поколения на основе пластин кристаллического кремния.
2. ФЭП второго поколения на основе тонких плёнок.
3. ФЭП третьего поколения на основе дешёвых и перерабатываемых полимеров и электролитов [6].

На основании данных из открытых источников произведем ряд расчетов и сведем в таблицы для удобства.

По табл. 9.1 СП 131.13130.2020 [7] найдем значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на вертикальную поверхность  $Q$  (табл. 1), ориентируемую на Юг для Санкт-Петербурга. Координаты г. Санкт-Петербург – 59,9386°N, 30,3141°E

Далее дополнительно найдем коэффициент, учитывающий количество ясных дней  $K_{обл}$  в г. Санкт-Петербург за 2021 год, было 177 ясных дня [8].

Таблица 1 – Расчет годовой суммарной солнечной радиации на поверхность фасада

Месяц	$Q$ , МДж/м <sup>2</sup>	$Q_{год}$ , кВт · ч/м <sup>2</sup>
Январь	232	31,578
Февраль	470	63,972
Март	744	101,267
Апрель	720	98
Май	612	83,3
Июнь	544	74,044
Июль	559	76,086
Август	596	81,122
Сентябрь	614	83,572
Октябрь	562	76,494
Ноябрь	324	44,1
Декабрь	141	19,192
Итого		832,728

Допущения, принятые в расчете: расчет проведен для панели площадью 3,6 м<sup>2</sup>; расчет также проведен без учета неоднородности солнечной радиации.

Пример расчета первой строки:

$$K_{обл}=177/360 = 0,49;$$

$$Q_{год} = (QK_{обл})/3,6 = (232 \cdot 0,49)/3,6 = 31,578 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2.$$

Далее проведем расчет энергопотребления для административного здания.

По табл. 6.14 СП 31-110-2003 строка 21 [9] видим, что на квадратный метр здания с кондиционированием воздуха идет активная нагрузка 0,054 кВт/м<sup>2</sup>. Таким образом, мы можем рассчитать полную нагрузку нашего здания и найти примерное энергопотребление в час.

Площадь типового этажа здания – 1194,61 м<sup>2</sup>;

Этажность – 28 этажей высотой 4,2 м.

Следовательно,

$$0,054 \cdot 1194,61 \cdot 28 = 1806,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Далее найдем энергопотребление здания в год на 2022 год с учетом рабочих/нерабочих дней при 40-часовой неделе [10]:

$$1806,25 \cdot 8 \cdot 247 = 3\,569\,150 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

Занимаемая площадь здания солнечными панелями – 15302,994 м<sup>2</sup>

Величина годовой суммарной солнечной радиации, поступающей на фасад – 3539786,55 кВт · ч

Далее рассчитаем выработку электроэнергии различными солнечными панелями и выберем оптимальную, результаты сравнения представлены в (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение ФЭП

Фирма	Мощность, кВт · ч	КПД, %	Выработка энергии ФЭП, кВт · ч	Отношение энергии, выработанной ФЭП, к энергопотреблению, %
Солнечный модуль HVL-395/НJT (тип А) от группы компаний «Хевел»	380	22,7	803531,547	22,513
SilaSolar (Double glass)	360	20	707957,31	19,835
LG 315 N1C-G4 NeON™2	315	19,2	679639,018	19,042
BenQ SunForte 333 PM096B00	333	20,4	722116,457	20,232
NeON™ 2 BiFacial	375-400	19,6	693798,164	19,439
SilaSolar 400Вт PERC 5BB (Twin Power)	400	22,05	780522,935	21,869
Einnova Solarline ESM-450S PERC	450	20,7	732735,816	20,53

*Вывод.* Исходя из расчетов, приведенных ранее, можно сделать вывод, что оптимальным вариантом будет солнечный модуль HVL-395/НJT (тип А) от группы компаний «Хевел», так как данная ФЭП имеет наибольший процент КПД, а следовательно, имеет наибольшую производительность кВт · ч, а значит будет более выгодной.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хуссен С. Использование солнечной энергии в строительстве // Инновации, технологии и бизнес, №2 (8), 2020
2. Zatsarinnaaya Y., Logacheva A., Amirov D. Contamination of Solar Panels as Factor in Selecting Location for Construction and Operation of Solar Power Plants in Russia // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)
3. Sheps R., Golovinsky P., Yaremenko S., Shchukina T. Energy and Buildings, 2021
4. Анахин Н.Ю., Грошев Н.Г., Оноприйчук Д.А. Солнечные батареи – реальность или фантастика?
5. Ярославцев Е.А. Анализ технологии солнечных батарей. 2019

6. Развитие солнечных технологий в мире. Информационная справка. Аналитический центр при Правительстве РФ. Октябрь 2013. [Электр. текст].
7. СП 131.13130.2020. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология.
8. gismeteo.ru.
9. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.
10. <http://duma.gov.ru/news/47270/>

УДК 69.003.13

С.А. Тарханова, Т.Н. Солдатенко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БИЗНЕС-ЦЕНТРА

Современная экономика, с ее постоянно растущей конкуренцией, требует от предприятий постоянного повышения эффективности использования экономического потенциала, достижения наилучших результатов при наименьших затратах труда и средств [1]. Следовательно, необходим анализ эффективности инвестирования в строительной сфере.

Целью работы является определение экономической эффективности строительства 31-этажного бизнес-центра класса А по адресу г. Санкт-Петербург, Звездная улица, дом 7, корпус 1, литера А.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи: определение затрат на строительство бизнес-центра, формирование оттоков и притоков денежных средств, расчет основных показателей экономической эффективности инвестиционного проекта и их анализ.

Эффективность инвестиционного проекта (ИП) – категория, отражающая соответствие проекта, порождающего данный ИП, целям и интересам его участников [2].

В таблице 1 приведены показатели затрат на строительство многоэтажного бизнес-центра.

Таблица 1 – Затраты на строительство бизнес-центра, тыс. руб.

Стоимость строительства по объектной смете	Стоимость проектно-изыскат. работ (3% от стоимости строительства)	Величина неинвестиционных затрат (2% от стоимости строительства)	Прочие затраты 1,7 % от стоимости строительства	Сводный сметный расчет на строительство офисного здания (без учета стоимости земли)	Сводный сметный расчет на строительство офисного здания (с учетом стоимости земли)
1 952 628,00	58 578,84	39 052,56	33 194,68	2 083 454,08	2 091 772,85

Расчет производится с учетом того, что часть помещений (70% от общей площади) будет продана, а часть (30% от общей площади) будет сдаваться в аренду.

В таблице 2 приведено распределение оттока и притока денежных средств по годам инвестирования.

Таблица 2 – Отток и приток денежных средств

№ п/п	Годы инвестирования	Отток тыс. руб./год	Приток тыс. руб./год
1	0 год	66 897,62	0,00
2	1 год	1 113 681,38	774 226,00
3	2 год	911 193,86	1 161 339,00
4	3–10 годы	8 079,84	105 037,92
5	Итого оттока за период 0 по 10 год	2 156 411,57	2 775 868,36

Чистый дисконтированный доход ( $NPV$ ) – показатель, позволяющий оценить инвестиционную привлекательность проекта – рассчитывается по формуле [3]:

$$NPV = \sum_{t=0}^T (CF_t - IC_t) DF, \quad (1)$$

где  $IC_t$  (Invest Capital) – инвестиционный капитал (затраты инвестора в период времени  $t$ );  $CF_t$  (Cash Flow) – денежный поток в период времени  $t$ ;  $T$  – расчетный период;  $DF$  – коэффициент дисконтирования:

$$DF = \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где  $r$  – ставка дисконтирования – это процентная ставка, используемая для пересчёта будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Основываясь на экспертной оценке, доходность инвестиций и ставка дисконтирования лежат в пределах 13–17% для строительства новых объектов недвижимости [4]. В данном проекте принимается ставка дисконтирования 15%.

В случае, если:  $NPV > 0$ , инвестиционный проект привлекателен для инвестирования, следует анализировать его далее (рис. 1).

Характеристики капитальных вложений(оттока)						Характеристики притока			Характеристики доход		
Год инвестирования (t)	Процентная ставка дисконта (r)	Козф. дисконтирования (DF)	Кап. вложения по годам ( $IC_t$ )	Дисконтирован. кап. вложения по годам ( $IC_t$ ) DF	Дисконтированные кап. вложения ( $IC_t$ ) DF нарастающим итогом	Приток по годам ( $CF_t$ )	Дисконтированный приток по годам ( $CF_t$ ) DF	Дисконтированный приток по годам ( $CF_t$ ) DF нарастающим итогом	Доход по годам без дисконта	Доход по годам с дисконтом	Доход по годам нарастающим итогом ( $NPV$ )
0	0,15	1,000	66 897,62	66 897,62	66 897,62	0,00	0,00	0,00	-66 897,62	-66 897,62	-66 897,62
1	0,15	0,870	1 113 681,38	968 418,59	1 035 316,21	774 226,00	673 240,00	673 240,00	-339 455,38	-295 178,59	-362 076,21
2	0,15	0,756	911 193,86	688 993,46	1 724 309,67	1 161 339,00	878 139,13	1 551 379,13	250 145,14	189 145,67	-172 930,54
3	0,15	0,658	8 079,84	5 312,63	1 729 622,30	105 037,92	69 064,14	1 620 443,27	96 958,08	63 751,51	-109 179,03
4	0,15	0,572	8 079,84	4 619,67	1 734 241,97	105 037,92	60 055,77	1 680 499,04	96 958,08	55 436,10	-53 742,94
5	0,15	0,497	8 079,84	4 017,11	1 738 259,08	105 037,92	52 222,41	1 732 721,45	96 958,08	48 205,30	-5 537,63
6	0,15	0,432	8 079,84	3 493,14	1 741 752,22	105 037,92	45 410,79	1 778 132,24	96 958,08	41 917,65	36 380,02
7	0,15	0,376	8 079,84	3 037,51	1 744 789,73	105 037,92	39 487,64	1 817 619,88	96 958,08	36 450,13	72 830,15
8	0,15	0,327	8 079,84	2 641,31	1 747 431,05	105 037,92	34 337,08	1 851 956,97	96 958,08	31 695,77	104 525,92
9	0,15	0,284	8 079,84	2 296,79	1 749 727,84	105 037,92	29 858,33	1 881 815,30	96 958,08	27 561,54	132 087,46
10	0,15	0,247	8 079,84	1 997,21	1 751 725,05	105 037,92	25 963,77	1 907 779,07	96 958,08	23 966,55	156 054,01
			2 156 411,57	1 751 725,05		2 775 868,36	1 907 779,07		619 456,78	156 054,01	

Рис. 1. Расчет чистого дисконтированного дохода

Чистый дисконтированный доход после 10 лет эксплуатации бизнес-центра составит: 156 054,01 тыс. руб.

Индекс рентабельности инвестиций ( $PI$ ) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала.

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T CF_t \cdot DF}{\sum_{t=1}^T IC_t \cdot DF}. \quad (3)$$

Индекс рентабельности составляет 1,09.

Внутренняя норма доходности ( $IRR$ ) – это такая ставка дисконтирования, при которой инвестор получит назад все вложения, то есть выйдет в ноль. Чем выше  $IRR$ , тем выше доходность проекта, потому что можно заложить больше рисков.

В данном проекте  $IRR = 28,34 \%$ , что является очень хорошим показателем.

На рис. 2 представлены оттоки и притоки денежных средств со ставкой дисконтирования 28,34 %.

Для учитывания различной стоимости денег во времени будем рассматривать дисконтированный срок окупаемости ( $DPP$ ). По рис. 3 дисконтированный срок окупаемости составляет 5,5 лет.

Характеристики капитальных вложений(оттока)						Характеристики притока			Характеристики доход		
Год инвестирования (t)	Процентная ставка дисконта (r)	Коеф. дисконтирования (DF)	Кап. вложения по годам (IC <sub>t</sub> )	Дисконтирован. кап. вложения по годам (IC <sub>t</sub> ) DF	Дисконтированные кап. вложения (IC <sub>t</sub> ) DF нарастающим итогом	Приток по годам (CF <sub>t</sub> )	Дисконтированный приток по годам (CF <sub>t</sub> ) DF	Дисконтированный приток по годам (CF <sub>t</sub> ) DF нарастающим итогом	Доход по годам без дисконта	Доход по годам с дисконтом	Доход по годам нарастающим итогом (NPV)
0	0,28	1,000	66 897,62	66 897,62	66 897,62	0,00	0,00	0,00	-66 897,62	-66 897,62	-66 897,62
1	0,28	0,779	1 113 681,38	867 789,52	934 687,14	774 226,00	603 283,15	603 283,15	-339 455,38	-264 506,37	-331 403,99
2	0,28	0,607	911 193,86	553 245,22	1 487 932,35	1 161 339,00	705 124,65	1 308 407,79	250 145,14	151 879,43	-179 524,56
3	0,28	0,473	8 079,84	3 822,64	1 491 754,99	105 037,92	49 694,28	1 358 102,08	96 958,08	45 871,65	-133 652,91
4	0,28	0,369	8 079,84	2 978,63	1 494 733,62	105 037,92	38 722,19	1 396 824,26	96 958,08	35 743,56	-97 909,36
5	0,28	0,287	8 079,84	2 320,97	1 497 054,59	105 037,92	30 172,64	1 426 996,90	96 958,08	27 851,67	-70 057,69
6	0,28	0,224	8 079,84	1 808,52	1 498 863,11	105 037,92	23 510,77	1 450 507,67	96 958,08	21 702,24	-48 355,44
7	0,28	0,174	8 079,84	1 409,21	1 500 272,33	105 037,92	18 319,78	1 468 827,45	96 958,08	16 910,56	-31 444,88
8	0,28	0,136	8 079,84	1 098,07	1 501 370,40	105 037,92	14 274,92	1 483 102,37	96 958,08	13 176,85	-18 268,03
9	0,28	0,106	8 079,84	855,63	1 502 226,02	105 037,92	11 123,13	1 494 225,50	96 958,08	10 267,51	-8 000,52
10	0,28	0,083	8 079,84	666,71	1 502 892,73	105 037,92	8 667,23	1 502 892,73	96 958,08	8 000,52	0,00
			2 156 411,57	1 502 892,73		2 775 868,36	1 502 892,73		619 456,78	0,00	

Рис. 2. Расчет внутренней нормы доходности

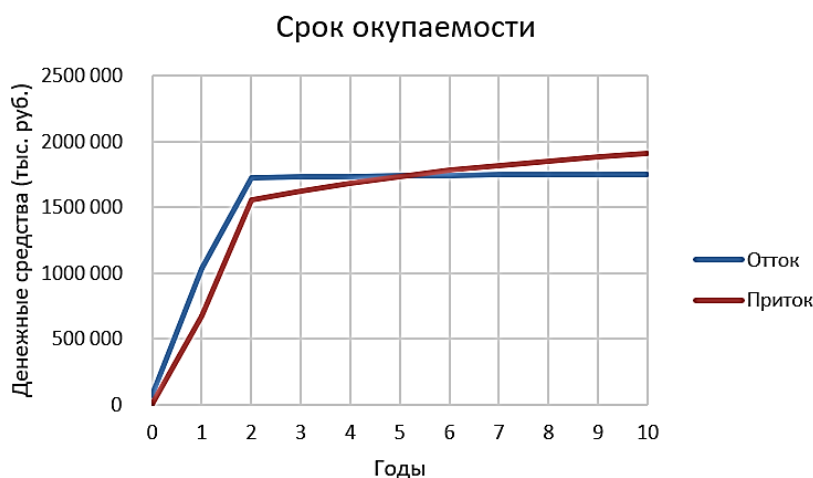


Рис. 3. Срок окупаемости

Это означает, что инвестор должен быть готов финансировать эксплуатацию бизнес-центра в течение этого срока, пока доход не станет положительным [5].

Оценку эффективности инвестиционных проектов рационально производить с использованием всех показателей, а не руководствуясь каким-то отдельно. Тем не менее, более целесообразно из всех методов делать больший акцент на чистый дисконтированный доход, потому что он обеспечивает связь с индексом рентабельности, внутренней нормой доходности, а также с дисконтируемым сроком окупаемости.

Так как  $NPV > 0$  и  $PI > 1$ , то инвестиционно-строительный проект 31-этажного бизнес-центра класса А в Московском районе города Санкт-Петербург является экономически эффективным.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов // Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 1342 с.
2. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) // М.: Экономика, 2000. – 421 с.
3. George F.R. Ellis. Project Management in Product Development // Butterworth-Heinemann, 2015. – 377 p.
4. Михайлец В.Б. Еще раз о ставке дисконтирования в оценочной деятельности и методах доходного подхода // Вопросы оценки № 1, 2005. – 2–13 с.
5. Фридман Д., Ордуэй Н. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости // Перевод с английского, Дело, Лтд. М., 1995. – 480 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ МЕХАНИЗАЦИИ  
ПРИ УСТРОЙСТВЕ МОДУЛЬНЫХ ФАСАДОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

*Цель работы* – анализ доступных способов механизации модульных фасадов при монтаже в высотные здания.

С развитием строительства высотных зданий и сооружений, возрастанием стоимости строительных работ, ограниченности пространства на объектах строительства и проблем с контролем качества возникает потребность в подборе механизмов и машин соответствующим актуальным параметрам строительной площадки.



Рис. 2

Так как модульные фасадные системы являются оптимальной системой по устройству фасадов высотных зданий, то для достижения поставленной цели необходимо определить какой тип монтажных и подъёмных устройств будет наиболее эффективен.

А.А. Афанасьев и А.А. Жунин [1]

предлагают решить проблему ограниченного пространства при монтаже модульных фасадов высотного здания применением самоходных мини-кранов (рис. 1). Как утверждают авторы, данное крановое оборудование обладает широким диапазоном характеристик, но главным преимуществом является возможность использования мини-кранов непосредственно на перекрытиях и других несущих конструкциях высотных зданий, благодаря габаритам и весу устройств.

Рассмотрим электрический самоходный мини-кран Valla 30 E. Характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики мини-крана Valla 30 E

Грузоподъемность, т	3,5
Грузоподъемность при максимальном вылете стрелы, кг	200
Максимальный вылет стрелы, м	5
Максимальная высота подъема крюка, м	7
Радиус поворота, м	2,3
Максимальная скорость горизонтального передвижения, км/ч	5
Общий вес, т	2,5

Общий вес устройства позволяет расположение крана непосредственно на перекрытии строительного объекта. Максимальный вылет стрелы, высота подъема крюка и скорость горизонтального передвижения позволяет осуществлять установку фасадных панелей в кратчайшие сроки и без использования дополнительного оборудования. К тому же, в стеснённых условиях работы, малый радиус поворота позволяет осуществлять монтаж мобильнее и безопаснее. Однако, возникает проблема вертикальной транспортировки самоходного мини-крана. Данная проблема решается подбором башенного самоподъёмного крана [2]. Исходя из литературного источника, можно сделать вывод, что оптимальным вариантом для вертикальной транспортировки мини-крана Valla 30 E является самоподъёмный кран УБК 3-49 (рис. 2). Характеристики крана представлены в таблице 2.



Таблица 2 – Характеристики башенного самоподъемного крана УБК 3-49

Грузоподъемность при наименьшем выпуске стрелы, т	3
То же, при наибольшем, т	3
Вылет стрелы наименьший, м	1,7
То же, наибольший, м	22
Высота подъема крюка от основания крана, м	16,7
То же, над уровнем земли, м	170
Рабочие скорости:	
- подъема груза, м/мин	31
- поворота стрелы, об/мин	0,167
- передвижения грузовой тележки, м/мин	24
База, м	4×4
Общий вес крана, т	36,4

Получается, что данный кран обладает достаточной грузоподъемностью с запасом безопасности. Высота подъема его крюка достигает 170 м, что позволяет использовать кран для строительных работ даже особо высотных зданий.

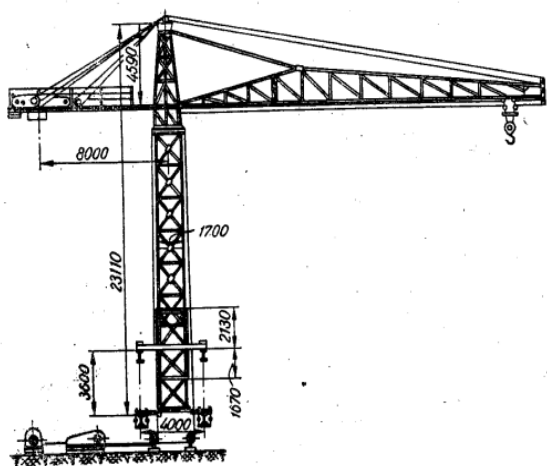


Рис. 2



Рис. 3

Также, авторы статьи предлагают использование самоподъемных фасадных платформ, которые могут быть крепиться за несущие конструкции сооружения, что позволяет осуществлять вертикальное перемещение монтажных устройств, материалов и рабочих-монтажников [3]. Данный способ применялся при строительстве «Лахта-Центра» в г. Санкт-Петербург (рис. 3). К тому же, данные фасадные платформы в некоторых конфигурациях могут использоваться для обслуживания фасадных систем [4].

Авторы статьи [5] подробно разъясняют о технологических особенностях возведения высотных зданий, в том числе о современных методах монтажа сложных фасадных систем.

Немаловажной особенностью несущих конструкций высотных зданий, является их несущая способность, которая имеет запас прочности для установки на них различных устройств монтажа. Но подбор техники должен осуществляться строго по заявленным характеристикам строительного объекта [6].

Таким образом, в результате проделанной работы были выявлены наиболее актуальные и эффективные способы механизации при устройстве модульных фасадов высотных зданий: использование комбинации мини-кранов на перекрытиях и использование самоподъемных фасадных платформ на внешних несущих конструкциях сооружения. Данные устройства обладают целым рядом преимуществ, которые позволяют оперативно и безопасно производить монтажные работы без нужды использования огромного количества ресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Афанасьев А.А., Жунин А.А. Модульные фасады в высотном строительстве. Вестник МГСУ, 2011 г. 356 с.
2. Горячева И.А., Казаченко Н.Я. Технические характеристики и выбор грузоподъемных кранов. Учебно-методическое пособие. БНТУ, 2010 г. 236 с.
3. ГОСТ Р 59134-2020 Конструкции ограждающие светопрозрачные. Монтаж модулей и элементов для фасадов светопрозрачных навесных. Правила и контроль выполнения работ.
4. Чеботарев А.Г., Фахри Н.А. Комплексные испытания моделей фасадных систем при проектировании уникальных высотных зданий. Academia. Архитектура и строительство, 2009 г. 534 с.
5. Афанасьев А.А., Король Е.А., Каган П.Б., Комиссаров С.В., Зуева А.В. Технологические особенности возведения высотных зданий. Вестник МГСУ, 2011 644 с.
6. СП 253.1325800.2016 Инженерные системы высотных зданий.

УДК 691.6

Ю.В. Черепанов, А.А. Жукова, Д.С. Андреева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА SMART-ОСТЕКЛЕНИЕ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ГОСТИНИЦ В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Скачок в современных технологиях и научных открытий в России и за рубежом за последние несколько лет позволили реализовать новые дизайнерские и архитектурные решения в строительстве, которые делают объект строительства уникальным в своем роде. Благодаря этому прогрессу стали применяться типы остеклений, которые имеют возможность изменять свои свойства. Данный вид стекла имеет название smart-остекление [1, 2].

Это уникальное свойство smart-стекла позволит выйти на новый уровень развития и применения продукции в сфере строительства. Начиная с 2009 года рынок smart-стекла в России расширяется за счёт увеличения популярности среди заказчиков и востребованности стекол с регулируемой прозрачностью, которое гарантирует клиенту полную приватность и другие возможности его применения. Более того, инвестиции позволяют нам предположить, что будет дальнейший рост производства и усовершенствования smart-стекла [3].

*Цель работы* – подобрать оптимальное smart-остекление для высотного здания гостиницы.

*Задачи:*

- рассмотреть технологии производства smart-стекла;
- изучить характеристики, провести сравнительный анализ между технологиями;
- выбор оптимальной технологии производства smart-стекла для установки его в высотном здании.

Технологии производства Smart-стекла. Smart-стекло – представляет собой сложную конструкцию, состоящую из трех основных слоев (рис. 1):

- Лист прозрачного стекла.
- Двуслойная пленка. Между ее слоями помещены жидкие кристаллы.
- Второй лист прозрачного стекла [4].

Методы изготовления smart-стекла известны еще с 80-х годов XX века, и с тех пор они только совершенствуются, и на сегодняшний день они стали потреблять меньше энергии, себестоимость данного стекла становится меньше. Эти показатели говорят, что в скором будущем будет массовое использование во всех сферах [5, 6].

На данный момент существует три основных технологии производства smart-стекла: SPD, PDLC, ECD [7].

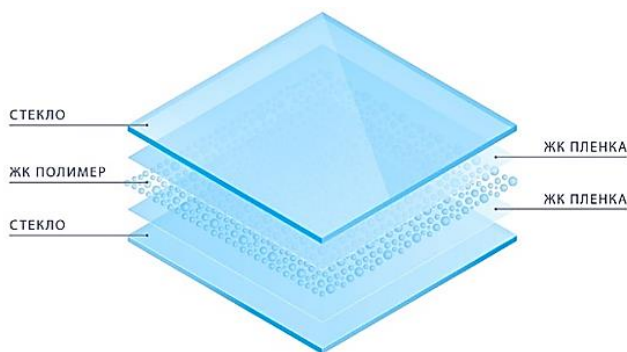


Рис. 1

SPD (Suspended Particle Devices – покрытие с применением взвешенных частиц) – между двумя листами прозрачного стекла расположена пленка взвешенных в жидкости стержнеобразных частиц. Без электрического напряжения частицы находятся в хаотичном состоянии и поглощают свет. При этом стекло имеет серый, черный или темно-синий оттенок. При поступлении тока взвешенные частицы выстраиваются упорядоченно, стекло приобретает прозрачность.

Переход происходит мгновенно. Для поддержания прозрачного состояния необходим маленький, но постоянный ток. Особенность материала в том, что он в любом состоянии оптически прозрачен.

PDLС (Polymer Dispersed Liquid Crystals – покрытие с применением жидких кристаллов и полимеров) – жидкие кристаллы в этих устройствах разлагаются на составляющие, а затем затвердевают. В момент перехода из жидкого состояния в твердое кристаллы становятся несовместимыми с полимером и создают в нем вкрапления (капли). Условия, при которых происходит фиксация, влияют на размер вкраплений, что влияет на свойства smart-стекла.

Смесь полимера и жидких кристаллов помещена между двумя листами пластика или стекла. Тонким слоем нанесен прозрачный электропроводящий материал. Он отвечает за поступление напряжения. Из медной фольги изготовлены электроды, находящиеся в контакте с проводящим слоем. При поступлении напряжения электромагнитное поле заставляет кристаллы упорядоченно выстраиваться. Свет поступает через капли-вкрапления, и материал становится прозрачным.

С помощью дополнительных слоев или использования красителя можно регулировать проходящее через стекло количество тепла и света. Возможны противопожарные и противорадиационные варианты, применяемые в специальных устройствах.

ECD (Electro Chromatic Devices – покрытие с электрохромным слоем) – в электрохромных (электрохимических) устройствах изменяемый слой представляет собой напыление ионов лития. Подача напряжения регулирует прозрачность. Количество пропускаемого света можно контролировать. Состояние материала меняется между прозрачным, полупрозрачным и цветным. В тонированном состоянии оттенки варьируются от самого насыщенного до едва заметного. Подача напряжения нужна лишь для изменения прозрачности. Чтобы поддерживать состояние, электропитание не требуется. Затемнение начинается с периферии и заканчивается в центре.

Таблица 1 – Общие характеристики smart-стекол

Название	Значение
Светопропускание, %	не менее 75 [8]
Опалесценция, %	5-7
Управляющее напряжение, В	12-36
Энергопотребление, Вт/м <sup>2</sup>	5
Количество циклов (вкл/выкл)	более 30 000 000
Время переключения, мс	менее 1000
Макс.размер изделий (без разрывов), мм	1530×3050
Минимальная толщина, мм	6
Максимальная толщина, мм	не ограничена
Форма изделий	любая, включая отверстия
Рабочая температура, град	от -30 до +75
Срок службы, лет	более 10

Сравнительный анализ технологий производства. Главными критериями для оптимального выбора технологии производства smart-стекла были выделены: процент матовости и прозрачности, а также подача постоянного тока для поддержания работы «умного» стекла. Так же сравнили цены за продукцию (за 1 м<sup>2</sup> smart-стекла) и среднее время установки с подключением витражной панели размером 1530×3050 мм. Для удобства сравнения все критерии сведены в таблицу 2.

Таблица 2

№	Тип стекла	Цена за 1 м <sup>2</sup> , руб. [4]	Трудозатраты, ч [4]	Матовость, % [8]	Прозрачность, % [8]	Ток для поддержания прозрачности [8]
1	SPD	31 000	2,25	>90%	<93,8%	Да
2	PDLC	30 400	1,75	>90%	<92,1%	Да
3	ECD	28 900	1,25	>90%	<95%	Нет

### Выводы

Были рассмотрены три вида инновационного стекла, которые отличаются друг от друга характеристиками, такими, как степень прозрачности и матовость. Эти свойства определяются строением слоя смарт-плёнки, которое прикрепляется к стеклу. Из представленных вариантов лучшим является технология производства ECD (табл. 2) с показателем прозрачности до 95%, процент матовости у всех технологий одинаковый.

Если сравнивать цены и время на установку, то ECD на 6% дешевле и устанавливается быстрее, чем SPD и PDLC.

Таким образом было подобрано стекло с электрохромным слоем (ECD), которое подходит для жилых помещений гостиницы, поскольку оно не нуждается в подаче напряжения для поддержания прозрачности, а это значит, что потребление электроэнергии будет намного меньше, чем в других типах смарт-стекла, где для поддержания прозрачности требуется постоянный ток.

Также smart-стекла с управляемой прозрачностью будут использованы в качестве витражного остекления, при этом они могут быть альтернативой жалюзи или шторам, что актуально для белых ночей в г. Санкт-Петербург. А также главным преимуществом использования «нового стекла» является его способность сохранять тепловую энергию в комнате в зимний период времени и не давать нагреваться воздуху в помещении – в летний период, а также оно защищает от ультрафиолетовых лучей.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Mokhireva A.O., Loginova P.V., Melekhin Ye.M., Kostarev V.I. Sistemy adaptivnogo regulirovaniya osveshcheniya v umnykh zdaniyakh // Alfabuild. 2018. № 2(4). S. 34–42.
2. Gamayunova O., Gumerova E., Miloradova N. Smart glass as the method of improving the energy efficiency of high-rise buildings // E3S Web of Conferences. 2018. (33). S. 02046. DOI:10.1051/e3sconf/20183302046.
3. Smart-steklo [Elektronnyy resurs]. URL: <https://thermo-glass.ru/smart-steklo> (data obrashcheniya:08.12.2021).
4. Стекло-сервис [Elektronnyy resurs]. URL: <http://steklo-service.kz> (data obrashcheniya:08.12.2021).
5. Dontsova A.Ye., Kalinina A.V. Steklo s upravlyayemoy prozrachnostyu (smart window) v grazhdanskom stroitelstve // AlfaBuild. 2018. № 6(4). S. 73–82.
6. Gamayunova O.S., Gumerova E.I. Energoberegayushcheye ostekleniye kak metod povysheniya energoeffektivnosti vysotnykh zdaniy // Nedelya nauki SPbPU Materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Inzhenerno-stroitelnyy institut. 2018. S. 339–341.
7. Smart-steklo – novaya realnost v stekolnoy industrii [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.oknamedia.ru> (data obrashcheniya: 07.12.2021).
8. Smart-steklo – kharakteristika [Elektronnyy resurs]. URL: <https://abava.net/smartglass/pdlc/tech/> (data obrashcheniya: 07.12.2021).

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Цель работы* – провести исследование и оценку выбросов парниковых газов (ПГ) при строительстве жилого здания из сборных элементов с применением BIM технологий.

В настоящее время проблема глобального потепления привлекает большое внимание и требует вмешательства человечества во избежание катастрофических последствий. Согласно многочисленным исследованиям, на строительный сектор приходится 39 % всех глобальных выбросов ПГ, из них 28 % приходится на эксплуатационные здания и 11 % на процесс строительства и строительные материалы [1].

Здания потребляют большое количество ресурсов, включая не возобновляемые ресурсы Земли, на протяжении всего своего жизненного цикла. При оценке воздействия на окружающую среду строительства, немаловажным является выделять отдельные этапы жизненного цикла. Этапы транспортировки и производства относятся к таким, которые имеют наибольшее влияние на загрязнение окружающей среды [2].

Во многих исследованиях не принимали во внимание процессы, связанные со строительной площадкой, например, работы по монтажу сборных элементов, транспортировку и потребление электроэнергии и топлива, рассматривая лишь этап эксплуатации [3, 4]. Производство строительных материалов, использование электроэнергии на площадке и вне, а также транспортировка оборудования являются тремя видами деятельности, которые имеют наибольшее значение выбросов углекислого газа, соответственно наибольший потенциал сокращения данных выбросов.

Таким образом строительство из сборных элементов позволит сократить выбросы углекислого газа за счёт уменьшения используемой техники на строительной площадке и выбора поставщика железобетонных элементов вблизи строительной площадки.

Выбросы ПГ в строительстве из сборных элементов состоят из выбросов от сборки строительных компонентов за пределами стройплощадки и монтаж элементов на месте, включая замоноличивание. Для традиционного метода строительства основную часть составляют выбросы, связанные исключительно с процессом литья на месте. Выбросы ПГ можно разделяют на следующие пункты:

- $E_1$  – воплощенные выбросы ПГ от первичных строительных материалов;
- $E_2$  – выбросы ПГ от сжигания топлива при транспортировке строительных материалов, которые могут происходить либо из распределительного центра на сборочный завод за пределами площадки, либо из распределительного центра на строительную площадку;
- $E_3$  – выбросы ПГ от сжигания топлива при транспортировке строительных отходов и грунта с завода по производству сборных конструкций за пределами площадки на свалку или со строительной площадки на свалку;
- $E_4$  – выбросы ПГ от сжигания топлива при транспортировке сборных элементов с завода по производству сборных конструкций за пределами площадки на строительную площадку;
- $E_5$  – выбросы ПГ от потребления ресурсов и энергии при эксплуатации оборудования и строительных технологий, в данном случае ресурсов и энергии, включая дизельное топливо/масло, электричество и воду.

Количественная модель расчета выбросов ПГ на этапе строительства из сборных элементов состоит из следующих формул (1.1), (1.2), (1.3), (1.4), (1.5), (1.6).

$$TGE = \sum_{i=1}^5 E_i, \quad (1.1)$$

где  $TGE$  – суммарные выбросы ПГ за весь этап строительства в тоннах  $\text{CO}_2$  – эквивалента ( $\text{CO}_{2-e}$ ),  $E_i$  –  $i$ -ый источник выбросов ПГ в процессе строительства ( $i$  – от 1 до 5).

$$E_1 = \sum_{j=1}^j M_j f_j^b (1 + \varepsilon_j), \quad (1.2)$$

где  $E_1$  – воплощенные выбросы ПГ всех строительных материалов (в тоннах  $\text{CO}_{2-e}$ ),  $M_j$  – количество строительного материала  $j$  (в т),  $f_j^b$  – коэффициент выбросов ПГ строительного материала  $j$  (в кг  $\text{CO}_2$ - экв./кг), а  $\varepsilon_j$  – коэффициент отходов строительного материала  $j$  при транспортировке материалов или возведении здания. Значение коэффициента отходов зависит от типа строительных материалов.

$$E_2 = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \frac{M_j L_j^m f_k^t}{1000}, \quad (1.3)$$

где  $E_2$  – суммарные выбросы ПГ от сжигания топлива при перевозке строительных материалов  $j$  (в т  $\text{CO}_{2-э}$ ); расстояние от распределительного центра до сборного завода за пределами площадки или от распределительного центра до проектной площадки (в км); и  $f_k^t$  – коэффициент выбросов ПГ при сжигании топлива для метода транспортировки  $k$  (в кг  $\text{CO}_2$ - экв./т – км), например, автомобиль, поезд или корабль.

$$E_3 = \sum_{s=1}^s \sum_{l=1}^l \sum_{k=1}^k \frac{W_s L_l^w f_k^t}{1000}, \quad (1.4)$$

где  $E_3$  – выбросы ПГ от сжигания топлива строительных отходов или грунта земляных сооружений (в тоннах  $\text{CO}_{2-e}$ ),  $W_s$  – количество строительных отходов или грунта (в т),  $L_l^w$  – расстояние между заводом по производству сборных конструкций за пределами площадки и полигоном или расстояние между проектной площадкой и полигоном (в км), и  $f_k^t$  – коэффициент выбросов ПГ для способов транспортировки (в кг  $\text{CO}_2$ - экв./т – км). Обычно транспортировка отходов, грунта и сборных компонентов осуществляется с помощью большегрузных автомобилей.

$$E_4 = \frac{PL^p f_k^t}{1000}, \quad (1.5)$$

где  $E_4$  – выбросы ПГ от сжигания топлива при транспортировке сборных элементов со стороннего сборочного завода на проектную площадку (в тоннах  $\text{CO}_{2-e}$ ),  $P$  – общее количество всех сборных элементов (в тоннах); и  $L^p$  – расстояние между заводом по производству сборных конструкций за пределами площадки и проектной площадкой (в км).

$$E_5 = \sum_{r=1}^r \sum_{\vartheta}^{\vartheta} \frac{R_r f_n^{\vartheta}}{1000}, \quad (1.6)$$

где  $E_5$  – суммарные выбросы ПГ от ресурсоемкости строительной техники и техники (в тоннах  $\text{CO}_2$ - экв.); и  $R_r$  – количество ресурсов или использование энергии  $r$  соответствующих требований строительных технологий (в кВтч, в л или в м) на протяжении всего этапа строительства,  $r = 1, 2, 3$ . Обычно строительное оборудование включает краны, автобетоносмесители, бетононасосы, сварочные аппараты, вилочные погрузчики, подъемники. Основные ресурсы потребления рассматриваются по трем видам: дизельное топливо, электричество и вода.  $R_1$  (в л),  $R_2$  (в кВтч) и  $R_3$  (в м<sup>3</sup>) обозначают объем использования трех видов строительной техники соответственно.  $f_1^{\vartheta}$  – коэффициент выбросов ПГ при сжигании топлива (в кг  $\text{CO}_2$ - экв/л),  $f_2^{\vartheta}$  – коэффициент выбросов ПГ при использовании

электроэнергии (в кг CO<sub>2</sub>- экв./кВтч), и  $f_3^{\vartheta}$  – коэффициент выбросов ПГ от обработки пресной воды (в кг CO<sub>2</sub>- экв/м<sup>3</sup>) [5].

Таблица 1 – Результаты сравнения в OneClick LCA

	Результаты по категориям	Потенциал глобального потепления кг CO <sub>2</sub>	Потенциал разрушения озонового слоя кг CFC-11	Общее использование первичной энергии
A1-A3	Строительные материалы	2,17E6   -66 %	4,2E-2   -78 %	9,97E6   -71 %
A4	Транспортировка материалов и изделий на строительную площадку	2,05E4   -29 %	4,06E-3   -29 %	5,85E5   -29 %
C1-C4	Окончание жизненного цикла объекта	1,67E5   -43 %	2,52E-5   -100 %	3,5E5   -77 %
D	Использованные материалы	-9,63E5   -12 %	-2,17E-2   -15 %	-6,15E6   -23 %
D	Внешнее воздействие (не учитывается в итоговом значении)	-1,02E6   -7,5 %	-2,28E-2   -11 %	-6,56E6   -18 %
Итого		2,35E6	4,61E-2	1,09E7
Проект №1 Итого		6,66E6	2,1E-1	3,69E7
Проект №2 в сравнении с проектом №1		-65 %	-78 %	-70 %

Оценка выбросов ПГ от возведения несущих конструкций на примере односекционного десятиэтажного жилого здания площадью в плане 531,213 м<sup>2</sup> и высотой 34,32 м в верхней точке в рамках оценки жизненного цикла (LCA) строительных материалов была выполнена с помощью плагина OneClick LCA для Revit 2021. Расчет был сделан на базе европейских и российских строительных материалов. По результатам количественной оценки были получены следующие результаты, указанные в таблице 1. При сравнении двух вариантов мы получили, что применение европейских строительных материалов позволило сократить выбросы CO<sub>2</sub>, влияющие на потенциал глобального потепления, на 29 %.

Большинство исследований в области сокращения выбросов ПГ посвящены изучению строительных материалов, в том числе их производство и состав, а также этап эксплуатации здания. Плагин OneClick LCA также не имеет отдельной базы для расчета и выбора вида транспортировки. Таким образом, для продолжения исследования данной темы стоит изучить похожие программные комплексы и плагины, где более подробно учитываются виды транспортировки и оцениваются выбросы ПГ при производстве работ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура // Национальный стандарт Российской Федерации. Экологический менеджмент. ГОСТ Р ИСО 14040–2010. Дата введения 2010-06-01.
2. Талипова Л.В., Шонина Е.В. Определение углеродного следа в строительстве // Инженерные задачи: проблемы и пути решения. – 2021. – С. 99–102.
3. Cheng, C., Pouffary, S., Svenningsen, N., Callaway, M., The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector – A Report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative, United Nations Environment Programme, Paris, France, 2008.
4. Zhang, X.L., Platten, A., Shen, L.Y. Green property development practice in China: costs and barriers // Building and Environment. – 2011. – №46(11). – pp. 2153–2160.
5. Mao, C., Shen, Q., Shen L., Tang, L. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two Case studies of residential projects // Energy and Buildings. – 2013. – №66. – P. 165-176.

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ  
РИСКОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Сложность реализуемых в современных условиях процессов строительства, проявляющаяся в том числе в наличии большого количества факторов внутренней и внешней среды, определяет высокую важность учета различных категорий рисков при реализации строительных проектов [1]. При этом адекватность организационно-технологических решений, формируемых на различных стадиях жизненного цикла объекта строительства, во многом определяется так называемыми внутрипроектными рисками, описывающими различные неблагоприятные факторы и обусловленные ими изменения показателей экономической эффективности (доходности) проекта [2–4]. Важно отметить, что результаты предварительного анализа научных работ, относящихся к анализу и оценке различных категорий рисков в рамках реализации строительных проектов, свидетельствуют об отсутствии эффективных инструментальных средств для обоснования характеристик организационно-технологических решений, формируемых с целью снижения негативного влияния упомянутых рисков на результаты реализации проектов строительства [5].

*Цель работы* – разработка инструментальных средств обоснования характеристик организационно-технологических решений, направленных на снижение влияния рисков на результаты реализации строительных проектов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Обзор и анализ научных работ в области решения задач обоснования характеристик строительных процессов с учётом рисков внутренней и внешней среды.
2. Разработка оптимизационной модели обоснования характеристик организационно-технологических решений, направленных на снижение влияния рисков на результаты реализации строительных проектов.
3. Реализация разработанной модели на практическом примере.

На начальных этапах исследования был выполнен анализ научной литературы, относящейся к области исследования. Результаты анализа показали наличие достаточно большого количества научных разработок – инструментальных средств – для учета различных категорий рисков в рамках процессов реализации строительных проектов. Тем не менее, следует отметить, что имеет место трудность оценки практической значимости вышеуказанных средств ввиду отсутствия в соответствующих научных работах результатов реализации вышеупомянутых разработок на практических примерах. Именно данное обстоятельство определило целесообразность разработки в рамках следующего этапа исследования оптимизационной модели обоснования характеристик организационно-технологических решений, направленных на снижение влияния рисков на результаты реализации строительных проектов.

Основой для построения оптимизационной модели является выборка строительных проектов, в отношении которых рассматривается определенная категория рискового события, выражаемая неким интегральным показателем (далее – показатель риска), а также отдельные количественные характеристики процесса реализации строительного проекта, отражающие влияние различных факторов внутренней и внешней среды (с позиций рассматриваемой организации) на результаты реализации упомянутого проекта (далее – параметры риска).



Оптимизационная модель предполагает линейную зависимость значения показателя риска от значений параметров риска, формируемую на основе вышеуказанной выборки с использованием процедуры многофакторной линейной регрессии [6]. При этом в качестве основных неизвестных переменных рассматриваются значения изменений для тех параметров риска, которые являются управляемыми (т.е. относятся к внутренней среде) при условии, что учет указанных изменений по отношению к каждому отдельному проекту в рамках используемой выборки повлечет за собой изменение следующих компонент значения риска:

- среднее (по выборке) прогнозное значение показателя риска;
- доля проектов (элементов выборки), прогнозные значения показателя риска в рамках которых принадлежат к диапазону релевантных значений (проекты относятся к категории так называемых «рисковых») в общем количестве проектов в составе выборки.

В качестве целевой функции оптимизационной модели рассматриваются суммарные затраты, связанные с реализацией изменений параметров риска (минимизируются). Отличительной особенностью модели является использование дополнительных неизвестных переменных – так называемых корректирующих отклонений, а также специфических непрямых ограничений для обеспечения нахождения итогового значения параметра риска в рамках каждого отдельного строительного проекта в составе рассматриваемой выборки в пределах диапазона допустимых значений. Упомянутые ограничения имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x_{ij} \leq \Delta x_j^{\max} \cdot \lambda_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (1) \\ (x_j^{\lim} - x_{ij}^0) \cdot \lambda_{ij} \leq \varphi_j \cdot (\Delta x_j - \Delta x_{ij}) \leq x_j^{\lim} - x_{ij}^0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad j \in J^+; \quad (2) \\ x_j^{\lim} - x_{ij}^0 \leq \varphi_j \cdot (\Delta x_j - \Delta x_{ij}) \leq (x_j^{\lim} - x_{ij}^0) \cdot \lambda_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad j \in J^-, \quad (3) \end{array} \right.$$

где  $m$  – количество проектов строительства в рамках рассматриваемой выборки, ед.;  $n$  – количество управляемых параметров риска, ед.;  $i$  – индекс проекта строительства;  $j$  – индекс управляемого параметра риска;  $J^+$ ,  $J^-$  – множество значений индекса для соответственно «положительных» и «отрицательных» параметров риска (увеличение значения которых обуславливает соответственно уменьшение и увеличение значения показателя риска);  $x_{ij}^0$  – элемент исходных данных – исходное значение параметра риска с индексом  $j$  в рамках проекта с индексом  $i$ ,  $EI_j$ ;  $EI_j$  – специфическая единица измерения для параметра риска с индексом  $j$ ;  $\varphi_j$  – элемент исходных данных – коэффициент влияния на показатель риска ( $\varphi_j = 1$  для «положительных» параметров риска;  $\varphi_j = -1$  для «отрицательных» параметров риска);  $x_j^{\lim}$  – элемент исходных данных – предельное значение управляемого показателя риска с индексом  $j$ ,  $EI_j$ ;  $x_j^{\lim} \geq \max_i \{x_{ij}^0\}$  в случае, если  $\varphi_j = 1$ ; в противном случае  $x_j^{\lim} \leq \min_i \{x_{ij}^0\}$ ;  $\Delta x_j$  – основная неизвестная переменная – значение изменения управляемого показателя риска с индексом  $j$ ,  $EI_j$ ;  $\Delta x_{ij}$  – дополнительная неизвестная переменная – корректирующее отклонение для управляемого параметра риска с индексом  $j$  в рамках проекта с индексом  $i$ ,  $EI_j$ ;  $\lambda_{ij}$  – дополнительная неизвестная переменная – бинарный индикатор достижения расчетным значением управляемого параметра риск с индексом  $j$  в рамках проекта с индексом  $i$ , соответствующего предельного значения;  $\lambda_{ij} = 1$  в случае, если  $x_{ij}^0 + \Delta x_j \geq x_j^{\lim}$  при  $\varphi_j = 1$  или  $x_{ij}^0 - \Delta x_j \leq x_j^{\lim}$  при  $\varphi_j = -1$ ; в противном случае  $\lambda_{ij} = 0$ ;  $\Delta x_j^{\max}$  – элемент исходных данных – максимальное значение изменения управляемого показателя риска с индексом  $j$ ,  $EI_j$ .

Таким образом, совместный учет ограничений, определяемых выражениями (1)–(3) обеспечивает определяющие взаимосвязь между переменными  $\Delta x_{ij}$  и  $\lambda_{ij}$  для каждого «положительного» («отрицательного») управляемого параметра риска с индексом  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n, j \in J^{+(-)}$ ) и каждого объекта строительства с индексом  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) по принципу:  $|\Delta x_j - \Delta x_{ij}| = |x_j^{\text{lim}} - x_{ij}^0|$  в случае, если  $\lambda_{ij} = 1$ ; в противном случае  $|\Delta x_j - \Delta x_{ij}| \leq |x_j^{\text{lim}} - x_{ij}^0|$ . Разработанная модель соответствует процедуре целочисленной линейной оптимизации и может быть реализована с использованием соответствующих программных сред [7].

На заключительном этапе исследования разработанная оптимизационная модель была реализована на практическом примере – для решения задачи обоснования организационно-технологических решений в области процесса функционирования инвестиционно-строительной организации нефтегазового сектора, направленных на снижение риска несвоевременности завершения строительства (сдачи в эксплуатацию) объектов – участков газопроводов, расположенных на территории Российской Федерации – на основе имеющихся исходных данных по выборке уже реализованных строительных проектов [6].

При этом в качестве показателя риска рассматривался срок задержки строительства объекта, а в качестве управляемых параметров риска учитывались следующие: количество договоров аренды; количество сотрудников, проверяющих документацию; среднее количество документов, предоставляемых агентом.

На основе полученных результатов при реализации оптимизационной модели на практическом примере был сделан вывод о высокой практической значимости разработанного инструментального средства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Малолетков И.Ю. Особенности рисков реализации инвестиционных проектов в строительстве // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 9–3. С. 93–97.
2. Александрова Е.Б. Методы оценки риска в строительстве // Экономическое возрождение России. 2006. № 3 (9). С. 69–76.
3. Киркина Е.Г., Птухина И.С. Оценка рисков административного высотного здания // Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 160-163.
4. Маликова Е.В., Абакумов Р.Г. Организационно-технологические риски в строительстве // Молодежь и XXI век – 2015. 2015. С. 295–298.
5. Ковалев Р.Б., Ковалев Б.И. Оценка риска в строительстве на различных стадиях жизненного цикла // Молодежь и XXI век – 2018. 2018. С. 288–291.
6. Макеева, О.В. Modelling and regulation of delay in construction of pipeline facilities: выпускная квалификационная работа магистра: направление 08.04.01 «Строительство»; образовательная программа 08.04.01\_12 «Гражданское строительство (международная образовательная программа)»; научный руководитель И.С. Птухина. СПб., 2020. DOI: 10.18720/SPBPU/3/2020/vr/vr20-1036
7. Попова Е.М., Птухина И.С., Радаев А.Е. Методика обоснования организационно-технологических характеристик комплекса объектов строительства на основе дробно-линейного программирования // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 6. С. 907–938.

КАРТИРОВАНИЕ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

*Актуальность.* На сегодняшний день в строительных компаниях России нет разработанных методик по применению инструментов бережливого производства, в частности картирование потока создания ценности. Инструменты бережливого производства способствуют повышению конкурентоспособности компании, помогают повысить маржинальность и выявить потери, но как внедрить инструменты бережливого производства в строительную компанию не описано.

*Целью работы* является повышение эффективности деятельности строительной компании с помощью инструмента бережливого производства – картирование.

Задачи исследования:

1. Изучение опыта применения инструментов бережливого производства для оптимизации деятельности строительных компаний за рубежом, а также в России;
2. Разработка карты текущего и идеального состояний процесса прохождения экспертизы проектной документации;
3. Расчет экономической эффективности.

Инструменты бережливого производства помогают компании оставаться конкурентоспособной и прибыльной, а также устойчивой к изменениям, происходящим на рынке [1]. Также они помогают руководителям компании увидеть проблемные зоны, повысить производительность труда сотрудников, что способствует обеспечению сотрудников работой и достойной зарплатой. Концепцию бережливого производства нельзя рассматривать только как набор инструментов, применение которых позволит организациям выйти на новый качественный уровень управления производством [2]. Бережливое производство предполагает вовлечение всех сотрудников в процедуру оптимизации.

Картирование потока создания ценности – метод, направленный на создание визуального образа информационных и материальных потоков, необходимых для выполнения заказа потребителя [3].

Выделяют три основных этапа картирования:

1. Создание карты текущего состояния процесса
2. Анализ текущего состояния, определение существующих потерь в процессах и при их взаимодействии;
3. Создание карты идеального состояния процесса.

Для создания карты текущего состояния был подробно проанализирован и описан процесс прохождения государственной экспертизы. На рис.1. изображена карта текущего состояния процесса прохождения экспертизы. Язык картирования состоит из множества графических компонентов, позволяющих рядовому рабочему понять и проанализировать ход выполнения любого процесса [4].

После анализа текущего состояния, выявлены действия, которые не несут ценности – они выделены в красных блоках. В зеленых блоках указаны действия, которые создают ценность.

На основании карты текущего состояния была составлена карта будущего (идеального) состояния (рис.2).

Удалось сократить по времени процесс прохождения экспертизы за счет того, что построение карты текущего позволило увидеть потери в работе, проблемы, возникающие на стыке операций [5]. Потерями в текущем состоянии являются: замечания к комплекту

документации от приемного отдела экспертизы, продление технических условий с истекшим сроком, получение недостающих писем и согласований, получение дополнительных замечаний экспертов к проектно-сметной документации, получение замечаний заказчика и устранение замечаний заказчика.

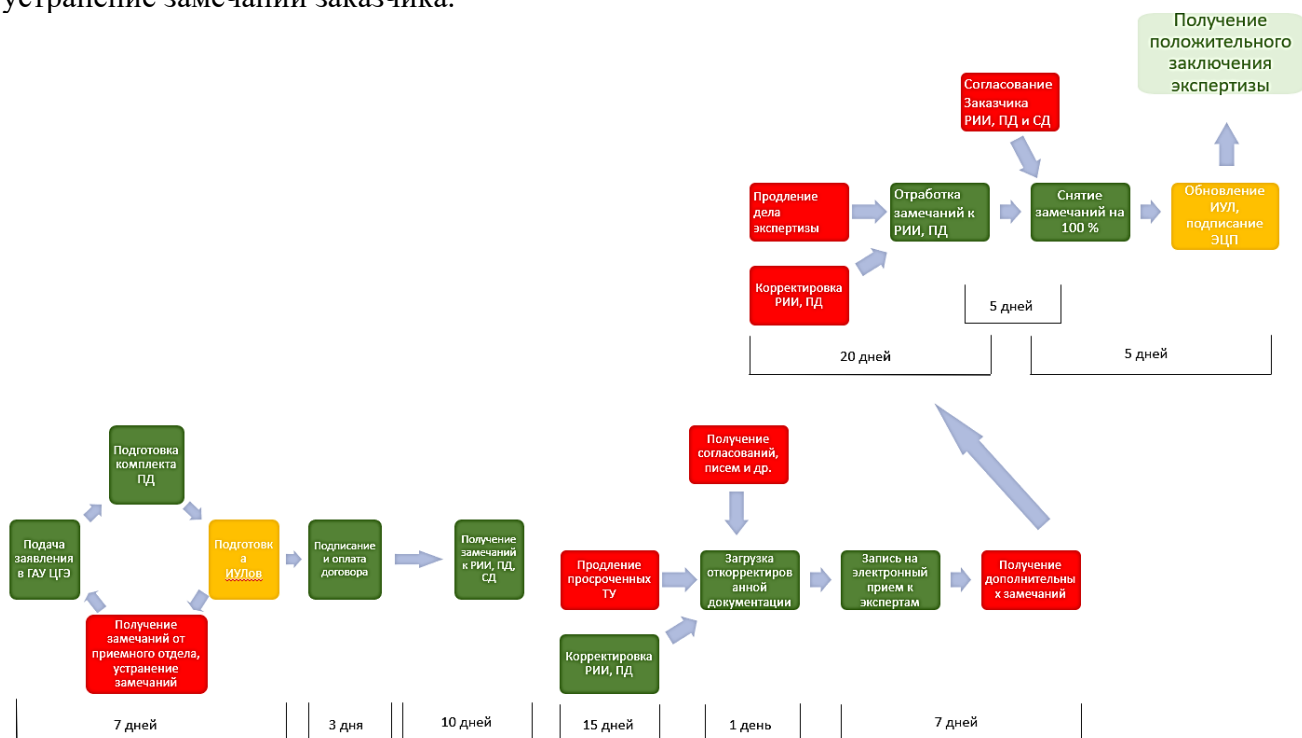


Рис. 1. Картирование текущего состояния процесса прохождения экспертизы проектной документации

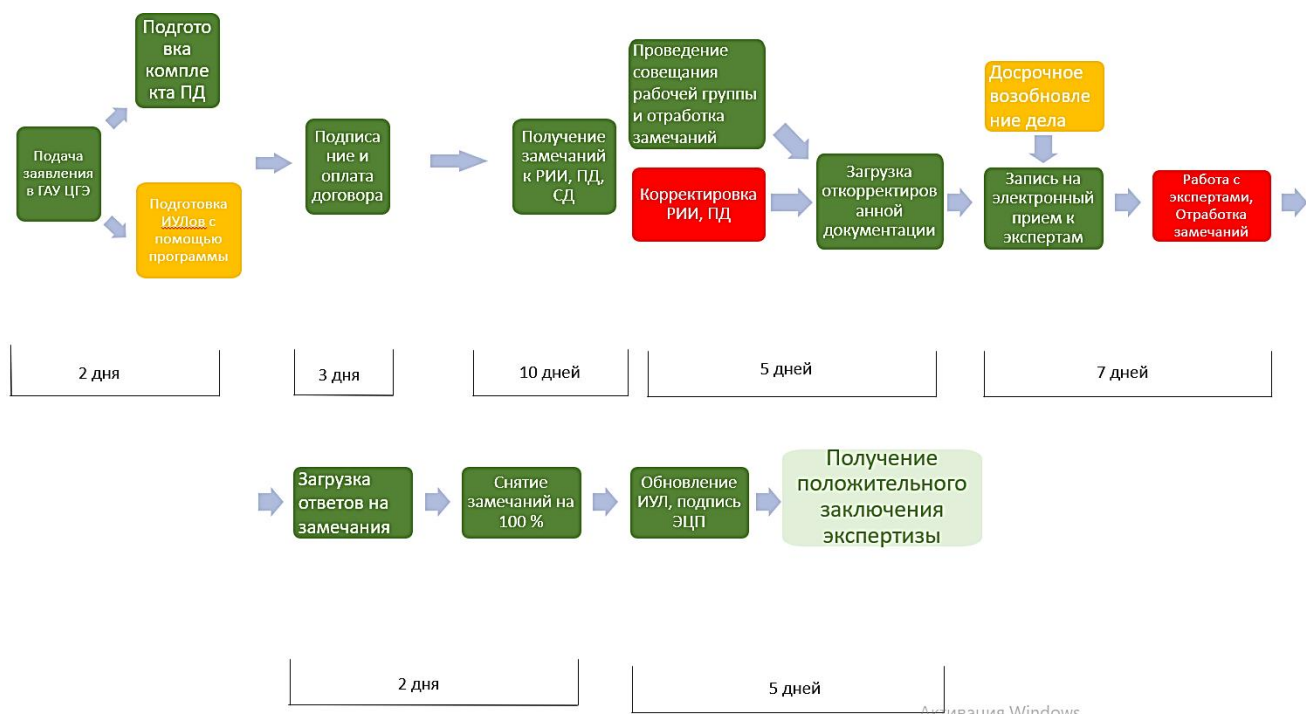


Рис. 2. Картирование идеального состояния процесса прохождения экспертизы проектной документации

После построения карты текущего состояния для устранения выявленных потерь был предложен ряд улучшений, таких как:

1. Чек-лист при подготовке комплекта проектной документации;
2. Формирование базы типовых ошибок к проектно-сметной документации и результатам инженерных изысканий;
3. Использование программы, автоматически формирующей информационно-удостоверяющий лист.

Результаты картирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты исследования

Показатель	Текущее состояние	Целевое состояние
Время цикла, дней	73	34
Время создания ценности, дней	28	27
Коэффициент эффективности	$28/73 = 0,38$ 38%	$27/34 = 0,79$ 79%

*Вывод.* Построены карты текущего и будущего состояний, а также был просчитан коэффициент эффективности. С помощью инструмента бережливого производства – картирование, была сокращена продолжительность процесса прохождения экспертизы на 39 дней. При картировании процесса прохождения экспертизы проектной документации были применены улучшения, которые позволили увеличить коэффициент эффективности на 41%.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дрепалов И.Ф., Мазурин Д.М., Петров А.А. Бережливое производство и его роль в современном строительстве // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 6 (108). С. 38–40.
2. Мистяков Р.И., Петроченко М.В. Интегрированная система менеджмента качества и бережливого производства в строительстве // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 26–29.
3. Минеев А.А., Тхазапlicheва А.Н., Марков И.А. Картирование потока создания ценности для совершенствования управления технологическими процессами и производствами // В сборнике: Перспективное развитие науки, техники и технологий. Сборник научных статей VII-ой Международной НПК. 2017. С. 131–136.
4. Мокрунов К.Н., Гойс Т.О. Картирование бизнес-процесса – как элемент бережливого производства // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы . 2021. № 1. С. 827–828.
5. Аверьянова И.Э., Анисимова М.А., Гусейнова М.В. Процесс картирования как инструмент оптимизации потерь // В сборнике: Всероссийская научно-техническая конференция "Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении". Сборник докладов. 2019. С. 261–263.

УДК 69.003.13

А.А. Черных, М.Д. Терех

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Актуальность.* Тема исследования актуальна по следующим причинам:

- Инструменты бережливого производства способствуют повышению конкурентоспособности компании.
- Инструменты бережливого производства способствуют избежать потерь на производстве, повысить маржинальность без ущерба качеству производимой продукции.
- Обнаружить слабые стороны производства, лишние процессы и устранить потери.

- Принципы бережливого производства практически не применяются строительными компаниями.
- Нет разработанной методики по внедрению бережливого производства в компанию.

Целью работы является исследование применения инструментов бережливого производства компаниями России и определение основных проблем в использовании данных инструментов в строительной отрасли.

Концепция бережливого производства – это комплекс методов и инструментов повышения качества выпускаемой продукции, который позволяет изменить устоявшиеся взгляды на организацию производственных отношений [1]. Он затрагивает все уровни организационной структуры компании и требует активного участия всего персонала от топ-менеджеров до исполнителей [2].

В России нет общего пособия по внедрению принципов бережливого производства (Lean Production) в компании, в частности строительные. На сегодняшний день в различных компаниях мира используется опыт применения инструментов бережливого производства японских компаний, в особенности опыт Toyota [3].

Однако при внедрении принципов бережливого производства в строительные компании России следует учитывать особенности российской культуры.

Элементами бережливого производства являются три основных группы:

1. Принципы.
2. Потери.
3. Инструменты.

Существует множество инструментов бережливого производства [4]. Наиболее популярными инструментами являются:

1. Система организации рабочего места 5С – метод организации своего рабочего места по 5 правилам: 1) сортировка; 2) соблюдение порядка; 3) содержание в чистоте; 4) стандартизация; 5) совершенствование;
2. Цикл PDCA (Цикл планируй-делай-проверяй-действуй) – это метод управления процессом, применяемый для стандартизации и постоянного совершенствования работы;
3. Картирование – это инструмент, который помогает разложить процесс на составные части и выявить те действия, которые не приносят ценности;
4. Отчет формата А3 – это инструмент, помогающий структурировать информацию и отразить всю необходимую информацию по проблеме на листе формата А3;
5. Снимок рабочего дня – это инструмент для выявления потерь и улучшения производительности путем отслеживания действий сотрудника
6. TSM – способ вовлечения в процесс всех сотрудников предприятия для того, чтобы каждый работник мог самостоятельно использовать оборудование и быстро исправить неполадку самостоятельно.
7. Канбан – инструмент управления проектами (постер или его электронный аналог), который отображает последовательность задач по проекту;
8. Кайдзен – технология, позволяющая выявлять потери и непрерывно улучшать работу производства.

Был проведен опрос среди людей, трудоустроенных в компании России: «Используются ли в компании, в которой Вы работаете инструменты бережливого производства? Отметьте «да», если хотя бы один инструмент применяется в Вашей компании». В опросе приняли участие 300 человек разных профессий. Результаты опроса отображены на рис. 1.

Те респонденты, которые ответили «Да», были опрошены более подробно – «укажите отрасль компании, в которой Вы работаете», «Какие инструменты бережливого производства используются в компании, в которой Вы работаете?», «Пользуетесь ли лично Вы инструментами бережливого производства?». Результаты опроса приведены на рис. 2, 3, 4.

**ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЛИ В КОМПАНИИ, В КОТОРОЙ ВЫ РАБОТАЕТЕ ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА?**

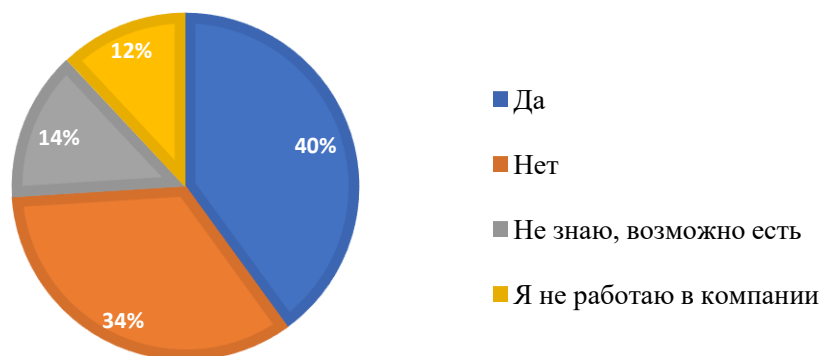


Рис. 1. Результаты опроса

**ОТРАСЛЬ КОМПАНИИ, ПРИМЕНЯЮЩЕЙ ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА**



Рис. 2. Результаты опроса

**КАКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ВАШЕЙ КОМПАНИИ**

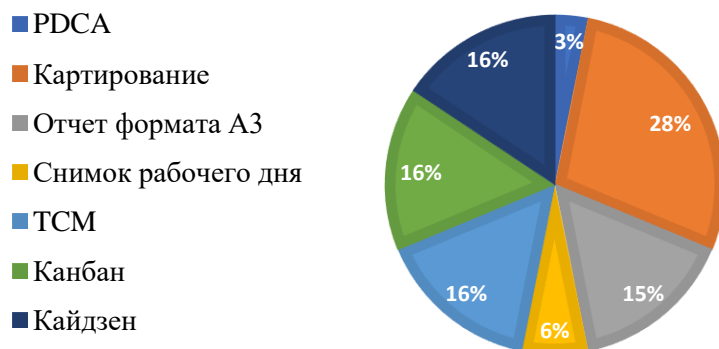


Рис. 3. Результаты опроса



Рис. 4. Результаты опроса 1

По результатам опроса можно сделать вывод, что больше половины компаний в России используют инструменты бережливого производства, но строительных компаний среди них всего 7%. В России, как и во всем мире концепцию бережливого производства, прежде всего, начали применять в автомобилестроении. После чего адаптировали в другие сферы деятельности – здравоохранение, торговля, ИТ и т.д. Наиболее популярным инструментом бережливого производства является картирование – 28%. Кроме того, только 16% сотрудников сами используют инструменты бережливого производства для улучшения деятельности компании.

На сегодняшний день мы видим, что внедрение системы «Бережливое строительство» в организации на практике представляет собой хаотичный процесс [5]. Это происходит, так как отсутствует общая система знаний о совокупности применяемых методов и приемов. Теоретическая база внедрения бережливого строительства в настоящее время пока не создана, что определяет актуальность данной темы исследования. В связи с этим становится все более актуальным изучение методологии внедрения бережливого строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дрепалов И.Ф., Мазурин Д.М., Петров А.А. Бережливое производство и его роль в современном строительстве // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 6 (108). С. 38–40.
2. Хузиев Г.М., Сагитова Н.С. Модель внедрения бережливого производства в строительной отрасли // Управление устойчивым развитием. 2019. № 1 (20). С. 24–28.
3. Кибирев Ю.В., Потёмкина М.В., Лончих П.А., Лившиц И.И., Кунаков Е.П. Оценка эффективности процессов и безопасности машиностроительных и строительных организаций на основе бережливого производства // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 8 (147). С. 36–45.
4. Канюкова В.П. Бережливое производство: основные инструменты и принципы бережливого производства // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 7 (23). С. 642–647.
5. Агишев К.Н., Мальнев С.Ю., Хватова Т.Ю. Разработка концепции управления инвестиционно-строительными проектами с использованием инструментов, методов и технологий бережливого строительства // Бизнес. Образование. Право. 2019. №3 (48). С. 207–210.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА  
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Исследуемая тема представляет теоретический и практический интерес, так как предприятиям необходимо осуществлять рациональную и эффективную инвестиционную деятельность. Это зависит от множества факторов, таких как: нехватка ресурсов, ускоренное техническое обновление, ужесточение конкуренции, финансовая и экономическая политика и т.д. Выбор конкретных методов, процедур и математического аппарата для оценки эффективности зависит от сложности и характера объекта оценки.

Основное содержание и суть инвестиционного проектирования в строительстве составляют технико-экономические исследования и обоснование выполнимости такого проекта с учётом неопределённостей и рисков. Современные ученые занимаются вопросами совершенствования методов управления в строительстве в зависимости от условий проекта. Принимая во внимание вышесказанное, можно сделать вывод об актуальности проведения настоящего исследования.

Методы исследования состоят из анализа литературы (или нормативно-правовых документов) по рассматриваемой теме, изучения и обобщения сведений, сравнений, классифицирования, моделирования.

*Цель работы* – повышение эффективности принимаемых управленческих решений при строительстве логистических объектов с учетом рисков.

Для достижения поставленных целей была составлена классификация всех рисков в управлении строительством логистических объектов и выделены основные финансовые риски менеджмента. Эти риски включают в себя: риски рентабельности, риски потерь и риски, связанные с увеличением бюджета вложений в строительство логистических объектов [1–2].

Для строительства логистического комплекса были посчитаны [3]:

- $c_j$  – удельные затраты на содержание каждой категории зоны хранения;
- $k_j$  – удельные затраты на обустройство категорий зон хранения;
- $v_j$  – выручка от аренды единицы площади каждой категории зоны хранения.

Рассматривались три категории зоны хранения [4]:

- 1) полузакрытый склад;
- 2) закрытый склад;
- 3) холодильный склад.

Неизвестные переменные:  $x_j$  – площадь зоны  $i$  хранения категории  $j$ ;  $\Delta x_j$  – упущенная выгода (неудовлетворённая потребность), соответствующая зоне хранения категории  $j$  в рамках элементарного периода  $t$  в единицах площади.

На основании полученных данных была разработана математическая модель эффективности принимаемых управленческих решений при строительстве логистических объектов. Модель, отвечающая за распределение по запросу от контрагентов выгодных  $x_j$  площадей зон хранения для строительства комплекса, за  $ROIC(x)$  – рентабельность затрат на обустройство складского комплекса [5–6].

Целевой функцией модели является разность единицы выручки и единицы затрат на содержание в расчете на единицу капитальных затрат (рентабельность). Функция максимизируется по формуле (1):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{\sum_{j=1}^n v_j (x_j - \sum_{t=1}^T \Delta x_{jt}) - \sum_{j=1}^n c_j x_j}{\sum_{j=1}^n k_j \cdot x_j} \rightarrow \max \\
 ROIC(x) \{x_j\}, [\Delta x_j] \\
 x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\
 \Delta x_{jt} \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T \\
 S_{min} = \sum_{j=1}^n x_j = S_{max} \\
 \Delta x_{jt} \geq \sum_{j=1}^n D_{ijt} - x_j, j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T
 \end{array} \right. \quad (1)$$

На конкретном примере была рассмотрена данная модель, с помощью неё были посчитаны следующие значения:

$\sum_j x_j$  – суммарное фактическое значение площади, 3000 м<sup>2</sup>;

$\sum_j v_j x_j$  – суммарная выручка от аренды площади зон хранения, 153000 ед.;

$\sum_j v_j \sum_t \Delta x_{jt}$  – суммарно упущенная выгода, 6429150 д.е.;

$\sum_j c_j x_j$  – суммарные затраты на содержание зон хранения, 84000 д.е.;

$\sum_j k_j x_j$  – суммарные затраты на обустройство зон хранения, 1215000 д.е.;

Были получены следующие результаты:

Таблица 1 – Расчетные значения неизвестных переменных

			Индикатор соответствия контрагента категории зон хранения с индексом		
			1	2	3
			Полузакрытый склад	Закрытый склад	Холодильный склад
Площадь зоны хранения	$x_j$	м <sup>2</sup>	0	0	3000
Суммарная (по периодам) упущенная выгода в ед. площади	$\sum_t \Delta x_{jt}$	м <sup>2</sup>	9600	158450	0

$ROIC(x)$  – рентабельность затрат на обустройство зон хранения (исх.), -5,23 (рис. 1).

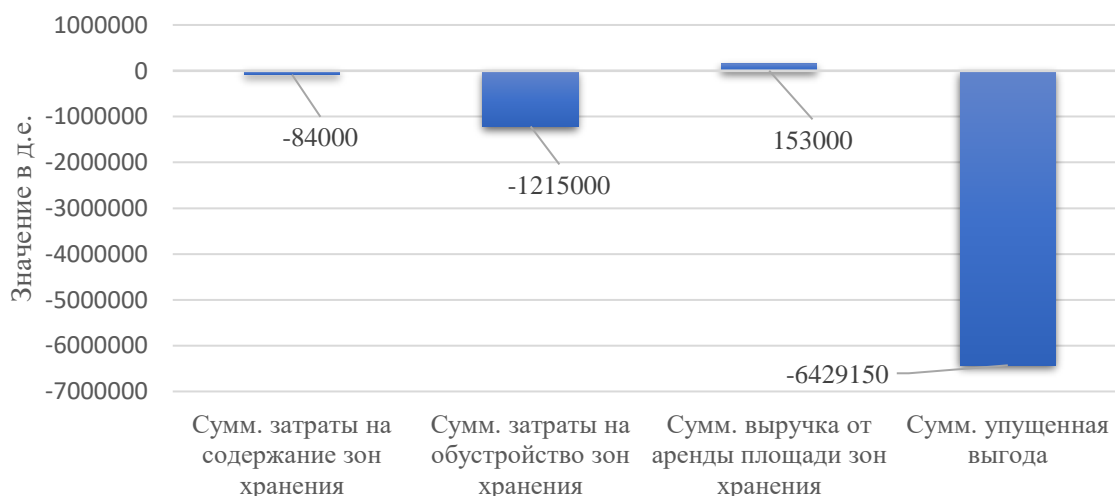


Рис. 1. Рентабельность затрат на обустройство зон хранения (исх.)

*Вывод.* Спрос на площади категории 2 (закрытый склад) был самым высоким, исходя из запросов от контрагентов, но соотношение «(выручка-текущие затраты)/капитальные затраты» наиболее выгодно именно для площадей категории 3 (холодильный склад). Поскольку с ростом площади целевая функция *ROIC* убывает, алгоритм выбирает решение с наименьшей площадью – 3000 м<sup>2</sup>. С учётом исходных данных реализация математической модели показала, что проект нерентабелен.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов Д.В. Классификация рисков, как многозадачные инструмент риск-менеджмента организаций // Управление экономическими системами. – 2011. – №30. – с. 11.
2. Garcia D.J., You F. Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities // Computers and Chemical Engineering. – 2015. – №81. – с. 153–170.
3. Малюк В.И., Радаев А.Е., Силкина Г.Ю. Методика обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий с использованием средств оптимизационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2018. – Выпуск 6, том 11. – с. 195–211.
4. Ефимова А.А. Разработка рекомендаций зонирования складского комплекса // Вестник магистратуры. – 2020. – №3-1(102). – с. 51–55.
5. Пилипчук С.Ф., Радаев А.Е. Определение потребной вместимости склада // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – №5. – с. 19–25.
6. Чернов Ю.П. Оценки ресурсов в дробно-линейном программировании и их приложения в рыночной экономике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №3 – с. 37–41

УДК 69.003

А.С. Шклярова, Т.Н. Солдатенко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ОФИСНОГО ПРОСТРАНСТВА

*Цель работы* – обоснование вида креативного пространства в бизнес-центре.

Проблема организации офисных пространств имеет для России особую важность. Установлено, что в настоящее время структура и дизайн российских деловых пространств, по некоторым оценкам, примерно в 80% случаев не соответствует изменениям организационных и технологических потребностей компаний [1]. Активное развитие сервисно-информационного сектора экономики, расширение системы деловых отношений обуславливают необходимость и актуальность совершенствования офисных пространств.

За последние годы существенно изменился способ организации рабочего пространства. Все большее распространение приобретает открытый тип организации пространства (Рис. 3), соответствующий командному типу работы, в котором основное место занимает взаимодействие между сотрудниками [2]. Устойчивой тенденцией развития офисных интерьеров стало увеличение доли открытых рабочих зон. Количество офисов с указанными зонами выросло с 47% в 2019 году до 51% в 2021 г. и продолжает увеличиваться [2].

Преимущества данного вида интерьеров состоят в том, что улучшается коммуникация между сотрудниками, обеспечивается простота планировки, повышается уровень контроля работы персонала. Из недостатков можно выделить наличие в помещении постоянного шума, отсутствие личного пространства, понижение здоровой среды и заметное уменьшение продуктивности офисной работы. Укрупнение открытых рабочих зон, с одной стороны, сокращает долю неэффективных помещений, так как необходимость в коридорах отпадает. Но, с другой стороны, размещение значительного количества сотрудников в одном пространстве значительно повышает требования к качеству интерьеров помещений.



Рис. 3. Планировка open-space

Планировка офиса кабинетного типа представляет собой классическое закрытое оформление интерьера (Рис. 4). Она организуется путем размещения персонала в отдельных помещениях. Такой тип планировки наиболее необходим для компаний, которым требуется создание приватной атмосферы, например, медицинским учреждениям, банковским организациям [3]. Особенностью офисов кабинетного типа является соблюдение общепринятых параметров и норм труда, в частности, размещение в кабинете площадью 10–13 м<sup>2</sup> не более 3–4 человек. Существуют два основных вида офисов кабинетного типа [1]:

1. К первому виду относятся кабинеты для одного-двух человек. Для него характерным является максимальная уединенность сотрудников, четкая пространственная организация рабочих мест, статичное впечатление, практическая невозможность работы в команде и отсутствие гибкости в перепланировке.
2. Ко второму виду относятся офисы, состоящие из комнат большего размера, рассчитанных на работу в них трех человек и более. Как правило, при этом возникает определенный дух коллективизма, который, однако, распространяется только на небольшую группу людей. Одновременно могут возникать проблемы в отношениях с другими подразделениями компании [1].

К достоинствам закрытой планировки офисов относятся следующие: высокий уровень конфиденциальности выполняемых заданий, сниженный уровень шума, психологический комфорт сотрудников. Вместе с тем, у такой планировки имеются и существенные недостатки: сравнительно низкая возможность оперативного контроля работы, высокий уровень затрат на обустройство офиса, слабая выраженность командной работы, нерациональное использование полезной площади.

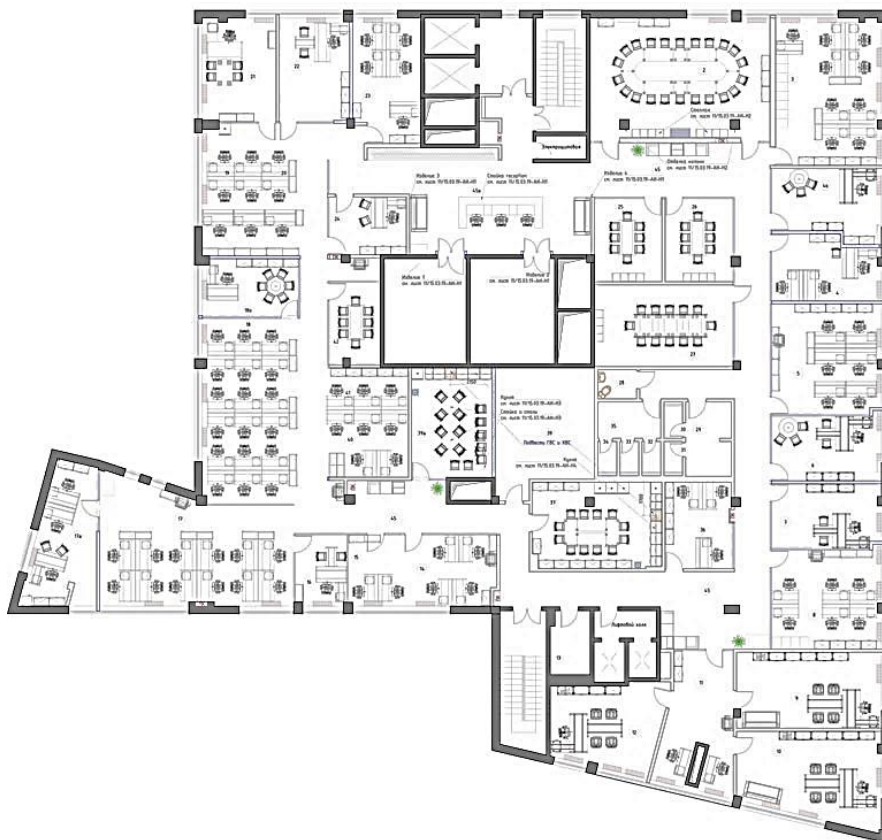


Рис. 4. Планировка офиса кабинетного типа

Преимущества двух рассмотренных планировочных решений сочетает в себе комбинированный офис (Рис. 5). В таком офисе индивидуальные и групповые комнаты отделяются прозрачными перегородками от центральных зон, предназначенных для общего пользования. Таким образом, сглаживается противоречие между стремлением сотрудников сосредоточиться на выполняемой работе и их потребностью в общении [1]. Площадь экономится за счет создания единой общей зоны отдыха, туалетных комнат и места приема пищи [3].

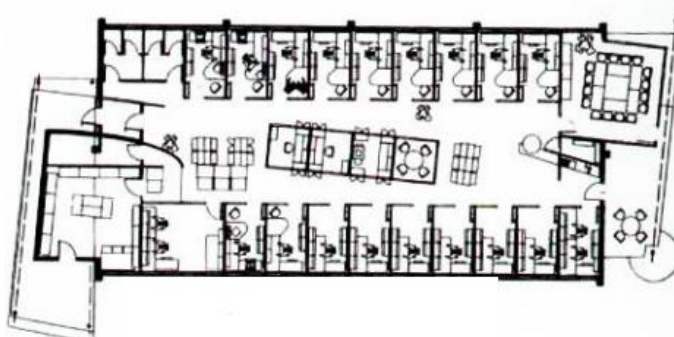


Рис. 5. Планировка комбинированного офиса

Следует отметить, что планировка интерьера офиса производится таким образом, чтобы сэкономить затраты его владельца или арендатора. Площадь помещения задействуется максимально, хотя при этом и соблюдаются трудовые нормы и правила. В этих условиях необходимым условием для комфорта и плодотворной трудовой деятельности персонала компании становится эргономичная и удобная мебель [3].

Еще одним достаточно эффективным способом улучшения работоспособности и удовлетворённости сотрудников является внедрение работодателями в офисах креативных пространств. Креативные пространства представляют собой места для деятельности, в основе которой лежит творческое начало, навык или талант [4]. Установлено, что они способствуют улучшению психологического и морального состояния людей. Существует несколько подходов к обустройству пространства для отдыха.

1. Лаунж-зона. Это зона комфорта, с удобными мягкими диванами и креслами, оборудованная по типу гостиной комнаты. Основная задача такой зоны – создание неформальной, расслабляющей обстановки, без навязчивого официоза. Дополняется другими предметами мебели, в зависимости от предназначения.

2. Оранжерея. Считается, что растения играют немалую роль в создании комфортной офисной среды, что повышает производительность труда сотрудников. Основными факторами положительного воздействия растений являются следующие: улучшение состояния воздуха; хорошее выделение поглощенной влаги, что приводит к повышению влажности воздуха в помещении и облегчению дыхания; нейтрализация действия вредных веществ; улучшение внимания и зрения; снижение стрессового состояния; улучшение здоровья сотрудников в целом [5].

3. Фитнес-центр. Исследование, представленное специалистами Американского колледжа по спортивной медицине, доказывает, что сотрудники, которые в течение 30-60 минут занимаются спортом в обеденный перерыв, в среднем показывают рост продуктивности на 15%. При этом порядка 60% сотрудников утверждают, что после занятий спортом они более эффективно расходуют рабочее время, их умственные способности возрастают, а способность справляться с дедлайнами улучшается.

4. Pet-friendly. Компании разрешают сотрудникам брать на работу своих домашних любимцев: кошек, собак и даже ручных крыс. Это делается при условии, что коллектив не возражает (у кого-либо из коллег нет аллергии или фобии), а для самого питомца такое перемещение не будет стрессом [6]. Актуальные западные исследования доказали, что общение с животным на работе снимает стресс, поднимает настроение, а также положительно сказывается на эффективности труда и лояльности сотрудников.

При обустройстве офисов необходимо учитывать, что сформировалось новое поколение, поколение информационного общества, которое ищет возможности для развития творческих взаимоотношений, расширения границ трудовой деятельности, самореализации и самовыражения. Поэтому вместе с изменением взгляда на рабочий процесс меняется и представление о том, каким должен быть современный офис. Появилась необходимость в новых способах организации рабочего пространства, функционального и комфортного для каждого сотрудника и для реализации основного на сегодня вида деятельности в офисе – работы с информацией [3].

Таким образом, главной задачей при проектировании офиса является организация пространства таким образом, чтобы оно стало удобным для работы каждого сотрудника по отдельности и в команде [2].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Интерьер офисного пространства. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2015. – 56 с.
2. Вычегжанина Н.Ю. Организация офисного пространства, как способ повышения продуктивности работы сотрудников // Вестник Харьковской государственной академии дизайна и искусств, 2014. – № 1. – С. 14–19.
3. Планировка офиса: какой вид планировки выбрать? [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: Режим доступа: <https://gh-office.ru/blog/planirovka-ofisa/>
4. 17 бизнес-идей креативных и общественных пространств сотрудников [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: Режим доступа: <https://www.openbusiness.ru/biz/business/creative-space/>
5. Офисные цветы [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: Режим доступа: <https://delayart.ru/floristika/ofisnye-tsvety/>
6. Пес с ними: зачем российские компании пускают в офис животных [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: Режим доступа: [https://www.rbc.ru/own\\_business/20/07/2018/5b4f48b09a79475f57c2a6c2/](https://www.rbc.ru/own_business/20/07/2018/5b4f48b09a79475f57c2a6c2/)

## МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИКИ

*Цель работы* – определить наиболее эффективные шаги по уменьшению газовых выбросов при производстве керамики.

Несмотря на то, что керамические строительные материалы являются одними из самых экологически безвредных, тем не менее их производство (преимущественно на стадии обжига) сопровождается выбросами газообразных отходов. В таблице 1 представлены данные по выбросам загрязняющих веществ при обжиге кирпича и черепицы в некоторых странах ЕС.

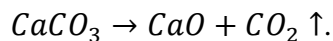
Как видно из таблицы 1, выбросы всех видов отходов существенно различаются во всех странах. Это связано с особенностями технологического процесса и содержанием основных компонентов этих газов (серы, азота, углерода, фтора и хлора) в используемой среде. Из этих данных можно сделать закономерный вывод, что выбросы газообразных отходов поддаются регулированию путем внесения изменений в технологический процесс. На рис. 1. Представлена схема возможных решений проблемы газовых выбросов [1].

Таблица 1 – Диапазоны выбросов загрязняющих веществ с неочищенными дымовыми газами при обжиге кирпича и черепицы [1–3]

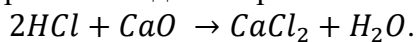
Содержание компонента, мг/м <sup>3</sup>	Австрия	Франция	Нидерланды	Италия	Дания
Фтороводород HF					
Мин.	0	1	1	0	10
Макс.	60	130	150	350	150
Хлороводород HCl					
Мин.	–	0	1	0	5
Макс.	–	30	32	200	50
Оксиды серы SO <sub>x</sub>					
Мин.	5	0	2	0	20
Макс.	100	1090	630	3200	700
Оксиды азота NO <sub>x</sub>					
Мин.	9	5	27	5	50
Макс.	80	200	464	100	200
Монооксид углерода CO					
Мин.	–	0	7	100	–
Макс.	–	1200	701	500	–

Снижение подачи источников загрязнения [1] путём уменьшения доли загрязняющих элементов (серы, азота, фтора и хлора) в составе используемого сырья может значительно понизить выбросы газовых отходов. Единственной трудностью на пути реализации такого решения являются проблемы логистики, т. к. не все предприятия по производству керамики имеют непосредственный доступ к такому сырью, что повлечёт увеличение экономических издержек производства, связанных с транспортировкой такого сырья из более удалённых от предприятия регионов.

Другим путём решения обозначенной проблемы является внедрение кальций содержащих добавок в формовочную массу [1]. Рассмотрим эффективность такого решения с химической стороны вопроса. При обжиге формовочной массы добавленный в неё тонко измельченный карбонат кальция в виде мела или известняка будет распадаться с образованием оксида кальция:



Образующиеся в процессе обжига фторо- и хлороводород и оксиды серы будут «фиксировать» главные атомы этих веществ в устойчивых соединениях кальция. Рассмотрим процесс нейтрализации хлороводорода, аналогично которому проходят реакции с фтороводородом и оксидами серы:



Следует заметить, что внедрение кальцийсодержащих добавок в формовочную массу

влечет за собой риски, связанные с изменением технических параметров кирпича. Цвет кирпича становится более светлым, что делает невозможным применение этой технологии для производства облицовочного кирпича. Повышается содержание в изделии водорастворимых сульфатов, которые являются одной из причин образования высолов на кирпиче. Изменяется прочность при сжатии кирпича. Повышается водопоглощение кирпича, что делает его менее морозостойким.

Ещё одна группа технологических решений проблемы связана с различными путями оптимизации процесса производства [1]. Уменьшению газовых выбросов в производстве кирпича будут способствовать следующие оптимизационные шаги:

- Оптимизация процессов обжига в вопросах регулирования скорости нагрева и температуры обжига поможет сократить выбросы  $SO_x$  и HF, т. к. эти параметры существенно влияют на происходящие при обжиге химические процессы образования этих газов. Так же оптимизация процессов обжига позволит достичь энергоэффективного режима работы печей;
- Снижение выбросов фтороводорода возможно за счёт уменьшения количества водяного пара в топочных газах – газах, которые образуются при сгорании топлива, т. к. при производстве кирпичей фтороводород преимущественно образуется при пиролизе глинистых минералов;
- Достижение снижения выбросов оксидов азота  $NO_x$  при обжиге огнеупорных керамических материалов (при температуре выше 1300 °С) можно за счёт внедрения специальных горелок с пониженным выделением оксидов азота, однако такие горелки показывают свою неэффективность при температурах обжига от 1400 °С.

Наиболее классическим и эффективным методом борьбы с газовыми выбросами при производстве является установка на выходах из труб поглотительных установок [1]: абсорберов и адсорберов. Для очистки газовых отходов используют различные системы: горизонтальные адсорберы каскадного типа, модульные адсорбционные системы, рукавные фильтры, электрофильтры, системы мокрой очистки, угольные фильтры, биоскрубберы и т.д. На современных предприятиях по производству керамических изделий уже внедряются комплексы обозначенных выше решений, что позволяет существенно снизить газовые выбросы при производстве керамики. В таблице 2 приведены параметры эффективности различных решений и их комбинаций [1].



Рис. 1. Возможные решения проблемы газовых выбросов при производстве керамики



Таблица 2 – Эффективность и стоимость различных решений для снижения газовых выбросов

Тип поглотительной установки	Средние капитальные вложения, тыс. €	Содержание серы в сырье	Интегрированные решения	Эффективность снижения выбросов, %			
				HF	SO <sub>x</sub>	HCl	Пыль
Сухая фильтрация дымовых газов	450	Низкое	Внедрение соединений кальция	96	7	0	92
		Высокое	–	95	34	83	0
Горизонтальные адсорберы каскадного типа	460	Низкое	–	99	76	94	83
		Высокое	Внедрение соединений кальция	96	8	18	39
Мокрая очистка дымовых газов	580	–	–	92	55	72	100

Исходя из таблицы 2, можно сделать основной вывод исследования: наиболее эффективным решением по снижению газовых выбросов будет внедрение горизонтальных адсорберов каскадного типа совместно с использованием сырья с низким содержанием серы. Это решение позволяет достичь наибольшей эффективности снижения газовых выбросов по всем позициям при оптимальных средних капитальных вложениях. Следует также заметить, что дополнительно к этому решению будет целесообразно предпринять обозначенные выше шаги по оптимизации производства керамики.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям. Производство керамических изделий // Европейская комиссия. Генеральная дирекция. Объединенный научный центр. Институт по исследованию перспективных технологий. Отдел конкурентоспособности и устойчивого развития. Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений окружающей среды. 2007.
2. BMLFUW (2003). Austrian Study on State of the Art of Manufacturing Ceramic Goods by Firing.
3. VITO (2003). The Flemish BAT-report on the ceramic industry (brick and roof tile industry), English translation of parts of the original Dutch version – published in 1999.
4. TWG Ceramics (2005). Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1.
5. TWG Ceramics (2005). Merged and sorted comments master spread sheet on draft 2.

УДК 69.1418

А.Ю. Щукин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИТУМНЫХ МЕМБРАН, РУЛОННЫХ И ОБМАЗОЧНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИЙ

*Цель работы* – провести сравнительный анализ решений по гидроизоляции фундаментов здания.

Гидроизоляционные материалы устанавливаются после укладки бетона и взаимодействуют с ним, образуя адгезивную и водонепроницаемую связь [1]. На рынке представлено большое количество методов гидроизоляции фундамента [2].

Битумные мембраны из полиэфирного нетканого полотна обладают более высокой начальной прочностью и лучшими гидроизоляционными свойствами, чем обычные листовые мембраны. Кроме того, их полимерные составляющие имеют более высокую межфазную адгезию и прочность на разрыв, чем у обычных материалов [2, 3].

Рулонные материалы, имеющие в составе битум, а не цемент, при передаче трещин от бетонного основания, более устойчивы к ним. Трещины в данном виде гидроизоляции могут привести к потере водонепроницаемости материала [4].

Использование битума в качестве основы для обмазочной гидроизоляции повышает адгезию и сцепление поверхностей, что обеспечивает системе хорошую водостойкость [5].

Нами были выбраны самые востребованные гидроизоляционные материалы: битумные мембраны из полиэфирного нетканого полотна, рулонная и обмазочная гидроизоляция с использованием битума в составе материала.

Для анализа выбраны материалы от разных производителей и введен ряд критериев (табл. 1, 2) для сравнения, исходя из технических листов материала.

Для расчета экономических показателей был выбран фундамент с площадью рабочей поверхности 100 м<sup>2</sup>. Ведомости объемов материалов составлены по рабочей документации.

Данные по ценам материалов и работ приняты на март 2022 г.

Таблица 1 – Критерии оценки типов гидроизоляции по прочностным характеристикам

Материалы	Водонепроницаемость при давлении не менее 0,06 МПа	Основа	Прочность сцепления с бетоном	Класс пожарной опасности
Битумные мембраны (ICOPAL ULTRANAP)	Абсолютная	Полиэфирное нетканое полотно	0,1 МПа	КМ5
Рулонная (Технониколь)	Абсолютная	Битум	0,2 МПа	КМ5
Обмазочная (битумный праймер Profimast)	Не абсолютная	Битум	0,1 МПа	КМ5

Таблицы 2 – Критерии оценки типов гидроизоляции по сроку эксплуатации и монтажу

Материалы	Срок службы	Поверхность для нанесения	Сложность установки
Битумные мембраны (ICOPAL ULTRANAP)	30 лет	Может иметь неровности	Сложная
Рулонная (Технониколь)	50 лет	Не должно иметь неровности	Сложная
Обмазочная (битумный праймер Profimast)	5 лет	Может иметь неровности	Легкая

Таблица 3 – Расход материала

Материалы	Масса на 1 м <sup>2</sup> , кг	Геом. показатели на S покрываемой поверхности
Битумные мембраны (ICOPAL ULTRANAP)	5,0	10×1 м
Рулонная (Технониколь)	1,5	10×1 м
Обмазочная (битумный праймер Profimast)	0,18	2/5/10/21.5 л

Таблица 4 – Ведомость объемов работ

Материалы	Кол-во материала	Стоимость материала, руб.	Стоимость работ на 100 м <sup>2</sup> , руб.	Стоимость с учетом работ, руб.
Битумные мембраны (ICOPAL ULTRANAP)	10 пачек	35 200	35 000	70 200
Рулонная (Технониколь)	11 пачек	32 824	65 000	97 824
Обмазочная (битумный праймер Profimast)	1 тара (21,5 л)	2 267	12 000	14 267

В качестве рассматриваемого промежутка времени выбрано 50 лет. Поскольку срок службы обмазочной гидроизоляции (битумный праймер Profimast) и битумные мембраны

(ICOPAL ULTRANAP) – 5 и 30 лет, потребуется провести 10 и 1 ремонтных работ соответственно. Тогда стоимость работ с материалов для обмазочной гидроизоляции составит 142 670 руб., а для битумных мембран 140 400 руб. К ремонтным работам добавится вскрытие вокруг котлована, разработка грунта, обратная засыпка и устройство территории. Также стоит учитывать, что стоимость материалов и работ со временем увеличивается.

На основе проведенного анализа (табл. 1, 2, 3, 4) были получены следующие выводы: обмазочная изоляция (битумный праймер Profimast) является самым экономичным и легким в применении вариантом, но имеет ряд недостатков, например, не абсолютную водонепроницаемость и короткий срок службы. При использовании данного вида гидроизоляции потребуются ремонтные работы.

Главным преимуществом битумных мембран (ICOPAL ULTRANAP) является высокий срок службы и возможность установки на неровную поверхность.

Рулонная гидроизоляция (Технониколь) является самым дорогим материалом из исследуемых. Главной особенностью данного материала является высокая прочность сцепления с бетоном и долговечность, но также имеет ряд недостатков, например, сложность монтажа и высокие требования к поверхности фундамента.

В данном исследовании оптимальным решением является выбор рулонной гидроизоляции. На этапе расчета экономической выгоды на промежуток времени 50 лет, выбор данного решения является выгоднее обмазочной гидроизоляции на 45%, а рулонной на 44%, без учета работ по вскрытию грунта вокруг котлована, его засыпке и увеличению цен на работу/материал с течением времени.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Gonçalves M., Silvestre J.D., de Brito J., Gomes R. Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs // *Journal of Building Engineering* – 2019 Vol. 3.
2. Азарова Д.Е., Дягилев Е.Е. Выбор гидроизоляционного решения для строительного объекта // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе* – 2020.
3. Kicheol Lee, Dongwook Kim, Soon-Wook Choi, Soo-Ho Chang, Tae-Ho Kang and Chulho Lee. Numerical Analysis of the Contact Behavior of a Polymer-Based Waterproof Membrane for Tunnel Lining // *Development of a thin-layered waterproofing membrane* – 2020.
4. Dos Santos J.A.B., Monte R. Evaluation of the crack bridging ability of waterproofing membranes using indirect tensile test and digital image correlation // *Journal of Building Engineering* – 2022 Vol. 45.
5. Mazzotta F., Lantieri C., Vignali V., Simone A., Dondi G., Sangiorgi C. Performance evaluation of recycled rubber waterproofing bituminous membranes for concrete bridge decks and other surfaces // *Construction and Building Materials* – 2017.

УДК 69.07

С.А. Дмитриева, А.В. Кулибаба, В.И. Корсун  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСИЛИЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧКАХ СООРУЖЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО НАГРЕВА РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

*Введение.* Для большого класса инженерных сооружений (дымовые трубы, градирни, силосы, защитные оболочки АЭС и др.) характерна работа в условиях совместных силовых и температурных воздействий, неравномерных по толщине конструкций. Температурные градиенты обуславливают в конструкциях неоднородность физико-механических свойств бетона и арматуры, неравновесность деформаций усадки и ползучести бетона в направлении температурного перепада, а также трещинообразование [1]. Несвободные температурные деформации приводят к появлению в статически неопределимых элементах конструкций температурных усилий, величины которых, вследствие трещинообразования и релаксации напряжений, изменяются с течением времени [2]. Действующие нормы позволяют выполнять расчеты только для двух дискретных режимов воздействий температур на конструкции: первый кратковременный и длительный нагрев конструкции без возможности оценивать их напряженно-деформированное состояние (НДС) для любого произвольного момента времени действия температуры и нагрузки.

*Объект исследования:* элементы железобетонной оболочки дымовой трубы  $H = 120$  м на отметках ствола +5.0 м, +60.0 м и +117.5 м.

*Исследуемые факторы влияния:* величина и продолжительность действия перепадов температур по толщине элемента, величина продольной сжимающей силы в расчетном сечении, параметры армирования.

*Цель работы* – определить характеристики напряженно-деформированного состояния расчетных элементов железобетонной оболочки дымовой трубы с применением физически-нелинейной деформационной модели железобетона.

*Задачи исследования:*

1. Определение усилий от собственного веса оболочки и подбор армирования с учетом ветровой нагрузки в расчетных элементах сечений средствами ПК SCAD.
2. Расчеты распределения температур по толщине расчетных элементов оболочки.
3. Определение температурных усилий, напряжений в бетоне и в арматуре, моментов трещинообразования и ширины раскрытия трещин для расчетных элементов с учетом закономерностей развития во времени температурно-усадочных деформаций и деформаций ползучести бетона при неравномерном нагреве.

*Методика исследований.* Определение характеристик напряженно-деформированного состояния в элементах железобетонной дымовой трубы осуществлялось на основе физически нелинейной деформационной модели железобетона, основные физические соотношения которой в приложении к температурным задачам изложены в работе [2]. Влияние повышенных температур на физико-механические свойства и деформации обычного бетона учитывается аналитическими зависимостями по методикам [2–5]. В качестве расчетной модели (рис. 1) рассматривается неоднородный железобетонный элемент прямоугольного сечения с размерами  $b \times h$  и двухуровневым расположением арматуры. Физические соотношения для неоднородного балочного элемента записываются в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} N_z \\ M_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_2 & A_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_{0z} \\ \chi_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_{0z} \\ M_{0x} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Отличительной особенностью соотношений (1) является наличие свободного вектора-столбца  $[N_{0z}, M_{0x}]^T$ , содержащего составляющие усилий в расчетных сечениях элементов, обусловленных температурно-усадочными деформациями и ползучестью бетона для расчетного момента времени.

Характеристики НДС определялись для горизонтальных и вертикальных сечений ствола на расчетных отметках. Расчет распределения температуры по толщине железобетонной стенки ствола осуществляется с учетом многослойности конструкции по методике СП 27.13330.2017.

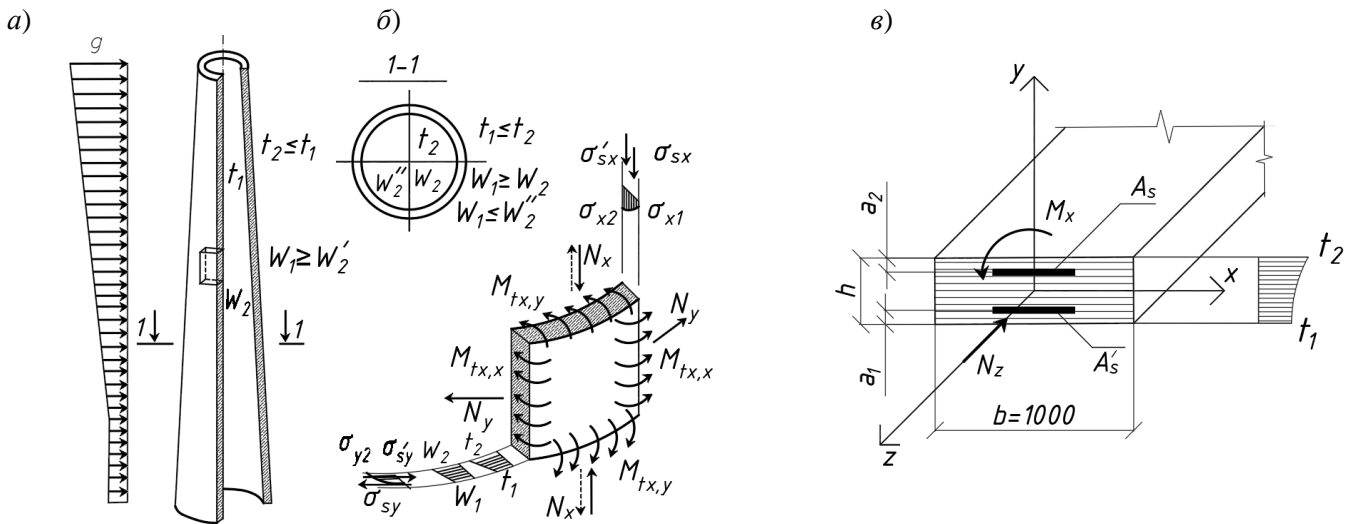


Рис. 1. Схема нагрузок и воздействий на оболочку дымовой трубы (а); усилия в характерных элементах сооружения (б); расчетная схема элемента оболочки (в)

Бетон принят класса В30, армирование – арматурой класса А500. По результатам расчета в ПК SCAD требуемый диаметр арматуры – 12 мм с шагом 200 мм. Результаты расчета железобетонных элементов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Температурные усилия в сечениях и деформации элементов конструкции при кратковременном нагреве

№ п/п	Отметка расчетного сечения, м (толщина)	$T_H/T_B, ^\circ\text{C}$	Расчет по SCAD		От темп. перепада (max)		Напряжения в арматуре	
			$N_z$ , кН	$M$ , кН·м	$M_{tx}$ , кН·м	$\varepsilon_{0z} \cdot 10^{-5}$	$\sigma_s$ , мПа	$\sigma_s''$ , мПа
1	+5,0 м (0,43м)	37°C/92°C	3,19	0,59	30,71	68,5	94,41	-30,33
			764,97	2,83	118,30	44,5	54,45	-80,73
2	+60, м (0,24м)	50°C/166°C	7,77	0,02	28,43	124,4	172,0	-108,6
			304,74	0,28	39,45	100,9	122,7	-158,0
3	+117,5 м (0,18м)	52°C/176°C	1,19	0,02	14,44	120,9	128,0	-98,0
			17,85	0,07	15,13	119,2	124,3	-101,7

Примечание: расчетные величины: над чертой – для вертикальных сечений; под чертой – для горизонтальных сечений.

*Результаты.* Изгибающие моменты от неравномерного нагрева в статически неопределимых элементах конструкций достигали максимальной величины на этапе первого нагрева. При этом в вертикальных сечениях, не нагруженных продольной сжимающей силой, максимальные величины изгибающих моментов были равны моменту трещинообразования. При длительном воздействии повышенных температур для всех элементов характерно снижение (релаксация) температурных моментов вследствие развития неоднородных по толщине неупругих деформаций бетона, обусловленных температурно-усадочными деформациями и ползучестью. В наибольшей степени релаксация температурных усилий свойственна элементам с более высокими температурами нагрева и с большей величиной сжимающей силы  $N_z$  от собственного веса конструкций. Графики изменения во времени температурных моментов  $M_{tx}$  и продольных деформаций  $\varepsilon_{0z}$  от неравномерного нагрева в горизонтальных и вертикальных сечениях расчетных элементов представлены на рис. 2.

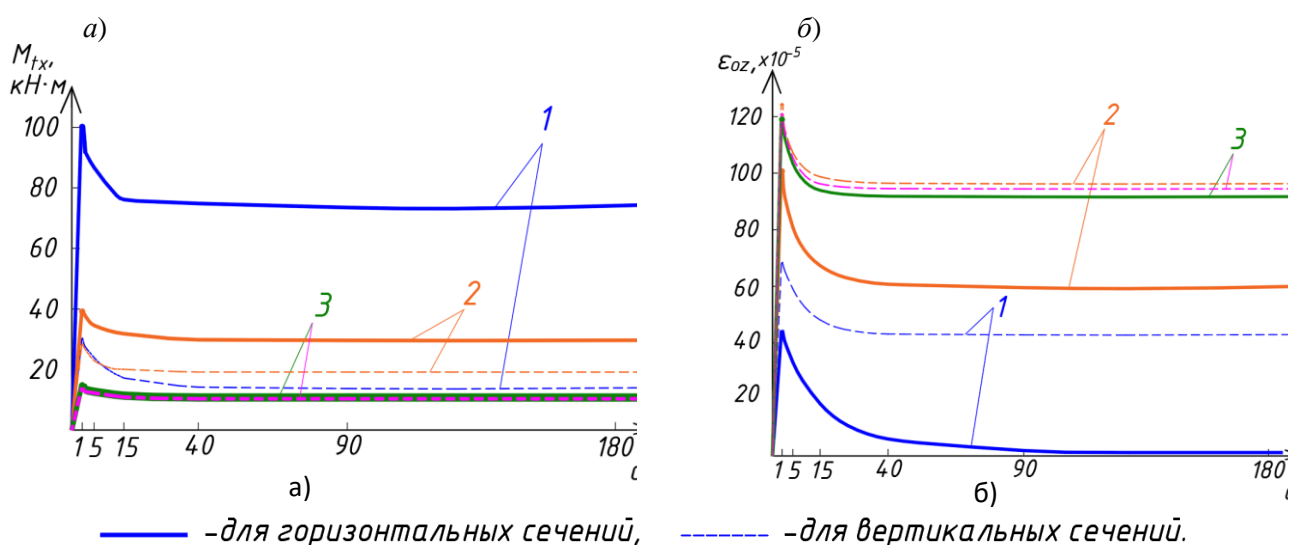


Рис. 2. Изменение температурных моментов  $M_{tx}$  (а) и относительных деформаций удлинения  $\varepsilon_{0z}$  (б) в зависимости от продолжительности действия продольной силы  $N_z$  и нагрева

*Выводы:*

1. Температурные моменты в элементах дымовых труб достигают максимальных значений при первом одностороннем нагреве, а затем, при длительном нагреве, частично релаксируют вследствие усадки, ползучести и трещинообразования в бетоне. Снижение температурных моментов в горизонтальных сечениях, нагруженных продольной силой  $N_z$ , при длительном нагреве составляет 25–29%, а в вертикальных сечениях – 28–50%. Максимальные температурные моменты в вертикальных сечениях равны моменту трещинообразования.
2. Максимальные напряжения сжатия характерны для арматурных стержней у более нагретой грани. После длительного нагрева конструкций максимальные напряжения сжатия в вертикальной арматуре увеличиваются за счет усадки и ползучести бетона в 1,5–2 раза и достигают значений порядка 160–245 МПа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Милованов А.Ф., Передерей В.Д. Ползучесть бетона при повышенных температурах // Поведение бетонов и элементов железобетонных конструкций при нагреве. – М.: НИИЖБ. 1982. – С. 3–14.
2. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. Макеевка: – ДонГАСА, 2003. – 153 с.
3. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. – М.: Стройиздат, 1984. – 148 с.

4. Корсун В.И., Баранов А.О. Расчет температурно-усадочных деформаций высокопрочных бетонов применительно к условиям воздействия повышенных температур // Сб. науч. тр. РААСН. М.: Издательство АСВ, 2020 – с. 314–321.
5. Korsun V., Shvets G. The calculation of creep deformation of high-strength concrete in relation to the conditions of exposure to elevated temperatures // (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 896 (1), 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012039

УДК 692.115

А.В. Яваров<sup>1</sup>, К.Г.Шашкин<sup>2</sup>, А.Ю. Новиков<sup>1</sup>, С.Н. Шаповалова<sup>1</sup>  
 Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого<sup>1</sup>  
 ООО «ПИ Геореконструкция»<sup>2</sup>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Несущую способность оснований зданий и сооружений возможно вычислить различными способами. В практике геотехнических расчетов повсеместное применение находит теория предельного равновесия грунтов. В ее рамках с помощью аналитических, графоаналитических методов [1, 5], метода характеристик [2–4] решены плоские [5] и осесимметричные задачи с относительно простой геометрией, граничными условиями и нагрузками. По умолчанию для получения большинства решений использовано условие Кулона-Мора.

В данной работе первой задачей являлось определение с использованием предельного анализа коэффициентов несущей способности основания  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ . Вторая задача заключалась в исследовании границ применимости аналитического решения К.В. Королева [5].

Основным методом получения коэффициентов несущей способности в настоящей работе являлся предельный анализ, реализованный в комплексе OptumG2 в форме модифицированного метода конечных элементов. Отличительной особенностью комплекса также являлось применение технологии автоматической адаптации сетки – уменьшение размера элементов в областях значительных приращений искомых функций. Количество шагов адаптации сетки и параметры решателя задавались из условия получения близких верхних и нижних оценок несущей способности основания.

Также в работе использовался метод конечных элементов в форме метода перемещений (программа FEM models) и метод характеристик (программа ABC).

Исходные данные для получения численных решений приведены в таблице 1. Общий вид расчетной схемы представлен на рисунке 1, пример сетки конечных элементов после адаптации – на рисунке 2.

Таблица 1 – Исходные данные для решения задач по определению  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$

Задача	Определяемый коэффициент	Сцепление грунта $c$ , кПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Пригрузка основания $q$ , кПа	Вес грунта ниже подошвы фундамента $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>
1	$N_c$	1	от 0 до 45°	0	0
2	$N_q$	0	от 0 до 45°	1	0
3	$N_\gamma$	0	от 0 до 45°	0	20
4	$N_\gamma$ (с пригрузкой)	0	от 0 до 45°	30	20
5	$N_\gamma$ (с увеличивающей пригрузкой)	0	30	0 до 200	20

Во всех задачах ширина штампа  $B$  принята равной 1 м, заглубление штампа в массив  $D = 0$  м, вес грунта выше подошвы фундамента  $\gamma' = 0$  кН/м<sup>3</sup>.



Рис. 1

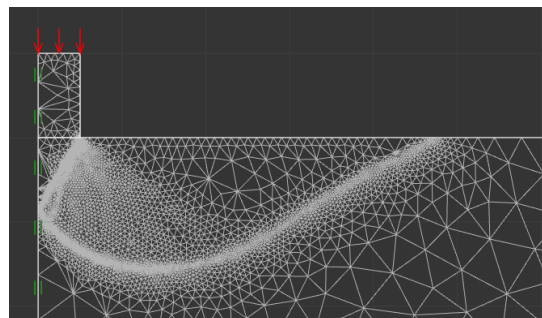


Рис. 2

Результаты определения коэффициентов несущей способности  $N_c, N_q$  при изменении угла внутреннего трения приведены на рисунках 3, 4 (задачи 1, 2). Они показывают, что численные решения с практически идеальной точностью соответствуют аналитическим.

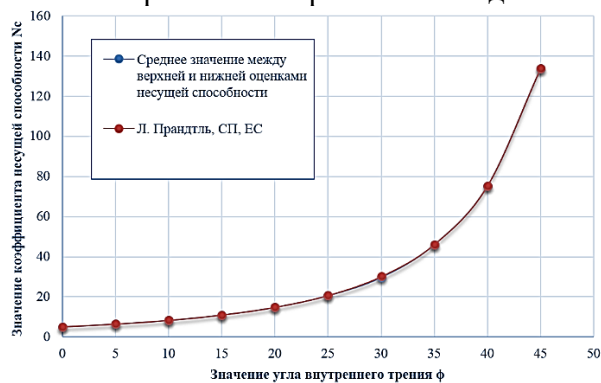


Рис. 3

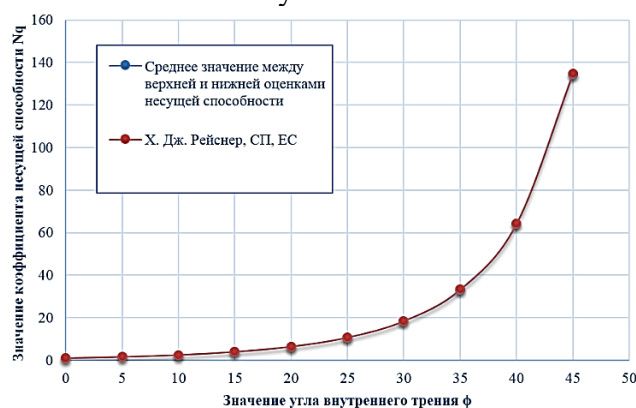


Рис. 4

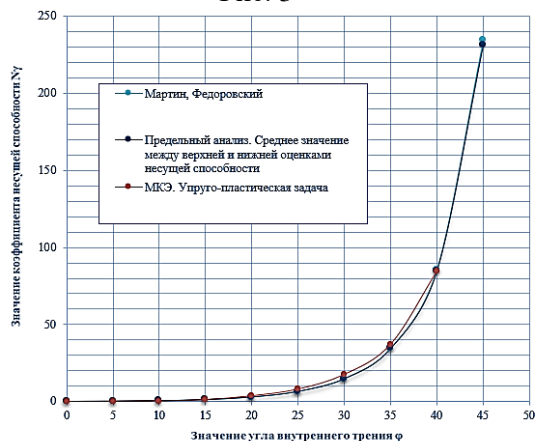


Рис. 5

При определении же коэффициента  $N_\gamma$  проблема оказывается более комплексной.

Для случая задачи 3, когда отсутствует пригрузка  $q$ , при использовании различных методов значения коэффициента  $N_\gamma$  (рис. 5) незначительно отличаются друг от друга. При этом следует заметить, что полученные решения соответствуют специальной задаче – расчету незаглубленного штампа. Данный случай существенно отличается от традиционно рассматриваемого. В частности, в нормативной литературе решение А.С. Строгонова (СП 22.13330.2016) приведено из условия заглубления штампа, то есть наличия пригрузки  $q$  [5].

Таким образом, с практической точки зрения важно рассмотреть случай наличия пригрузки основания  $q$ , а также выполнить оценку границ применимости аналитического решения, полученного в работе К.В. Королева [5]. Для этого использованы метод предельного анализа (комплекс OptumG2) и метод характеристик (программа ABC). Исходные данные для задачи приведены в таблице 1 (задача 4). Результаты расчетов представлены на рис. 6 и отличаются менее чем на 10 %.

При этом решение К.В. Королева [5] было получено с допущением о малости влияния собственного веса грунта на несущую способность основания. Для изучения данного



ограничения рассмотрена еще одна тестовая задача с последовательным возрастанием пригрузки  $q$  (задача 5).

Численные решения данной задачи, полученные с помощью метода характеристик и предельного анализа, практически совпадают.

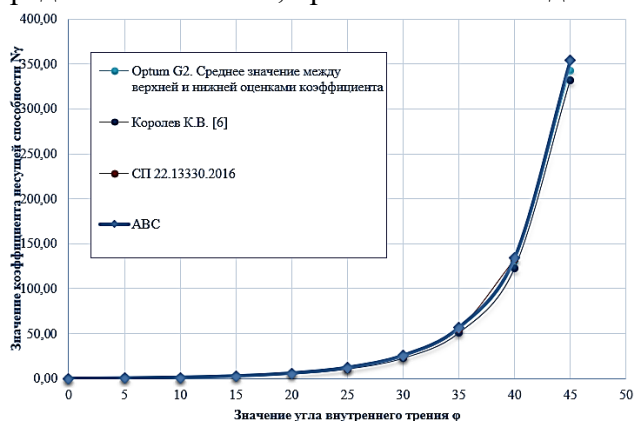


Рис. 6

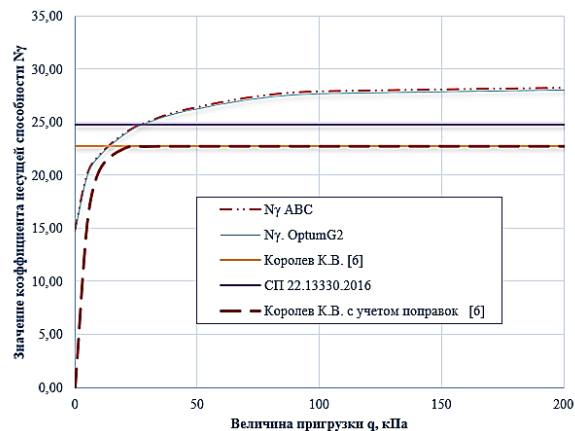


Рис. 7

Сопоставляя же аналитическое [5] и численные решения можно отметить, что в области малых величин пригрузок в аналитическом подходе наблюдается переоценка значений  $N_\gamma$ , с ростом пригрузки численные величины коэффициента возрастают и наблюдается уже его недооценка. Далее с ростом пригрузки значимость коэффициента  $N_\gamma$  постепенно исчезает, поскольку его вклад в несущую способность становится малым по сравнению с вкладом коэффициента  $N_q$ . В результате аналитическое решение из-за предположения о малости напряжений от собственного веса не совпадает с численным ни на одном интервале значений. Введение же поправочных коэффициентов, описанное в [5] приводит к дополнительным запасам прочности.

В СП22.13330.2016 также нет указаний на поправку коэффициента  $N_\gamma$ , в результате чего и при расчете по действующим нормам несущая способность широких или малозаглубленных фундаментов существенно завышается.

*Выводы:*

1. Получение аналитического решения задачи об определении коэффициента  $N_\gamma$  с учетом влияния собственного веса по-прежнему является актуальным.
2. При расчете несущей способности широких или малозаглубленных фундаментов следует использовать предельный анализ или метод характеристик.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Голушкевич С.С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. М., Л.: ОГИЗ ГИТТЛ, 1948. 288 с.
2. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений. Л.: Стройиздат, 1970. 208 с.
3. Schanz T., Vermeer P.A, Bonnier P.G. The hardening soil model: formulation and verification. Beyond 2000 in Computational Geotechnics 10 years of PL AXIS. Rotterdam. 1999. Pp.1–16
4. Martin C.M. Exact bearing capacity calculations using the method of characteristics. In Proc. 11th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics. 2005. Volume 4, Pp. 441–450.
5. Королев К.В. Несущая способность оснований в стабилизированном и нестабилизированном состоянии. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.23.02. Новосибирск. 2014. 326 с.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОСАДКИ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

*Введение.* Высотное железобетонное здание передает колоссальные усилия на основание. При низкой прочности залегающих грунтов и значительной их сжимаемости на основании расцета проектируется свайный фундамент, способный воспринять передаваемые нагрузки. Сваи, объединенные ростверком, не могут деформироваться изолированно друг от друга, в связи с чем требуется учет совместной работы свай.

Исследования по изучению совместной работы группы свай в грунте, проведенные во второй половине XX века, характеризуются применением исключительно аналитических методов, таких как применение модели условного фундамента [1] и наложение полей перемещения одиночных свай [2]. С развитием ЭВМ становится возможным применение численного метода для решения сначала линейно-упругой задачи [3], а затем для учета нелинейного характера работы грунта и взаимодействия свай между собой и с грунтом [4-6]. В СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» приводится расцет осадки свайного фундамента при известном распределении нагрузок между сваями в кусте, позволяющий учесть их взаимное влияние, но отсутствует методика расцета осадки свайно-плитного фундамента инженерным методом.

Детальный анализ взаимного влияния свай друг на друга позволяет увеличить экономическую эффективность за счет сокращения требуемого количества свай и их длин.

Научный интерес представляет сравнение методов расцета осадки свайного фундамента и оценка сходимости результатов. Объектом исследования принимается свайный куст, являющийся частью свайного фундамента высотного здания.

*Цель работы* – определить оптимальный, то есть наименее трудозатратный, метод расцета осадки свайного фундамента.

Для достижения поставленной цели требуется выполнить следующие задачи: провести расцет осадки свайного куста инженерным способом по методике, приведенной в СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», и двумя численными методами – с помощью моделирования свайного куста и массива грунта с последующими расцетами в программных комплексах SCAD++ и Лира САПР.

Рассматриваемый свайный куст состоит из четырех свай, длиной 34 м и диаметром 600 мм, соединенных ростверком, толщиной 1 м. Конструкции выполнены из бетона В40 ( $E_b = 36000$  МПа). От высотного здания сваям куста передается следующая вертикальная нагрузка:  $N_1 = 4727,625$  кН,  $N_2 = 4699,127$  кН,  $N_3 = 4643,907$  кН,  $N_4 = 4608,316$  кН.

В геологическом строении участка строительства до глубины бурения 45,0 м принимают участие техногенные отложения, представленные песком мелкой и средней крупности с гравием ( $E_{гр1} = 20$  МПа). В данной работе для опорного слоя вводится увеличение модуля деформации на 25% при заглублении на каждые 10 м, считая от кровли опорного слоя.

Расцет осадки свайного куста, проведенный инженерным способом по методике для свайного фундамента, приведенной в СП 24.13330.2011, представлен в таблице 1.

В нормативной документации не приводится методика расцета осадки свайного поля инженерным методом в связи с его высокой трудоемкостью и сложностью. Деформации конструктивной системы в целом и ее отдельных частей могут быть получены исключительно численными методами.

Таблица 1 – Осадка свай куста

№ сваи (i)	$\delta_{ij}$	$\delta_{im}$	$\delta_{in}$	$\delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 l'}$ , мм	$\delta_{im} \frac{N_m}{G_1 l'}$ , мм	$\delta_{in} \frac{N_n}{G_1 l'}$ , мм	$\sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 l'}$ , мм	$s(N_i)$ , мм	$s$ , мм
1	0,385	0,385	0,326	5,021	4,962	4,169	14,152	23,296	37,448
2	0,385	0,326	0,385	5,051	4,202	4,924	14,177	23,155	37,332
3	0,385	0,326	0,385	5,051	4,252	4,924	14,227	22,883	37,110
4	0,326	0,385	0,385	4,277	5,021	4,962	14,260	22,708	36,968

В расчетном комплексе SCAD++ в составе расчетной модели объемными элементами задается массив грунта, ограниченный глубиной экскавации и нижней гранью сжимаемой толщи по глубине и отступами, равными утроенным размерам свайного куста и отложенным от куста в плане в каждом направлении. Свайный куст моделируется четырьмя стержнями свай и пластиной ростверка, соединяющего оголовки свай. Боковым и нижним граням массива грунта запрещаются перемещения в соответствующих направлениях. Нагрузки прикладываются к верхним узлам свай.

В расчетном комплексе Лира САПР после ввода 57 конечных элементов и задания характеристик грунтов вычисляется жесткость свай для учета совместного влияния свай и вычисления осадки свайно-плитного фундамента с использованием модуля «Грунт». Нагрузки также прикладываются к верхним узлам свай.

Результат расчета осадки свайного фундамента представлен на рис. 1.

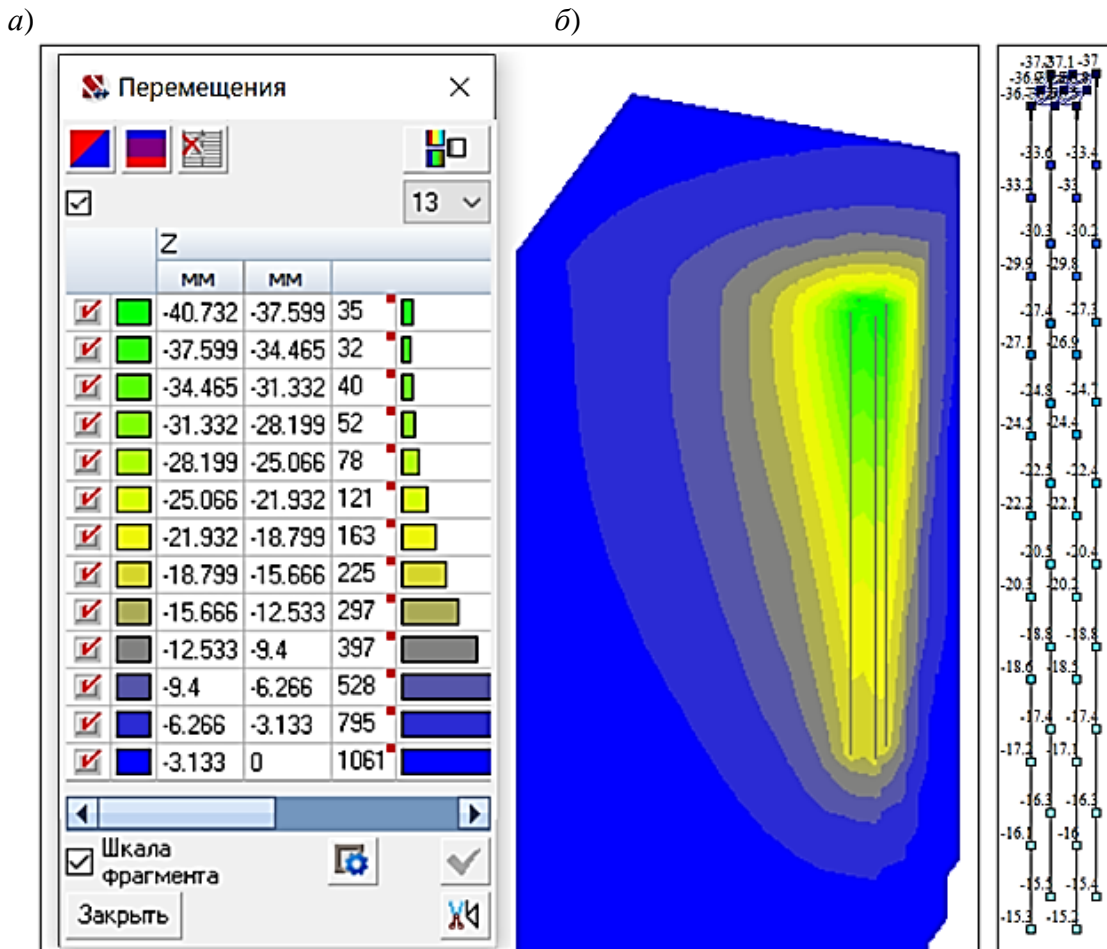


Рис. 1. Перемещения узлов свай, мм: а – SCAD++; б – Лира САПР

Согласно результатам, полученным в SCAD++, наибольшее перемещение верхних узлов составляет 40,732 мм, нижних узлов – 18,118 мм.

При расчете в Лира САПР наибольшее перемещение верхних узлов равно 37,166 мм, нижних узлов – 15,482 мм.

В качестве осадки принимается наибольшее перемещение верхних узлов свай. При расчете по СП 24.13330.2011 вычисляется осадка свайного фундамента без учета влияния плиты ростверка. В программных комплексах характер включения ростверка в работу конструкции является настраиваемым параметром.

Результаты расчета осадки свайного куста приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Осадка свайного куста

Метод	Осадка, мм
СП 24.13330.2011	37,448
SCAD++	40,732
Лира САПР	37,166

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие *выводы*.

При проведении сравнительного анализа результатов, полученных инженерным и численным методами, наблюдается высокая сходимость результатов как по характеру перераспределения напряжений между сваями, так и в численном эквиваленте значений осадок.

Один из рассмотренных вариантов моделирования массива грунта с помощью объемных конечных элементов в программном комплексе SCAD++ дал расхождение, составляющее 9%, относительно методики, представленной в СП 24.13330.2011. Следует отметить, что при решении инженерных задач данный вариант моделирования является трудозатратным.

Применение методики, включающей расчет коэффициентов постели в Лира САПР, приводит к 1% схожести полученных результатов с осадками, вычисленными по СП 24.13330.2011. Данный способ расчета проще в использовании и менее трудозатратен по сравнению с моделированием грунта объемными конечными элементами в SCAD++.

При проектировании свайных фундаментов зданий и сооружений, в особенности имеющих значительные размеры и нестандартные формы, оптимальным методом расчета осадки свайного фундамента является численный метод с использованием методики, предложенной в программном комплексе Лира САПР.

Для дальнейшего исследования осадок зданий и сооружений и изучения включения в работу фундаментной плиты требуется рассмотреть расчетную модель, включающую свайно-плитный фундамент, в специализированных программных комплексах, таких как PLAXIS 3D, SOFiSTiK, Midas GTS NX.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бартоломей А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов. 1994.
2. Randolph M.F., Wroth C.P. An Analysis of The Vertical Deformation of Pile Groups // Geotechnique 0016-8505. 1979. Т. 29. Р. 423–439.
3. Tejchman A., Gwizdala K., And Dyka I. Analysis of Settlements of Piled Foundations // Proc. of the Fifteenth Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, 27-31 August 2001. Comptes Rendus Du Quinzième Congrès International De Mécanique Des Sols Et De La Geotechnique, Istanbul 27-31 Aout 2001, 2001. Р. 1025–1030.
4. Боков И.А. Расчет осадок свайных фундаментов со сваями различной длины: дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. Спец. 05.23.02. М., 2021, 150 с.
5. Харичкин А.И. Взаимовлияние забивных железобетонных свай в составе свайного поля между собой и с грунтом: дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. Спец. 05.23.02. М., 2020, 170 с.
6. Алехин В.С. Взаимодействие свай в составе групп и определение предельного сопротивления основания: дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. Спец. 05.23.02. Москва, 2020, 147 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ  
МАССИВНОЙ БЕТОННОЙ ПЛИТЫ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

На железобетонные конструкции оказывают негативные воздействия попеременные замораживания и оттаивания, происходящие в зимний период [1]. Также твердение бетонной смеси сопровождается экзотермической реакцией [2]. Теплообмен с окружающей средой приводит к неравномерному распределению температур по высоте плиты, что влечет за собой возникновение трещин, отслаивание защитного слоя, поверхностные сколы бетона конструкций [3].

Для защиты бетона в раннем возрасте от промораживания и предотвращения возникновения значительных растягивающих напряжений рекомендуется в зимний период выполнять бетонные работы в тепляке (закрытом временном сооружении) и устанавливать теплоизоляцию на поверхности бетонного блока [4]. При раннем демонтаже этих теплозащитных элементов может возникнуть резкое возрастание температурного перепада «ядро конструкции – поверхность», и, как следствие, образование температурных трещин. Расчеты оптимальных сроков демонтажа тепляка и теплоизоляции с учетом влияния температуры твердения на теплофизические и деформативные характеристики бетона в настоящий момент отсутствуют.

*Цель работы* заключается в расчетном обосновании сроков снятия тепляка и поверхностной теплоизоляции при зимнем бетонировании фундаментной плиты, высотой 2,0 м и размерами в плане 21,8×63,8 м.

Для достижения указанной цели требуется решить следующие задачи: выявить критическую зону плиты с учетом критерия трещиностойкости, определить критерии безопасного снятия тепляка и теплоизоляции и сроки при различных температурах наружного воздуха.

Расчет термонапряженного состояния исследуемой плиты в период строительства выполняется по двумерной расчетной схеме, представленной на рис. 1, проводится в программе TERM, разработанной в ВШ ПГиДС СПбПУ [5]. Термическая трещиностойкость в настоящей работе оценивается на основании деформационного критерия, предложенного профессором, д.т.н. Васильевым П.И. [6].

Ниже приводятся данные, полученные для контрольных точек, которые расположены в центре плиты, а также на верхней и боковой ее поверхностях и обозначены красным цветом на рис. 1.

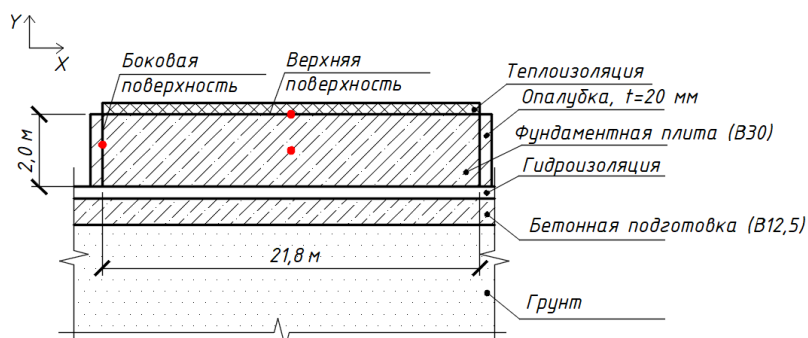


Рис. 1. Расчетная схема задачи

В качестве начальной задачи необходимо исследовать изменение термонапряжений в центре и на поверхностях плиты при снятии тепляка, чтобы определить, в каких зонах плиты возникают наибольшие напряжения.

При расчете необходимо учесть критерий трещиностойкости: растягивающие напряжения должны быть меньше некоторой условной прочности (условная прочность определяется как правая часть неравенства деформационного критерия трещиностойкости) [7].

На рис. 2 приведены графики зависимостей напряжений в плите от времени и кривая условной прочности бетона на поверхности при учете, что теплоизоляция остается на плите, а тепляк снимается через 4 суток после бетонирования. В данном примере температура наружного воздуха принимается равной  $-25^{\circ}\text{C}$ .

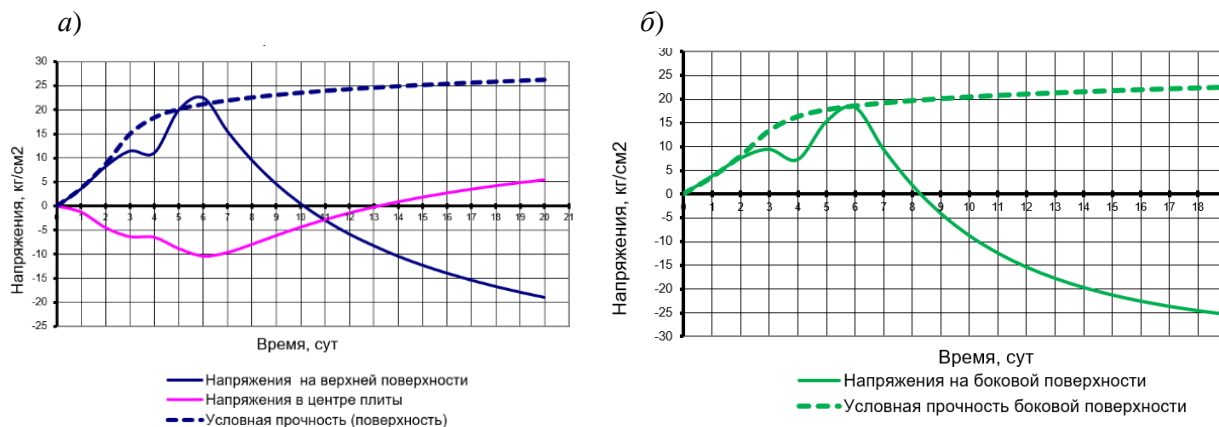


Рис. 2. Изменение термонапряжений при  $T_{\text{ср}} = -25^{\circ}\text{C}$  и при снятии тепляка через 4 суток: а – по оси  $X$  в центре и на верхней поверхности плиты; б – по оси  $Y$  на боковой поверхности плиты

Анализ результатов на рис. 2 показывает, что наибольшие термонапряжения возникают на верхней поверхности, поэтому далее расчет будет вестись для нее.

Следующей задачей является определение безопасных сроков снятия тепляка и теплоизоляции. Для этого фиксируется влияние срока снятия тепляка на характер развития растягивающих напряжений на верхней поверхности плиты и находится срок снятия, при котором растягивающие напряжения будут меньше условной прочности. При безопасном снятии теплоизоляции также предполагается отсутствие трещин. Задача о сроках снятия теплоизоляции решается аналогично.

На рис. 3 представлены графики напряжений на верхней поверхности плиты при температурах наружного воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$ ,  $-25^{\circ}\text{C}$  и  $-15^{\circ}\text{C}$  и разных сроках снятия тепляка и теплоизоляции.



Рис. 3. Изменение термонапряжений по оси  $X$  на верхней поверхности плиты при снятии тепляка и теплоизоляции

Согласно рис. 3, при температуре воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$  тепляк следует снять не ранее, чем через 8 суток после бетонирования (I скачок), а теплоизоляцию необходимо снимать не ранее, чем

через 13 суток после бетонирования (II скачок). При температуре  $-25^{\circ}\text{C}$  срок снятия тепляка составляет не менее 5 суток, теплоизоляции – не менее 10 суток. При температуре  $-15^{\circ}\text{C}$  тепляк следует снимать не ранее, чем через 4 суток, теплоизоляцию не ранее, чем 8 суток.

Исходя из хронологии моделируемых и зафиксированных событий, изученных при расчете, пик скачков напряжений приходится на вторые сутки как при снятии тепляка (I скачок), так и при снятии теплоизоляции (II скачок).

На рис. 5 приведены зависимости сроков снятия тепляка и теплоизоляции от температуры наружного воздуха.

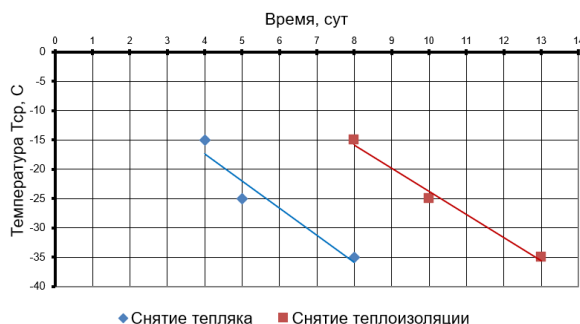


Рис. 4. Изменение срока снятия тепляка и теплоизоляции при  $T_{cp}=-15^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{cp}=-25^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{cp}=-35^{\circ}\text{C}$

Линейная зависимость срока снятия тепляка (в сутках) представлена формулой (1).

$$t = -0,216T_{cp} + 0,216. \quad (1)$$

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Максимальные значения термонапряжений достигаются в двух случаях: во время максимального экзотермического разогрева плиты (тип А), а также при возникновении перепадов температур «ядро – поверхность» при снятии тепляка и теплоизоляции из-за увеличения скорости охлаждения бетонной смеси (тип Б). В первом случае максимальные напряжения типа А равны  $10 \text{ кг/см}^2$ , а во втором случае максимальные напряжения типа Б составляют не более  $23 \text{ кг/см}^2$  и зависят от температуры наружного воздуха.

2. Срок снятия тепляка линейно зависит от температуры наружного воздуха. Время между снятием тепляка и теплоизоляции при  $T_{cp}=-15^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{cp}=-25^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{cp}=-35^{\circ}\text{C}$  составляет 4-5 дней.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Назаров Т.А., Посельский Ф.Ф. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных свайных фундаментных конструкций жилого здания при воздействии низкой температуры// Жилищное строительство. 2018. №5. С. 9–14.
2. Ковшар С.Н., Рябчиков П.В., Гушин С.В. Оценка термонапряженного состояния бетонного массива// Наука и техника. 2021. Том 20. №3 с. 207–215
3. Стручкова А.Я. Термическая трещиностойкость массивных фундаментных конструкций в строительный период: дисс.... маг. СПбПУ. СПб., 2018. 92 с.
4. Молодин В.В. Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с управлением термообработкой бетона путём моделирования температурных режимов: дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. Спец: 05.23.08. Новосибирск. 2012. 332с.
5. Семенов К.В., Барабанщиков Ю.Г. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой//Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2 (17). 2014. 125–135.
6. Васильев П.И., Иванов Д.А., Кононов Ю.И., Семенов К.В., Стариков О.П. Расчетное обоснование размеров блоков и последовательности бетонирования корпуса реактора ВГ-400 с проверкой на модели 1/5 натуральной величины // Вопросы атомной науки и техники. 1988. №1. С. 62–68.
7. Коротких Д.Н. Повышение прочности и трещиностойкости структуры современных цементных бетонов: проблемы материаловедения и технологии: дисс. на соиск. д.т.н.: 05.23.05. Воронеж, 2015. – 354 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭКСПРЕСС ОЦЕНКИ  
ДЛЯ НОВЫХ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время значительный рост динамики жизни предполагает использование большого количества техники, что приводит к увеличению шума в повседневной жизни [1]. По этой причине активно разрабатываются новые звукоизоляционные материалы и конструкции, которые в дальнейшем применяют в строительстве. Тем не менее не каждая новая звукоизоляционная конструкция имеет высокие звукоизоляционные характеристики.

Для получения оптимального варианта звукоизоляционных панелей используют такие методы исследования [5] как реверберационный, корреляционный, импульсный и др. Все эти методы отличаются своей сложностью в проводимых исследованиях и точностью определения конкретных звукоизоляционных показателей. Однако, при большом количестве исходных образцов перечисленные методы не всегда выгодны с точки зрения затрат и длительности измерения. В таком случае метод экспресс оценки с помощью малых акустических камер, описание которого приведено в [4] и [5], как первый этап большого комплекса исследований звукоизолирующих конструкций, помогает сэкономить затраты и

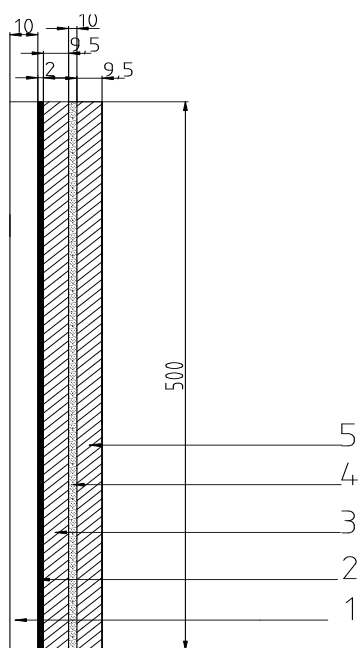


Рис. 1. Схема образца

время на проведения испытаний в реверберационной камере, путем «отсеивания» образцов с наименьшими звукоизоляционными показателями.

*Цель работы* – определение звукоизоляционных характеристик новых образцов сэндвич-панелей методом экспресс оценки с помощью малых акустических камер [2]. Для достижения цели были произведены испытания пяти новых образцов сэндвич-панелей с разными характеристиками. На звукоизолирующие характеристики конструкции влияние оказывают очередность расположения слоев, толщина этих слоев и их диссипативные свойства [3]. Относительное положение слоев первого образца представлено на рис. 1.

В ходе испытаний используется измерительная установка, состоящая из двух коробов (камер), «Малая акустическая камера» типа УИЗ-2М. Внутренняя форма камер выбрана таким образом, чтобы создавать наилучшие условия для образования звукового поля, в связи с этим внутренние поверхности стен, пола и потолка камер выполнены в виде непараллельных плоскостей. Проем между камерами имеет прямоугольную форму [4].

Вывод краев образца наружу за пределы именованных камер дает возможность не создавать герметическое закрепление образца [5]. В одну из камер устанавливается генератор тестового сигнала NRG-201, излучающий шум, в другую – анализатор звукового давления Алгоритм 03 [4, 5].

В начале испытаний измеряется спектр звукового давления без исследуемых образцов, при этом камеры состыкованы плотно друг к другу, после чего между коробами устанавливается первый образец, при этом уровень излучаемого сигнала не меняется. Измерения повторяются несколько раз с изменением положения образца относительно нижней грани для каждого из образцов, после чего считается среднее значение для уменьшения погрешности по формуле:



$$L_{cp} = \frac{L_{1i} + L_{2i} \dots + L_{ni}}{n} \quad (1)$$

Уровень излучаемого сигнала находится в диапазоне от 80 до 100 дБ согласно ГОСТ 27296–2012. Результат измерений выражается в семействе частотных характеристик в табличном и графическом виде в третьоктавных полосах частот в диапазоне от 100 до 5000 Гц согласно ГОСТ 31704-2011. Частотный диапазон условно разделяется на три части: низкочастотный (НЧ) от 100 до 500 Гц, среднечастотный (СЧ) от 500 до 1000 Гц и высокочастотный (ВЧ) от 1000 до 5000 Гц.

После получения результатов измерения проводится качественный анализ звукоизолирующей способности испытуемых образцов, для этого определяются средние перепады уровней звукового давления по формуле:

$$D = L_{1i} - L_{2i}, \quad (2)$$

где  $L_{1i}$  – средний полученный уровень звукового давления сигнала при отсутствии испытываемого фрагмента в третьоктавных полосах частот, дБ;  $L_{2i}$  – средний уровень звукового давления сигнала при наличии испытываемого фрагмента в третьоктавных полосах частот, дБ.

Данные, полученные в ходе измерений первого образца, представлены в таблице 1. Для образцов 2–5 составляются аналогичные таблицы.

Таблица 1 – Измеренные уровни звукового давления панели №1

Уровни звукового давления, дБ		Частота $f$ , Гц																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$L_{12}$	Камеры	87,9	90,7	88,4	85,6	78,4	86,4	92	90,5	87,9	84,6	81,1	87,2	88,2	89,4	88,7	88,7	92,8	91,7
$L_{13}$	сдвинуты	86,2	89,9	87,2	84,6	77,4	85,6	91	90	86,9	83,7	80,3	86,4	87,5	88,6	87,7	87,2	91,7	90,8
$L_{14}$	без образца	85,9	89	86,7	83,9	76,7	85	90,6	89,2	86,1	82,9	79,3	85,6	86,6	87,8	86,8	86,4	90,9	90
$L_{1cp}$		86,6	89,9	87,4	84,7	77,5	85,7	91,2	89,9	87,0	83,7	80,2	86,4	87,4	88,6	87,7	87,4	91,8	90,8
$L_{21}$	Камеры	64	56,1	46,7	44,8	41,3	64	57,2	50,4	42,4	54,6	49,6	53,3	45,2	40,6	36,9	32,8	33	31,7
$L_{22}$	сдвинуты с образцом	64,5	57,3	47,2	45,4	41,9	65,3	58,2	50,3	42,8	55,2	50,3	53,8	45,7	41	37,4	33,4	33,5	32,2
$L_{2cp}$		64,6	56,9	47,2	45,2	41,7	65,0	57,9	50,3	42,8	55,1	50,0	53,6	45,6	40,9	37,2	33,0	33,2	31,9
$L_{1cp} - L_{2cp}$		22,0	33,0	40,3	39,5	35,8	20,7	33,3	39,6	44,2	28,6	30,2	32,8	41,9	47,7	50,5	54,4	58,6	59,0

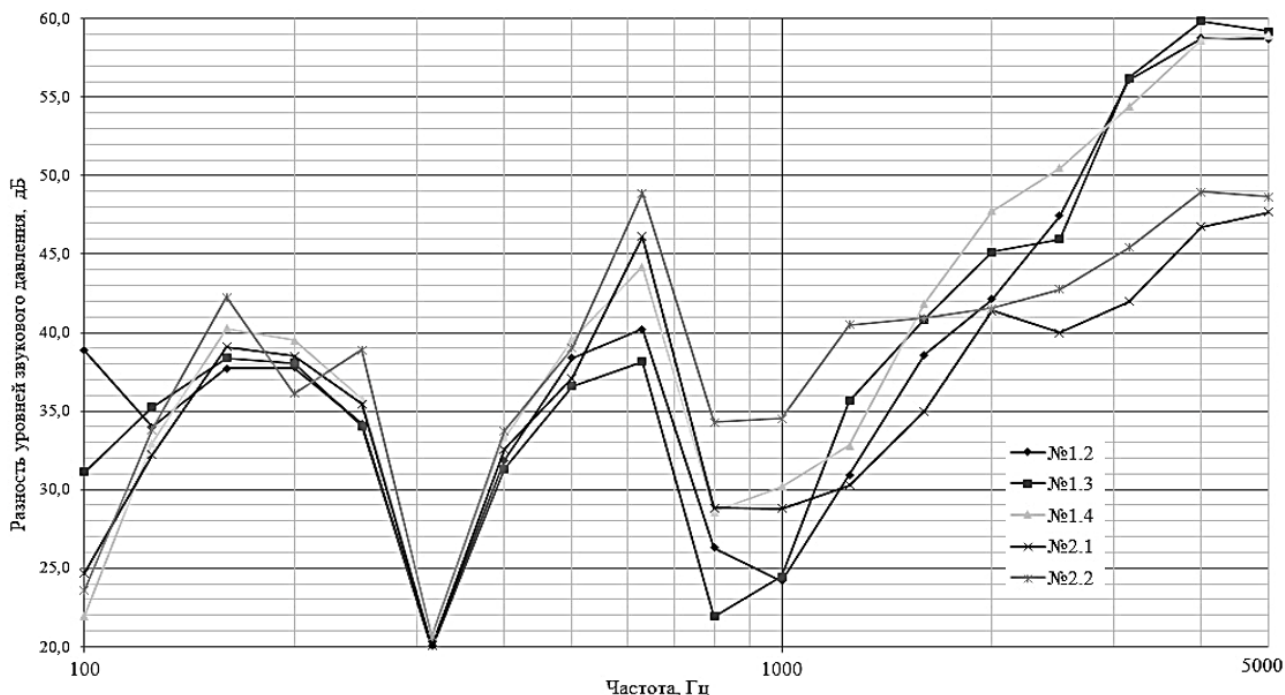


Рис. 2. Графики зависимости разности звуковых давлений в камере для пяти исследуемых образцов

Для более удобного сравнения полученных данных строится график по результатам измерения уровня звукового давления для образцов 1–5, указанных в таблицах. Интерпретация данных в виде графиков представлена на рис. 2.

Исходя из результатов исследования пяти образцов сэндвич-панелей были сделаны выводы о максимально эффективных образцах: в диапазоне НЧ от 100 до 500 Гц и в диапазоне СЧ от 500 до 1000 Гц звукоизоляция эффективнее при использовании сэндвич-панели №2.2; в диапазоне ВЧ от 1000 до 5000 Гц звукоизоляция эффективнее при использовании сэндвич-панели №1.4. Образцы под номером 1.2, 1.3 и 2.1 показали наименьшую звукоизоляционную способность.

Для окончательной числовой оценки в стандартных терминах изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ по СП 51.13330.2011 необходимо дальнейшее проведение измерений лучших образцов сэндвич-панелей под номером №1.4 и №2.2 в стандартной реверберационной камере, соответствующей требованиям ГОСТ 27296–2012.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cuthbertson D., Berardi U., Briens C., Berruti F. Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties // *Biomass and Bioenergy*. 2019]. URL: doi:10.1016/j.biombioe.2018.11.007 (дата обращения 28.02.2022).
2. Тюрин А.П. Разработка экспериментальной установки для проведения лабораторных исследований шумозащитных материалов / А.П. Тюрин // *Noise Theory and Practice*. 2021. №5 (27).
3. Способы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей / В.Н. Бобылев, В.И. Ерофеев, Д.В. Мониц [и др.] // *Приволжский научный журнал*. 2021. № 2(58). – С. 32–45.
4. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. – Л.: Судостроение, 1986. – С. 329–338.
5. Осипов Г.Л. Акустические измерения в строительстве. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 36–39.

УДК 69.07

В.Т. Бондарь<sup>1</sup>, Т.В. Назмеева<sup>2</sup>, В.А. Рыбаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
<sup>2</sup>НО «АРСС»

#### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТОЙКИ ИЗ СПАРЕННЫХ ВЛОЖЕННЫХ ДРУГ В ДРУГА ПРОФИЛЕЙ

Развитие строительной отрасли, а именно развитие быстровозводимых панельно-каркасных зданий на основе легких тонкостенных стальных конструкций (ЛСТК) позволяет оперативно застраивать как обычные земли, так и земли с суровыми климатическими условиями в быстрые сроки.

Здания из ЛСТК перестают восприниматься как здания под индивидуальное жилое строительство, появляются и реализуются проекты по строительству 5–6-этажных жилых домов.

Для несущих элементов характерны сечения с относительно большими значениями таких геометрических характеристик как площадь, момент инерции, момент сопротивления. Увеличение геометрических характеристик возможно за счет использования спаренных сечений и за счет вложенных друг в друга сечений.

Многие авторы занимались исследованием несущей способности ЛСТК в целом. В [1] С.С. Абдусаттархужа исследовал устойчивость несущих элементов ЛСТК, в том числе стоек их спаренных элементов. В работе [2] приведены методы расчета редуцированного сечения ЛСТК в соответствии с Еврокодом EN 1993-1-1-2009. Численные исследования стоек С-профиля с учетом начальных несовершенств описаны в статье [3]. В другой своей статье [4] автором приведена методика проведения испытаний стоек ЛСТК. В книге [5] приведена методика расчета редуцированного сечения для простых профилей в соответствии с СП 260.1325800.2016.

*Цель работы:* подбор наиболее подходящего способа редуцирования сечения колонны *a* ЛСТК сложного комбинированного сечения, состоящего из спаренных вложенных друг в друга профилей с ПС профилем по центру.

В качестве исследования был проведен сравнительный анализ методов аналитического расчета по СП 260.1325800.2016 с экспериментальными данными. В качестве объекта исследования выступает стойка длиной 1,6 м шарнирно-закрепленная с двух сторон. Габариты профиля представлены на рисунке 1.

Расчет на устойчивость проводился по формулам п 7.7.10 СП 260.1325800.2016. Был проведен упрощенный расчет стойки на устойчивость, с той оговоркой, что вместо предела текучести стали использовалось временное сопротивление на разрыв. Для расчета использовались геометрические характеристики редуцированного сечения. Редуцирование сечения проводилось до тех пор, пока изменение эффективного сечения на предыдущей и последующей итерации стало незначительным, в пределах 1–2%. Анализ изменения редуцированного сечения проводился путем сравнения моментов инерции. Данные изменения эффективных сечений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Момент инерции редуцированного сечения

№ итерации	Момент инерции $I_y$ , см <sup>4</sup>	$\delta I_y$ , %
0	4298,722	–
1	3637,662	18,2
2	3158,009	15,2
3	2979,119	6,0
4	2934,193	1,5

Габариты редуцированного сечения представлены на рисунке 2.

Исходные данные для расчета:  $e = 21.5 \cdot 10^{-3}$  – эксцентриситет приложения нагрузки;  $N_p = 480$  кН;  $M_{xp} = N_p e = 10,32$  кН · м;  $M_{yp}$  – расчетные значения сжимающей силы и максимальных моментов относительно осей  $x$ - $x$ ,  $y$ - $y$  соответственно;  $\varphi_x, \varphi_y$  – понижающие коэффициенты при плоской форме потери устойчивости;  $\chi_{LT}$  – понижающий коэффициент при проверке устойчивости плоской формы изгиба см п 7.7.9;  $k_{xx}, k_{xy}, k_{yx}, k_{yy}$  – коэффициенты взаимодействия (могут быть определены по приложению В);  $A_{ef} = 16,917 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> – эффективная площадь сечения;  $W_{xef} = 168,386 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> – эффективный минимальный момент сопротивления сечения;  $R_y = R_u = 360000$  кПа – временное сопротивление разрыву;  $E = 200000000$  кПа – модуль упругости стали;

Модуль сдвига стали определим по формуле (1)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{E}{2(1+0,3)} = 7,692 \cdot 10^7 \text{ кПа.} \quad (1)$$

$I_{xef} = 2934,193 \cdot 10^{-8}$  м<sup>4</sup> – эффективный момент инерции сечения;  $l = 1,6$  м – длина стержня;  $l_{ef} = l\mu = 1,6 \cdot 1 = 1,6$  м – расчетная длина стержня;  $A_g = 39,69 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> – площадь полного поперечного сечения;  $I_x = 4873,776 \cdot 10^{-8}$  м<sup>4</sup> – осевой момент инерции полного поперечного сечения. Радиус инерции полного сечения брутто (2):

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = 0,111 \text{ м.} \quad (2)$$

$\varphi_x = 1$ . Определим в соответствии с СП 16.13330.2017. Это коэффициент устойчивости при центральном сжатии для соответствующей формы потери устойчивости, зависящий от условной гибкости сжатого профиля 4 класса. Условную гибкость при плоской форме потери устойчивости при центральном сжатии (продольном изгибе) вычисляют по формуле:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{\pi i_x} \sqrt{\frac{R_y A_{ef}}{E A_g}} = 0,127. \quad (3)$$

Определяют коэффициенты устойчивости (продольного изгиба)  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  при центральном сжатии по СП 16.13330.2017 (таблица Д.1) для типа сечения  $b$  от  $\lambda$ :

$$\bar{\lambda}_x = \pi \lambda_x = 0,4. \quad (4)$$

Таким образом  $\varphi_x = 1$ .

$\chi_{LT} = 1$ , Так как колонна не чувствительна к деформации кручения

$$\left(\frac{N_p}{\varphi_x A_{ef} R_y}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{xp}}{\chi_{LT} W_{xef} R_y}\right)^{0,8} = 1,069. \quad (5)$$

Таким образом, при нагрузке 480 кН произойдет разрушение конструкции колонны, что соответствует испытаниям.

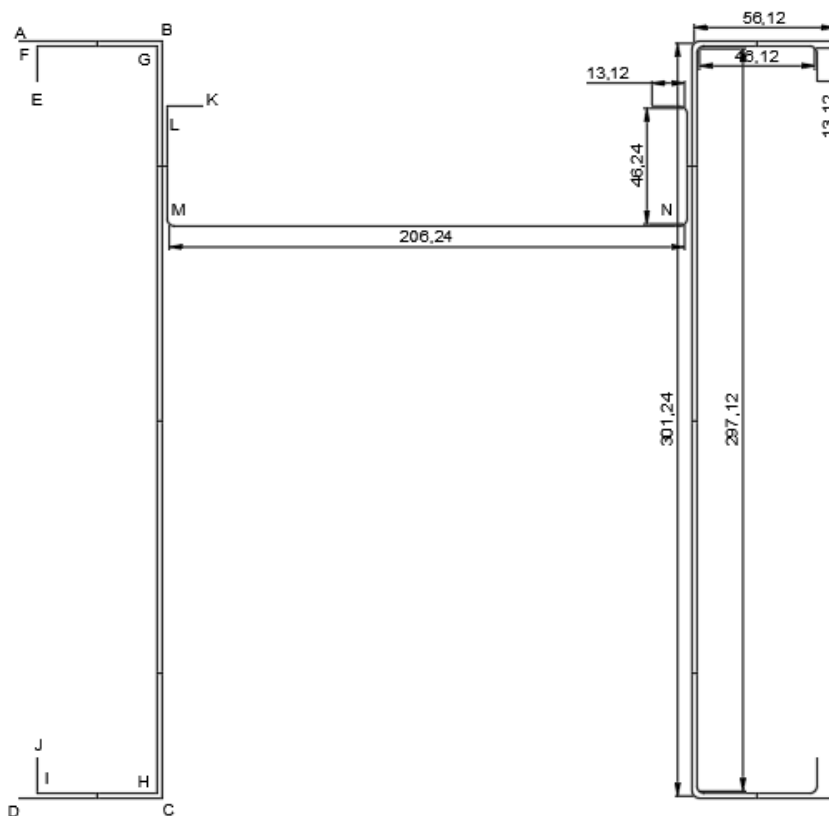


Рис. 1. Габариты нередуцированного сечения

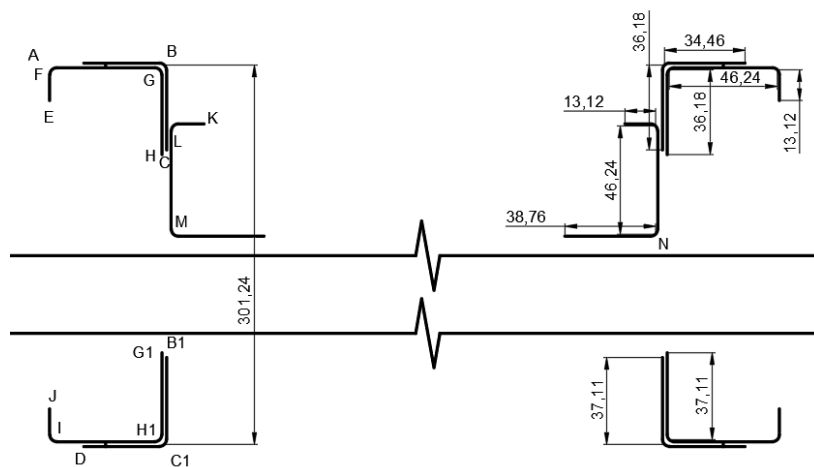


Рис. 2. Габариты редуцированного сечения

*Выводы.* Критическая нагрузка по формуле п 7.7.10 СП 260.1325800.2016 на 7% превышает критическую нагрузку, при которой разрушается образец в натуральных испытаниях. Малое расхождение результатов расчета и натуральных испытаний говорит о правильности нахождения редуцированного сечения. При внецентренном сжатии с небольшим эксцентриситетом вложенные профили работают отдельно, слияния профилей от болтового замечено не было.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Абдусаттархужа С.С. Устойчивость несущих конструкций зданий с наружным каркасом из холодногнутого профиля. Дис. Маг:6 СПб. СПбПУ. 2020. С. 104.
2. Рыбаков В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций: учеб. пособие / В.А. Рыбаков – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 207 с.
3. Назмеева Т.В. Методика проведения испытаний на сжатие стоек, выполненных из холодногнутого стального профиля // Вестник Череповецкого государственного университета. Череповецкий государственный университет. 2013. № 3–1. С. 12–17.
4. Назмеева Т.В., Ватин Н.И. Численные исследования сжатых элементов холодногнутого просечного С-профиля с учетом начальных несовершенств // Инженерно-строительный журнал. СПб.: СПбПУ, 2016. № 62. С. 92–101.
5. Проектирование металлических конструкций. Часть 1: «Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования». Учебник для ВУЗов/С.М. Тихонов, В.Н. Алехин, З.В. Беляева и др.; под общей. ред. А.Р. Туснина – М.: Издательство «Перо», 2020 – 468 с., ил.

УДК 624.046.3

V.S. Nenashev, L.K. Mwila  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

### BUCKLING OF A HINGED BEAM BENDED BY FOLLOWING POTENTIAL MOMENTS IN EXACT AND STRONG LINEARIZED FORMULATION

In classical works on the stability of beams [1–4] various solutions of stability problems in an approximate formulation are obtained. In these solutions, prebuckling beam deformations are usually neglected and, accordingly, some stiffnesses are considered to be infinitely large. In this case, the problem of lateral-torsional buckling of a hinged beam, bended by following potential moments, was not considered.

In this article, an equation from which it is possible to obtain the exact value of the critical moments for the stability problem of a hinged beam, bended by following potential moments [5], is obtained. This moments are directed around the  $z$  axis (Fig. 1). This solution makes it possible to take into account all the rigidities of the beam and, thus, to take into account the prebuckling beam deformations in the plane  $x$ - $y$ . In addition, stability problem in a strong linearized formulation is solved.

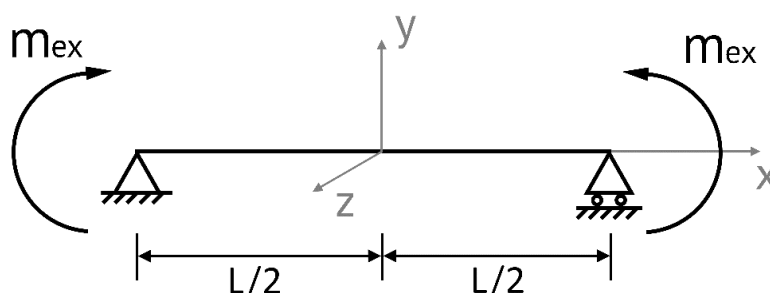


Fig. 1. Hinged beam loaded by potential following moment about axis  $z$

In this work, geometrically exact beam theory [5, 6] is used. Using the variational approach to stability problems [7–10], exact stability equations for elastic beams were obtained:

$$\begin{aligned} & [\mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{P}^T \cdot (\mathbf{u}' + \mathbf{r}' \times (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})) - (\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}) \times (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})]' = 0 \\ & [\mathbf{P} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{P}^T \cdot (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})' - (\mathbf{P} \cdot \mathbf{m}) \times (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})]' + \mathbf{u}' \times (\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}) + \\ & + \mathbf{r}' \times [\mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{P}^T \cdot (\mathbf{u}' + \mathbf{r}' \times (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})) - (\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}) \times (\mathbf{Z} \cdot \boldsymbol{\theta})] = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

where  $\mathbf{r}$  – radius vector;  $\mathbf{P}$  – turn tensor;  $\mathbf{Z}$  – Zhilin's tensor [5];  $\mathbf{q}$  – internal force vector;  $\mathbf{m}$  – internal moment vector;  $\mathbf{A} = EA\mathbf{e}_1\mathbf{e}_1 + k_yGA\mathbf{e}_2\mathbf{e}_2 + k_zGA\mathbf{e}_3\mathbf{e}_3$ ,  $\mathbf{C} = G\mathbf{I}\mathbf{e}_1\mathbf{e}_1 + EI_y\mathbf{e}_2\mathbf{e}_2 + EI_z\mathbf{e}_3\mathbf{e}_3$  – elasticity tensors in Hooke's law for forces and moments, respectively;  $\mathbf{u}$  and  $\boldsymbol{\theta}$  – unknown functions of the stability problem.

We substitute into stability equations (1) the geometrically nonlinear solutions of the static problem and obtain the exact stability equations for our case. The exact solution of the nonlinear static problem for a hinged beam with pure bending has the form:

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \begin{pmatrix} \frac{EI_z}{M} \left( \sin \frac{Ms}{EI_z} + \sin \frac{ML}{2EI_z} \right) \\ \frac{EI_z}{M} \left( -\cos \frac{Ms}{EI_z} + \cos \frac{ML}{2EI_z} \right) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\varphi} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{Ms}{EI_z} \end{pmatrix}, \\ \mathbf{P} &= \begin{pmatrix} \cos \frac{Ms}{EI_z} & -\sin \frac{Ms}{EI_z} & 0 \\ \sin \frac{Ms}{EI_z} & \cos \frac{Ms}{EI_z} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{q} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{m} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ M \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

where  $s$  – coordinate of beam point in reference configuration ( $L/2 \leq s \leq L/2$ ,  $L$  – is the length of the beam in reference configuration).

By substituting the exact solution of the nonlinear static problem into the stability equations (1), the following system of inhomogeneous second-order differential equations was obtained:

$$\begin{cases} [(k_t \cos^2 \Phi + k_{3y} \sin^2 \Phi)\psi_1' + (k_t - k_{3y}) \sin \Phi \cos \Phi \psi_2' + M\psi_2]' = 0; \\ [(k_t - k_{3y}) \sin \Phi \cos \Phi \psi_1' + (k_t \sin^2 \Phi + k_{3y} \cos^2 \Phi)\psi_2' - M\psi_1]' = 0, \end{cases} \quad (2)$$

where the annotations are introduced:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \frac{1}{\Phi} [\theta_1 \sin \Phi - \theta_2 (1 - \cos \Phi)] \\ \psi_2 &= \frac{1}{\Phi} [\theta_1 (1 - \cos \Phi) - \theta_2 \sin \Phi] \end{aligned} \quad \Phi = \frac{Ms}{k_{3z}}.$$

Following notations for beam stiffness are used:

$$k_t = GI; \quad k_{3y} = EI_y; \quad k_{3z} = EI_z.$$

The case when the bending stiffness of the beam around the  $z$ -axis is greater than the bending stiffness around the  $y$ -axis were considered.

The solution of the system of stability equations (2) has the form:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= C_1 \left( \cos \mu s \cos \varphi s - \sqrt{\frac{b}{a}} \sin \mu s \sin \varphi s \right) - C_2 \left( \cos \mu s \sin \varphi s + \sqrt{\frac{a}{b}} \sin \mu s \cos \varphi s \right) - \frac{B_2}{M}; \\ \psi_2 &= C_1 \left( \cos \mu s \sin \varphi s + \sqrt{\frac{b}{a}} \sin \mu s \cos \varphi s \right) + C_2 \left( \cos \mu s \cos \varphi s - \sqrt{\frac{a}{b}} \sin \mu s \sin \varphi s \right) + \frac{B_1}{M}, \end{aligned}$$

where  $\mu = M\sqrt{ab}$ ;  $\varphi = \frac{M}{k_{3z}}$ ;  $a = \frac{1}{k_t} - \frac{1}{k_{3z}}$ ;  $b = \frac{1}{k_{3y}} - \frac{1}{k_{3z}}$ ,  $C_1, C_2, B_1, B_2$  – arbitrary constants.

Boundary conditions for the stability problem were also obtained:

$$\begin{aligned} s = -L/2: \quad & \theta_1(-L/2) = 0; \quad \theta_2(-L/2) = 0. \\ s = L/2: \quad & \theta_1(L/2) = 0; \quad \theta_2(L/2) = 0. \end{aligned}$$

When substituting the solution of the stability problem into the boundary conditions, to fulfill requirement of nontrivial problem solution existence. This requirement is resulted to equation to the equation:

$$\left( \sqrt{\frac{a}{b}} + \sqrt{\frac{b}{a}} \right) \sin \frac{ML}{k_{3z}} \sin ML\sqrt{ab} + 2 \left( 1 - \cos \frac{ML}{k_{3z}} \cos ML\sqrt{ab} \right) = 0. \quad (3)$$

If we substitute the solution of the static problem in a linear formulation into equations (1), then an approximate linearized solution of the stability problem will be obtained. If we substitute a statically acceptable solution to a linear problem of statics (and assume that displacements and rotations are equal to zero), then an approximate strong linearized solution of the stability problem will be obtained.

A statically acceptable solution to a linear problem of static has the form:

$$\mathbf{r} = \mathbf{0}; \quad \boldsymbol{\varphi} = \mathbf{0}; \quad \mathbf{P} = \mathbf{I}; \quad \mathbf{Z} = \mathbf{I}; \quad \mathbf{Q} = \mathbf{0}; \quad \mathbf{M} = M\mathbf{k},$$

where  $\mathbf{I}$  – unit tensor;  $\mathbf{k}$  – ort of  $z$  axis.

To find the critical moment, it is necessary to solve only the second equation (1). Once integrated, we get:

$$\mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\theta}' - \mathbf{M} \cdot \boldsymbol{\theta} = \mathbf{B}, \quad (4)$$

where  $\mathbf{B}$  – arbitrary constant vector.

The solution of the system of stability equations (4) has the form:

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \sin \frac{Ms}{\sqrt{k_t \cdot k_{3y}}} + C_2 \cos \frac{Ms}{\sqrt{k_t \cdot k_{3y}}} - B_2 \frac{1}{M} \\ -C_1 \sqrt{\frac{k_t}{k_{3y}}} \cos \frac{Ms}{\sqrt{k_t \cdot k_{3y}}} + C_2 \sqrt{\frac{k_t}{k_{3y}}} \sin \frac{Ms}{\sqrt{k_t \cdot k_{3y}}} + B_1 \frac{1}{M} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

where  $C_1$  and  $C_2$  – arbitrary constants.

Substituting solution (5) into the boundary conditions, we find the condition for the existence of a nonzero solution of the system:

$$\cos \frac{ML}{\sqrt{k_t \cdot k_{3y}}} = 1. \quad (6)$$

Finally, we obtain the formula of the critical moment for a strongly linearized formulation:

$$M_{cr} = \frac{2\pi}{L} \sqrt{k_t k_{3y}}. \quad (7)$$

For example, the values of the critical moment in an exact and strong linearized formulation for a beam with a rectangular cross section (50×10 mm), and with length  $L = 5$  m is found:

$$M_{cr \text{ Exact}} = 1.20997 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

$$M_{cr \text{ S-Lin}} = 1.21667 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Thus, in the article, an equation for finding the critical moment for a hinged beam with pure bending, as well as a formula for finding the critical moment in a strong linearized formulation were obtained. The imprecision between the two values of the critical moment for the given example was 0.5%.

#### REFERENCES:

1. Timoshenko, S.P., Gere, J.M. Theory of elastic stability. Courier Corporation (2009).
2. Ziegler, H. Principles of structural stability, Blaisdell Publ. Comp. Waltham–Massachusetts–Toronto–London. 192 p., (1968).
3. Volmir A.S. Stability of deformable systems. – 2-nd ed., revised. and additional. – M.: Nauka, 1967. – 984 p.
4. Van Der Heijden, A.M.A.: W.T. Koiter's elastic stability of solids and structures. (2008). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546174>.
5. Zhilin, P.A.: Applied Mechanics – Theory of Thin Elastic Rods. Politekh. Univ. Publ., St. Petersburg. (2007).
6. Simo J.C., Vu-Quoc L., A three-dimensional finite strain rod model, Part II: Computer aspects, Comput. Methods Appl. Mech. Engorge., 1986; 58; P. 79–116.

7. Bolotin, V.V. O variational principles of the theory of elastic stability / V.V. Bolotin// Problems of the mechanics of a deformable solid body. – L.: Shipbuilding. – 1970. – p. 83–88.
8. Perelmuter, A.V., Slivker, V.: Handbook of mechanical stability in engineering (in 3 volumes): Vol. 1: General theorems and individual members of mechanical systems. (2013). <https://doi.org/10.1142/8372>.
9. Lalin, V.V, Zdanchuk, E.V, Kushova, D.A., Rozin, L.A.: Variational formulations for non-linear problems with independent rotational degrees of freedom. Inz. Z. 54 (2015).
10. Lalin, V., Nenashev, V., Utimisheva, I., Orlovich, R., Buckling of cantilever beam loaded by potential following moment Lecture Notes in Civil Engineering., 2020., V. 70., P. 643–652

УДК 624.07

Д.А. Страхов, Д.З. Гизатуллина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Нормативные документы, действующие на территории Российской Федерации, указывают, что высокопрочным называется бетон, имеющий прочность на сжатие 60 МПа и выше и изготавливаемый из портландцементного клинкера. Бетоны, имеющие высокий класс по прочности, обладают лучшими показателями по критериям прочности, трещиностойкости, ползучести, морозостойкости, водонепроницаемости по отношению к бетону рядовых классов [1]. С целью улучшения свойств бетона проводятся исследования по разработке новых видов высокопрочных композитных материалов [2, 3].

Высокопрочный бетон является одним из основных материалов, применяющегося при строительстве уникальных зданий и сооружений [4, 5]. Однако использование бетонов высоких классов по прочности в массовом строительстве ограничивается высокой стоимостью материала [5].

Для обоснованного внедрения высокопрочных бетонов в массовое строительство существует необходимость научно-технического подтверждения экономической и технологической эффективности замены классических материалов высокопрочными. В ряде исследований производится анализ эффективности замены бетонов обычных классов В20-В30 на высокопрочный в изгибаемых элементах [6, 7]. Очерчена рациональная область применения высокопрочного бетона по критерию прочности в балках постоянного прямоугольного сечения [7]. В настоящее время количество исследований по эффективному применению высокопрочного бетона в изгибаемых элементах недостаточно, особенно в части конкретных количественных рекомендаций.

Цель данной работы – выявление области рационального использования высокопрочных бетонов по критерию трещиностойкости в изгибаемых элементах.

Для достижения поставленной цели выполняются следующие задачи:

- производится расчет раскрытия трещин трёх балок постоянного сечения при заданных значениях нагрузки
- выполняется подбор необходимого количества арматуры для каждой балки для обеспечения ширины раскрытия трещин, равной предельному значению
- рассчитывается стоимость 1 п.м. балки при использовании различных классов бетона
- анализируется влияние повышения класса бетона на стоимость 1 п.м. балки

Расчет ширины раскрытия трещин производился по методике, представленной в СП 63.13330.2018. В качестве критерия оценки эффективности применения высокопрочного бетона в изгибаемых элементах (балках постоянного поперечного сечения) принята минимальная общая стоимость материалов (бетона и арматуры) одного погонного метра балки при фиксированной ширине раскрытия трещин 0,3 мм и различной величине изгибающих



моментов. Стоимость 1 п.м. балки была рассчитана по сборнику ТССЦ-2001 в г. Санкт-Петербург, исходя из сметной стоимости материалов без учета НДС [8].

Для расчета приняты материалы: арматура класса А400 диаметром 28 мм с модулем упругости  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа; бетон класса В20; бетон класса В60 (характеристики бетона приняты согласно СП 63.13330.2018). Расчет произведен для балок сечением: 30×60; 20×50; 18×40 см.

Расчетные моменты  $M$  для балок подобраны из условия прочности по методике, представленной в [7].

Стоимость 1 п.м. балки была рассчитана по сборнику ТССЦ-2001 в г. Санкт-Петербург, исходя из сметной стоимости материалов без учета НДС [8]. Стоимость арматурной стали горячекатанной по ГОСТ 5781-82 была рассчитана как среднее значение стоимости 1 т арматуры класса АIII(А400) и составила 63 604 руб. Данные для расчета стоимости балки из бетона В20 взяты по коду ресурса 401-0007, для В60 – 401-0217. Стоимость 1 п.м. бетона была получена путём перемножения площади поперечного сечения балки и стоимости 1 м<sup>3</sup> бетона, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стоимость 1 п.м. бетона

Класс бетона	Стоимость 1 м <sup>3</sup> , руб.	Стоимость 1 п.м., руб.		
		для балки постоянного поперечного сечения		
		30×60 см	20×50 см	18×40 см
В20	4155,13	747,92	415,51	299,17
В60	6389,47	1150,10	638,95	460,04

В таблице 2 приведены данные расчета стоимости  $S$  погонного метра балок постоянного сечения 20×50 см. Коэффициент армирования  $\mu$  рассчитан как отношение площади сечения арматуры к рабочему сечению бетона. При наличии сжатой арматуры в сечении в расчёте коэффициента  $\mu$  учитывается сумма площадей поперечных сечений сжатой и растянутой арматуры.

Таблица 2 – Результаты расчёта для балки постоянного сечения 20×50 см

$M$ , кН·м	Класс бетона	$M_{crc}$ , кН·м	$A_s$ , см <sup>2</sup>	$A'_s$ , см <sup>2</sup>	$A_s + A'_s$ , см <sup>2</sup>	$\mu$ , %	$S$ , руб.	$a_{crc}$ , мм
69,95	В20	16,58	6,84	–	6,84	0,76	757,03	0,3
	В60	31,84	5,02	–	5,02	0,56	889,59	
136,04	В20	18,98	15,38	–	15,38	1,71	1183,42	
	В60	34,95	12,74	–	12,74	1,42	1275,04	
198,26	В20	20,21	19,20	1,17	20,37	2,26	1432,57	
	В60	37,11	18,17	–	18,17	2,02	1546,16	
256,62	В20	21,58	21,92	5,28	27,20	3,02	1773,59	
	В60	38,24	21,04	–	21,04	2,34	1689,46	
311,1	В20	23,08	25,28	9,12	34,40	3,82	2133,08	
	В60	39,37	23,90	–	23,90	2,66	1832,25	
361,72	В20	24,72	29,33	12,68	42,01	4,67	2513,04	
	В60	41,14	28,45	–	28,45	3,16	2059,43	
408,48	В20	26,25	33,10	15,98	49,08	5,45	2866,04	
	В60	42,76	32,50	–	32,50	3,63	226,13	

Аналогичные результаты были получены при расчете балок сечением 30×60 см и 18×40 см. Для наглядности полученных результатов на рис. 1 приведены графики зависимости стоимости 1 погонного метра балок от коэффициента армирования  $\mu$  для балок из бетона В20.

Анализ графиков на рис. 1 показывает, что для балок, высота сечения которых в 2–3 раза больше ширины, целесообразен переход от бетона В20 к высокопрочному бетону В60 при достижении коэффициентов армирования примерно 2,7%.

Важно упомянуть о временном характере количественных результатов. Анализ данных сметных сборников ТССЦ-2001 в г. Санкт-Петербург различных временных периодов показывает, что стоимости бетона и арматурной стали имеют тенденцию к непропорциональному возрастанию относительно друг друга. Так, например, за 3 года в период с 11.2018 по 11.2021 стоимость арматурной стали увеличилась в 1,65 раз, а стоимость бетона марок В20 и В60 в 1,09 и 1,18 раз соответственно. Из чего можно сделать вывод, что область применения высокопрочного бетона может быть расширена, так как большая часть стоимости погонного метра балки зависит именно от стоимости арматуры, количество которой в значительной степени сокращается при применении высоких классов бетона.

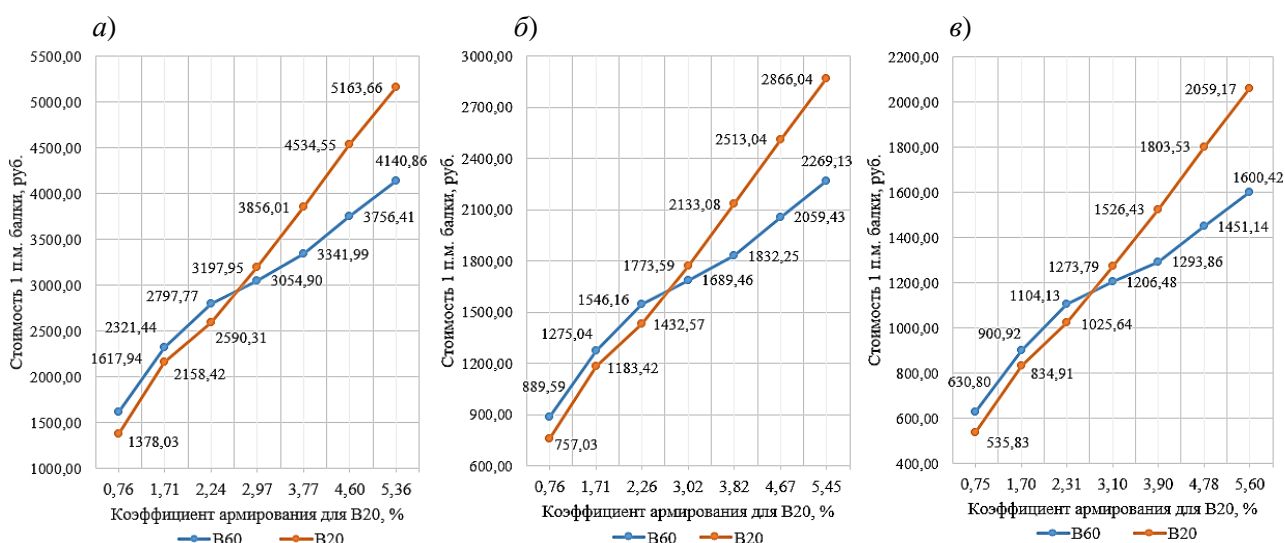


Рис. 1. График зависимости стоимости 1п.м. балки от коэффициента армирования  $\mu$  для балки из бетона класса В20: а – сечение 30×60 см; б – сечение 20×50 см; в – сечение 18×40 см

В результате анализа расчетов балок аналогичного поперечного сечения по раскрытию трещин установлено, что при предельно допустимой ширине раскрытия трещин 0,3 мм применение бетона класса В60 оказывается более обоснованным, чем бетона класса В20, при содержании арматуры более 2,67–2,73% (для бетона В20).

Выявленная зависимость более интенсивного увеличения стоимости арматурной стали по сравнению со стоимостью бетона указывает, что область эффективного использования высокопрочного бетона в изгибаемых элементах имеет тенденцию к расширению.

Стоит отметить, что приведенные рекомендации имеют приблизительный характер, так как на окончательную стоимость железобетонных элементов кроме цены материалов влияют и другие факторы, такие как: транспортные расходы, стоимость рабочей силы и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кондратьев Е.А., Клименко Н.Е. Сравнительный анализ высокопрочных и общестроительных бетонов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. 2020. С. 535–538.
2. Inozemtcev A.S. Case Studies of High-strength Lightweight Concrete Using Expanded Siliceous Aggregate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 1(840). DOI:10.1088/1757-899X/840/1/012017.
3. Velichko E.G. Problems and prospects of self-compacting concrete mixes for high-strength concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 1(896). С. 1675–1680. DOI:10.1088/1757-899X/896/1/012090.

4. Сальникова А.С. Высокопрочный бетон: от фундаментальных до прикладных задач // Университетская наука. 2020. № 2. С. 118–120.
5. Ткачев Д.В. Высокопрочный бетон в строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. С. 1675–1680.
6. Рогатнев Ю.Ф., Иванов Ю.В., Соколов О.О. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния элемента таврового сечения с высокопрочным бетоном в сжатой зоне при кратковременной нагрузке // Известия Вузов. Строительство. 2020. № 9. С. 36–47.
7. Страхов Д.А., Синяков Л.Н., Василенко А.Д. Изгибаемые элементы из высокопрочного бетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 11. С. 7–16. DOI:10.18720/CUBS.
8. Ивлева С.В., Малов Э.Ю., Санько Д.А. Территориальный сборник сметных цен на материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве. Санктпетербург. (ТССЦ – 2001). // М: ООО «Экслибрис Принт». 2021. № 119(11). С. 860.

УДК69.04

Н.Н. Соколов, С.Ф. Дьяков  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЖЕСТКОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ В МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ

*Актуальность:* перекрестноклееные деревянные панели (ПКД) – относительно новый материал, относящийся к категории массивных деревянных конструкций и имеющий огромный интерес в зарубежном строительстве многоэтажных зданий: как жилых, так и общественных [3]. Однако и в зарубежной литературе [2], и в отечественной [4], посвященной данному вопросу, отсутствуют исследования, посвященные выбору оптимальных узловых решений с точки зрения их жесткости и влияния на распределение усилий в здании.

*Цель работы:* на примере конструктивной схемы многоэтажного здания из ПКД выполнить расчеты внутренних усилий с различными жесткостными характеристиками и сделать выводы по дальнейшему подбору более рациональных узлов стыков ПКД панелей.

*Задачи:* формирование расчетной схемы, задание узловых жесткостей, расчет с различными узловыми жесткостями, анализ усилий, формирование выводов и рекомендаций.

*Метод исследования:* поставленные задачи решаются на основе применения общенаучных методов исследования в рамках сравнительного анализа, а также посредством математического моделирования в расчетных комплексах и графической интерпретации информации.

Объект исследования – 7-этажное жилое здание, конструктивная схема: стеновая. Перекрытия, а также несущие внутренние и ограждающие конструкции выполнены из перекрестноклееных деревянных панелей, каждая панель состоит из 5 слоёв. Характеристики панелей были взяты из таблицы, приведенной на сайте российского производителя ПКД панелей [1]. Так как деревянные конструкции очень легкие, для придания пространственной жесткости, а также для соответствия требованиям пожарной безопасности, лестнично-лифтовой узел был сформирован как железобетонное ядро жесткости из бетона В25, толщина стен – 200 мм.

Расчётная схема формировалась в программном комплексе ETABS (рис. 1), и была представлена в трёх вариантах: с жестким креплением панелей между собой, шарнирным, и значением соединения конечной поворотной жесткости. В случае конечной жесткости и шарнирного крепления (жесткость на поворот равняется нулю), они устанавливались в местах соединения плит перекрытия со стенами, а также между стенами в плоскости ХОУ.

Нагрузки на все варианты схемы задавались одинаковым образом. Проверки по предельным состояниям проводились согласно пособию [5].

По окончании исследования, на основании выводов, будут конструироваться узлы, чья жесткость будет приблизительно близка к тем значениям, которые применялись в исследовании.

На основе анализа результатов были сформулированы следующие *выводы*:

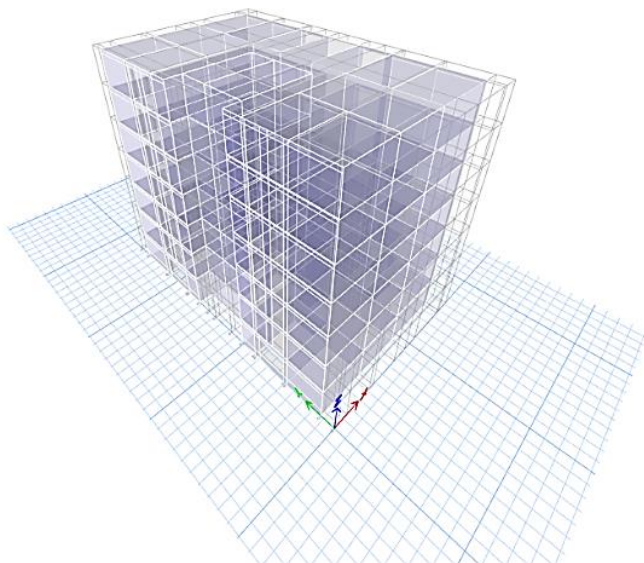


Рис. 1. Расчётная схема здания в ETABS

1. В шарнирном варианте крепления панелей получались минимальные изгибающие моменты в стеновых панелях (значения  $M$  близки к нулю): вызвано это, скорее всего тем, что практически всю ветровую нагрузку воспринимает монолитное ядро жесткости. Таким образом получаются наименьшие расчетные значения сечений плит, а также узлы крепления к основанию не будут требовать сложной конструкции для полноценной передачи усилий в основание.

2. При жестком варианте крепления моменты в стенах достигают максимальных значений (до  $10\text{кН}\cdot\text{м}$ ), максимальные прогибы в плитах становятся значительно меньше.

3. Варьируя жесткость на поворот в соединениях плит и стен, получаем, что наименьшие возможные изгибающие моменты в плитах перекрытий достигают при значениях жесткостей на поворот в районе  $500\text{--}700\text{ кН/рад}$ , таким образом, дальнейший подбор конструкции узлов будет производиться с учетом данных значений жесткости.

4. Таким образом, при конструировании узлов не будут рассматриваться трудоёмкие и дорогие узлы, направленные на обеспечение больших жесткостей, что сузит круг возможных вариантов для конструирования.

5. Учитывая, также, фактор необходимости производить расчеты на огнестойкость, скорее всего, итоговые значения толщин панелей (перекрытия –  $131\text{ мм}$ , ограждающие стеновые панели –  $215\text{ мм}$ , внутренние несущие панели –  $131\text{ мм}$ ) будут завышены для увеличения показателя по потере несущей способности при пожаре, поворотная жесткость соединений также будет завышена за счет увеличения жесткостей элементов, что подкрепляет предыдущий вывод.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Технические характеристики CLT-панелей. [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5080> (дата обращения 13.03.2022).
2. Michael Green, «THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS». 2013. 142 с
3. CLT-панели. [Электронный ресурс]. URL: <https://cltprom.ru/> (дата обращения 13.03.2022).
4. Герасимович А.А., Агафонов С.А. Обзор мирового опыта проектирования и строительства многоэтажных зданий на основе клеёных деревянных конструкций// Вестник магистратуры. No5-3 (104). 2020. с 70–77.
5. Калугин А.В. Деревянные конструкции: учебное пособие. М.: АСВ. 2003. 224 с

## КАРКАСНО-СТВОЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ СРЕДИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СТВОЛЬНЫХ СИСТЕМ



Рис. 6. Ствольно-оболочковая конструктивная система

Конструкция здания является одной из важных составляющих любого сооружения, и выбор конфигурации расположения совместно работающих колонн, стен перекрытий, покрытий и фундамента [1] может уменьшить расход материалов, увеличить возможность гибкой планировки, увеличить запас по несущей способности здания, что делает конструкцию более безопасной.

Высотное строительство берёт своё начало в США в конце XIX века. Это обусловлено появлением новых технологий и материалов в строительстве.

В первых зданиях применялась стеновая конструктивная система, однако, когда в погоне за высотой, толщина несущих кирпичных стен первого этажа достигла 2 м, от нее отказались. Далее совершился переход на каркасную систему, которая позволила покорить высоту и начать «гонку по вертикали». В 1973 г. заканчивается строительство Башен-близнецов с близкорасположенными на фасаде стальными колоннами и с фермами этажей [2].

За всё время строительства высотных зданий в США накопились бесценные знания и опыт [3]. В России эта тема развита не так хорошо, в связи с чем и проводится данная работа по изучению конструктивных систем.

В качестве основного несущего элемента чаще всего используют центральное ядро, обеспечивающее восприятие горизонтальных усилий, передающихся от дисков перекрытий, которые обеспечивают совместную пространственную работу вертикальных несущих конструкций [4]. Поэтому объектами изучения станут двухкомпонентные комбинированные системы [5], в состав которых входит ствольная.

*Цель исследования* – оценить достоинства и недостатки ствольно-оболочковой, ствольно-стеновой и каркасно-ствольной конструктивных систем.

Анализ проводится сравнением каждой конструктивной системы по следующим параметрам: расход бетона, возможность гибкой планировки и фактический прогиб. В качестве инструмента для получения значений будут использоваться программы SCAD и Revit.

В первой части создаются информационные модели всех исследуемых конструктивных систем для расчёта объёмов материалов и экспорта аналитической модели для дальнейшего расчёта методом конечных элементов.

Для вертикальных несущих конструкций, согласно заданию на дипломный проект, выбраны набивные сваи диаметром 800 мм и длиной 33 м, колонны сечением 800×800 мм и 400×400 мм, стены толщиной 200 мм, при высоте этажа от верха перекрытия до верха

следующего перекрытия 3900 мм. К горизонтальным конструкциям относятся жёсткие диски перекрытия толщиной 200 мм, фундаментной плиты толщиной 1400 мм и капителей толщиной 400 мм и сечениями, равными 1/4 от пролёта.

Результаты моделирования с изображением фасадов и 3-D вида представлены на рис. 1–3.

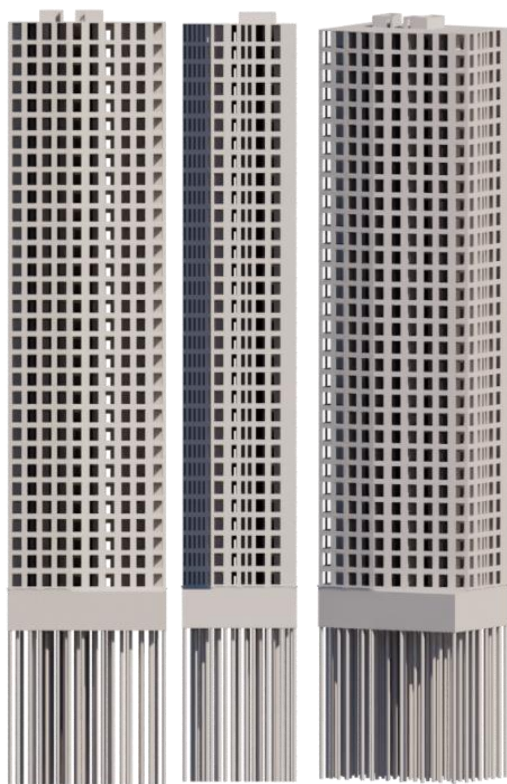


Рис. 2. Ствольно-стенная конструктивная система



Рис. 3. Каркасно-ствольная конструктивная система

Во второй части, в программе SCAD модель разбивается на конечные элементы. Колонны и сваи представляют собой стержни, перекрытия, покрытия, капители, стены – плиты. Всем элементам разных систем задаётся одинаковая по типу конструкции жёсткость, затем прикладываются все необходимые нагрузки, задаётся из комбинации и рассматривается несущая способность каждого вида конструкции

В третьей части анализируются характеристики несущей способности конструкций разных конструктивных систем. В табл. 1 приведены численные значения, полученные в результате расчёта методом конечных элементов и из информационной модели, чтобы понимать существенность различий в значениях.

По итогам исследования можно сделать ряд выводов относительно конструктивных систем, используемых в России, г. Санкт-Петербург. Стеновая-ствольная система самая неблагоприятная для строительства высотных зданий. Несмотря на самую высокую жёсткости среди изучаемых систем, она требует большого количества материала [6], более чем на 30 %, и совершенно не подходит для перепланировки. Ствольно-оболочковая и каркасно-ствольная лучше применять для зданий с возможностью гибкой планировкой, чем ствольно-стенная, но не превосходят ее по обеспечиваемой жёсткости.

Если сравнивать по всем конструкциям, имеющимся в зданиях с каркасно-ствольной и ствольно-оболочковой системами, то вторая имеет преимущество в сваях больше в 1,64 раза, колоннах сечением 400×400 мм – 1,47 раза, стенах подвала – в 1,51 раз, фундамента – в 1,22 раза, перекрытий – в 1,87 раза, капителей – в 1,17 раз. Однако из-за больших пролётов у ствольно-оболочковой системы, фактические прогибы (105 мм) превышают допустимые (65

мм), т.е. данные конструкции нельзя использовать, согласно СП 20.13330.2016. Фасады зданий с данной системы тоже загромождены несущими конструкциями, из-за чего возникают сложности в расположении оконных проёмов [7].

Таблица 6 – Результаты, полученные после исследования

Название конструкции	Конструктивные системы		
	Ствольно-оболочковая	Ствольно-стенная	Каркасно-ствольная
Возможность гибкой планировки	+	–	+
Объёмы всего здания из ПК Revit, м <sup>3</sup>	12 837	17 093	13 075
Нагрузки и напряжения из ПК SKAD			
Сваи диаметром 800 мм, длиной 33 м и бетоном класса В35, т	-896	-991	-547
Колонна сечением 400×400 (800×800) мм и бетоном класса В35, т	-1 022,336		-696
Колонна сечением 800×800 мм и бетоном класса В35, т	-697 (полная замена колонн 400×400 мм)		-1918
Стены подвала толщиной 200 мм, кН/м <sup>2</sup>	-41 362/ 9 527	-1 812/ -6 260	-27 426/ 10 428
Фундаментная плита толщиной 1400 мм и бетоном класса В50, кН/м <sup>2</sup>	1 337/837	161 046/ 45 601	1 186/-684
Перекрытия толщиной 200 мм и бетоном класса В35, кН/м <sup>2</sup>	4 408/4 733	-3 339 952/ 637 514	-4 598/ 2 525
Капители толщиной 400 мм и бетоном класса В35, кН/м <sup>2</sup>	-1 166,912/895,811	–	-1 199/766
Максимальный/допустимый прогиб, мм	105/65	2/29	31/35

Поэтому, исходя из вышеперечисленного, каркасно-ствольная конструктивная система является идеальным балансом между надёжностью, экономичностью и возможностью изменить планировочное решение.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лебедев Ю.С, Рабинович В.И., Положай Е.Д. Архитектурная бионика; Москва: Стройиздат, 1990. 269 с.
2. Ледяйкин, А.С. Обзор зарубежного опыта проектирования высотных зданий. Огарёв-Online, 2017, № 11(100). с. 4.
3. Ледяйкин, А.С. Развитие высотного строительства в России. Огарёв-Online, 2018, № 9(114). с. 5.
4. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В. Проектирование металлических конструкций. Часть 2; Металлические конструкции, Специальный курс, 2020. 457 с.
5. Khan F. The future of high rise structures: Progressive Architecture, 1972, № 10, pp. 78–91.
6. Баранов А.О. Конструктивные решения высотных здания. Alfabuild, 2018, № 3(5). с. 33–51.
7. Карамышева А.А., Аракелян А.А., Иванов Н.В., Коняхин В.О., Гранкина Д.В., Обеспечение устойчивости высотных уникальных зданий. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения. Инженерный вестник Дона, 2018, №4.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
С ВАРЬИРОВАНИЕМ ЖЕСТКОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ

*Введение.* С каждым годом объем использования стальных каркасов в строительстве возрастает, что поднимает вопросы об эффективности и возможностях снижения металлоемкости конструкций. Существует немалое количество работ, посвящённых исследованию вопросов оптимального проектирования строительных конструкций, однако работ, оптимизация в которых достигается за счет варьирования жесткости соединений, сравнительно немного [1-2].

Однако учет и изменение действительной жесткости соединений позволяет перераспределять внутренние усилия, возникающие в конструкции, что позволяет добиться более эффективной работы отдельных элементов, а, следовательно и более экономичного расхода материала [3].

В отечественной практике вопрос действительной жесткости узла практически не рассматривается. В [4] вопрос учета податливости узловых сопряжений рассматривается применительно к сборным железобетонным конструкциям. В расчетах стальных конструкций узлы рассматриваются традиционно либо в виде шарнирного, либо в виде абсолютно жесткого соединения.

Таким образом, *цель работы* – сформировать вывод об эффективности использования полужестких соединений в задаче оптимизации стальным рам зданий и сооружений с учетом требований к несущим конструкциям, действующих на территории РФ.

*Объект исследования* – двухпролетная рама (рис. 1) с произвольным числом этажей  $F$ , нагруженная равномерной распределенной нагрузкой  $q = 50$  кН/м и горизонтальной нагрузкой  $P$ .

Сечения элементов балок и колонн унифицированы в пределах этажа.

Коэффициенты жесткости соединений определяются по следующей формуле [5]:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{1 + \frac{3EI_i}{L_i S_{ij}}} \quad (1)$$

Целевую функцию металлоемкости конструкции, с учетом влияния жесткости соединений балка-колонна на стоимость, можно записать в следующем виде [6]:

$$\min F = \sum_{i=0}^{N_{column}} W_i + \sum_{i=0}^{N_{beam}} \left[ W_i + \sum_{j=1}^2 W_i [\beta_1 \alpha_{ij} + \beta_2] \right], \quad (2)$$

где  $\beta_1, \beta_2$  – коэффициенты стоимости, учитывающие жесткость соединения в процентах от массы элемента,  $\beta_1 = 0,225$ ,  $\beta_2 = 0,125$  [7].

При этом на целевую функцию накладываются следующие ограничения:

1. Прочность при совместном действии продольной силы и момента в соответствии с гл. 9 СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции».
2. Устойчивость при внецентренном сжатии в плоскости действия момента в соответствии с гл. 9 СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции».
3. Предельный прогиб балок рамы в соответствии с требованиями прил. Д.2.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
4. Предельные горизонтальные перемещения конструкции в соответствии с требованиями прил. Л.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».



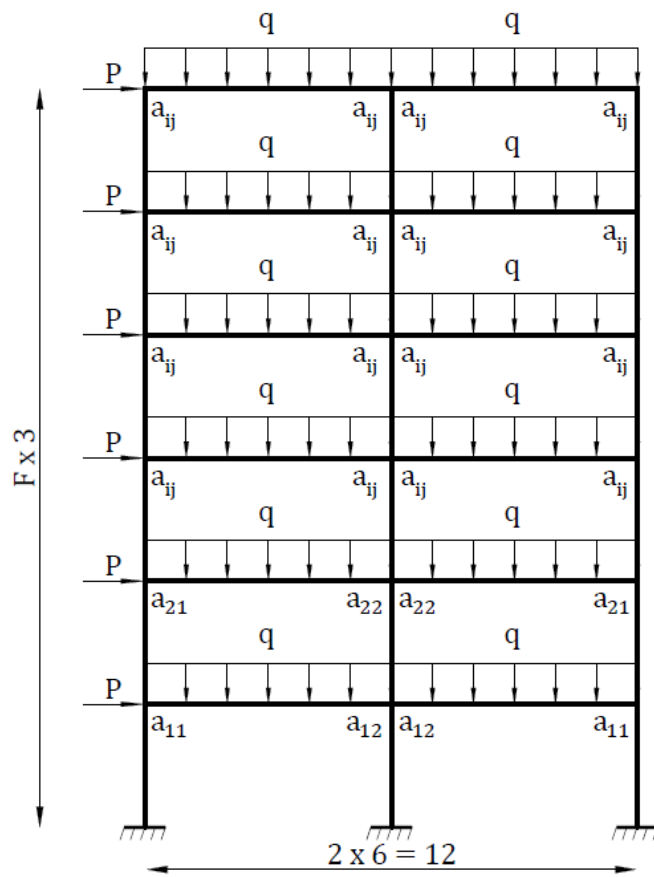


Рис. 1. Схема исследуемой конструкции

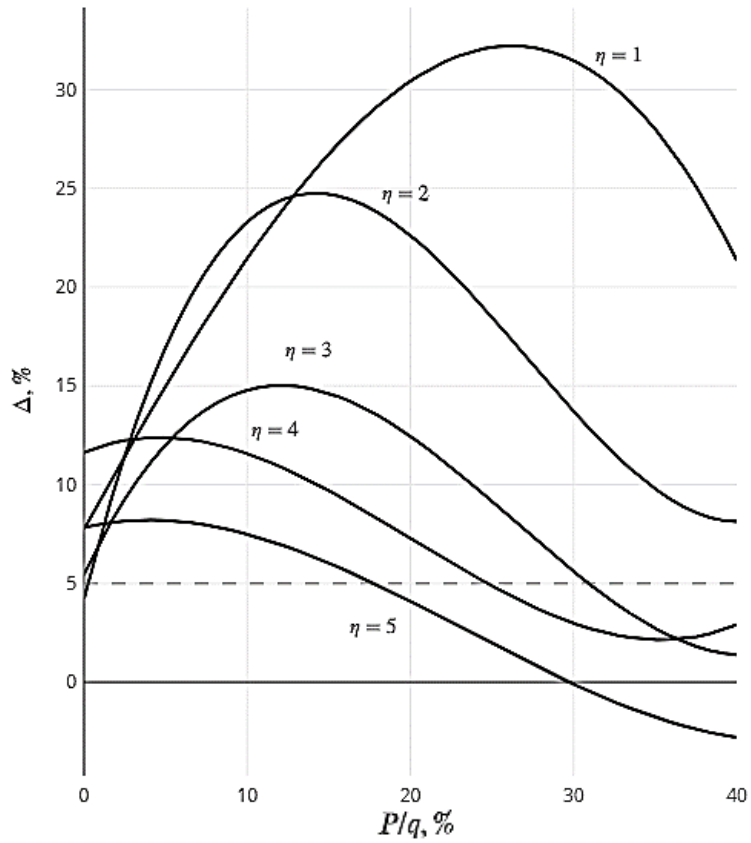


Рис. 7. Графики зависимости  $\Delta(P/q)$  для рам различной этажности

Для решения задачи использоваться генетический алгоритм с механизмами элитизма.

В качестве величины эффективности принята разность между лучшим решением рамы с использованием жестких соединений  $F_{rigid}$  или шарнирных  $F_{pinned}$  и лучшим решением при использовании полужестких соединений  $F_{semi}$ :

$$\Delta = \frac{\min[F_{rigid}, F_{pinned}] - F_{semi}}{\min[F_{rigid}, F_{pinned}]} \quad (3)$$

По результатам расчета рам с различным отношением количества этажей к числу пролетов  $\eta = 1 \dots 5$  получены следующие *выводы*:

- Увеличение высоты конструкции и горизонтальной нагрузки существенно уменьшает эффективность использования полужестких соединений балка-колонна. При превышении количества этажей равным 10, наблюдается неэффективность использования полужестких соединений.
- При малых значениях горизонтальной нагрузки ( $P/q < 5\%$ ), количество этажей не играет существенной роли и использование полужестких соединений показывает эффективность в 5–13 %.
- Графики зависимости эффективности  $\Delta$  для различных значений  $\eta$  представлены на рис. 2.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. // М.: Изд-во АСВ, 2011. – 184 с.
2. Виноградов А.И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике // Харьков: Вища школа. – 1973.
3. Miklos, Ivanyi. Semi-Rigid Joints in Structural Steelwork// Vienna: Springer. – 2000. – 347 с.
4. Трекин Н.Н. Рекомендации по расчету каркасов многоэтажных зданий с учетом податливости узловых сопряжений сборных железобетонных конструкций // М.: ЦНИИПромзданий. – 2002. – 39 с.
5. Simoes L.M.C. Optimization of frames with semi-rigid connections // Computers & structures. – 1996. – Т. 60. – №. 4. – С. 531–539.
6. Hayalioglu M.S., Degertekin S.O. Design of non-linear steel frames for stress and displacement constraints with semi-rigid connections via genetic optimization // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2004. – Т. 27. – №. 4. – С. 259–271.
7. Shallan O., Maaly H.M., Hamdy O. A developed design optimization model for semi-rigid steel frames using teaching-learning-based optimization and genetic algorithms // Structural engineering and mechanics: An international journal. – 2018. – Т. 66. – №. 2. – С. 173–183.

УДК 69.04

В.В. Лалин<sup>1</sup>, В.А. Рыбаков<sup>1</sup>, Д.А. Сабуров<sup>1</sup>, М.Н. Печерских<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>Проектная компания Формат, Санкт-Петербург, Россия

#### УЧЕТ ИНЕРЦИИ ВРАЩЕНИЯ В РАСЧЕТАХ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ БАЛОК

*Актуальность темы.* На современном этапе развития теории динамики сооружений имеется возможность рассчитывать модели зданий с числом степеней свободы в узле равным шести. Такие модели позволяют более точно определить влияние динамическим воздействий на здания и сооружения. Однако такие модели значительно увеличивают время расчета. Поэтому важной задачей является повышение точности динамического расчета при сокращении затрат времени.

Так в работах [1, 2] исследуется спектральный метод и способы его автоматизации. Показано, что спектральный метод позволяет увеличить скорость расчетов с достаточной точностью. Другой путь – усовершенствование матриц масс. Обычно в программных

комплексах используется два типа матриц масс: диагональная и согласованная. Последняя более точно описывает свойство системы, но и диагональная матрица дает возможность учесть инерционные характеристики системы, в том числе и инерцию поворота. Результаты таких расчетов близки к результатам, полученным аналитическим путем [3, 4]. Однако данная методика испытывалась не при всех способах закрепления балок.

Следовательно, необходимо оценить, как изменение характеристик закрепления балки повлияет на результаты расчета с использованием диагональной матрицы, учитывающей инерцию вращения.

*Цель работы.* Цель данной работы исследовать, как учет момента инерции массы при осуществлении модального анализа жестко заземленной с двух сторон балки влияет на собственные частоты.

Основными задачами данного исследования являются:

1. Выполнение модального анализа жестко заземленной с двух сторон балки с учетом инерции вращения.
2. Определение собственных частот колебаний и их сравнение с точным решением, полученным для балки Эйлера – Бернулли, балки Рэлея и балки Тимошенко;
3. Оценка точности приближенных решений методом Б.С. Шварцмана.

Рассмотрим свободные колебания плоской линейной задачи (рис. 1).

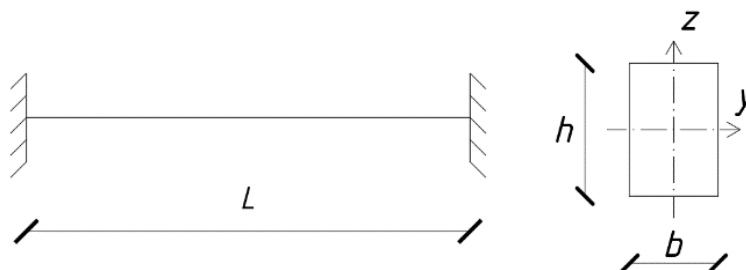


Рис. 1. Схема заземленной балки

Примем  $m = 1,6$  – масса балки, т;  $L = 8$  – длина элемента, м;  $b = 20$  – ширина сечения, см;  $h = 40$  – высота сечения, см;  $E = 30018600$  – модуль упругости, кН/м<sup>2</sup>.

Представим исходную схему (рис. 1), как систему с конечным числом степеней свободы, разбив ее на два конечных элемента (рис. 2 и 3).

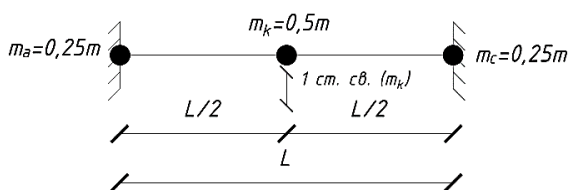


Рис. 2. Расчетная динамическая схема 1 без учета инерции поворота

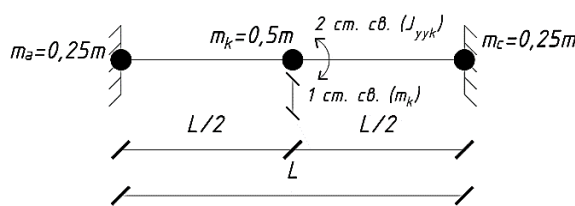


Рис. 3. Расчетная динамическая схема 2 с учетом инерции поворота

В расчетах примем, что  $m_i$  – сосредотачиваемая масса;  $J_i$  – момент инерции массы, соответствующий  $m_i$ .

Для определения собственных частот колебаний в системах с несколькими степенями свободы используется выражение (1) [5]:

$$\left| DM - \frac{1}{\omega_i^2} E \right| = 0, \quad (1)$$

где  $D$  – матрица податливости;  $M$  – матрица масс;  $E$  – единичная матрица;  $\omega_i$  – собственная частота, соответствующая  $i$ -ой форме колебаний.

Матрица масс для расчетной схемы 2 (рис. 3) задается диагональной, но с учетом инерции вращения согласно выражению (2):

$$M = \begin{pmatrix} m_k & 0 \\ 0 & J_{yyk} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Момент инерции массы складывается из двух составляющих, согласно формуле (3): момента инерции стержня, определяемого по теореме Гюйгенса-Штейнера и момента инерции при повороте поперечного сечения.

$$J_{yyk} = \frac{m_k}{12} \left(\frac{l}{2}\right)^2 + m_k r_y^2, \quad (3)$$

где  $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$  – радиус инерции сечения;  $m_i$  – сосредотачиваемая масса в узле;  $I_y$  – момент инерции сечения;  $A$  – площадь поперечного сечения,  $l$  – длина балки.

Определим собственные частоты колебаний рассматриваемой защемленной с двух сторон балки при различном количестве конечных элементов (Таблица 1).

Расчеты ведутся с помощью программного комплекса SCAD Office и Mathcad.

Таблица 1 – Собственные частоты с учетом инерции поворота

Расчетная схема	Собственная частота $\omega_i, \text{c}^{-1}$		
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
$n$			
$n = 2$	122,512	244,073	–
$n = 4$	135,283	341,977	593,503
$n = 8$	138,605	372,799	704,220
$n = 16$	139,474	381,463	738,830

Оценка точности приближенных решений осуществляется с применением метода Б. С. Шварцмана [6]. Решения для балки Тимошенко, балки Рэлея и балки Эйлера – Бернулли взято из справочной литературы [7] (таблица 2).

Таблица 2 – Итоговая сравнительная оценка результатов расчета

Собственная частота $\omega_i \left(\sqrt{\frac{EI}{L^3 m}}\right)^{-1}, \text{c}^{-1}$				
$i$	При сосредоточении масс (значение $S$ )	Балка Эйлера-Бернулли	Балка Рэлея	Балка Тимошенко
1	139,7728 (при $e = 0,0091$ )	139,8788	139,8690	136,9301
2	384,6009 (при $e = 0,2499$ )	385,5745	385,5579	369,9204
3	752,4679 (при $e = 2,1012$ )	755,8804	755,8098	708,5166

В таблице  $S$  – искомое приближенное решение задачи;  $e$  – погрешность вычисления.

По полученным результатам можно сделать следующие *выводы*:

1. Так как для данной задачи собственные частоты, полученные по методу Эйлера-Бернулли и Рэлея, близки по значению, нельзя однозначно сказать, к какому из решений стремятся значения, полученные численным методом.

2. Численное решение дает несколько заниженные значения собственных частот. Однако это занижение не велико, всего 0,22% для второй собственной частоты. Собственные частоты, полученные численным методом близки к аналитическим решениям, полученными методами Рэлея и Бернулли-Эйлера.

3. Необходимо дополнительно исследовать влияние учета момента инерции массы на собственные частоты колебаний при различных условиях закрепления. Также следует рассмотреть методы учета деформаций сдвига и определить оптимальный метод для динамических расчетов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Пеклов П.Н., Кондратьев В.С., Мачнев С.А. Карасёв С.Ю. Автоматизация расчета сооружений на сейсмические нагрузки с использованием вычислительных программ / Пеклов П.Н., Кондратьев В.С., Мачнев С.А. Карасёв С.Ю. // Известия ТулГУ. –2019. –Т. 6 –С.70–77.
2. Пеклов П.Н. Анализ динамических реакций стержневых систем консольного типа при сейсмическом воздействии / Пеклов П.Н. // Военный инженер – 2019. – 21–27 с.
3. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Печерских М.Н. Учет инерции вращения при модальном анализе консольной балки // Неделя науки ИСИ, СПб. Политех-Пресс, 2021.– 388–390 с.
4. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Печерских М.Н. Учет инерции вращения при модальном анализе однопролетной балки // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2020. – 232–236 с.
5. Константинов, И.А. Использование программных комплексов: учеб. пособие / И.А. Константинов, В.В. Лалин, И.И. Лалина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 216 с.
6. Лалин, В.В. Численные методы в строительстве. Решение одномерных краевых задач методом конечных элементов: учеб. пособие /В.В. Лалин, Г.С. Колосова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 72 с.
7. Pilkey, Walter D. Formulas for stress, strain, and structural matrices / Walter D.Pilkey.– 2nd ed. – [Hoboken, N. J.] : Wiley, cop. 2005. –1511 с.

УДК 69.04

А.А. Лебедева, В.В. Лалин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ВЗАИМОСВЯЗЬ РАВНОПРОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ И ПРОЛЕТНО-КОНСОЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ

Поиск методов регулирования металлических конструкций, выяснение оптимального метода регулирования играет существенную роль при решении задач оптимизации. Разработка универсального алгоритма при проектировании стержневых систем сохраняет актуальность и в настоящее время. В настоящей работе приведен пример использования простого в вычислительном отношении алгоритма оптимизации, основанного на методе, изложенном в работе [1]. Целевой функцией, подлежащей минимизации в этом методе, является энергия деформации конструкции.

Критерии оптимальности и методы регулирования напряжений приведены в [2, 3].

Искусственным регулированием удастся в ряде случаев перераспределить в конструкциях или в их отдельных элементах напряжения в нужную сторону, улучшить условия эксплуатации и тем самым обойтись без усиления конструкций или свести его к минимуму [3, 4].

В работе [5] рассматривается теорию упругих стержней – Коссера-Тимошенко, исследуя деформация изгиба, сдвига и растяжения-сжатия, при этом на величины перемещений и поворотов не накладываются ограничения.

Таким образом *цель исследования*: обосновать критерий оптимального регулирования напряженно-деформированного состояния конструкции, провести анализ и регулирование напряженно-деформированного состояния конструкции.

В качестве *предмета исследования* рассматривается напряженно-деформированное состояние стальных балок.

*Методы исследования*: математические методы оптимизации, вариационные методы строительной механики, метод конечных элементов, реализуемый в программных комплексах. В данном случае расчеты проводились с использованием ПК ЛИРА САПР 2020.

В настоящей работе предлагается сравнить проектные решения двух металлических стальных каркасов.

Исследуются два промышленных каркасных двухпролетных здания с пролетами  $l_1 = 9$  м,  $l_2 = 12$  м, высота этажа принята  $h_{эт} = 6$  м, шаг рам составляет 6 м.

Из условия прочности и устойчивости были подобраны сечения колонны 20Б1, в качестве ригеля используется балка двутаврового сечения 20Б1, связи в продольном и поперечном направлении – два уголка  $\perp 25 \times 25 \times 3$ . Также на расчетной схеме показана подкрановая балка 16Б1 для перемещения мостового крана вдоль цеха.

Для второй расчетной схемы добавляем консольные свесы, длина которых  $a$ . В качестве внешних нагрузок, также, как и в первом варианте, использовалась постоянная нагрузка от собственного веса, нагрузка от покрытия, снеговая и полезная нагрузка.

Таким образом, задача сводится к поиску дополнительных нагрузок, которые, действуя на консоли, будут разгружать центральные пролеты. Для достижения поставленной цели по направлению искомой нагрузки вводятся дополнительные связи [6]. Оптимальная нагрузка  $P_{опт}$  равна реакции во введенной дополнительной связи  $R_z$ . Соответствующие расчетные схемы приведены на рис. 1.

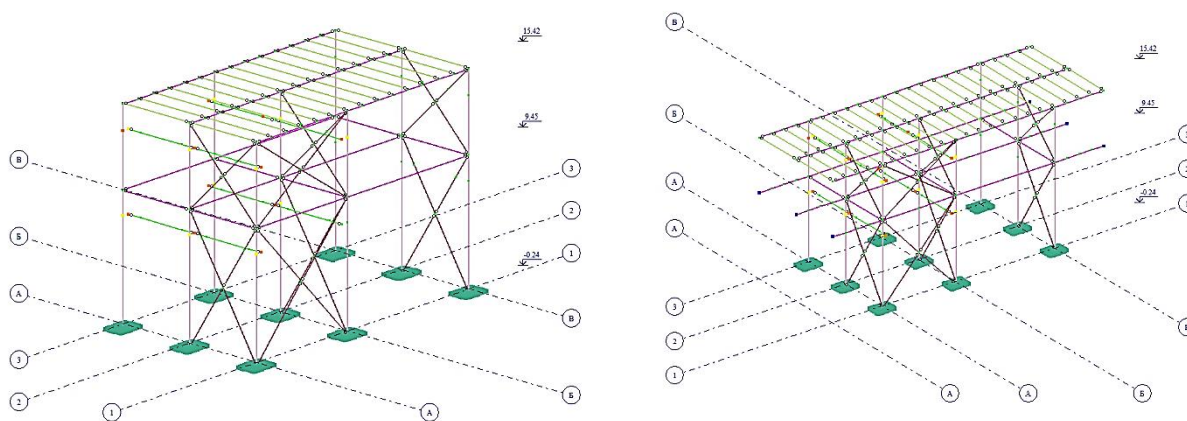


Рис. 1. Расчетные схемы двух вариантов

Выполнив несколько итераций, подбираем оптимальное значение длины консольного свеса, при котором происходит наибольшее уменьшение момента в центральном пролете. В результате было получено, что в первой расчетной схеме максимальный изгибающий момент составлял  $M_1 = 2,83$  т·м, а во второй –  $M_1 = 1,79$  т·м.

Уменьшение изгибающего момента составило  $\frac{2,83-1,79}{2,83} \cdot 100\% = 36,75\%$ .

На столько же процентов уменьшится и общая энергия деформации [5].

По полученным результатам можно сделать следующие *выводы*:

1. Подобрано оптимальное значение величины консольного свеса  $a$ .
2. Благодаря уменьшению изгибающего момента на 36,75% удастся увеличить полезную площадь строительного объекта (для одного этажа  $S_{нач} = 252$  м<sup>2</sup>,  $S_{кон} = 396$  м<sup>2</sup>), при незначительных экономических затратах.

Увеличение полезной площади составило  $\frac{396-252}{252} \cdot 100\% = 55,56\%$ .

Влияние учета усилий в центральных пролетах на стержневые конструкции требует дополнительных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лалин В. В., Савченко И.И. Оптимальное управление напряженным состоянием упругих систем с помощью крайних нагрузок // Строительная механика и расчет сооружений, Труды СПбГТУ, № 456, Изд. СПбГТУ, 1996, с. 44–52.
2. Пермяков В.А., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. – К.: ТОВ «Издательство «Сталь», 2008. – 538 с.

3. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций / – М.: Изд. АСВ, 2011, 184 с.
4. Лащенко М.Н. Регулирование напряжений в металлических конструкциях / – Л.; М.: Стройиздат. [Ленингр. отд-ние], 1966. – 191 с.
5. Лалин В.В., Мякшикова Е.А. Уравнения квадратичного приближения в нелинейной теории стержней // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы V Международной НПК: в 2 частях Комсомольск-на-Амуре. 2018. С. 155–161.
6. Lalin V., Savchenko A., Dyakov S., Lalina I. The Optimal Control of the Elastic Stress State Using Boundary Loads // Applied Mechanics and Materials (Volumes 725–726). 2015. P. 836–841. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.836.

УДК 69.04

Р.М. Шакирова, В.В. Лалин  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫМИ РЕШЕНИЯМИ ЧЕРЕЗ ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАВНОПРОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ ПЛИТ С КОНСОЛЯМИ

Вопрос оптимизации конструкций изучается с давних времен. Разработка универсального алгоритма оптимизации актуальна и в настоящее время. Одним из методов оптимизации служит регулирование напряженного состояния строительных конструкций. Применяя метод предварительного напряжения, можно добиться снижения возникающих деформаций, уменьшения массы конструкции, а, следовательно, и стоимости, а также увеличения жесткости и устойчивости конструкции.

При решении оптимизационных задач важную роль играет выбор функционала качества или, другими словами, целевой функции, которая оценивает отклонение решения задачи от некоторого заданного решения. Оптимальным будет решение, минимизирующее функционал качества. В нашем случае будем минимизировать величину усилий в центральном пролете.

Стандартным методом решения задач оптимизации является метод математического программирования. Но использование этих методов трудоемко. В настоящей работе в процессе оптимизации используется относительно простой метод вычисления, который более подробно изложен в [1]. В данном методе минимизируется целевая функция, являющаяся энергией деформации конструкции. Для более подробного изучения критериев оптимальности и методов регулирования напряжений можно обратиться к работе [2].

В настоящей работе *целью исследования* является обоснование критерия оптимального регулирования напряженно-деформируемого состояния (НДС) конструкций, проведение анализа и регулирования НДС конструкций на основе создания предварительного напряжений (краевые нагрузки) перекрытий.

*Предметом исследования* является напряженно-деформируемое состояние железобетонной плиты перекрытия.

*Метод исследования:* метод оптимального регулирования напряженно-деформированного состояния с помощью краевых нагрузок с использованием программного комплекса. В настоящей работе исследуются и сравниваются два варианта расчетной схемы (рис. 2) однопролетного здания с консолями и без консолей. В качестве несущих конструкций служат колонны 400×400 мм высотой 3 м, ж/б перекрытие 200 мм и балки 400×600 мм.

Перед выбором расчетной схемы был выполнен итерационный подбор величины консоли в зависимости от значений усилий в центре пролета плиты. Выполнив подбор оптимального значения консоли с учетом уменьшения момента в центре, получили значение 2 м. В обоих вариантах использовались следующие внешние нагрузки: постоянная нагрузка от собственного веса, нагрузка от покрытия, снеговая и полезная нагрузка.

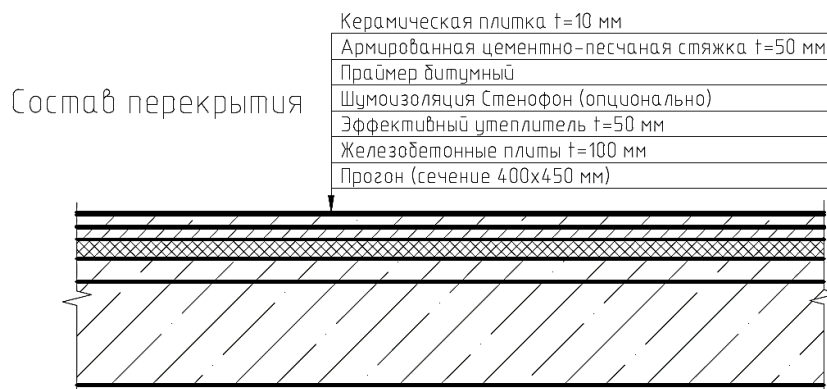


Рис. 1. Состав пола рассчитываемого перекрытия

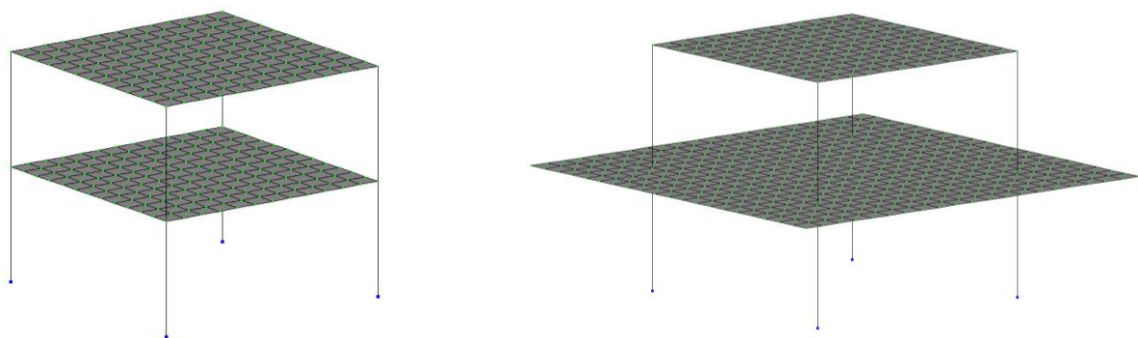


Рис. 2. Расчетные схемы двух вариантов

Задача оптимизации сводится к поиску такой дополнительной нагрузки, действующей на край консоли, которая будет разгружать пролет в центре. Для достижения поставленной цели используется метод, описанный в [3]. По направлению искомой нагрузки вводятся дополнительные связи, реакции которых и являются искомой величиной оптимальной нагрузки.

Расчеты проводились с использованием ПК ЛИРА САПР 2017 R3. Оптимальное значение нагрузки получено для консоли длиной 2 м. Если приложить данную нагрузку к краю конструкции, то она максимально разгружает центральный пролет, что означает наименее напряженно-деформируемое состояние плиты.

Данный метод справедлив для любых линейно-упругих моделей, в рамках которых могут описываться напряженные состояния конструкций: теория упругости, теория пластин и оболочек, теория стержней и др. [1].

*Вывод:* в результате получили уменьшение значения усилий (момента), а значит и энергии деформации [3]. Таким образом удастся увеличить полезную площадь строительной конструкции (за счет консольных свесов) при минимальных затратах.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лалин В.В. Савченко И.И. Оптимальное управление напряженным состоянием упругих систем с помощью краевых нагрузок // Строительная механика и расчет сооружений, Труды СПбГТУ, № 456, Изд. СПбГТУ, 1996, с. 44–52.
2. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. – М.: Изд. АСВ, 2011, 184 с.
3. Lalin V., Savchenko A., Dyakov S., Lalina I. The Optimal Control of the Elastic Stress State Using Boundary Loads // Applied Mechanics and Materials (Volumes 725-726). 2015.P. 836-841. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.836
4. Сеа Ж. Оптимизация: Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1973. – 244 с.
5. Шibaева В.Д. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных кессонных перекрытий / Молодой ученый. 2021. № 16 (358). С. 119–124



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
СТАЛИ PW 420 И ДРУГИХ МАРОК

Современное строительство развивается, создаются уникальные сооружения, а вместе с ними появляются и новые материалы [1, 2].

Так, например компания ООО «Северсталь», создала сталь под брендом Powerweld 420, которая позволяет снизить металлоемкость конструкций и оптимизировать их стоимость за счет высоких прочностных характеристик. Требуемая несущая способность достигается при меньшей толщине используемого металлопроката. Эта сталь может обеспечить до 15% экономии соответствующего раздела бюджета и обладает широким температурным диапазоном эксплуатации от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+300^{\circ}\text{C}$  [3, 4]. Но так как это новый продукт, то ее место среди существующих марок еще не определено.

*Цель работы* – оценка возможности использования стали Powerweld 420 для строительных конструкций.

Для того чтобы доказать, что сталь Powerweld 420 может использоваться в строительстве, нам надо найти близкий по свойствам металл в российском СП 16.13330.2017 СНиП П-23-81 и его аналог у зарубежных производителей. Для этого воспользуемся результатами испытаний стали Powerweld 420, предоставленными компанией ООО «Северсталь».

В таблицах 1 и 2, приведены физико-механические свойства марок металлов, которые близки по многим показателям [5].

Таблица 1 – Результаты испытаний стали Powerweld 420

№ Листа	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	Времен. сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Относит. удлинение, %	Относит. сужение оси z, направлении толщины факт (средн), %	Ударная вязкость КСЧ-40°С, поперек факт (средн), Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость КСЧ-40°С, поперек факт (средн), Дж/см <sup>2</sup>
9270127	480	580	25	75/73/74/74	335/375/393/368	264/211/241/239
9270129	475	580	25	72/75/73/73	410/391/141/314	236/254/229/240

Таблица 2 – Механические свойства листового и широкополосного универсального проката  
ГОСТ 27772-88

Наименование стали	Толщина полки, мм	Механические характеристики			Изгиб до параллельности сторон ( $a$ – толщина, $d$ – диаметр оправки)	КСЧ, Дж/см <sup>2</sup> (кгс·м/см <sup>2</sup> )			После механич. старения
		Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Времен. сопротивл., Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Отн. удлинен., %		при температуре, °С			
						20	40	70	
		не менее			не менее				
С390К	4–30	390(40)	540(55)	19	$d = 2a$	–	–	29(3)	–
С440	10–30	440(45)	590(60)	20	$d = 2a$	–	–	29(3)	–
	30–50	410(42)	570(58)	20	$d = 2a$	–	–	29(3)	–
С590	10–36	590(60)	685(70)	14	$d = 3a$	–	34 (3,5)	–	–

В таблице 1 приведены физико-механические свойства стали Powerweld 420, по результатам испытаний компании ООО «Северсталь». В таблице 2 приведены физико-механические свойства марок российской стали. Наиболее близкой по физико-механическим свойствам среди всех российских марок стали, является сталь под названием С440. В таблице 3 приведены физико-механические свойства ближайшего аналога стали С440.

Таблица 3 – Физико-механические свойства аналога стали С440

Наименование стали	Толщина полки, мм	Механические характеристики			КСУ, Дж/см <sup>2</sup> (кгс·м/см <sup>2</sup> )			
		Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Времен. сопротивл., Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Отн. удлинен., %	при температуре, °С			После механич. старения
					20	40	70	
		не менее			не менее			
55ЕЕ	> 16	460	540–720	17	63	–	–	–
	> 16 ≤ 40	440	540–720	17				
	> 40 ≤ 63	430	540–720	17				
	> 63 ≤ 80	410	540–720	17				
	> 80 ≤ 100	400	540–720	17				
	> 100 ≤ 150	380	530–710	17				
	> 150 ≤ 200	370	530–710	17				

Наиболее близким по физико-механическим свойствам среди всех европейских марок стали, является сталь под названием 55ЕЕ (S460NL) Европейские (EN 10025-3), 1.8903.

Если сравнить Powerweld 420 с приведенными в ГОСТ альтернативами, то во втором случае с увеличением толщины уменьшается предел текучести. У продукта «Северстали» независимо от толщины (от 8 до 50 мм) предел текучести остается неизменным – 420 МПа.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: для стали Powerweld 420 ближайшей маркой (классом по прочности) является С440 (Россия), 55ЕЕ (Европа).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Губарев С.А., Абакумов Р.Г. Аналитический обзор современных технологий строительства, строительных материалов, строительных конструкций, отвечающих современным требованиям инвесторов в строительстве. Изд-во: Инновационная наука, 2016 №11-1. С. 48–51.
2. Ведяков, И.И. Сталь для строительных металлических конструкций: настоящее и будущее / И. И. Ведяков, П.Д. Одесский // Вестник НИЦ Строительство. – 2012. – № 5. – С. 3–10.
3. Сталь Powerweld – свариваемая марка Северсталь: [сайт]. URL: <http://hss.severstal.com/brands/powerweld>.
4. Одесский, П.Д. Современные стали для строительных металлических конструкций и вопросы экономической эффективности / П.Д. Одесский // Сталь. – 2018. – № 12. – С. 56–60.
5. Глянцев Н.И., Стекольников Н.М., Котов В.В. Хромирование и физико-механические свойства металлов. Изд-во: Сорбиционные и хроматографические процессы. 2005. Т. 5. №6. С. 838–841

УДК 624.074.5

В.Д. Смирный  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СРАВНЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ СТАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ

Процесс строительства всегда был сопряжён с высокими расходами. В начале XXI века тенденция удорожания лишь усиливается из-за непрекращающегося повышения требований к зданиям и сооружениям. С одной стороны совершенствуется конечный продукт: улучшается доступность зданий, комфорт пребывания в них, технико-экономические показатели,

повышается пожарная безопасность, надёжность конструкций, с другой стороны неизменно возрастает стоимость проектов [1].

В данных условиях необходимо стремиться к максимальной оптимизации всех принимаемых проектных решений, повышая соотношение цены и качества. Один из возможных вариантов повышения качества делового объекта – конструирование светопрозрачного покрытия на стальном пространственном каркасе. Данное решение, во-первых, значительно повысит уровень инсоляции на верхних этажах здания, что благотворно скажется на самочувствии и продуктивности работников. Во-вторых, стальной пространственный каркас зачастую оказывается сравним, а порой и дешевле классического железобетонного покрытия [2], требующего опалубки, изготовления арматурных каркасов, а также требующего времени на затвердевание. Сборное стальное пространственное покрытие данными недостатками не обладает. В-третьих, пространственное стальное покрытие сводчатой формы будет являться отличительной чертой проектируемого здания, выделяя его на фоне конкурентов и привлекая потенциальных инвесторов [2, 3].

Подобные стальные покрытия впервые появились в конце XIX века [4], с тех пор изменился подход к расчёту конструкций в сторону машинных вычислений МКЭ [5]. Научный интерес представляет сравнение металлоёмкости конструкций, которое можно произвести при помощи современных программных комплексов.

*Цель работы* – определить оптимальную, то есть наименее металлоёмкую пространственную несущую систему.

Для достижения поставленной цели требуется выполнить следующие задачи: создать расчётные модели двух типов покрытия, произвести сбор нагрузок согласно СП 20.13330.2016, провести расчёт в программном комплексе SCAD++, выполнить подбор сечений элементов расчётной модели.

Были определены концепции покрытия, образованные стальными арками, являющимися рациональными элементами [6, 7], на основании которых созданы расчётные модели, представленные на рисунках 1, а и 1, б, первая в дальнейшем называется «цилиндрическое», вторая «шатровое». Габариты покрытий одинаковы и составляют 30,8 м в длину, 25,2 м в ширину, 8 м в высоту. Проектируемая конструкция рассчитана для климатических условий Санкт-Петербурга на основании действующих нормативных документов.

Оба покрытия сформированы пересечением сетки диагоналей и поверхности, образованной между основными дугами (выделены на рис. 1 жирными линиями), в программном комплексе AutoCAD. Сетка диагоналей одинакова в плане для обоих покрытий, шаг между соседними линиями в направлении  $x$  равен 2,2 м, в направлении  $y$  1,8 м. Поверхность покрытий в свою очередь образованы путём соединения по прямой точек соседних главных дуг, имеющих одну высотную отметку.

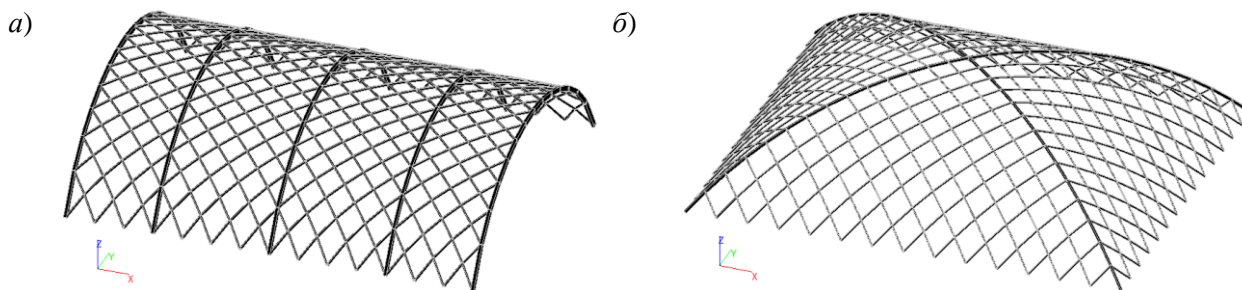


Рис. 2. Расчётные модели покрытия: а – цилиндрическое; б – шатровое

К узлам полученных моделей прикладываются нагрузки от ветра, снега и веса стеклопакетов. Также к модели прикладывается собственный вес металлических конструкций, автоматически вычисляемый программой на основании назначенных сечений элементов.

Нижние узлы обоих покрытий закрепляются от перемещений в любом направлении, сохраняется возможность поворота. Стержни несущей сетки жёстко соединяются друг с другом и шарнирно соединяются с основными несущими дугами.

Согласно СП 20.13330.2016 назначаются комбинации загружений и расчётные сочетания усилий, на основании которых будет производиться расчёт по I и II группам предельных состояний и подбор сечений элементов.

После проведения линейного расчёта МКЭ и получения усилий в элементах назначаются группы конструктивных элементов. В конструкции применяется сталь марки С355 с расчётным сопротивлением  $R_y = 340 \text{ Н/мм}^2$ , расчётная длина элементов равна стороне соответствующей ячейки сетки, коэффициент условий работы стали принимается равным 1, коэффициент надёжности по ответственности – 1,1.

Согласно расчёту, проведённому программой на основании актуальных нормативных документов и заданных исходных данных, назначаются поперечные сечения элементов. Сечения назначаются из сортамента по ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». В Таблице 1 приведены названия конструктивных элементов, их суммарная длина, подобранные сечения в формате высота x ширина x толщина стенки, требуемая масса металла для цилиндрического покрытия, в таблице 2 всё то же самое, но для шатрового покрытия.

Таблица 1 –Metalлоёмкость цилиндрического покрытия

Название конструктивного элемента	Суммарная длина, м	Размеры подобранного сечения, мм	Масса металла, т
Крайние несущие дуги	62,93	380×220×10	5,56
Промежуточные дуги	94,39	380×220×6	5,16
Основная несущая сетка	1241,17	160×100×4	19,24
		Всего:	29,96

Таблица 2 –Metalлоёмкость шатрового покрытия

Название конструктивного элемента	Суммарная длина, м	Размеры подобранного сечения, мм	Масса металла, т
Несущие дуги	87,90	200×120×5	2,10
Несущая сетка	1205,95	120×60×4	12,64
		Всего:	14,74

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие *выводы*:

1. Получены поперечные сечения элементов и сосчитана металлоёмкость двух типов покрытий при помощи программного комплекса SCAD++. Расчёт произведён методом конечных элементов, подбор выполнен на основании актуальных нормативных документах. Для заданных исходных данных значения металлоёмкости составили 29,96 т для цилиндрического покрытия, 14,74 т для шатрового.
2. Выявлено, что при равных габаритах покрытия, климатических условиях и методах расчёта количество металла, требуемого для цилиндрического покрытия в два раза превосходит таковое для шатрового.
3. Предложено усилить цилиндрическое покрытие с торцов, путём добавления новых связей. Повышенное потребление металла вызвано тем фактом, что шатровое покрытие закреплено по периметру и равномернее передаёт нагрузки на основание, в то время как цилиндрическое закреплено только с двух сторон.
4. Предложено применить дополнительную поддержку цилиндрическому в продольном направлении для разгрузки оснований перегруженных несущих дуг по торцам покрытия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Выонг Тхи Тхуи Зыонг, Ушакова Н.В. Удорожание стоимости инвестиционно-строительных проектов в России // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2016. № 3-1.
2. Душкевич К.Н. Металлические конструкции В.Г. Шухова как потенциал формообразования современной архитектуры // АМТ. 2016. №2 (35).
3. Душкевич К.Н. Роль большепролетных оболочек в формообразовании общественных зданий // АМТ. 2017. №4 (41).
4. Шухов В.Г. Стропила. Изыскание рациональных типов прямолинейных стропильных ферм и теория арочных ферм. М.: Русское тов-во печатного и издательского дела, 1897. 120 с.
5. Сиянов А.И. Исследование цилиндрической сетчатой оболочки с повышенной жесткостью опорных ребер // ИВД. 2019. №9 (60).
6. Rybakov V., Jos V., Kudryavtsev K., Raimova I, Modal analysis of frameless arches made of thin-walled steel profiles. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2020. 2020. С. 012197
7. Турчаненко, А.К. Рациональное очертание стальной тонкостенной арки с симметричным сечением: магистерская диссертация. СПбПУ, ИСИ, Кафедра СУЗиС. – СПб., 2015.

УДК 692.44

А.Ф. Мулюкова, Ф.С. Школяр  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО КУПОЛА

Возведение современных объектов со сложными формами купольных решений обусловлено как привлекательностью дизайна таких объектов, так и лучшим восприятием внешних нагрузок, технологичностью возведения, надежностью и энергоэффективностью, относительно объектов с другими конструкциями кровли [1].

Современные возможности возведения элементов купола в виде пространственной решетки из стержней и их соединений сокращают сроки возведения и ремонта кровли, снижая риск ее обрушения, в отличие от монолитных решений [2], что обуславливает актуальность проектирования объектов с купольными покрытиями и оптимизации выбора их конструкций.

Обзор литературы позволил выявить критерии оптимизации конструкций большепролетных куполов, такие как форма, конструкция каркаса, стержней и соединений, материал, технология возведения и т.д. [3]. Отмечено, что для большепролетных сооружений целесообразно использование ребристых куполов, рамно-каркасного типа, обеспечивающих создание жесткой формы за счет ребристости и устойчивой формы к напряжениям сжатия и растяжения за счет использования решетчатых рам [4]. Большепролетные купола предпочтительно исполнять из стали за счет ее высокого сопротивления теплопередаче и устойчивости к высоким нагрузкам [5]. Дополнительные связи в куполах, образованных ребрами и промежуточными кольцами-прогонами, повышают устойчивость конструкции. Так, за счет связей крестового вида в каркасах повышается пространственная жесткость и стойкость к деформациям на изгиб и кручение [6]. Напряженное состояние в зависимости от вариантов расположения дополнительных связей оценивается с использованием программных комплексов на основе компьютерной модели купола [7]. Однако для каждого проектного решения моделирование, расчеты и оптимизация выполняются индивидуально.

*Цель исследования* – выбор оптимального проектного решения стального ребристого купола большепролетного здания при различном расположении дополнительных связей. Достижение цели осуществлялось путем решения задач: построения модели объекта и купола в программном комплексе, расчета и сравнения вариантов конструкций. Объект исследования

– металлические купольные конструкции. Предмет исследования – показатели напряженно-деформированного состояния и затраты по вариантам купольных покрытий.

*Результаты.* Проект представляет собой многофункциональное общественное здание размерами в плане 70,8×125,2 м, расположенное на намывных территориях Васильевского острова. Основным элементом является большепролетный двугорбый волнисто-ребристый купол, перекрывающий всё здание и обеспечивающий гармоничную интеграцию объекта в окружающую застройку морской тематики. Жесткость купола объекта обеспечивается тремя железобетонными кольцами.

Форма конструкции объекта и конструкция каркаса купола получена в результате моделирования в программе Revit 2020 (рис. 1). Конструкция ребер купола состоит из плоских ферм треугольного решетчатого строения со стойками и подвесами. Угол раскосов к поясам ферм составляет  $45^{\circ}$ , что является рациональным решением для обеспечения надежности конструкции. Связи, уменьшающие расчетную длину между точками раскрепления поясов, с одной стороны, повышают надежность проектного решения, с другой, обуславливают изменение затрат материалов конструкции.

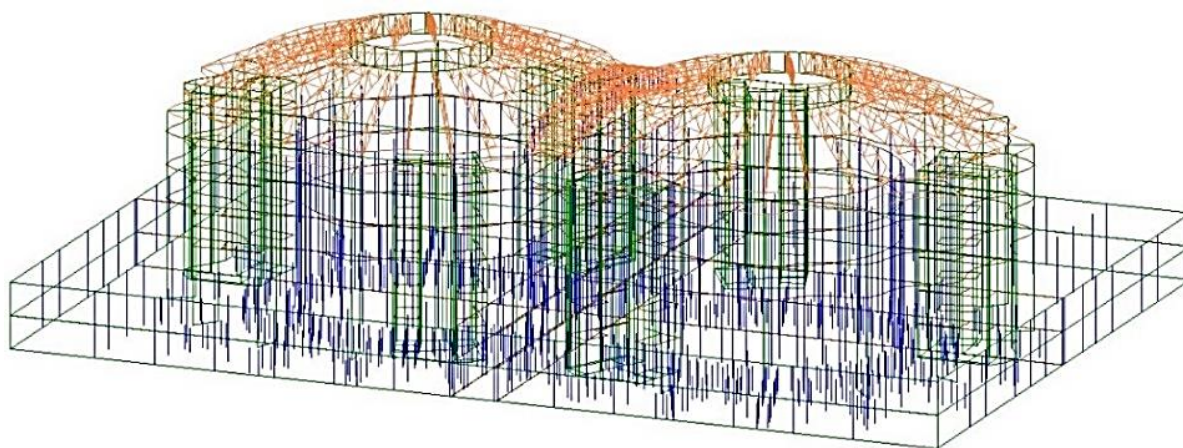


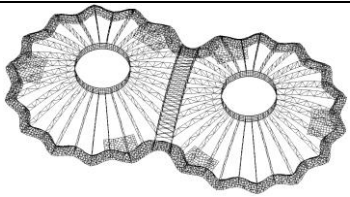
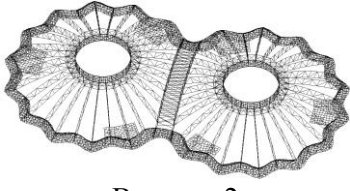
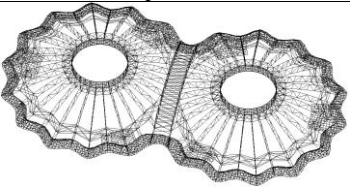
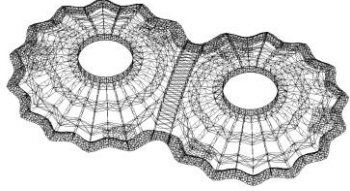
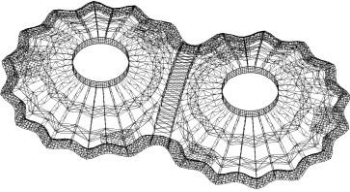
Рис. 1. Аналитическая модель объекта

Расчеты произведены в программном комплексе SCAD 21.1.9.5, опирающемся на нормативное обеспечение расчетов конструкции на устойчивость с учетом воздействующих на нее внешних факторов. Достоинством использования данного расчетного комплекса является возможность его интеграции и обмена данными с программой моделирования Revit 2020. Результаты расчетов для пяти вариантов проектных решений, представлены в таблице 1.

В таблице 1 представлены следующие проектные решения конструкции большепролетного купола: вариант 1, с отсутствием прогонов между фермами и варианты 2-5 с различным расположением дополнительных связей: вариант 2 – с внутренним кольцом; вариант 3 – с внутренним и внешним; вариант 4 – с тремя кольцами; вариант 5 – со средним и внешним кольцом.

Все варианты конструкции удовлетворяют требованиям прочности, однако только решения 4 и 5 являются устойчивыми. Для остальных конструкций, ввиду больших расстояний между точками раскрепления из плоскости ферм, невозможно подобрать сечения, при которых обеспечивается необходимая устойчивость.

Таблица 1 – Результаты расчетов по оптимизации проекта большепролетного купола

Варианты конструкции	Перемещения, мм	Макс. прочность	Макс. расстояние между точками раскрепления из плоскости, м	Расчет на устойчивость из плоскости	Суммарная масса стержневых элементов, т
 Вариант 1	221,03	0,873	24,5	46,814	191
 Вариант 2	174,9	0,862	21	35,724	283,2
 Вариант 3	159,583	0,902	15	19,069	370,2
 Вариант 4	159,6	0,914	6	0,914	510,5
 Вариант 5	159,588	0,929	9,5	0,929	540,8

По результатам исследования можно сделать следующие *выводы*:

1. Вариант 1 конструкции не удовлетворяет требованиям по перемещению: для конструкции с полётом 60 м максимальные перемещения должны быть меньше 200 мм. Кроме того, эта конструкция имеет слишком большой показатель устойчивости из плоскости, что не позволяет подобрать рациональные сечения.

2. Варианты 2 и 3 имеют по сравнению с вариантом 1 меньшие перемещения на 20,87% и 27,8% соответственно и меньшее отношение продольной силы к поперечному сечению и расчетному сопротивлению растяжению на 23,69% и 59,27% соответственно. Однако не удовлетворяют требованиям расчета на устойчивость из плоскости, им невозможно подобрать сечения из-за большой расчетной длины.

3. Варианты 4 и 5 имеют практически одинаковые перемещения, при этом значения показателей максимальной прочности и максимальному отношению продольной силы к поперечному сечению и расчетному сопротивлению растяжению у варианта 4 ниже на 1,6%,

максимальное расстояние между точками раскрепления из плоскости меньше на 34,84%, а суммарная масса стержневых элементов меньше на 5,6%, что делает вариант 4 более предпочтительным.

Таким образом, по выбранным для оценки показателям конструкция 4 является более предпочтительной. Результаты моделирования и оптимизации служат основой для дальнейшего технико-экономического обоснования и выбора оптимального решения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Попова Е.И., Башенко Н.Н., Сорвачев А.И., Чуприна О.Д. Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций // Вестник Сибирского государственного политехнического университета. – 2017. – № 2 (20). – С. 30–34.
2. Животов Д.А., Латута В.В. Изучение опыта возведения геодезических куполов // Технологии и организация строительства : материалы I Всеросс. межвуз. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2020. – С. 157–160.
3. Мулюкова А.Ф., Стрелец К.И., Корнеева Е.А. Классификация и критерии оптимизации конструктивных решений светопрозрачной купольной кровли // Неделя науки ИСИ. Материалы всеросс. конф. в 3-х частях. Санкт-Петербург, 2021. – С. 166–169.
4. Цвингман Г.А. Основные типы куполов, их конструкция и архитектура // Проблемы архитектуры: Сборник материалов: том I, книга 2 / под ред. А.Я. Александрова. Москва: Издательство Всесоюзной Академии архитектуры, 1936. – С. 385–455
5. Жданова А.С. Мажирин А.Д. Технология возведения купольных зданий // Advanced science: сб. статей X Межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2019. – С. 249–251.
6. Таратута В.Д., Бегельдиев А.М. Большепролетные конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. Краснодар, 2017. – 187 с.
7. Лебедь Е.В. Особенности работы каркасов большепролетных металлических куполов в процессе их возведения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2018. – Т. 14. – № 6. – С. 481–494.

УДК 69.07

Д.Д. Кулигин, Ф.С. Школяр  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПЕРИОДОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ БЕЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*Актуальность.* При проектировании зданий и сооружений одними из наиболее важных критериев являются надежность и стоимость проекта. Поэтому при расчетах необходимо соблюдать баланс между этими параметрами. Ключевой составляющей расчетов является сбор нагрузок, от которого зависит, какие расчетные нагрузки будут прикладываться к элементам сооружения и, соответственно, приниматься сечения строительных конструкций, удовлетворяющие критериям надежности и материалоемкости. Однако, предсказать точные значения нагрузок не так просто, поскольку их большинство носит стохастический характер. Наиболее ярким примером является ветровая нагрузка, так как ветер часто меняет свое направление и величину скорости. Для оценки ветровых воздействий существует параметр нормативного ветрового давления, которое определяется по таблице из СП «Нагрузки и воздействия», исходя из ветрового района. Нормативное ветровое давление обеспечено скоростью ветра, замеряемой на высоте 10 м с 10-минутным интервалом осреднения и периодом повторяемости 50 лет. Такой подход, несмотря на свою универсальность, закладывает слишком большой запас надежности для зданий с целевым периодом эксплуатации меньше 50 лет. Поэтому для зданий с небольшим необходимым сроком службы,



например для зданий сельского хозяйства, временных производственных сооружений, складов и др., имеет смысл приводить нормативное ветровое давление к меньшим периодам повторяемости, равным их срокам эксплуатации, что может существенно снизить материалоемкость конструкции таких зданий без понижения их надежности [1]. Если же необходимо заложить больший запас надежности, то возможен переход к периодам повторяемости, превышающим 50 лет.

*Методы исследования.* Для уточнения значений вероятностных параметров каких-либо величин необходимо действовать по алгоритму, согласно которому надо в первую очередь определить к какой функции вероятностного распределения относится исследуемая величина [2]. Нормативное ветровое давление напрямую связано со скоростью ветра, которую согласно многочисленным исследованиям можно охарактеризовать распределением Гумбеля [3]. После этого на основании имеющихся в нормативных документах данных предлагается найти недостающие статистические характеристики, решив систему линейных уравнений, образованных из распределения Гумбеля для различных периодов повторяемости. Далее необходимо подставить найденные статистические характеристики в исходные уравнения и найти скорость ветра для необходимого периода повторяемости и затем ветровое давление.

*Цели и задачи.* Целью работы является определение нормативного значения ветрового давления для отличного от 50 лет периода повторяемости без использования дополнительных статистических данных. Для этого предлагается проанализировать формулы в старых и новых нормативных документах, используя функции вероятностного распределения случайных величин, найти недостающие статистические данные и, для примера, определить нормативное ветровое давление для меньшего периода повторяемости. Также по итогу, задачей является сравнить получившиеся значение с зарубежными нормативными документами, в которых используются подобные методы.

Ветровое давление на высоте  $z$  пропорционально половине квадрата скорости ветра и плотности воздуха согласно JCSS («Joint Committee on Structural Safety») [4]:

$$w(z) = \frac{1}{2} \rho v(z)^2, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность стандартного воздуха, равная  $1,25 \text{ кг/м}^3$ ;  $v(z)$  – скорость ветра на высоте  $z$ , м/с.

В вышедшем из использования СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» было принято связывать скорость ветра и нормативное ветровое давление выражением:

$$w = 0,61 v_5^2, \quad (2)$$

где  $v_5$  – скорость ветра на высоте 10 м, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и превышаемой в среднем раз в 5 лет, м/с; 0,63 – коэффициент, приблизительно равный плотности воздуха.

В новейших нормативных документах (СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия») это выражение было пересмотрено и перешло к иному виду:

$$w = 0,43 v_{50}^2. \quad (3)$$

В этом выражении  $v_{50}$  уже является аналогичной скорости ветра  $v_5$  из (2), но уже для периода повторяемости 50 лет. Несложно провести вычисления и сделать вывод, что коэффициенты 0,61 и 0,43, стоящие перед скоростями ветра, связаны между собой коэффициентом надежности по нагрузке, принятым для ветрового воздействия:

$$\frac{0,61}{0,43} = 1,42 \approx \gamma_f = 1,4. \quad (4)$$

Из этого можно сделать вывод, что скорости ветра  $v_5$  и  $v_{50}$  можно соотнести с двумя группами предельных состояний. Непревышение скоростями ветра более одного раза за промежуток времени равным 5 годам относится ко второй группе предельных состояний. Промежуток времени в 50 лет соответствует первой группе предельных состояний. Формулы

(2) и (3) по своей сущности являются связанными, поэтому их можно вместе использовать для дальнейших расчетов.

Для оценки стохастической составляющей ветровой нагрузки имеет смысл использовать распределение Гумбеля в качестве функции вероятностного распределения скорости ветра:

$$F(v) = \ln\{-\ln[-a(v-u)]\}, \quad (5)$$

где  $u = \mu - \frac{0,577}{a}$ ;  $a = \frac{\pi}{\sigma \cdot \sqrt{6}}$ ;  $\mu$  – математическое ожидание годовых максимумов;  $\sigma$  – стандартное отклонение переменной.

В случае, когда по каким-то причинам отсутствует достаточное количество статистической информации для определения всех необходимых переменных, их можно выразить из уравнений (2) и (3)

Так, например, мы знаем, что нормативное ветровое давление для второго ветрового района (Санкт-Петербург) равно 300 Па. Из этого значения можно выразить  $v_5$  и  $v_{50}$ :

$$v_5 = \sqrt{\frac{w}{0,61}} = \sqrt{\frac{300}{0,61}} = 22,18 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (6)$$

$$v_{50} = \sqrt{\frac{w}{0,43}} = \sqrt{\frac{300}{0,43}} = 26,41 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (7)$$

Неизвестные статистические величины можно найти из системы уравнений, образованных из формулы [5]:

$$-\left[\frac{1,282 \cdot (v - \mu)}{\sigma(v)} + 0,577\right] = \ln\left[-\ln\left(\frac{T}{T+1}\right)\right], \quad (8)$$

где  $T$  – рассматриваемый период времени, лет. Таким образом:

$$\begin{cases} -\left[\frac{1,282(22,18 - \mu)}{\sigma(v)} + 0,577\right] = \ln\left[-\ln\left(\frac{5}{5+1}\right)\right]; \\ -\left[\frac{1,282(26,41 - \mu)}{\sigma(v)} + 0,577\right] = \ln\left[-\ln\left(\frac{50}{50+1}\right)\right]. \end{cases} \quad (9)$$

Решив систему уравнений, получаем:

$$\sigma = 2,443 \text{ м/с}, \quad \mu = 20,037 \text{ м/с}. \quad (10)$$

Получившиеся статистические величины теперь можно использовать для нахождения скорости ветра для других периодов повторяемости, выразив скорость из (8). Для примера найдем скорость ветра для периода повторяемости 20 лет:

$$v = \frac{-\ln\left[-\ln\left(\frac{T}{T+1}\right)\right]\sigma(v) + 1,282\mu - 0,577\sigma(v)}{1,282} = 24,69 \text{ м/с}. \quad (11)$$

Найдем нормативное значение ветрового давления по формуле (3):

$$w = 0,43 \cdot 24,69^2 = 262 \text{ Па}. \quad (12)$$

Вычисленное значение нормативного ветрового давления для периода повторяемости 20 лет на 13% меньше, чем значение, указанное для расчетов по СП «Нагрузки и воздействия».

В украинском ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» для снижения значения ветрового давления используются коэффициенты надежности по нагрузке. В качестве стандартного расчетного случая принимается период повторяемости 50 лет, поэтому для него назначается коэффициент надежности, равный 1. Для периода повторяемости в 20 лет коэффициент надежности равен 0,82. Это на 18% снижает значение ветрового давления относительно стандартного периода повторяемости 50 лет. Поэтому, можно считать, что представленный подход по снижению ветрового соответствует критериям надежности и обеспечивает необходим запас, даже если сравнивать с украинскими нормами.

Таким образом, на основании данных в нормативных документах и без использования дополнительных статистических данных возможно определять вероятностные параметры распределения случайных величин и, используя их, находить ветровое давление для необходимого периода повторяемости, равного сроку службы здания. Пример перехода от 50 к 20 годам, возможный для использования, например, для складов, небольших производственных цехов, демонстрирует, что такой подход снижает значение ветрового давления на 13%. При меньшем необходимом сроке службы здания данное значение можно снижать еще сильнее, что может значительно понизить материалоемкость конструкций. Если сравнивать с украинскими нормами, то при расчетах по ним удастся снизить ветровое давление еще на 5%, относительно российских норм. Такой запас может свидетельствовать о безопасности использования метода и соответствии его критериям надежности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Буланчик, Д.Ю. Лалин В.В. Назначение нагрузок с учетом срока службы строительного объекта как фактор снижения материалоемкости несущих конструкций. Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021. С. 431–433.
2. Хайруллин И. Ф. Определение снеговой и ветровой нагрузок с учётом времени эксплуатации мобильного сооружения. Инженерные кадры-будущее инновационной экономики России. 2018. № 5. С. 123–127.
3. Santos T.D., Siqueira G.H., Vieira Junior L.C.M. A stochastic approach for the wind load effect on steel structures. Revista Escola de Minas. 2016. Т. 69. С. 137–145.
4. Vrouwenvelder T. Devoted to the work of the Joint Committee on Structural Safety. The JCSS probabilistic model code. Structural Safety 1997; 19 (3): 245–251. DOI:10.1016/S0167-4730(97)0008-8.
5. Poshivach G.V. Вероятностный коэффициент надежности по предельному расчетному значению ветровой нагрузки с периодом повторяемости свыше 500 лет. Construction, materials science, mechanical engineering. 2009. №. 50. С. 411–415.

УДК 69.04

В.А. Дагаев, Ф.С. Школяр  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПОСТРОЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СХЕМЫ ВАНТОВОГО ПОКРЫТИЯ ДВОЙКОЙ КРИВИЗНЫ С ПОМОЩЬЮ GRASSHOPPER

Висячие конструктивные системы позволяют перекрывать практически любые пролеты со значительной экономией материалов и трудозатрат на возведение. Однако, главной сложностью проектирования таких систем является моделирование сложной геометрии несущих конструкций и их высокая деформативность [1]. Анализ НДС гибкой нити рассмотрены во многих работах – чаще всего, методики расчета сводятся к плоской задаче с наиболее невыгодной постановкой [2]. Но нельзя не учитывать пространственную работу, например, гибких нитей, объединенных в ортогональную вантовую сеть. На геометрию висячего покрытия влияет множество параметров, влияние которых, при проектировании, нельзя учесть стандартными инструментами моделирования.

*Целью работы* является написание кода в редакторе визуального программирования Grasshopper для преобразования геометрии покрытия отрицательной гауссовой кривизны из Rhino7 в конечно-элементную схему для ПК «Лири Софт» и оценить НДС вантовой сети.

Объектом исследования является многопролетное здание велодрома с покрытием отрицательной гауссовой кривизны. Рассмотрим опорный контур, круглый в плане. Координата  $Z$  точек опорного контура определяется зависимостью:

$$z(x) = 0,5 - 0,5 \sin\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + 4x\pi\right). \quad (1)$$

Полученная кривая очерчивает границу покрытия. Через каждую пару симметрично-расположенных точек можно провести плоскости, ортогональные к плоскости XY. Линии, полученные при пересечении криволинейной patch-поверхности плоскостями: XZ – кривые стабилизирующих вант, YZ – кривые несущих вант.

По геометрии Rhino7 строится модель в Autodesk Revit. Преимуществом использования плагина «Rhino.Inside.Revit» для Grasshopper является передача данных из Grasshopper в Revit через «API». Опорный контур, колонны, плита перекрытия и стены – показаны условно (рис. 1). Аналитическая модель из Autodesk Revit экспортируется в формат «fer» для расчета.

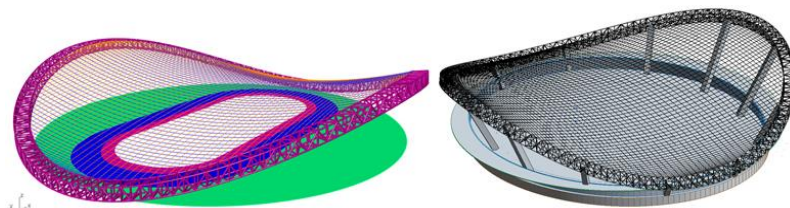


Рис. 1. Результат параметрического моделирования в связке Grasshopper – плагин «Rhino.Inside.Revit» – Autodesk Revit

В ПК «Ли́ра Софт» для расчета гибких нитей используется специальный конечный элемент «Геометрически нелинейный КЭ №304 – нить». Авторы [3] описывают несколько способов моделирования пересечения вант в конечно-элементной модели. Однако практические исследования показали только два работоспособных способа:

1. Пересечение нитей несущей и стабилизирующей вант в одном узле;
2. Узлы несущей и стабилизирующей вант не пересекаются. Между узлами в местах пересечения – объединение перемещений по направлению X, Y, Z.

Рассмотрим оба способа моделирования без предварительного натяжения. Предварительные сечения: 64-ЛК-РО-1770-ГОСТ 7669-80 – для несущих вант и 42-ЛК-РО-1770-ГОСТ 7669-80 – для стабилизирующих вант.

Результаты нагружения расчетной схемы, построенные 1-м и 2-м способами (слева-направо), равномерно-распределенной нагрузкой от собственного веса представлены ниже (рис. 2). Опорные узлы жестко закреплены.

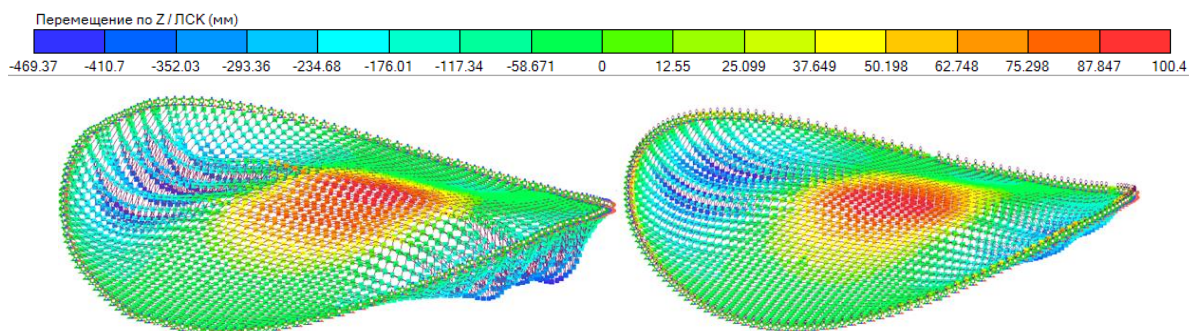


Рис. 2. Схемы деформации вантовой сети на примере мозаики перемещений по оси Z

Максимальный прогиб вантовой сети располагается в крайних третях несущих вант. Вызывает сомнение картина деформация вант в середине пролета по направлению положительного направления оси Z. Согласно теории расчета гибких нитей [4], приращение

координаты  $Z$  точки нити зависит от параметра распора и изгибаемого момента в поперечном сечении эквивалентной балки:

$$y_c = \frac{M_{сб}}{H}, \quad (2)$$

где  $y_c$  – вертикальная координата точки;  $M_{сб}$  – изгибающий момент в точке в эквивалентной балке (балочный момент); распор  $H$  – величина постоянная для всей нити, следовательно, наибольшее приращение координаты получит точка с наибольшим изгибающим моментом – в середине пролета, что не соответствует картине деформаций, полученных в ПК «Лира Софт» (рис. 2).

Рассмотрим задачу расчета нити вантовой сети, с наибольшим пролетом в плоской постановке. Ширина грузовой площади – 2,34 м. Стрела провиса – 10,5 м. Длина пролета – 130 м (рис. 3).

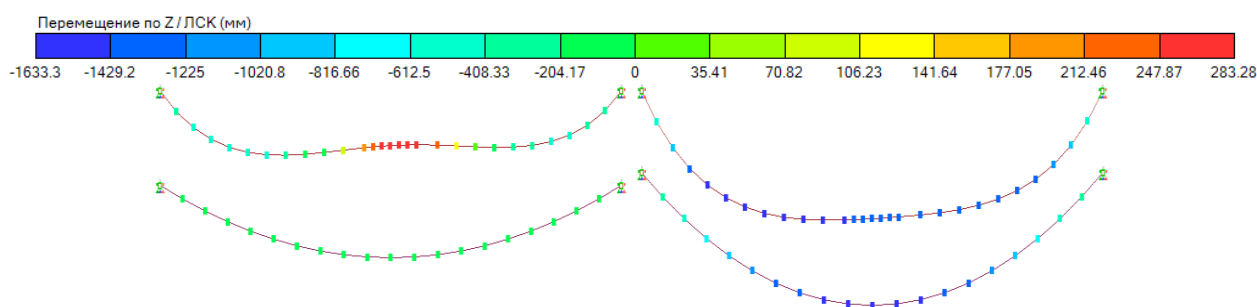


Рис. 3. Прогибы нитей под нагрузкой от постоянной и полной нагрузок

Примем следующие нагрузки: постоянные – нагрузка собственного веса несущих и стабилизирующих вант, а также нагрузка от веса теплоизоляционных панелей конструкции покрытия – 0,096 (т/м.п); временные нагрузки – снеговая и эксплуатационная нагрузка 0,73 т/м.

Решение задачи представлено на (рис. 3) в виде двух кривых. Верхняя кривая получена экспортом из Autodesk Revit, нижняя – построена инструментом «Цепная линия» в ПК «Лира Софт». Величина распора с учетом упругих деформаций в случае, когда упругая пологая нить нагружена вертикальной нагрузкой и ее опоры располагаются на одном уровне, определяется кубическим уравнением [5]:

$$H^3 + \frac{8\omega}{3n^2m^3} H^2 = \frac{D\omega}{2lm^3}, \quad (3)$$

где  $\omega = EA$  – жесткость поперечного сечения;  $l$  – величина пролета;  $D$  – характеристика нагрузки, определяемая интегрированием. Для равномерно-распределённой нагрузки по длине нити:

$$D = \int_0^1 M p dx = \int_0^1 Q dx = \frac{p^2 l^2}{12}. \quad (4)$$

Усилие в нити определяется с учетом распора  $H$ :

$$N = \sqrt{H^2 Q^2}. \quad (5)$$

Величины  $n = lf$  и  $m = sl$  вычисляются без упругих деформаций, т.е. в исходном состоянии. Результаты расчета сведем в таблицу.

Таблица 1 – Сравнение результатов плоской задачи пологой нити

	Ручной расчет		ПК «Лира Софт»	
	Постоянная нагрузка	Полная нагрузка	Постоянная нагрузка	Полная нагрузка
Максимальный прогиб, м	0,15	1,478	0,15	1,48
Максимальное усилие в нити, тс	13,74	149,58	14,37	149,28

По итогу работы был разработан код в Grasshopper для построения покрытия отрицательной гауссовой кривизны. Связка с плагином Rhino.Inside.Revit позволила выполнить импорт сложной геометрии в Autodesk Revit и на основании этого получить расчетную конечно-элементную модель. Процесс импорта в ПК «Лира Софт» показал, что координаты узлов имеют незначительные искажения, которые приводят к некорректной работе самой расчетной модели и ошибкам в ее расчете. Данная проблема была решена путем построения расчетной схемы гибких нитей на основе данных из Grasshopper с применением инструмента «цепная линия» в ПК «Лира Софт».

Результаты, полученные численным расчетом и расчетом, произведенным согласно теории пологих гибких нитей, дают небольшое расхождение усилий в нити, обоснованное влиянием геометрической нелинейности. Деформации, полученные ручным расчетом, совпадают при постоянной нагрузке, однако при полной – различаются на 0,14%. Достаточно хорошая сходимость полученных результатов говорит о корректности работы конечно-элементной модели и позволяет использовать ее для анализа НДС и несущей способности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ведеников Г.С. Металлические конструкции//7-е издание, М.: Стройиздат, 1998. – С. 758
2. Кужахметова Э.Р. Расчет вант с учетом геометрической и физической нелинейности// Научный журнал «Известия КГТУ» №55, 2019. – С. 252–266
3. Гераймович Ю.Д., Евзеров И.Д., Киричок В.В. и др. Руководство пользователя Лира 10.12// 2021 – С. 859
4. Беленя, Е.И. Металлические конструкции // Спецкурс. М: Стройиздат, 1991. 687 с.
5. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический//М.: Госиздат, 1960. – С. 1043

УДК 69.04

О.В. Шевчук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЧЕТА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ, КОНСТРУКТИВНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОЙ РАМЫ

*Актуальность.* Как правило, при расчете зданий и сооружений используются допущения линейной строительной механики, применяются расчетные модели уже готовой конструкции, основные параметры которой принимаются постоянными. Однако реальный процесс строительства является многоэтапным, в ходе которого происходит изменение расчетной схемы сооружения, путем монтажа/демонтажа дополнительных элементов, изменения жесткостных и геометрических характеристик материала во времени и пр. Учет данных факторов может иметь существенное влияние на напряженно-деформированное состояние системы [1]. В своих работах такие исследователи, как Кабанцев О.В., Перельмутер А.В., Карлин А.В., Порываев И.А., Завьялова О.Б. и многие другие, подробно изучали воздействие отдельных факторов на НДС сооружения в процессе возведения [1–6, 9], однако до конца не изучено влияние учета совокупности данных факторов на состояние системы.

*Методы исследования.* В ходе работы был произведен расчет плоской рамы в ПК «ЛИРА-САПР» в одностадийном режиме и с использованием модуля «Монтаж», который позволяет учесть генетическую и конструктивную нелинейности, а также рассмотрен закон нелинейного деформирования для учета физической нелинейности. Был произведен сравнительный анализ полученных перемещений.

*Цель работы* – анализ распределения усилий и деформаций при расчете плоской рамы при учете генетической, конструктивной и физической нелинейностей.

Для расчета была создана модель плоской рамы, которая представлена на рис. 1. Материал стоек и ригелей рамы – бетон В25. На конструкцию действует нагрузка от собственного веса элементов и эксплуатационная нагрузка.

Далее был произведен расчет в четырех режимах.

1. Одностадийный режим. При одностадийном режиме жесткости задаются постоянными, нагрузка прикладывается на готовую схему, расчет производится в один этап.
2. Многостадийный режим, позволяющий учесть генетическую нелинейность. Генетическая нелинейность – это нелинейность, обусловленная историей создания системы, учитывающая накопленные напряжения и деформации в процессе возведения сооружения. Используется расчетный модуль «Монтаж». В ходе расчета создается четыре монтажных стадии, первые три соответствуют возведению каждого последующего этажа, действует нагрузка от собственного веса смонтированных конструкций, а на четвертой стадии прикладывается эксплуатационная нагрузка (рис. 2) [7].

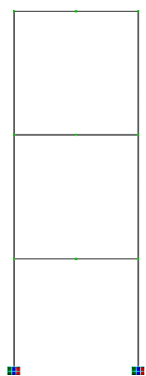


Рис. 1. Расчетная схема плоской рамы

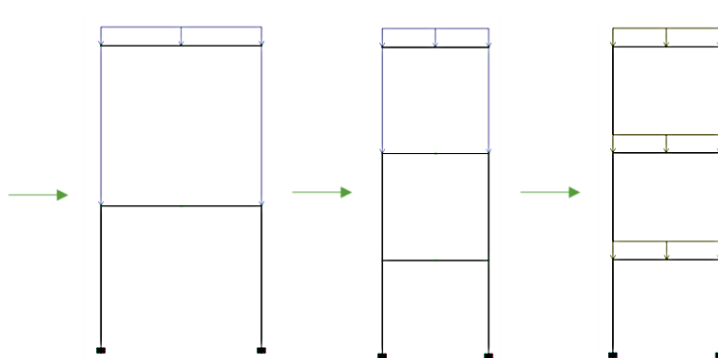


Рис. 2. Формирование расчетной схемы

3. Многостадийный режим + учет конструктивной нелинейности. Конструктивная нелинейность – учет возможного изменения расчетной схемы в процессе деформирования [8]. Процесс формирования схемы аналогичен п. 2, только для достижения учета конструктивной нелинейности производится монтаж/демонтаж временных опор, которые имитируют опалубочные стойки, использующиеся в процессе строительства (рис. 3).

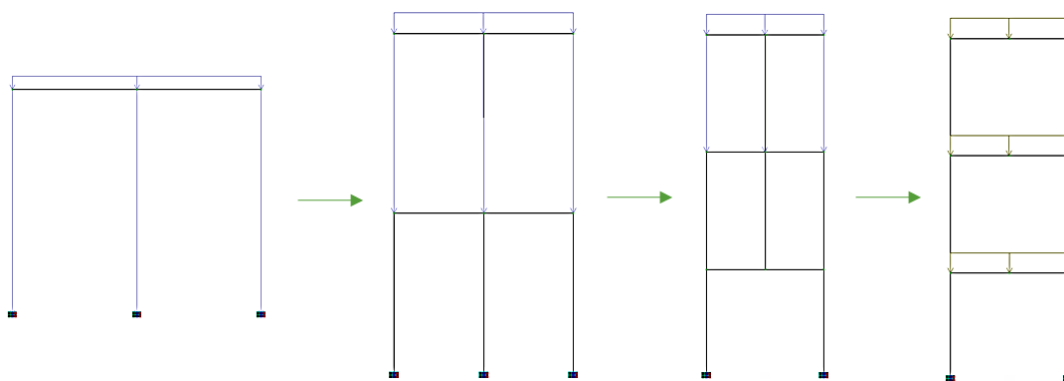


Рис. 8. Формирование расчетной схемы

4. Многостадийный режим + учет конструктивной нелинейности + учет физической нелинейности. Физическая нелинейность – это отклонение от закона Гука [9]. Для моделирования данной нелинейности использовались 210 КЭ – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ. И также был задан закон нелинейного деформирования материалов 25 – экспоненциальная зависимость для железобетона с нормативной прочностью (рис. 4) [10].

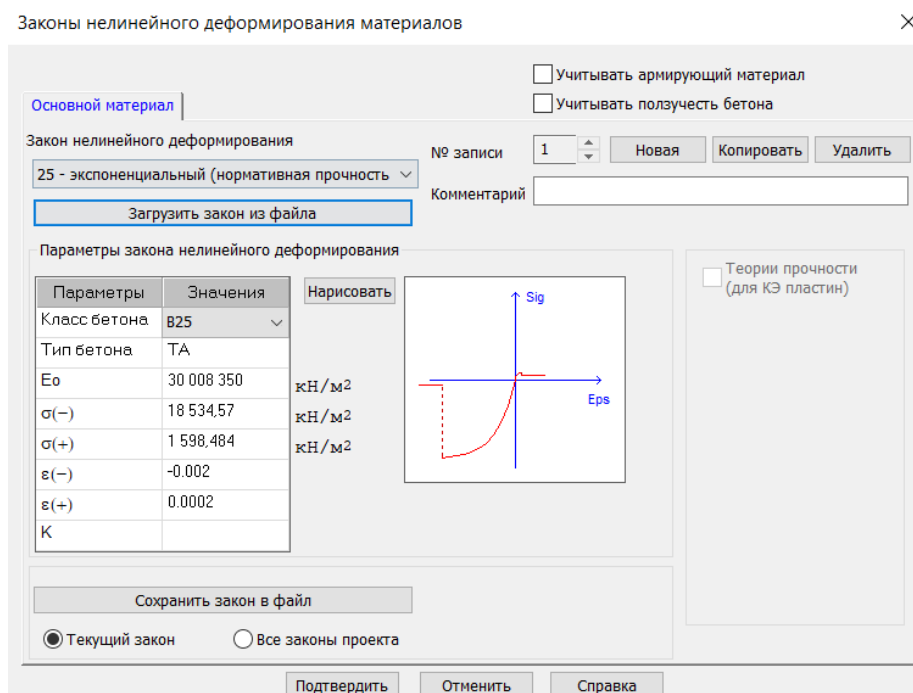


Рис. 9. Задание экспоненциального закона деформирования для бетона В25 в ПК «ЛИРА-САПР»

В ходе расчета был произведен сравнительный анализ результатов максимальных перемещений, полученных в разных расчетных режимах. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета перемещений

	1 режим	2 режим	3 режим	4 режим
Перемещения, мм	-2,19	-2,22	-1,24	-1,48

**Выводы.** Исходя из полученных результатов можно увидеть, что полученные перемещения при первом и втором режимах практически не отличаются друг от друга. Это приводит к выводу о том, что конкретно для данной задачи нет необходимости учитывать стадийность возведения, поскольку она имеет малую этажность, при расчете более сложных систем вероятно можно было бы увидеть иную картину распределения напряжений. Однако при дополнительном учете конструктивной нелинейности полученные результаты перемещений практически на 44% меньше, чем без ее учета, так как стойки являются опорными элементами для вышерасположенных ригелей. При учете физической нелинейности значения перемещений возрастают примерно на 17% по сравнению с третьим режимом расчета, поскольку здесь происходит учет нелинейной работы бетона, характеристики которого изменяются во времени. Поскольку четвертый вариант расчета учитывает три вида нелинейности, он наиболее адекватно отражает реальную картину распределения усилий и перемещений.



#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой. – Москва: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. – 148 с.
2. Кабанцев О.В., Карлин А.В. Расчет несущих конструкций зданий с учетом истории возведения и поэтапного изменения основных параметров расчетной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №7. С. 33–35.
3. Рудых О.В. Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. С.239–244.
4. Белокопытова Ю.В. Математическое моделирование пространственной работы несущей системы многоэтажного здания на различных стадиях жизненного цикла: дис. кандидата технических наук: 05.13.18 – Братск, 2003 – 204 с.
5. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Magazine of Civil Engineering, No.5, 2014.
6. Порываев И.А., Семенов А.А. Напряженно-деформированное состояние высотного здания с учетом последовательности возведения // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №12, с. 49-70.
7. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – Киев: Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.
8. Городецкий А., Городецкий Д., Пикуль А. Конструктивная нелинейность. Односторонние связи. Проблемы реализации / International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 12, Issue 3, 2016.
9. Завьялова О.Б., Шейн А.И. Расчет монолитных железобетонных каркасов с учетом последовательности возведения, физической нелинейности и ползучести бетона // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. №5. С. 64–69.
10. Рыбаков В.А., Купчиков А.М., Бикбаева Н.А. Физическая нелинейность при расчете железобетонных элементов. – Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Под общей редакцией В.И. Геры. 2018.

УДК 624.04

А.В. Яваров<sup>1,2</sup>, А.Е. Румянцев<sup>2</sup>, Ю.Ю. Головченко<sup>1,2</sup>, А.В. Трофимов<sup>2</sup>, Н.В. Морозов<sup>1,2</sup>  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого<sup>1</sup>  
ООО «Институт Гипроникель»<sup>2</sup>

#### НОВАЯ УСИЛЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ РУДОСПУСКА

Подземные конструкции являются одними из наиболее трудоемких в монтаже и эксплуатации. К отдельному подтипу подобных конструкций относятся перемычки капитальных рудоспусков, которые должны не только сдерживать массу пересыпаемой руды, но и обеспечивать безопасность людей, находящихся за ними. Несмотря на то, что перемычки фактически не являются капитальными сооружениями (срок их эксплуатации зачастую составляет около 10 лет), к их конструированию необходимо подходить с особой тщательностью.

*Целью работы* является разработка новой, усиленной конструкции горизонтальной перемычки, которая обладает достаточной прочностью для сопротивления нагрузкам от горизонтального давления столба руды, а также обеспечивает высокую степень защиты для людей, находящихся в камере за ней.

Общий вид предлагаемой конструкции показан на рисунке 1. Конструкция состоит из трех основных элементов: стальной рамы из труб сечением 400×400 мм толщиной 40 мм; анкеров сталеполимерных диаметром 40 мм и железобетонного воротника. Подобная комбинация элементов способствует существенному повышению прочности и надежности конструкции, что подтверждается прочностным анализом.

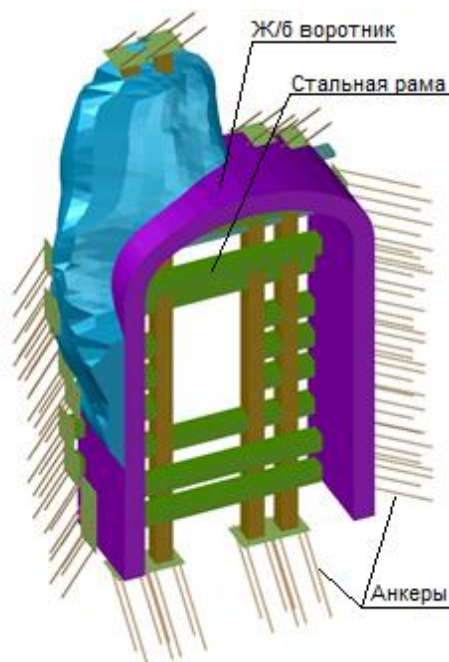


Рис. 1. Конструкция перемычки

Для обоснования проектных решений в работе использован метод конечных элементов в форме метода перемещений (CAE Fidesys). С целью определения величины передаваемого на перемычку давления проведен дополнительный численный расчет в упругопластической постановке, применен критерий Друкера-Прагера [3] (рисунок 2).

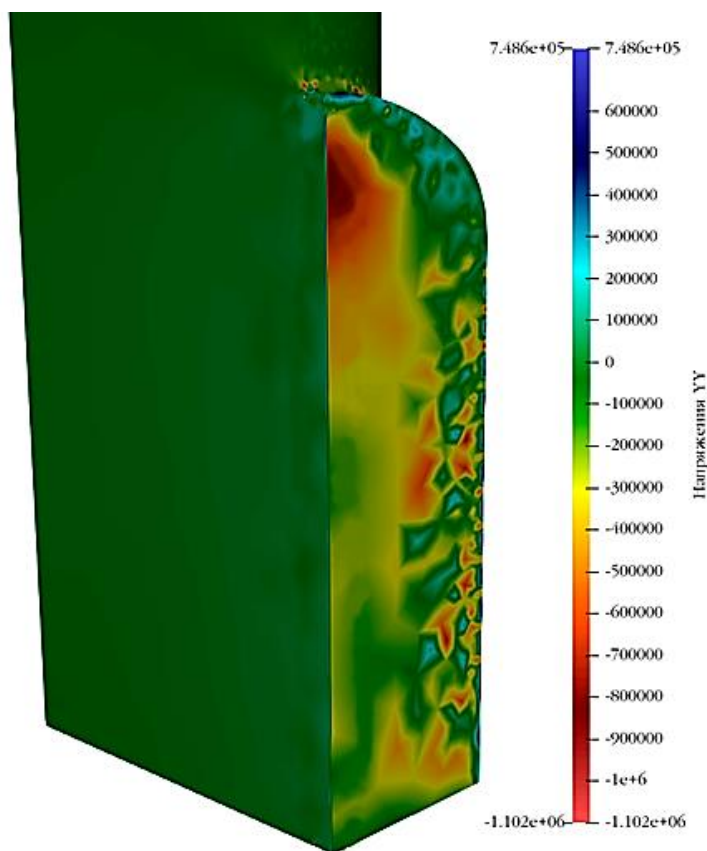


Рис. 2. Нагрузка на перемычку, Па

По результатам расчета в качестве итогового значения горизонтального давления, ввиду неравномерного распределения напряжений, принято медианное значение равное 0,26 МПа. Оно существенно выше изначально вычисленного давления по формуле Янсона [1, 2, 4, 5] (0,05 МПа) и учитывает пиковые значения нагрузок при заполнении и опорожнении рудоспуска. Расчетная схема конструкций со скальным массивом показана на рисунках 3, 4.

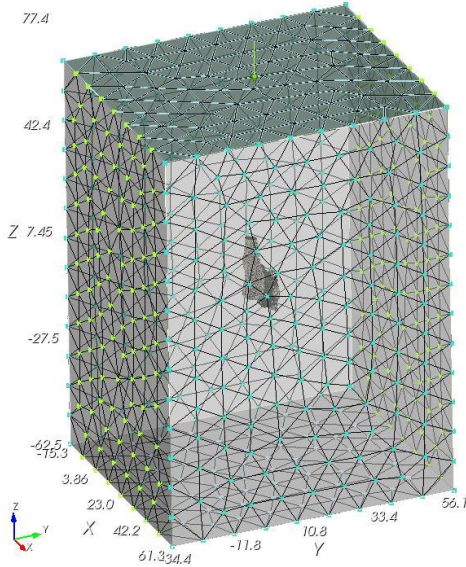


Рис. 3 – Общий вид объемной КЭ схемы

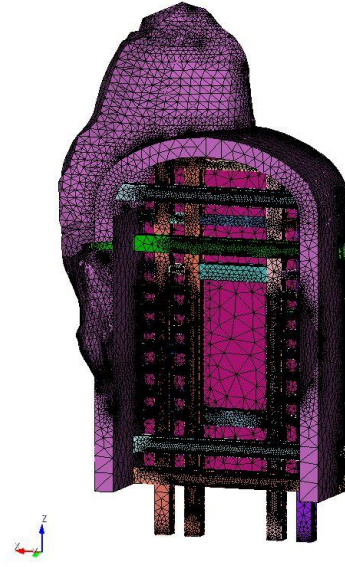


Рис. 4 – Схема перемычки из объемных конечных элементов

Расчет выполнен в упругопластической постановке. Полученные результаты (рис. 5, 6) вместе с различными инженерными расчетами однозначно свидетельствуют об обеспечении прочности и устойчивости конструкции.

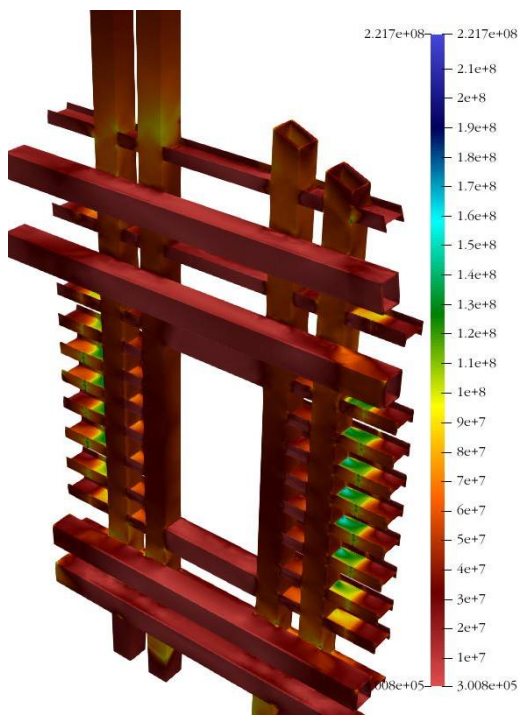


Рис. 5. Напряжения по Мизесу, Па

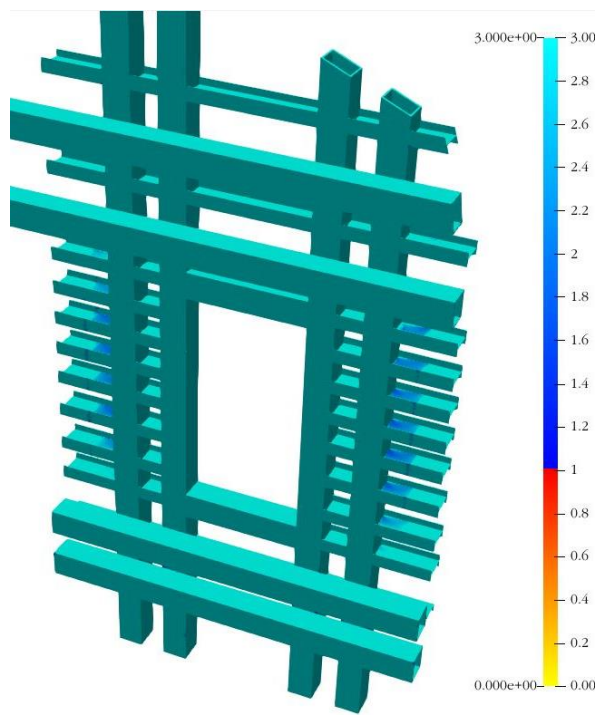


Рис. 6. Запас прочности по энергетической теории

Ввиду того, что первостепенной задачей в условиях горной добычи является сохранность жизни людей и обеспечение работоспособности шахты, данная конструкция является надежным вариантом для устройств камер с горизонтальной подачей руды для дальнейшей обработки. Представленная конструкция состоит из трех основных элементов, которые при совместной работе существенно повышают надежность конструкции: даже при разрушении анкеров, железобетонный воротник способен выдержать давление, оказываемое на стальную раму, тем самым избегая ее вывала. Максимальное напряжение по Мизесу для рассматриваемой конструкции составило 222 МПа. Зона повышенного давления находится в местах стыка разнородных частей конструкции (стальной рамы и воротника). Несмотря на значительное повышение напряжений в данной зоне, они не превышают допустимых для стали с классом прочности не менее С255. Как следствие, запас прочности для всех элементов конструкции оказывается больше единицы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1977. 256 с.
2. Sperl M. Experiments on corn pressure in silo cells – Translation and comment of Janssen’s paper from 1895 // *Granul. Matter.* 2006. № 8. Pp. 59–65.
3. Puigpinos R. Experimental assessment of hang up and secondary fragmentation for block caving. Chile: Universidad de Chile, 2015.
4. Janssen H. Versuche uber Getreidedruck in Silozellen. 1895. Pp. 1045–1049.
5. Junhwan Lee, Tae Sup Yun, Dongyeol Lee, Junghwoon Lee Assessment of K0 correlation to strength for granular materials. *Soils and Foundations.* Volume 53, Issue 4, August 2013, Pages 584–595.

УДК 691.771

А.В. Галямичев, А.М. Гроссман  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПОТЕРЯ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЕЧЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Отрасль светопрозрачных алюминиевых конструкций активно развивается и формирует облик современного города. В процессе проектирования остекления фасадов ключевой задачей является удовлетворение условий по I-й и II-й группе предельных состояний. Поскольку в тонкостенных конструкциях допускается потеря местной устойчивости сжатых элементов, составляющих поперечный профиль конструктивного элемента (например, полки поперечного сечения профиля), то появляется дополнительное условие для расчёта, которое оказывает значительное влияние на обеспечение общей несущей способности. Необходимо отметить, что в случаях, когда местная устойчивость проверяемых элементов сечений не обеспечивается согласно требованиям СП 128.13330.2016, допускается проводить расчёт с уменьшенными геометрическими характеристиками на основании методик СП 260.1325800.2016, Еврокод 9 и СТО 22594804-001-2021.

В настоящее время, в качестве основной методики расчёта редуцированного сечения для элементов фасадного остекления применяется СП 260.1325800.2016. В результате расчета по данному способу получаем ограждающую конструкцию, которая имеет значительный потенциал к оптимизации, ввиду специфики работы материала. Таким образом, заложенный в основу расчёта нормативного документа тип материала имеет значительные расхождения уже на этапе механических характеристик от применяемого в светопрозрачных конструкциях сплава. Следовательно, применение данного документа является не корректным в рассматриваемом типе конструкции.

Цель данной работы заключается в определении местной потери устойчивости рассматриваемого элемента светопрозрачной конструкции на основе двух методов расчёта.

Приведённый способ расчёта позволит определить рациональность применения того или иного метода, что позволит на стадии численного моделирования и анализа конструкции приблизиться к экспериментальным значениям [1] тем самым повысив точность оценивания конструкции по предельным состояниям.

В соответствии с целью возникает ряд задач:

- Запроектировать участок однопролётной и двухпролётной светопрозрачной алюминиевой конструкции с учётом заполнений и жесткости узлов [2];
- Задать равномерно-распределенную по пластине ветровую нагрузку [3];
- Определить редуцированные участки рассматриваемого элемента сечения;
- Провести сравнительный анализ полученных результатов.

Материалы и методы: Расчётная модель выполняется на основе системы фасадного остекления «СИАЛ КП40». Для изготовления элементов каркаса используется алюминиевый сплав AlMg0.7Si 6063 T6, который обладает механическими характеристиками согласно ГОСТ 22233-2018. Для решения численной задачи применяется метод конечных элементов в варианте перемещений [4], реализованный в программном комплексе SCAD Office 21.1. Опоры профилей каркаса и соединение продольных профилей с поперечными рассматриваются как узлы с шарнирным закреплением [5].

Редуцирование всех рассмотренных сечений производится в предположении действия только изгибных нормальных напряжений. Необходимо отметить, что в случаях, когда местная устойчивость проверяемых элементов сечений не обеспечивается согласно требованиям СП 128.13330.2016, элементы сечений допускается рассчитывать с уменьшенными геометрическими характеристиками на основании методик СТО 22594804-001-2021 и Еврокод 9. Таким образом принимается, что размеры редуцированных элементов зависят от характера распределения сжимающих и растягивающих напряжений в пределах сечения вне зависимости от величин изгибных нормальных напряжений. Поэтому геометрические характеристики принимаются постоянными в пределах действия напряженно-деформируемого состояния одного и того же типа. Полученные величины применяются для назначения жесткостей стержневых элементов на участках с характерным элементом сечения, испытывающим сжимающие напряжения на рассматриваемом участке рассчитываемой конструкции.

Стоит отметить, что существенным отличием Еврокода 9 от СТО 22594804-001-2021 является допустимость ввода пониженной гибкости для участков рассматриваемого сечения от приложенной равномерно-распределенной погонной нагрузки, если соблюдается условие, приведенное в формуле (1).

$$\sigma_{com,Ed} < \frac{f_0}{\gamma_{M1}}. \quad (1)$$

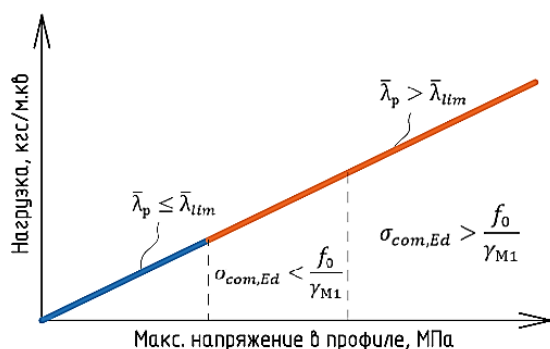


Рис. 1. Зависимость деформации-напряжения для различных классов стали

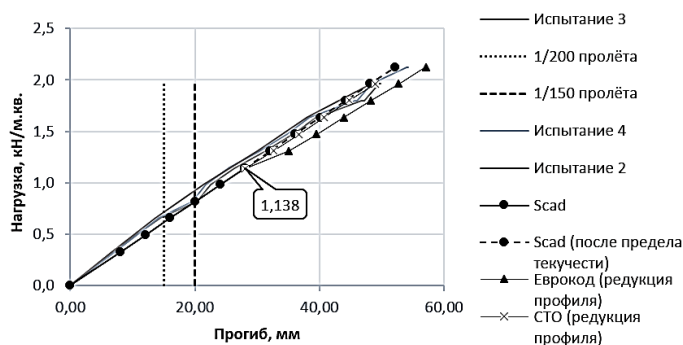


Рис. 2. Прогиб центральной стойки однопролётной схемы

Таким образом, расчёт системы по Еврокод 9 допускается проводить в три этапа:

1. Принимается полное сечение в период, когда предельная гибкость больше или равна гибкости пластины, в таком случае понижающий коэффициент  $\rho$  равен 1, следовательно, сечение не редуцируется;
2. Принимается эффективное сечение для каждого этапа нагружения в период, когда предельная гибкость меньше гибкости пластины и наибольшее значение сжимающего напряжения поперечного сечения меньше согласно полученному отношению по формуле (1);
3. Принимается эффективное сечение постоянным для каждого этапа нагружения в период, когда предельная гибкость меньше гибкости пластины и наибольшее значение сжимающего напряжения поперечного сечения больше согласно полученному отношению по формуле (1).

График зависимости максимальных напряжений в профиле в зависимости от приложенной равномерно-распределенной погонной нагрузки с учётом пониженной гибкости, для участков, описанных ранее, приведен на рис. 1.

В результате статического расчета профилей светопрозрачного каркаса с учётом потери местной устойчивости, получены значения максимальных прогибов в центральной стойке в зависимости от приложенной равномерно-распределенной погонной нагрузки приведённых на рис. 2. Редуцированное сечение присваивалось после достижения профилем предела текучести.

Результаты численного расчета по Еврокоду 9 находятся незначительно ниже полученной зависимости в ходе испытаний, в отличии от СТО 22594804-001-2021, что позволяет применять предложенный метод для практических расчётов и выполнять оценку напряжённно-деформированного состояния данного конструктивного решения с помощью метода конечных элементов.

На основании принятого метода допускается ввести учёт пониженной гибкости, для более точной оценки работы конструкции. Таким образом, получаем зависимость максимального прогиба от приложенной равномерно-распределенной погонной нагрузки с учётом редукции (рис. 3), а также с учётом редукции и пониженной гибкости (рис. 4). Редуцируемое сечение учитывается с первого этапа нагружения согласно проведённым испытаниям.

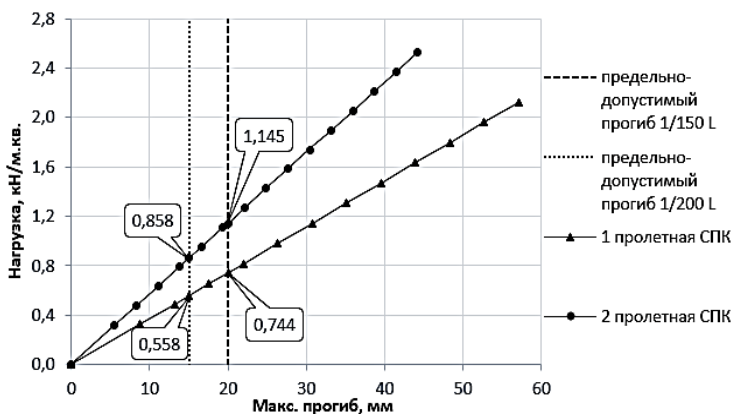


Рис. 3. Максимальный прогиб центральной стойки с учётом редукции

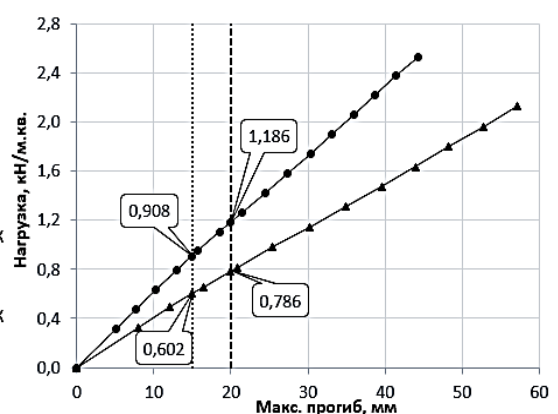


Рис. 4. Максимальный прогиб центральной стойки с учётом редукции и пониженной гибкости

На основании выполненной работы можно сделать вывод, что предложенная методика расчёта по Еврокод 9 является наиболее приближенной к особенностям поведения светопрозрачных алюминиевых конструкций.

Стоит обратить внимание, что при использовании сечений, склонных к потере местной устойчивости, значительно возрастает вероятность характерной проверки для светопрозрачных алюминиевых конструкций по критерию первой группы предельных

состояний. При оценке конструкций по второй группы предельных состояний с заполнением стеклом допускается принимать предельно допустимый прогиб, равный 1/200 расстояния между ближайшими опорами согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». В то время как, предельно допустимую величину прогиба равную 1/150 расстояния между ближайшими опорами согласно СП 426.1325800.2020 «Конструкции фасадные светопрозрачные зданий и сооружений. Правила проектирования» допускается использовать для оценки при условии применения сечений, не подверженных редукации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Галямичев А.В., Усиевич Е.М. Уточнение расчётной схемы конструкции фасадного остекления / Галямичев А.В., Усиевич Е.М. // Неделя науки СПбПУ. СПб.: СПбПУ, 2018. – С. 249–251.
2. Vatin N.I., Navula J., Martikainen L., et al. Thinwalled cross-sections and their joints: tests and FEM-modelling. Advanced Materials Research. Vols. 945-949 (2014), pp. 1211–1215.
3. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972
4. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Морозов С.А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 27. № 1.
5. Галямичев А.В. Конструктивная и расчетная схема светопрозрачных конструкций // Светопрозрачные конструкции. 2013. №5(91).

УДК 69.07

К.В. Гусев, А.В. Галямичев, Е.В. Зданчук  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СРАВНЕНИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ФАСАДНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ НА ОСНОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

Основным нормативным документом, регламентирующим в РФ порядок определения ветрового воздействия на здания и сооружения, является СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Тем не менее в случае расчета сложных по форме зданий и сооружений на ветровые воздействия невозможно корректно определить распределение ветровых потоков по граням проектируемого объекта [1–3]. В связи с этим, рассматривается методика определения пиковой ветровой нагрузки при помощи CFD-моделирования. Определение ветровых воздействий является первостепенной задачей при проектировании светопрозрачных конструкций, которые за последнее время набрали большую популярность [4, 5]. Таким образом, проводится анализ и сравнение влияния ветровых воздействий на фасадное остекление на основании нормативного документа и компьютерного моделирования. Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать цель работы.

*Цель работы* – сравнение методик определения ветровой нагрузки и их влияние на результаты статического расчета фасадного остекления.

Для проведения сравнения и анализа действия ветрового давления был задействован проект, который подвергался экспертизе в рамках работы ФГАОУ ВО «СПбПУ». Объект исследования – здание жилого комплекса «Новая Скандинавия», располагающее в городе Санкт-Петербурге. План типового этажа исследуемого здания с обозначением расчетных фрагментов фасадного остекления продемонстрированы на рис 1.

Сравнение ветровых воздействий на фасадное остекление можно разделить на три части: первая – определения ветровых нагрузок согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», вторая – расчет ветрового воздействия при помощи математического моделирования и третья – выполнение статического расчета на основании полученных значений ветровых нагрузок.

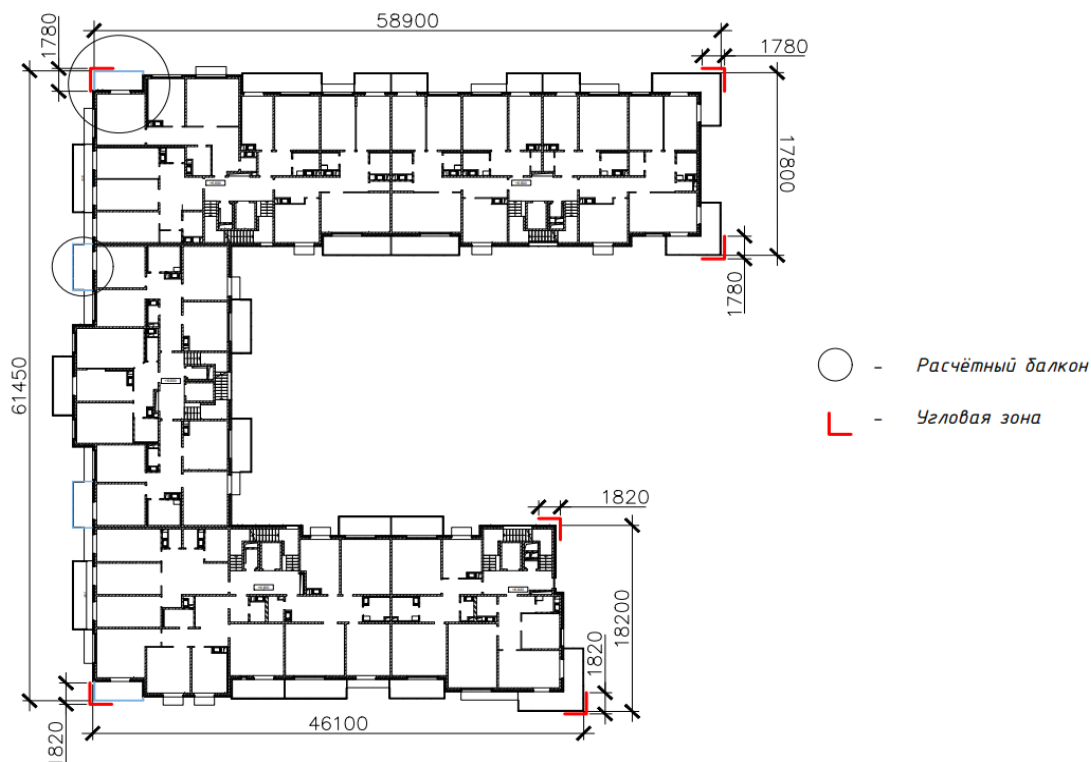


Рис. 10. План этажа исследуемого объекта

Зная, что тип исследуемого здания по приложению ветровой нагрузки – «б», то вычисленные значения пиковой ветровой нагрузки сведем в Таблица 7.

Таблица 7 – Ветровая нагрузка согласно СП 20.13330

Высота расположения конструкции	Рядовая ветровая зона		Угловая ветровая зона	
	Нормативная нагрузка, кПа	Расчетная нагрузка, кПа	Нормативная нагрузка, кПа	Расчетная нагрузка, кПа
до 5,63 м	0,726	1,017	1,332	1,864
от 5,63 м	0,776	1,086	1,422	1,991

Для осуществления математического моделирования была смоделирована отдельная конечно-элементная модель в программном комплексе Sofistik, состоящая из граней зданий.

Расчет аэродинамических коэффициентов на фасадах зданий жилого комплекса проводился по 8 направлениям ветра с шагом 45°. Направления моделированного потока ветра продемонстрированы на Рис. 11.

Для расчета была смоделирована отдельная конечно-элементная модель, состоящая из граней зданий, входной и выводной поверхности для потока ветра, базовой поверхности земли, а также объема воздуха. Модель жилого комплекса создавалась на основе представленной проектной документации, модель окружающей застройки – на основании топографической карты. Модель жилого комплекса разбивалась на прямоугольные конечные элементы. На Рис. 12 отображена модель жилого комплекса и окружающей застройки с дезактивированной группой объема воздуха.

Проанализировав ветровые воздействия, полученные в результате математического моделирования, было определено, что для балкона, расположенного в угловой ветровой зоне наименее благоприятные сочетания пиковых ветровых нагрузок наблюдаются при направлениях обдувки 135° и 225°, а для балкона, расположенного в рядовой ветровой зоне – при направлении обдувки 90° и 135°.



При статическом расчёте фрагментов фасадных конструкций применялся метод конечных элементов в варианте перемещений, реализованный в программном комплексе SCAD.

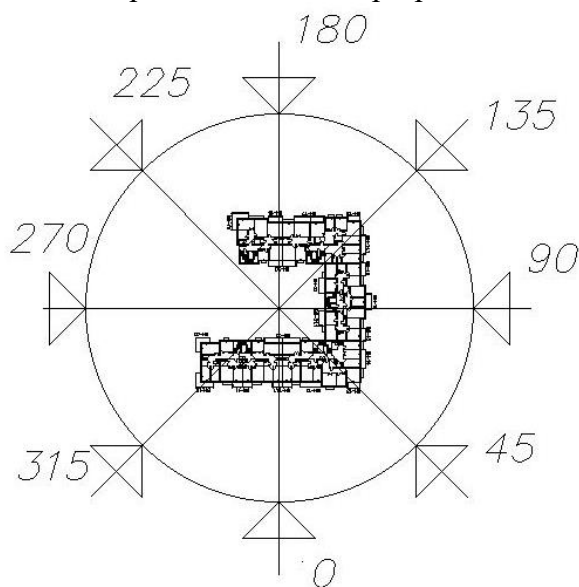


Рис. 11. Направления обдувки

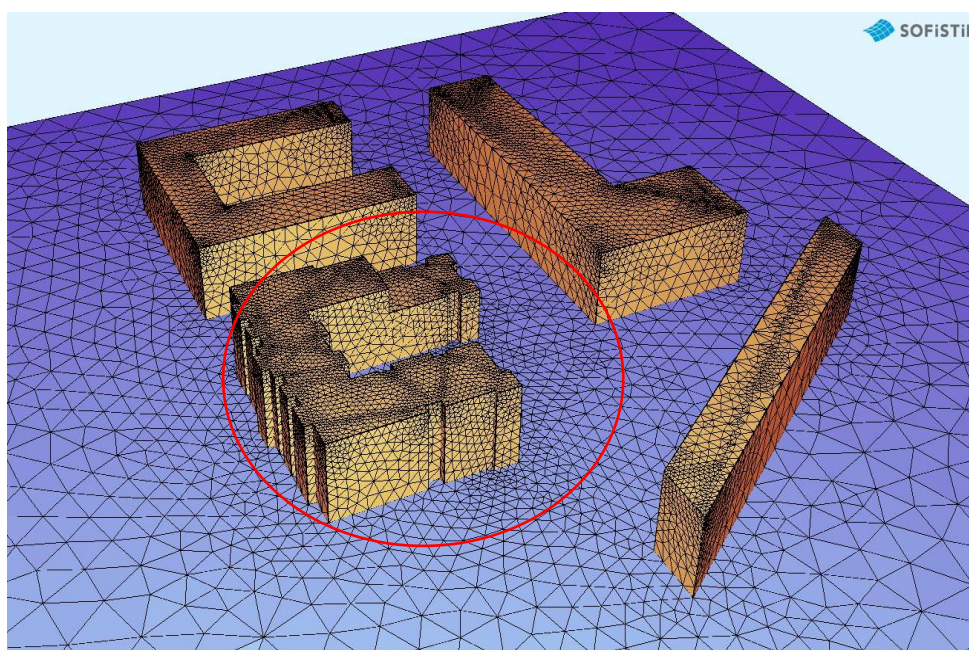


Рис. 12. Модель жилого комплекса и окружающей застройки

Полученные в ходе выполнения статического расчёта значения перемещений от действия ветровых нагрузок согласно нормативному документу и математическому моделированию, сведём в Таблица .

Таблица 2 – Результаты статического расчёта

Методика определения ветровых воздействий	Максимальные перемещения, мм	
	Рядовая ветровая зона	Угловая ветровая зона
СП 20.13330.2016	17,46	29,72
Математическое моделирование	15,37	27,77

Несмотря на то, что максимальные значения ветрового воздействия получены в результате математического моделирования, максимальные прогибы элементов фасадной конструкции наблюдаются при нагрузке, согласно СП 20.13330.2016. Из этого следует, что суммарное ветровое воздействие, полученное по результатам CFD-моделирования меньше, чем по результатам нормативного документа.

Таким образом, по результатам анализа действия ветровых потоков на основании СП 20.13330.2016 и CFD-моделирования можно сделать вывод о том, что максимальные прогибы в случае применения методики математического моделирования на 5–10% ниже, что позволяет использовать для фасадной системы сечения элементов с меньшими геометрическими характеристиками и тем самым оптимизировать металлоемкость фасадного остекления.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 9. С. 44–57.
2. Галямичев А.В. Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта // Интернет-журнал Науковедение. 2015. № 2 (7). С. 96.
3. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Издательство литературы по строительству, 1972. С.15-32.
4. Зубков В.А. Светопрозрачные конструкции общественно-делового комплекса «Лахта центр» в Санкт-Петербурге // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2017. С. 52–55.
5. Кузнецов А.В. Новые тенденции и технологии в развитии светопрозрачных конструкций при проектировании общественных зданий // Современные инновации. 2018. № 2. С. 82–83

УДК 692.232.44

А.В. Галямичев, Д.А. Лысенко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЛИЦОВКИ ФАСАДА НАТУРАЛЬНЫМ КАМНЕМ

Применение качественных натуральных облицовочных материалов помимо защиты от различных природных и техногенных негативных воздействий способствует приданию комфортному облику зданий и сооружений в городской среде [1].

Природный фасадный камень является долговечным и надежным строительным материалом, предназначенный для облицовки зданий и сооружений различного назначения. Обладает высокой прочностью и долговечностью, что позволяет применять плиты размерами до полутора метров в качестве облицовки в составе навесной фасадной системы, несмотря на большой собственный вес [2–3].

Существует различные способы скрытого крепления фрагментов облицовки к направляющим профилям навесной фасадной системы: на пропилах, на точечных фиксаторах с одной или несколькими шпильками. Всех объединяет одно, это уменьшение полезной толщины камня в зонах фиксации, тем самым уменьшение сопротивления камня внешним воздействиям. Данная особенность требует особого внимания при проектировании и расчете по предельным состояниям фасадной конструкции, учитывающие все особенности работы материала в составе фасадной конструкции [4–6].

*Целью работы* экспериментальное определение предельных нагрузок образцов натурального камня, применяемого в качестве облицовочного материала, для дальнейших испытаний полноразмерных образцов.

В соответствии с целью возникает ряд задач:

- проведение испытаний образцов натурального камня;

- анализ характера разрушения образцов;
- определение предельных нагрузок для образцов натурального камня;
- моделирование и расчет в программных комплексах методом конечных элементов.

*Материалы и методы.* Фасадная система предназначена для скрытого способа крепления облицовочных панелей из камня. Крепление плит к вертикальным направляющим осуществляется с помощью штифтов крепежных фиксаторов, устанавливаемых в отверстия, выполненные в горизонтальных торцах плит. Плиты размерами 300×300×30 мм с отверстиями диаметром 11 мм, материал – белый известняк Maljat.

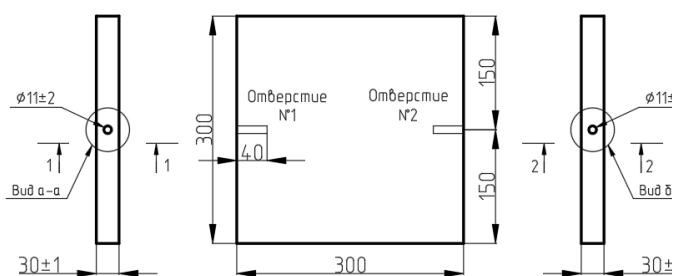


Рис. 1. Геометрические характеристики испытываемых образцов натурального камня

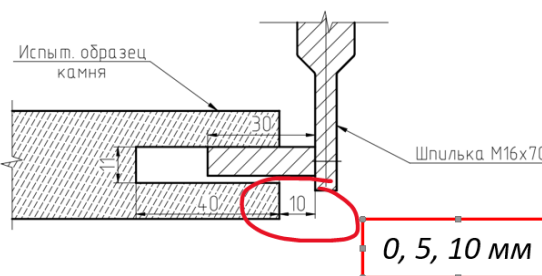


Рис. 2. Расположение испытательной оснастки в отверстии камня

Испытания на скалывание 39 образцов производилось с помощью испытательной установки, обеспечивающей подачу нагрузки линейно (вдоль оси соединения), непрерывным образом, с постоянной испытательной скоростью. Результаты испытаний приведены на рис. 3. В программном комплексе ANSYS зафиксировано предельные напряжения при скалывании камня – 12 МПа (рис. 4).

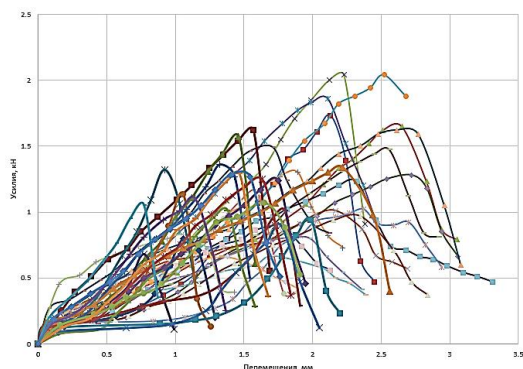


Рис. 3. График зависимости перемещений от прикладываемого усилия

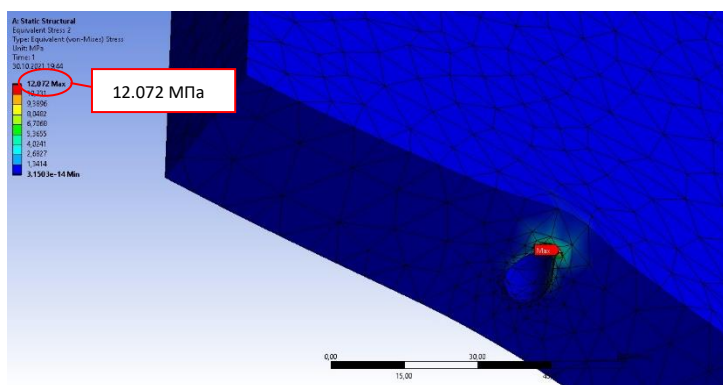


Рис. 4. Результаты моделирования камня в ПК ANSYS

В ходе испытаний получена высокая вариация полученных результатов в рамках единых граничных условий. На основе статистических данных при меньшей толщине (менее 10 мм) фиксируется большая вероятность образования скола, при большей толщине зоны скалывания (более 10 мм) – большая вероятность выскальзывания шпильки из испытываемых образцов. Обнаружено, что на вероятность выскальзывания шпильки влияет неровность отверстия в камне: уклон в сторону приложения нагрузки свыше 4% приводит к выскальзыванию металлического крепления из каменной плиты. Получены осредненные значения предельных усилий образцов облицовочного камня для различного заглубления шпильки в отверстие камня с обеспеченностью 0,95: 30 мм (шпилька погружена полностью) – 0,65 кН; 25 мм (имеется зазор в 5 мм) – 0,69 кН; 20 мм (имеется зазор в 10 мм) – 0,33 кН.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Давиденко, А.Ю., Литова К.В. Облицовочные работы из каменных материалов и их актуальность в современном строительстве // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. 2016. – С. 302–304.
2. Сидорова Н.И., Тарасенко В.Н. Современные облицовочные материалы: натуральный и искусственный камень // World science: problems and innovations: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции: в 3 ч., Пенза, 25 декабря 2017 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 286–288.
3. Костенок М.А., Коновалова О.Н. Фасадный камень, как актуальный материал для облицовки фасада // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 20–23 ноября 2019 г. М.: Издательство "Перо", 2020. – С. 89–91.
4. Патент на полезную модель № 86210 U1 Российская Федерация, МПК E04F 13/00. Устройство для крепления навесных облицовочных панелей из керамического гранита на фасадах зданий скрытым способом: № 2009117380/22: заявл. 07.05.2009: опубл. 27.08.2009 / В. В. Барышев, С. В. Архангельский.
5. Патент № 2638602 C1 Российская Федерация, МПК E04F 13/07. Устройство для крепления облицовочных панелей навесного вентилируемого фасада (варианты) и захват для этого устройства: № 2017109158: заявл. 20.03.2017: опубл. 14.12.2017 / С. В. Архангельский, В. В. Барышев.
6. Патент № 2435006 C1 Российская Федерация, МПК E04F 13/00. Устройство для крепления облицовочных панелей к навесному вентилируемому фасаду скрытым способом с индивидуальной заменой плиток облицовки: № 2010149463/03: заявл. 03.12.2010: опубл. 27.11.2011 / В.В. Барышев, С.В. Архангельский, Д.А. Тепляков.

УДК 69.04

А.А. Москалёва, С.С. Зимин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КАРКАСНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЗДАНИЯ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ

В современной практике строительства появляется всё больше высотных или большепролетных зданий и сооружений, предназначенных для одновременного пребывания 100 и более человек. Поэтому важно учитывать возможное прогрессирующее обрушение в процессе проектирования в случае возникновения чрезвычайных ситуаций природного либо техногенного характера. Предварительный учет такого воздействия даст возможность значительно сократить возможные человеческие, экологические и экономические потери.

Одними из важных проблем при расчете на прогрессирующее обрушение является отсутствие единого общепринятого метода расчета [1], а также учет физической нелинейности [2]. Ключевым является и определение удаляемого элемента для дальнейшего расчета конструкции. В статьях [3–5] проводились расчеты на прогрессирующее обрушение зданий различных типов. Авторами было выявлено, что наиболее опасными сценариями разрушения несущих элементов являются поочередное удаление угловой, средней и центральных колонн нижних этажей здания.

*Цель работы:* сравнить статический, квазистатический и динамический методы расчета на прогрессирующее обрушение.

В ходе исследования рассматривается 25-этажное монолитное железобетонное здание института, имеющее в плане сложную форму, состоящее из надземной и подземной части. Высота этажа 4,2 м. Несущие вертикальные конструкции здания – монолитные колонны сечением 800×800 мм и диафрагма жесткости сечением 200 мм. Конструкция перекрытия – железобетонная плита перекрытия толщиной 200 мм с балками сечением 400×600 мм. В ПК

SCAD была создана конечно элементная модель здания. Вертикальные и горизонтальные несущие элементы моделировались пространственными стержневыми элементами. Горизонтальные и вертикальные распределенные конструкции здания моделировались конечными элементами – тонкие плиты.

Вначале был выполнен статический линейный расчет здания в ПК SCAD в условиях нормальной эксплуатации для определения напряженно-деформированного состояния конструкции. По полученным результатам прочностного анализа выполнен подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций.

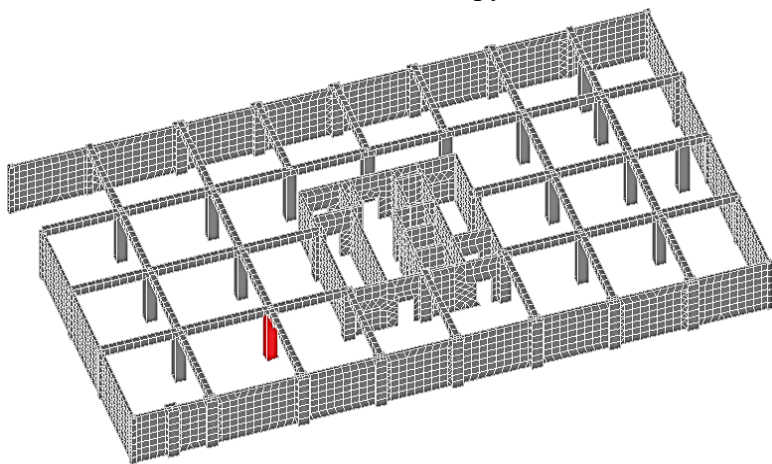


Рис. 1. Схема подвального этажа.  
Удаляемая колонная отмечена красным цветом

В качестве удаляемого элемента была выбрана одна из центральных колонн подвального этажа (рис. 1) с наибольшими значениями усилий.

Согласно рекомендованному в СП 385.1325800.2018 методу расчета, в статической постановке, для перехода ко вторичной расчетной схеме, в первичной схеме была выключена центральная колонна и получены значения максимальных усилий и перемещений, представленные в таблице 1.

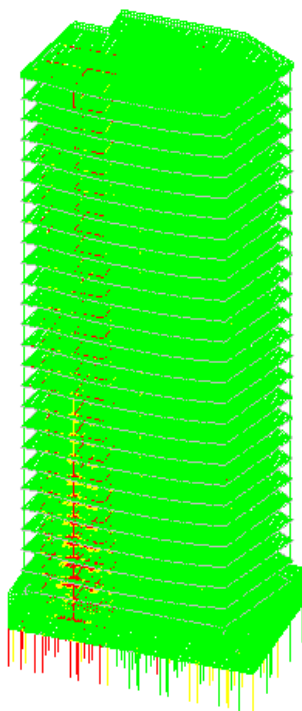


Рис. 2. Цветовое разделение элементов по прочности

Для расчета квазистатическим методом, реализованном в постпроцессоре SCAD «Прогрессирующее обрушение», в исходной схеме была выбрана удаляемая колонна и создано новое загрузжение в качестве равномерно распределенной нагрузки от разрушившегося элемента. Также для учета внезапности удаления элементов был задан коэффициент динамичности  $k_f = 2$ . Физическая нелинейность материала в данном расчете не учитывалась. В результате были получены новые значения усилий и перемещений конструкции (табл. 1) а также цветовая схема элементов, вышедших из строя (рис. 2). Красным цветом отмечены элементы, выбывшие из строя, их количество составило 2,3% от всех элементов конструкции.

Для проведения расчета на прогрессирующее обрушение динамическим методом было получено время инициирующего воздействия  $t_0 = 0,0317$  с. В свою очередь  $t_0 \leq 0,1T$ , где  $T$  – период собственных колебаний удаляемого элемента. Для формирования динамического нагружения в режиме интегрирования уравнений динамики были заданы два статических загрузжения: загрузжение, включающее все нагрузки на конструкцию с множителем 1 и графиком его приложения в течение 1 с и загрузжение от удаленной колонны с множителем -1 с графиком приложения нагрузок в течение 0,0317 с. В результате были получены значения усилий и деформаций (табл. 1), а также графики изменения во времени перемещения узла над выбитой колонной (рис. 3) и усилий в колонне, расположенной рядом с выбитой (рис. 4).

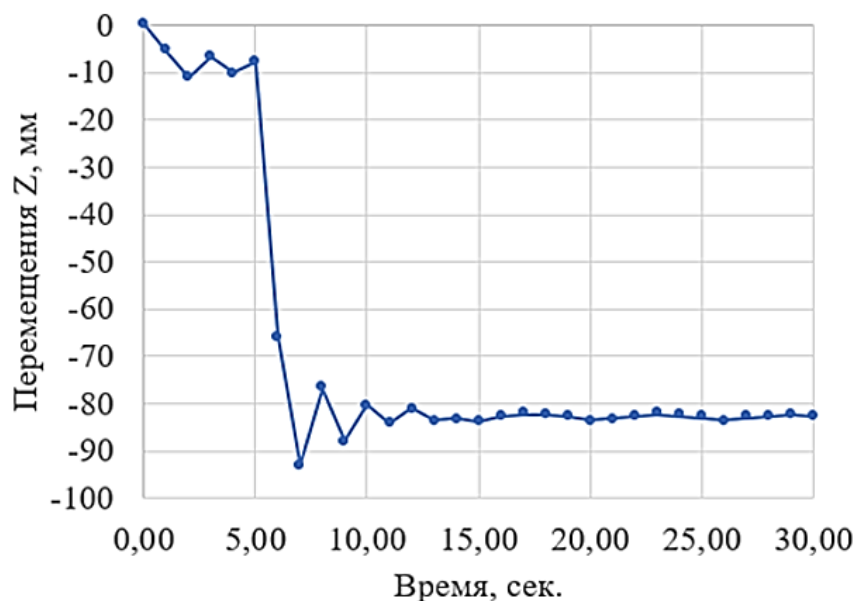


Рис. 3. График изменения перемещения  $Z$  в зависимости от времени

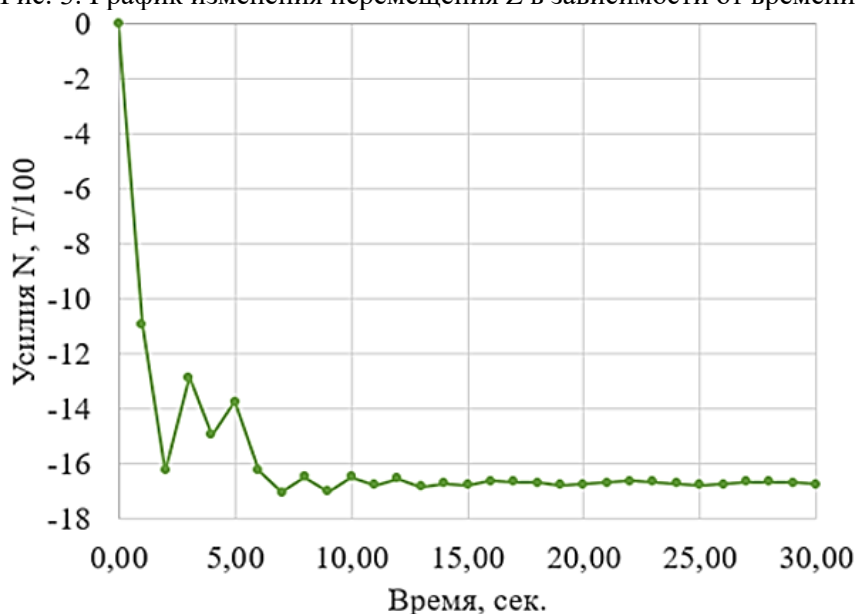


Рис. 4. График изменения усилия  $N$  в зависимости от времени

Таблица 1 – Изменение параметров напряженно деформированного состояния здания

	Исходная модель	Статический метод	Квазистатический метод	Динамический метод
$N, T$	-1580,75/34,52	-1821,81/38,98	-2063,63/1347,15	-2095,35/2972,02
$M_y, T \cdot m$	-56,35/53,35	-82,98/58,42	-149,86/129,04	-159,36/138,66
$M_z, T \cdot m$	-79,94/77,34	-85,35/77,76	-98,48/78,23	-103,01/88,19
$Z_{max}, mm$	-81,17	-97,41	-157,39	-167,5

По результатам расчетов получены следующие *выводы*:

1. Проведена оценка поведения конструкции при расчете на прогрессирующее обрушение статическим, квазистатическими и динамическим методом.
2. При статическом расчете значения усилий и перемещений значительно отличаются от других методов и являются заниженными. Так, усилия отличаются на 97% по сравнению с

квазистатическим и на 98% по сравнению с динамическим методом расчета, моменты соответственно на 45% и 48%, а перемещения на 38% и 42%.

3. Динамический метод расчета является более предпочтительным, так как можно проследить изменение экстремальных значений усилий и перемещений во времени.
4. Различие в усилиях, полученных квазистатическим и динамическим методами, составило 54%, поэтому в некоторых случаях целесообразно проводить расчеты несколькими методами, чтобы избежать завышения или занижения усилий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблемы расчета на прогрессирующее обрушение согласно отечественным нормам / А. С. Воронин // Вестник магистратуры. 2018. № 3-2 (78) – С. 24-27.
2. Методы расчета каркасных зданий из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-этажного жилого дома / Радченков А.В., Аксенов В.Н. // Инженерный вестник Дона 2016 №4 (2016) – 12 с.
3. Расчетно-конструктивные методы защиты от прогрессирующего разрушения железобетонных монолитных каркасных зданий / Е.В. Домарова // Вестник ИрГТУ 2015 №10 (105) С. 123-129 – 7с.
4. Способы защиты зданий каркасного типа от прогрессирующего обрушения / П.И. Егоров; О.Ю. Милевская// Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2014 Том 5 №2 С. 12-20 – 9 с.
5. Расчет многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение / Н.И. Марчук, А.В. Фроловская, Е.В. Прасоленко [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 47–6. – С. 62–68.

УДК 624.075.23

И.И. Поваляев, С.С. Зимин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУСТОТНОСТИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ДВОЙНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

*Актуальность.* Темпы и масштабы строительства в XXI веке предполагают энергоэффективное и экономное использование материалов. Сталь и бетон, объединённые для совместной работы в особой конструкции, именуемой трубобетонной, взаимно улучшают условия работы друг друга. Так, среди данных конструкций выделяются трубобетонные конструкции с двойной оболочкой (наружной и внутренней), использование которых потенциально позволяет добиться аналогичного или большего значения несущей способности, чем у трубобетонных элементов с полным заполнением внутреннего пространства, при снижении собственного веса конструкции и увеличении её изгибной жёсткости [1-2]. Однако, несмотря на проведённые работы [1–3], до сих пор не установлено, какое влияние оказывает коэффициент пустотности на значение несущей способности.

*Цель работы:* анализ влияния коэффициента пустотности на значение несущей способности трубобетонных конструкций с двойной оболочкой.

*Задачи работы:*

1. Конечно-элементное моделирование трубобетонных конструкций с различным значением коэффициента пустотности в комплексе конечно-элементного моделирования Abaqus.
2. Анализ полученных результатов

*Методы исследования:* конечно-элементное моделирование.

Трубобетонные конструкции с двойной оболочкой представляют собой композитные конструкции, состоящие из наружной и внутренней оболочек, пространство между которыми заполняется бетоном.

В данных конструкциях одним из ключевых является значение коэффициента пустотности:

$$\chi = \frac{D_{int}}{(D_{ext} - 2t_{ext})}, \quad (1)$$

где  $D_{int}$  – внешний диаметр наружной оболочки,  $D_{ext}$  – внешний диаметр внутренней оболочки,  $t_{ext}$  – толщина наружной оболочки.

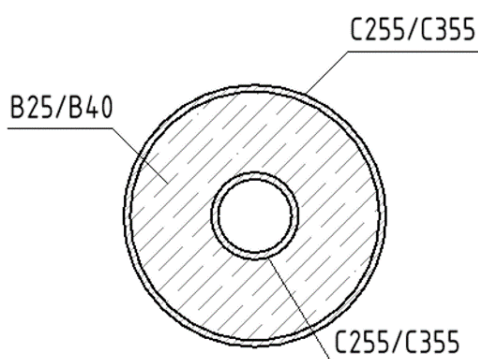


Рис. 1. Схема сечения рассматриваемой конструкции

Ввиду отсутствия принятых методик расчёта трубобетонных конструкций с двойной оболочкой было проведено конечно-элементное моделирование в для двух различных типов сечения.

В качестве материалов для трубобетонных конструкций с двойной оболочкой используется сталь C255/C355 и бетон B25/B40, характеристики которых были определены согласно СП 16.13330.2017 и СП 63.13330.2018. Схема сечения рассматриваемой конструкции представлена на рис. 1.

Наружный диаметр был принят равным 600 мм, толщина внутренней и внешней оболочек были приняты 16 мм и 8 мм для двух конфигурации B40/C355 и B25/C255 соответственно.

Для оценки влияния коэффициента пустотности на прочность конструкции для каждого случая были рассмотрены варианты с различным значением диаметра внутренней оболочки: 100 мм; 150 мм; 200 мм; 300 мм; 400 мм.

Для моделирования и оценки напряжённо-деформированного состояния трубобетонных колонн конструкция была разбита на 3 части с типом конечных элементов C3D8R (8-узловой объёмный конечный элемент). Модель конструкции представлена на рис. 2.

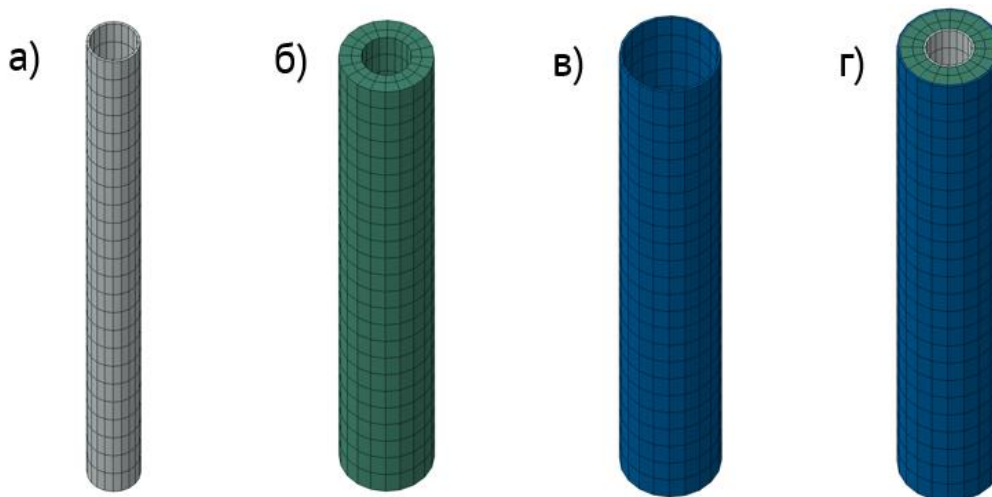


Рис. 2. Конечно-элементная модель рассматриваемой трубобетонной конструкции: а – внутренняя оболочка; б – бетон; в – внешняя оболочка; г – общая модель

Верхняя и нижняя поверхности рассматриваемых колонн соединены с соответствующими ключевыми узлами через модуль coupling. Верхняя поверхность колонны была зафиксирована от линейных перемещений за исключением продольной оси ( $\delta_x = \delta_y = 0$ ), нижняя часть была зафиксирована от всех линейных перемещений ( $\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$ ). Нагрузка прикладывалась на верхнюю поверхность через соответствующий ключевой узел. Для моделирования внецентренного сжатия ключевой узел был смещён на значение эксцентриситета 0,02 м.



Для моделирования контакта между оболочками и бетонным ядром использовалась опция surface-to-surface contact со значением коэффициента трения 0,6 [4–6].

Для моделирования нелинейного поведения бетона с учётом его трёхосного сжатия в трубобетонных конструкциях с двойной оболочкой использовалась модифицированная диаграмма деформирования, предложенная Пателем [2, 3, 7]. Соответствующие характеристики бетонного ядра задавались в модуле «concrete damage plasticity».

Для учёта нелинейной работы стали была принята диаграмма деформирования согласно Приложению Г СП 16.13330.2017.

По результатам проведённого моделирования для всех моделей были получены значения несущей способности трубобетонных элементов с двойной оболочкой при внецентренном сжатии в зависимости от величины коэффициента пустотности, представленные на рис. 3.

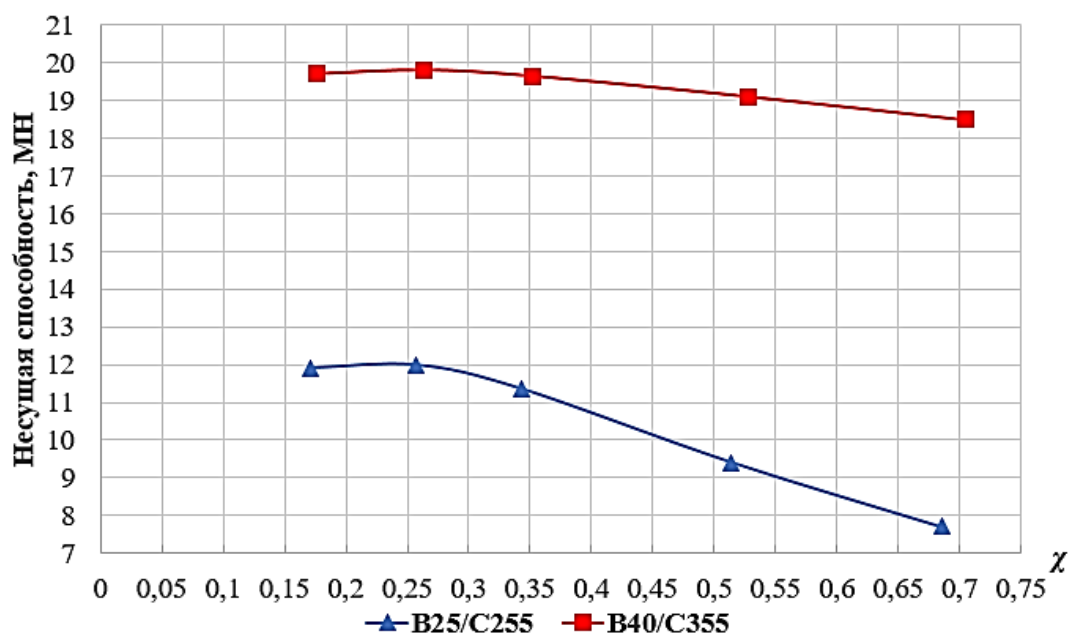


Рис. 3. Зависимость несущей способности трубобетонных конструкций с двойной оболочкой при внецентренном сжатии от величины коэффициента пустотности

*Выводы.* По результатам проведённой работы были выделены следующие выводы и рекомендации:

1. При двух рассмотренных конфигурациях элементов несущая способность не претерпевает значительных изменений в диапазоне  $0,15 \leq \chi \leq 0,25$ , достигая своих максимальных значений при  $\chi \approx 0,25$ .

2. При  $\chi > 0,25$  начинается снижение несущей способности, значение которой при  $\chi \approx 0,35$  составляет 95,25% и 99,2% от максимального для B25/C255 и B40/C355 соответственно. При  $\chi \approx 0,7$  данное значение опускается до 64,22% и 93,4%, что связано с уменьшением влияния обжатия бетонного ядра внутренней и внешней оболочками.

На основании вышеперечисленного был установлен оптимальный диапазон коэффициента пустотности  $0,15 \leq \chi \leq 0,35$ , при котором обеспечивается максимальное значение несущей способности. Значения  $\chi > 0,35$  рекомендуется принимать в случае необходимости использования внутреннего пространства конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Elchalakani, M. Single Skin and Double Skin Concrete Filled Tubular Structures: Analysis and Design / M. Elchalakani, B. Yang, P. Ayough – Woodhead Publishing, 2021. – Pp. 834. – ISBN 9780323903608.
2. Aziz, R.J. Finite Element Modelling of Concrete Filled Double Skin Steel Tubular Columns under Cyclic Axial Compression Load / R.J. Aziz, L.K. Al-Hadithy, S.M. Resen // Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences. – 2017. – Vol. 20. – №2. – Pp. 326–340.
3. Hu, H.-T. Nonlinear analysis of short concrete-filled double skin tube columns subjected to axial compressive forces / H.-T. Hu, F.-C. Su // Marine Structures. – 2011. – Vol. 24. – №4. – Pp. 319–337.
4. Tao, Z. Finite element modelling of concrete-filled steel stub columns under axial compression / Z. Tao, Z.-B. Wang, Q. Yu // Journal of Constructional Steel Research. – 2013. – Vol. 89. – Pp. 121–131.
5. Ultra-high strength circular short CFST columns: Axisymmetric analysis, behaviour and design / V. I. Patel, M. F. Hassanein, H.-T. Thai [et al.]. // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 179. – Pp. 268–283.
6. Explicit Simulation of Circular CFST Stub Columns with External Steel Confinement under Axial Compression / F. Alatshan, S.-A. Osman, F. Mashiri, R. Homid // Materials. – 2019. – Vol. 13. – №1. – Pp. 23.
7. Patel, V.I. Confined concrete model of circular, elliptical and octagonal CFST short columns / V.I. Patel, B. Uy, K.A. Prajwal, F. Aslani // Steel and Composite Structures. – 2016. – Vol. 22. – №3. – Pp. 497–520.

УДК 624.046:699.8

Б.О. Гапоненко, С.С. Зимин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ АУТРИГЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Экстремальные события (например, террористические акты, столкновения транспортных средств, взрывы и т.д.) часто наносят локальный ущерб строительным конструкциям и представляют серьезную угрозу, когда один или несколько вертикальных несущих элементов выходят из строя, что приводит к постепенному разрушению всего здания или его значительной части. По ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего здания или сооружения или его частей вследствие начального локального разрушения.

С начала 21-го века растет интерес к рискам, связанным с данными происшествиями, в том числе после разрушения Всемирного торгового центра в Нью-Йорке в 2001 году. Более актуальной становится проблема защиты конструкций от лавинообразного обрушения в связи с нарастающей популярностью строительства уникальных, высотных зданий, наиболее уязвимых к прогрессирующему обрушению, особенно если они являются частью важных инфраструктур или предполагают присутствие большого количества людей. Специалисты проводят активные исследования в поисках оптимального и достоверного способа проектирования защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. [1]

В России в 2019 году вступил в силу СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения», позволяющий регулировать проектную деятельность, оперируя официальными нормами. Предлагается 3 метода расчета конструкций на прогрессирующее обрушение: расчёт в статической постановке, расчёт кинематическим методом теории предельного равновесия, расчёт в динамической постановке.

*Цель работы* – выбор оптимального варианта защиты от прогрессирующего обрушения для высотного здания (бизнес-центра) по результатам расчёта в статической (квазистатической) постановке. Исследование проводится посредством моделирования расчетной схемы здания в ПБК SCAD++, её расчёта и анализа полученных результатов.

Исходные данные:

- Расчётная схема высотного здания с 31 наземным и 2 подземными этажами, высота здания – 124,8 м;
- Конструктивная система здания – каркасно-ствольная, из монолитного железобетона, с 2 ядрами жесткости, расположенными в противоположных углах здания;
- Стены ядер жесткости, 200 мм, В30. Колонны 800×800 мм, В40. Плиты перекрытия и покрытия, 200 мм, с капителями толщиной 400 мм, класс бетона В30;
- Тип фундамента – свайный с плитным ростверком, толщиной 1,4 м, класс бетона В40;
- Проведен прочностной расчет с учетом совместной работы здания с основанием, путем использования связей конечной жесткости, получены значения требуемого армирования железобетонных элементов.

Для расчета на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD++:

- Используется сочетание нагрузок, включающее постоянные нагрузки и длительные части временных нагрузок с коэффициентом сочетания – 1. Коэффициенты надежности по нагрузке и надежности по ответственности приняты равными 1 в соответствии с СП 385.1325800.2018 и СП 20.13330.2016;
- В качестве разрушаемого элемента принята крайняя колонна первого этажа;
- Расчёт выполняется в квазистатической постановке, для учета внезапности удаления элементов конструкции и эффекта падения обрушившихся конструкций вводятся коэффициенты динамичности, равные 2 и 1,5 соответственно. Проверка выполняется по первой группе предельных состояний.

По результатам анализа [2–4], в качестве конструктивного мероприятия для защиты здания от прогрессирующего обрушения было принято использования аутригерных систем. Аутригерные конструкции – пересекающиеся фермы, связи, диафрагмы или балки (балки-стенки), обеспечивающие повышенную жесткость здания или сооружения. Принято два варианта аутригеров: в виде опоясывающей сплошной железобетонной стены (толщина 250 мм, класс бетона В40) и внутренних диафрагм (толщина 200 мм, класс бетона В30), образующий монолитный жесткий блок (см. рис. 1) или в виде системы несущих железобетонных балок (сечение 800×1000, класс бетона В40), жестко сопряженных с колоннами, стенами ядер жесткости и плитой перекрытия (см. рис. 2).

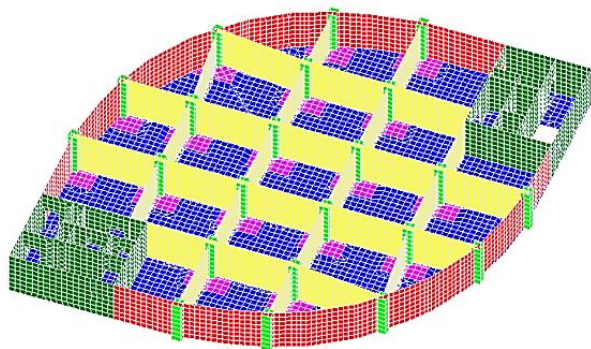


Рис. 1. Монолитный жесткий блок

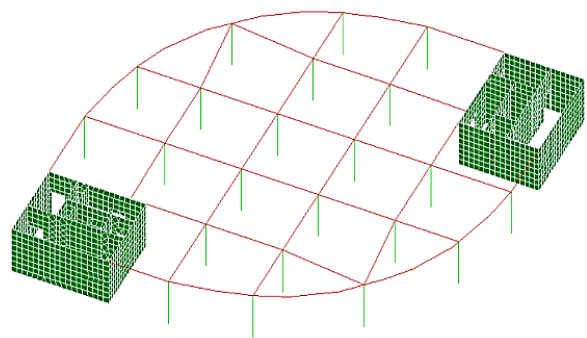


Рис. 2. Система несущих железобетонных балок

Исходя из рекомендаций и анализа, изложенных в [5–7], а также из принятых архитектурных решений, расположение аутригерной системы принято на 15 этаже (техническом).

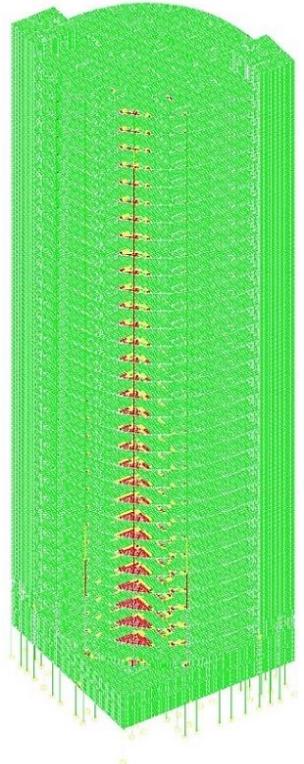
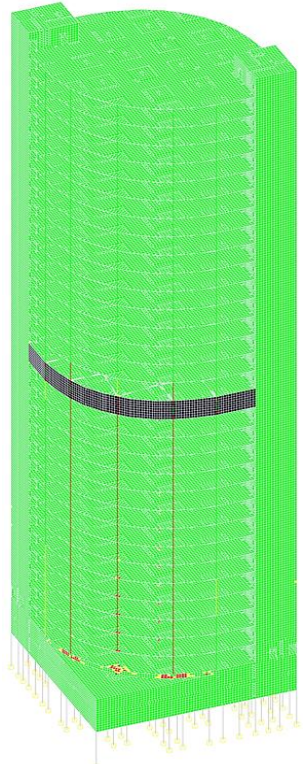
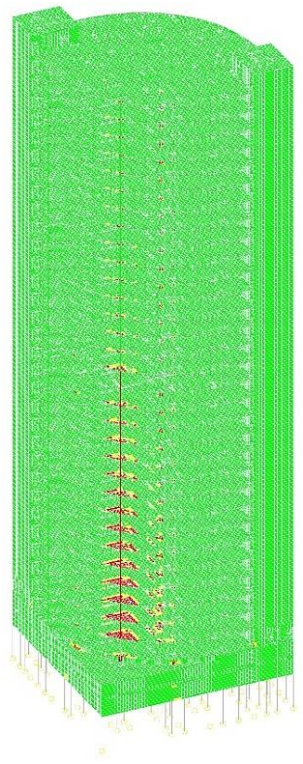
Результат расчёта высотного здания на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD++ приведены в таблице 1.

Количество разрушенных конечных элементов (далее – КЭ) на первом этапе прогрессирующего обрушения определяется по количеству элементов, чье значение коэффициента использования элемента (критического фактора  $K_{max}$ ) превышает 1,1 (см. табл. 1).

Выводы по результатам расчёта:

1. Устройство аутригера позволяет ограничить зону развития прогрессирующего обрушения здания по высоте за счёт перераспределения усилий в первую очередь на конструкции возле области обрушения (см. результаты в графическом виде в табл. 1).
2. Наилучший показатель по количеству разрушенных КЭ на первом этапе прогрессирующего обрушения получен при устройстве монолитного жесткого стенового блока (Вариант 2 в табл. 1). По результатам расчёта данной модели вышло из строя 406 КЭ, по сравнению с показателем 1852 разрушенных КЭ при расчете модели без дополнительных мероприятий по защите от прогрессирующего обрушения и 1247 КЭ при устройстве системы железобетонных балок. Конструкция аутригера в виде железобетонных опоясывающих стен и диафрагм имеет большую жесткость по сравнению с балочной системой, так как объединяет все колонны по высоте этажа, а также верхнее и нижнее перекрытия между собой.

Таблица 1 – Результаты расчета на прогрессирующее обрушение

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3																																																
Конструктивные мероприятия	–	Монолитный жесткий блок (см. рис. 1)	Система железобетонных балок (см. рис. 2)																																																
Результаты в графическом виде																																																			
Значения коэффициента использования и количество разрушенных элементов	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Критический фактор <math>K_{max}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,002</td> <td>0,9</td> <td>230836</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>1,1</td> <td>1147</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,1</td> <td>243821,375</td> <td>1852</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Критический фактор $K_{max}$				0,002	0,9	230836		0,9	1,1	1147		1,1	243821,375	1852		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Критический фактор <math>K_{max}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,002</td> <td>0,9</td> <td>235730</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>1,1</td> <td>275</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,1</td> <td>313849,813</td> <td>406</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Критический фактор $K_{max}$				0,002	0,9	235730		0,9	1,1	275		1,1	313849,813	406		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Критический фактор <math>K_{max}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,001</td> <td>0,9</td> <td>232876</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>1,1</td> <td>862</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,1</td> <td>259804,719</td> <td>1247</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Критический фактор $K_{max}$				0,001	0,9	232876		0,9	1,1	862		1,1	259804,719	1247	
Критический фактор $K_{max}$																																																			
0,002	0,9	230836																																																	
0,9	1,1	1147																																																	
1,1	243821,375	1852																																																	
Критический фактор $K_{max}$																																																			
0,002	0,9	235730																																																	
0,9	1,1	275																																																	
1,1	313849,813	406																																																	
Критический фактор $K_{max}$																																																			
0,001	0,9	232876																																																	
0,9	1,1	862																																																	
1,1	259804,719	1247																																																	

Исходя из полученных результатов, оптимальной конструкцией аутригерной системы для защиты высотного здания от прогрессирующего обрушения в данном случае принят монолитный жесткий блок в виде опоясывающих сплошных железобетонных стен и внутренних диафрагм.

В выборе оптимального конструктивного метода защиты от лавинообразного разрушения наблюдается ряд закономерностей, что позволяет сформировать эффективные рекомендации для проектирования. В то же время, для каждого здания или сооружения требуется разработка индивидуальной системы защиты, что в совокупности с неизбежным ростом объемов материалов, может значительно увеличить стоимость проекта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Москалев М.Б., Силантьев Д.М. Прогрессирующее обрушение: термины, проблематика и факты // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 34. – С. 1214–1218.
2. Холмогорова Т.Н. Вопрос эффективности и целесообразности использования аутригерного этажа для защиты зданий с монолитным каркасом от прогрессирующего обрушения // Молодой исследователь Дона. – 2019. – № 1(16). – С. 78–81.
3. Егоров П.И., Милевская О.Ю. Способы защиты зданий каркасного типа от прогрессирующего обрушения // Ученые заметки ТОГУ. – 2014. – Т. 5. – №. 2. – С. 12–20.
4. Wael Alhaddad, Yahia Halabi, Hu Xu, HongGang Lei. A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers // Structures. Volume 27, 2020, Pages 989-998.
5. Wael Alhaddad, Yahia Halabi, Hu Xu, HongGang Lei. Outrigger and Belt-Truss System Design for High-Rise Buildings: A Comprehensive Review Part II – Guideline for Optimum Topology and Size Design // Advances in Civil Engineering, vol. 2020, Article ID 2589735, 30 pages, 2020.
6. Eltobgy H.H. Optimum belt truss locations to enhance the structural performance of high-rise steel buildings // Wulfenia Journal Klagenfurt. Austria. – 2013. – Т. 20. – №.6.
7. Tavakoli R., Kamgar R., Rahgozar R. The best location of belt truss system in tall buildings using multiple criteria subjected to blast loading // Civil Engineering Journal. – 2018. – Т. 4. – №. 6. – С. 1338–1353.

УДК 69.07

Е.П. Чуднова, Е.Л. Абичев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ УСТРОЕННОЙ ПО НИМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ

*Актуальность:* при реконструкции деревянных несущих элементов зданий старого фонда существует необходимость применения стройматериалов, отличных от использованных при застройке, для усиления и продления срока службы конструкции. Данным вопросом ранее занимались несколько специалистов: Д.Ю. Стрельцов [4] проанализировал какое влияние на несущую способность деревянных балок оказывает их долгая эксплуатация, авторы диссертаций и научных статей [2, 3, 5] провели широкий анализ совместной работы конструкций из железобетона и дерева, Belash T.A., Ivanova Z.V. [1] использовали идею комбинации железобетона и дерева в сейсмоопасных зонах.

*Цель работы* – разработка и обоснование конструктивного решения усиления межэтажного деревянного перекрытия путем наращивая сталежелезобетонных элементов.

*Объект исследования* – межэтажное перекрытие по деревянным балкам, в качестве примера принято реконструируемое перекрытие жилого помещения с объекта на улице Каменноостровский пр., СПб. Здание возведено в 1952 году и ранее никаких изменений в его конструктивную составляющую не вносились (рис. 1).

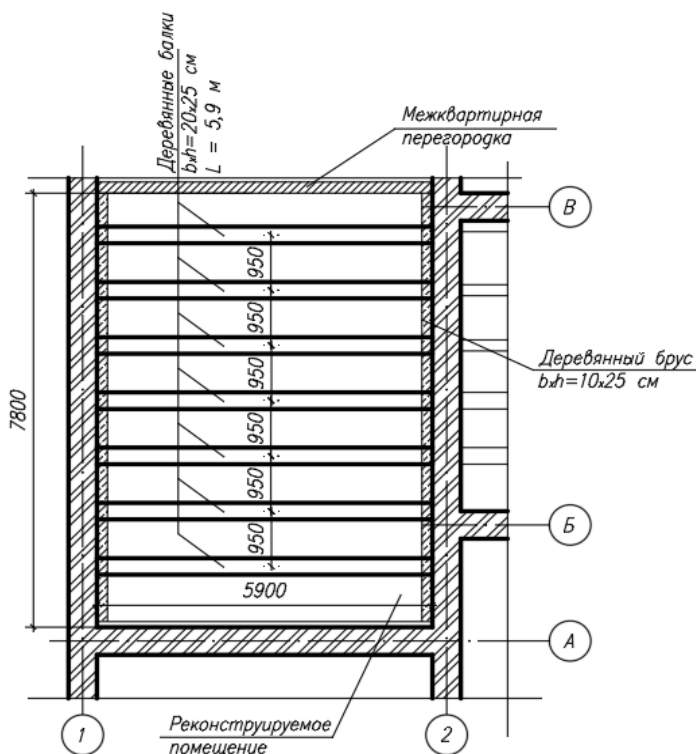


Рис. 1. Схема расположения балок перекрытия

Рассчитаны геометрические характеристики сечения балок при существующем составе перекрытия, определены максимальные усилия и предельный прогиб.

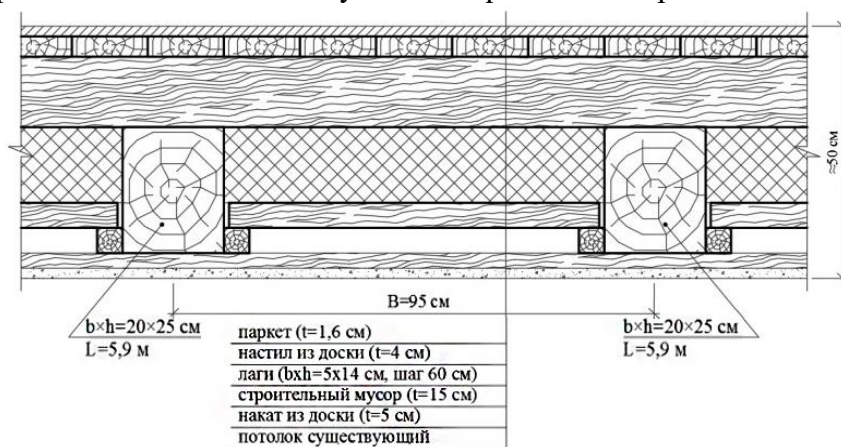


Рис. 2. Существующий состав межэтажного перекрытия

Предельный прогиб деревянных балок составляет:

$$f_u = \frac{1}{203} l_p = \frac{1}{203} 6,4 = 0,031 \text{ м} = 3,1 \text{ см}, \quad (1)$$

где  $l_p$  – расчетный пролет балок, (принят равным  $L + 0,5 = 5,9 + 0,5 = 6,4$  м; рис. 3).

Прогиб при существующем составе перекрытия от действующих нагрузок, с учетом понижающих коэффициентов:

$$f = 0,032 \text{ м} = 3,2 \text{ см} > f_u = 3,1 \text{ см}. \quad (2)$$

Прогиб, полученный в расчете, превышает предельно допустимый, следовательно жесткость (недостаток 5%) и устойчивость перекрытия не обеспечена. Из расчета также

В ходе обследования технического состояния перекрытия выявлено: перекрытие устроено по деревянным балкам с шагом  $B = 95$  см и постоянным сечением  $20 \times 25$  см; не выявлено трещин усушки, биопоражений, и утраты местного сечения; выявлено отклонение перекрытия от отметки этажа на 5 см (предположительно, ошибка монтажа);

Выводы, полученные в результате исследования, справедливы для аналогичных перекрытий по деревянным балкам, которым требуются реконструкционные работы. В ходе проведения расчета произведен сбор нагрузок на перекрытие в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Учтены следующие нагрузки: полезная, полезная пониженная, вес плиты и чистого пола (рис. 2) и нагрузка от временных перегородок.

выяснено, что не обеспечена и прочность исследуемой конструкции (недостаток 15%). Необходимо провести усиление путем наращивания на деревянные балки сталежелезобетонное перекрытие по профлисту НС-35. Расчет усиления выполнен в сателлите «Арбат» комплекса SCAD office. Расчет представлен в виде поверочного расчета «ячейки» (одной гофры) плиты (рис. 4). Геометрические размеры и армирование которой приняты исходя из конструктивных соображений.

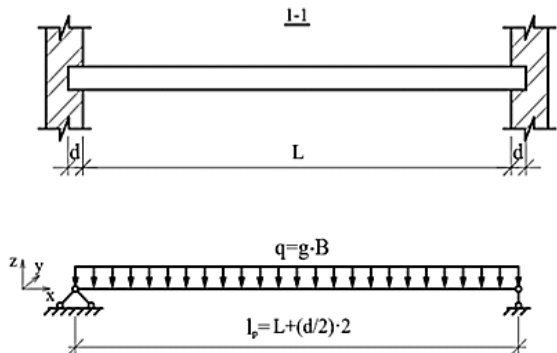


Рис. 3. Расчетная схема балок

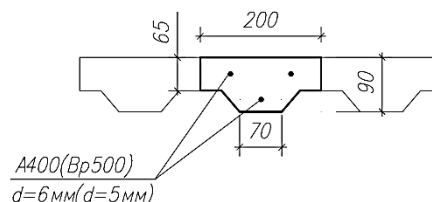


Рис. 4. Геометрические размеры и армирование одной гофры плиты по профлисту

Длина рассчитываемой гофры принята в виде многопролетной балки с расчетными пролетами, равными среднему шагу балок  $B = 95$  см. Прогиб балки, под воздействием нагрузок, не превысил и 5 мм, следовательно, принятая плита имеет большой запас несущей способности и жесткости. На следующем этапе, по наибольшему прогибу было подобрано эквивалентное сечение для последующего расчета плиты прямоугольного сечения в SCAD office связанной невозможностью задания сложного сечения гофры (рис. 5).

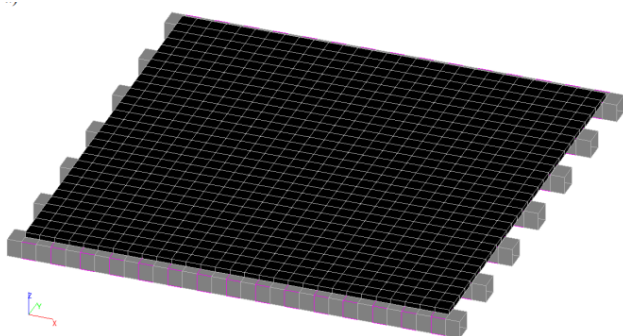


Рис. 5. Расчетная модель перекрытия в SCAD++

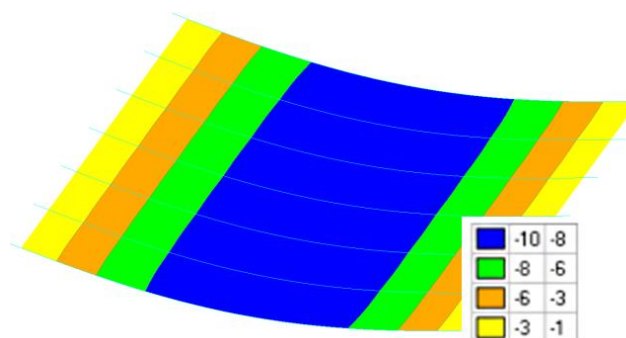


Рис. 6. Изополю перемещения перекрытия, мм

Расчет с помощью SCAD office показал, что наибольший коэффициент использования деревянных балок не превышает 0,5 (запас прочности 50%), а наибольший прогиб перекрытий составляет  $f' = 1,0$  см, что не превышает предельного прогиба  $f_u = 3,1$  см, вследствие чего сохраняется устойчивость и жесткость элемента (запас жесткости 70%) (рис.6).

Из вышеперечисленного можно сделать следующие *выводы*:

1. Усиленное перекрытие по деревянным балкам приобретает большой запас прочности, жесткости и устойчивости, чем рассматриваемое перекрытие до реконструкции (разница до реконструкции и после в запасе прочности составляет 35%; разница в запасе жесткости – 65%).
2. Максимальный прогиб, в сравнении с изначальным, запроектированной конструкции после усиления не превышает предельный ( $f' = 1,0$  см  $<$   $f_u = 3,1$  см) разница между прогибами составляет: 2,2 см.
3. Исключается эффект «зыбкости», характерный для деревянных перекрытий.

4. Данное конструктивное решение перекрытия превосходит по всем параметрам изначально существующее, его свойства выгодны для реконструкции и позволяют с наименьшими затратами увеличить срок эксплуатации сооружения, и частично сохранить имеющиеся конструкцию, не нарушая целостность балок, ограждающих элементов и потолочных плит нижнего этажа. Также, подобное усиление может применяться в объектах нового строительства, в случае использования в них деревянных элементов конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Belash T.A., Ivanova Z.V. Timber frame buildings with efficient junction designs for earthquakeprone areas // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 8 (92). С. 84–95.
2. Dias A., Schänzlin J., Dietsch P. Design of timber-concrete composite structures // 2018. С. 228.
3. Абдрахманов И.С. Прочность и деформативность деревожелезобетонных изгибаемых элементов при статических и повторных нагрузениях / И.С. Абдрахманов // Автореферат. – 2009 – С. 43.
4. Стрельцов Д.Ю. Исследование несущей способности длительно эксплуатируемых деревянных конструкций. Дис. . канд. техн. наук. 05.23.01/Стрельцов Денис Юрьевич -М., 2003. – 168с.
5. Шакиров И.Ф. Прочность деревожелезобетонных изгибаемых элементов в зоне совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил: дис. ... канд. техн. наук 05.23.01/ Шакиров Илдус Фатихович – М., 2007. – 193 с.

UDC 624.94.012.45

A.H. Abioye, K.I. Strelets, S.S. Zimin  
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

## DESIGN OF HIGH-RISE BUILDINGS USING THE OUTRIGGER SYSTEM OF DESIGN

The purpose of this article is to determine the optimum number of Outrigger systems to install in a building to increase the stability and minimize the lateral displacement caused majorly by wind loads acting on the building.

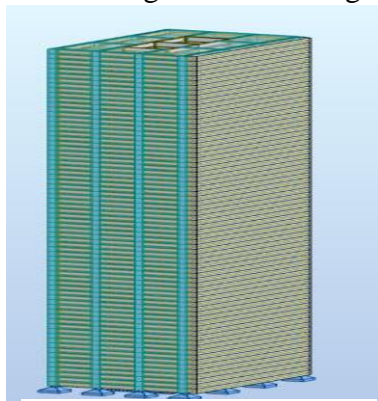


Fig. 1

The structural outrigger system is one of the lateral loads resisting systems in which the perimeter columns are tied to the central core with very stiff outriggers at one or more levels to increase lateral stability and to reduce deformation and story drifts in tall buildings.

To achieve this goal, Autodesk Robot Structural Analysis software was used for the design and analysis of a 3-dimensional model of a rectangular plan of a 70-story building (3D view of the 70-story rectangular model, Fig.1), and it was realized the optimum load acting on the building is the wind load.

The lateral load analysis was made using the same model, placing multiple outriggers at different levels in the model, and the outrigger locations with the least deflection were chosen to be the

optimum position to situate our outriggers.

At the first stage of the theoretical research, several research works on the cases of High-rise buildings with structural outrigger system of the design was reviewed and evaluated to know the optimum locations to install outriggers systems.

At the second stage of the Experimental research, Autodesk Robot Structural Analysis software was used to model and design a 3D 70 stories rectangular reinforced concrete building.

The 70-story building will be in Nigeria, a country in West Africa. Plan view of the 70-story rectangular model with short load path, Fig. 2.



- Elements Specifications:
  - Floor height = 4000 mm;
  - Concrete Slab = 200 mm (assumed thickness for slab);
  - Reinforced Concrete beam C60 = 500×1000 mm;
  - Reinforced Concrete Column C60 = 2100×2100 mm (1...30<sup>th</sup> floor);
  - Reinforced Concrete Column C60 = 1800×1800 mm (31...50<sup>th</sup> floor);
  - Reinforced Concrete Column C60 = 1200×1800 mm (51...70<sup>th</sup> floor);
  - Reinforced Concrete Core Wall C60 = 1200 mm.
- Code of practice for design:
  - Concrete / RC Structures = BS 8110;
  - Wind load = EN 1991-1-3/4:2005;
  - Steel connections = EN 1993-1-8:2005/AC:200;
- Loadings (diagram showing loadings on the model, Fig. 3):
  - Imposed load (Uniformly distributed loads);
  - Live load = 4.0 kN/m<sup>2</sup> (for a general office building);
  - Dead load
    - Slab load (uniformly distributed loads on slab)
    - Concrete own weight = 0.18×24 = 4.32 kN/m<sup>2</sup>;
    - Finishes on slab = 1.50 kN/m<sup>2</sup>.
    - Wall load (Point load on beam):
    - 225 mm Brick block weight = 2.87kN/m<sup>2</sup>;
    - Brick block weight on beam = 2.87×4 = 11.48 kN/m;
    - Cladding – Glass material (point load)
    - Glass weight on beam = 1.197×4 = 4.788 kN/m;
  - Lateral loads
    - Wind load – wind velocity 42 m/s in Nigeria, applied in the X and Y direction.

A conventional outrigger system was used since we had a short load path from the core to the perimeter column, and it proves to provide more stiffness and efficiency (diagram showing a conventional system of outrigger connection, Fig. 4).

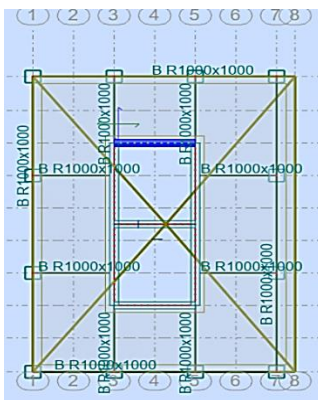


Fig. 2

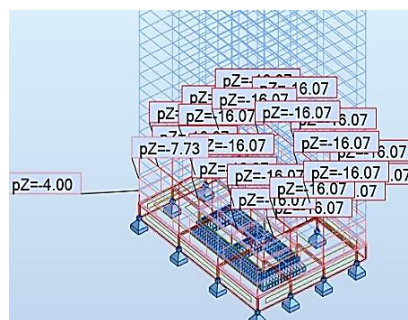


Fig. 3

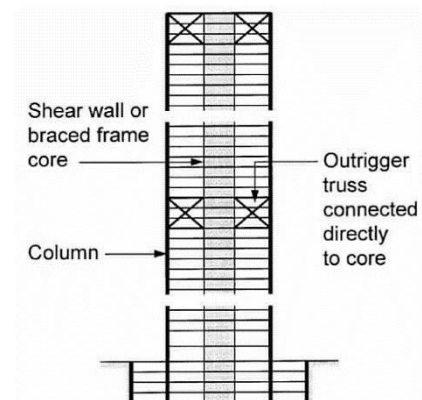


Fig. 4

At the third stage of the Observational trial, Lateral loads analysis on the X and Y direction was made using three same models, placing multiple outriggers at different levels in the model, and the model with the minor displacement will be the model with the optimum number of outrigger levels. During this stage, three models were subjected to lateral loads. The first model had no outrigger system; the second model had an outrigger system placed at two different levels, while the third model had an outriggers system placed at three different levels, respectively. The levels at which the

outriggers were placed are 0.33, 0.5, and 0.99 of the building height [3]. The outrigger levels for the Second model were placed at 35<sup>th</sup> and 70<sup>th</sup> floor [6][5], and levels for the third model were placed at 23<sup>rd</sup>, 35<sup>th</sup>, and 70<sup>th</sup> floor [1, 6].

There was a significant lateral displacement reduction in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> model to about 65% and 69%, respectively, compared to the model without any outrigger level. Also, there was a significant reduction in moment at the base of the core of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> model to about 21% and 27% compared to the first model without any outrigger levels. A three-dimensional Finite Element Analysis is performed on the three models to know the deflection; the reductions in lateral deflection are 42% in the 2<sup>nd</sup> model with two outrigger levels and 51% in the 3<sup>rd</sup> model with three outrigger levels as compared to the 1<sup>st</sup> model without any outrigger system. There is an appreciable decline in the story drifts with the introduction of these stiffer arrangements.

The result of the investigation shows that the outriggers system performs significantly well in the reduction of lateral displacement, overturning of base core, and lateral deflection in tall buildings.

#### REFERENCES:

1. Gupta A., Podder D. Optimum position of outrigger-belt system in a high-rise RCC building through pushover analysis // Asian Journal of Civil Engineering. 2020. T. 22. № 2. C. 277–296.
2. Kheyroddin A., Beiraghi H. Wind-induced response of half-storey outrigger brace system in tall buildings // Current Science. 2017. T. 112. № 4. C. 855–861
3. Kala A., Mangulkar M., Jain I. The use of outrigger and belt truss system for high-rise RCC building // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2017. T. 8. № 7. C. 1125–1129.
4. Kamath K. A Study on Static and Dynamic Behavior of Outrigger Structural System for Tall Buildings // Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science. 2012. T. 2. № 4. C. 15–20.
5. Venkat Rao B. et al. Study on Optimum Location of Outrigger for High-Rise Building // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. T. 75. C. 337–344
6. Optimum position of an outrigger system in a high rise reinforced concrete building // International Journal of Recent Trends in Engineering and Research. 2018. T. 4. № 6. C. 27–35.

UDC 624.042.41

A.H. Abioye  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

#### EFFECTS OF WIND ACTIONS ON CIVIL ENGINEERING STRUCTURES

Purpose of this article is to emphasize on the Adverse effects of wind loads which is the dominant lateral/ horizontal load acting on tall buildings and how the effects can be managed.

At the first stage of the theoretical research several literatures were examined on the adverse effects of wind on several civil engineering structures with high concentration on Highrise buildings. When the wind blows on a building, the resultant force acting on the elevations is called the "wind load". Wind loads depend on various factors such as wind speed of a particular location, meteorological records (average wind velocities), shape, height, and surface of the building.[1] Shear force on longitudinal member i.e. column is increased due to wind load. Lateral force of wind is high as higher story of the building.

On the windward side, wind over-pressure may blow the window in, and on the leeward side, under-pressure (suction) may blow the window out [2] (diagram showing how wind pressure and suction. Fig 1). Glass-clad buildings with very smooth surfaces tend to deflect the wind more effectively than textured surface, as do Circular shaped buildings compared to square-shaped buildings.

Wind exerts three main types of forces on structures: Shear load – Horizontal wind pressure that could cause cracking of walls, making a building sway; Uplift load – Wind flow pressures create a very strong lifting effect on the building roof; Lateral load – Horizontal pushing and pulling pressure on walls that could make a structure slide off the foundation or overturn.

Reducing Sway. Tall buildings sway when the wind blows because their height makes them more susceptible. As strong winds move around the building, the less stressed areas of the skyscraper create suction, pulling on the building and causing it to sway (a sway building model, Fig. 2). While usually not causing any structural damage, occupants can feel the movement and cause discomfort or alarm [3].

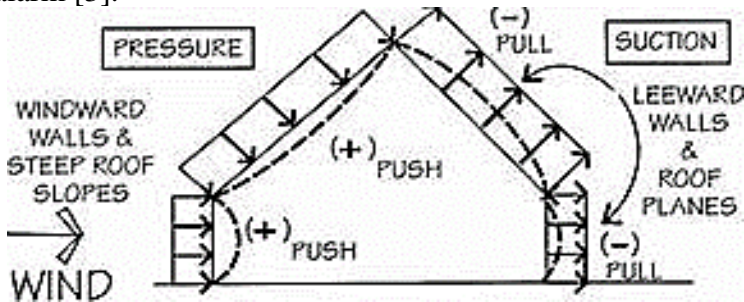


Fig. 1



Fig. 2

One way to reduce sway movement in a tall building is to install concrete weights (mounted mass dampers) on the top floor of the building. The dampers should be supported by cables and hydraulic cylinders and can weigh more than 1,000 tons and resist the movement of the building by slowing it to acceptable limits. The dampers comprise of heavy concrete weights swinging back and forth that counterbalance the movement of the building due to the wind force acting side to side to compensate for the wind-induced movement. Weight movements are controlled by computers that track the movement of the building and react accordingly [3]. Another way to reduce sway movement is to gradually increase the thickness of concrete floors towards the top of the building, thereby increasing the mass of the structure. Also, sway can be reduced by using ultralight weight slab.

Wind Uplift: all building roofs are subject to wind uplift depending on location, terrain, height, size, shape, and exposure. Wind uplift happens when the air pressure below the roof exceeds the air pressure above it. (Model showing wind uplift, Fig. 3) Wind uplifting is exacerbated during high winds. Air infiltration into a building increases the pressure under the roof, while wind speeds on the roof surface reduce the air pressure above it. If the pressure difference becomes too great, the roof gets damaged [4].

Lateral Loads are horizontal forces acting on a structure and are different to gravity loads. The shear/ core wall is used in tall buildings to resist lateral loads. (Shear wall and outrigger truss model, Fig. 4). The structural elements of the building must effectively absorb wind forces and transmit them through the floor slabs or outriggers to the shear wall thereafter transferred to the foundation to avoid structural collapse [5]. Bracing can also be used to resist lateral loads. Lateral loads are live load.

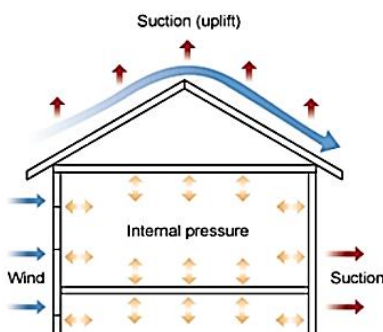


Fig. 3

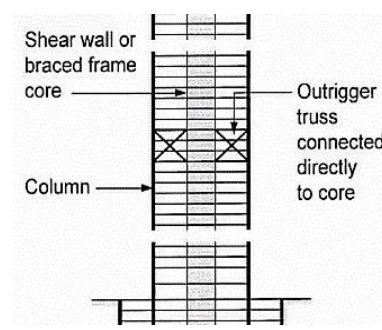


Fig. 4

Wind Load Calculation Formula Using Indian standard code: IS 875-3: 2015 [6]. Different countries adopt different codes for calculating wind load due to various factors. Basic wind speed  $V_b$  should be modified to calculate design wind velocity at any height.

Design wind speed at height  $V_z$  ( $\frac{m}{s}$ ), m/s:

$$V_z = V_b K_1 K_2 K_3 K_4, \quad (1)$$

where  $V_b$  is the Basic wind speed, m/s;  $K_1$  is the Probability factor (risk coefficient) (Table 1 of IS 875-3 presents the risk coefficients  $K_1$  for different classes of structures in different wind speed zones, Fig. 5);  $K_2$  is the Terrain roughness and height factor;  $K_3$  is the Topography factor;  $K_4$  is the Importance factor;  $K_d$  is Wind directionality factor. Equal to 1.0 when considering local pressure coefficients;  $K_a$  is the Area averaging factor;  $K_c$  is the Combination factor;  $P_z$  is equal to  $0.60V_z^2$  in Pa.

Design wind pressure, Pa:

$$P_d = K_d K_a K_c P_z, \quad (2)$$

$$P_d > 0.70P_z.$$

Design pressure  $P_d$  will be distributed to the members by using (3).

Wind force on the surface or members, N:

$$F = (C_{pe} - C_{pi}) A P_d, \quad (3)$$

where  $A$  is the surface area of the structural element or cladding unit,  $C_{pe}$  is the external pressure coefficients;  $C_{pi}$  is the internal pressure coefficients.

**Table 1 Risk Coefficients for Different Classes of Structures in Different Wind Speed Zones**  
(Clause 6.3.1)

Sl No.	Class of Structure	Mean Probable Design Life of Structure in Years	$k_1$ Factor for Basic Wind Speed m/s					
			33	39	44	47	50	55
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
i)	All general buildings and structures	50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ii)	Temporary sheds, structures such as those used during construction operations (for example, formwork and false work), structures during construction stages and boundary walls	5	0.82	0.76	0.73	0.71	0.70	0.67
iii)	Buildings and structures presenting a low degree of hazard to life and property in the event of failure, such as isolated towers in wooded areas, farm buildings other than residential buildings	25	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89
iv)	Important buildings and structures such as hospitals communication buildings/towers, power plant structures	100	1.05	1.06	1.07	1.07	1.08	1.08

Fig. 5

Preventing wind damage involves increasing strength in the areas where buildings could come apart. The roof, walls, and foundation must be rigid, and the attachments between them must be solid and secure, also it must have a continuous load path from the roof to the foundation [1].

#### REFERENCES:

1. Biswas P., Peronto J. Design and performance of tall buildings for wind // Design and Performance of Tall Buildings for Wind. 2020. C. 1–90
2. Lipecki T. Pressure distribution on rectangular tall buildings in boundary layer flows // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2022. T. 22. № 2. C. 83.
3. Pozos-Estrada A., Gómez R. Parametric study of the use and optimization of tuned mass dampers to control the wind- and seismic-induced responses of a slender monument // Structural Design of Tall and Special Buildings. 2019. T. 28. № 13
4. Aly A.M., Bresowar J. Aerodynamic mitigation of wind-induced uplift forces on low-rise buildings: A comparative study // Journal of Building Engineering. 2016. T. 5. C. 267–276.
5. Salman K. et al. Optimal control on structural response using outrigger braced frame system under lateral loads // Journal of Structural Integrity and Maintenance. 2020. T. 5. № 1. C. 40–50.
6. Kumar K.S. Wind loading on tall buildings: Review of Indian Standards and recommended amendments // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2020. T. 204.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ МЕЖКОМНАТНЫХ ПЕРЕГОРОДОК

*Введение.* Одним из факторов, определяющих комфортность среды обитания человека, является качество звуковой среды, что очень важно для жилых районов современной городской застройки. Рост технической вооруженности современного человека неизбежно приводит к увеличению шумов в повседневной жизни. Одним из способов защиты жилища от шумов является применение ограждающих конструкций с высокими звукоизолирующими свойствами. В этой связи задача достоверной оценки звукоизоляционных свойств конструкций и их элементов, применяемых для устройства межкомнатных перегородок, является актуальной [1, 3].

*Объект исследования:* конструкции межкомнатных перегородок и составляющие их слои.

*Предмет исследования:* характеристики звукоизолирующих свойств.

*Цель работы* – определение звукоизоляционных характеристик материалов конструкций перегородок экспресс-методом с помощью малых акустических камер [2].

*Задачи исследования:*

1. Экспериментальные исследования характеристик звукоизолирующих свойств материалов для межкомнатных перегородок, наиболее широко применяемых в современном строительстве.
2. Разработка предложений по применению строительных звукоизоляционных материалов в современных конструкциях зданий.

*Методика исследований.*

Использована измерительная установка типа УИЗ-2М, состоящая из двух камер [2] (рис. 1). Проем между камерами имеет прямоугольную форму и позволяют исследовать конструкции размерами 500×500 мм. В одной из камер расположен генератор тестового сигнала NRG-201, излучающий шум, а в другой – анализатор звукового давления Алгоритм 03 [4, 5].

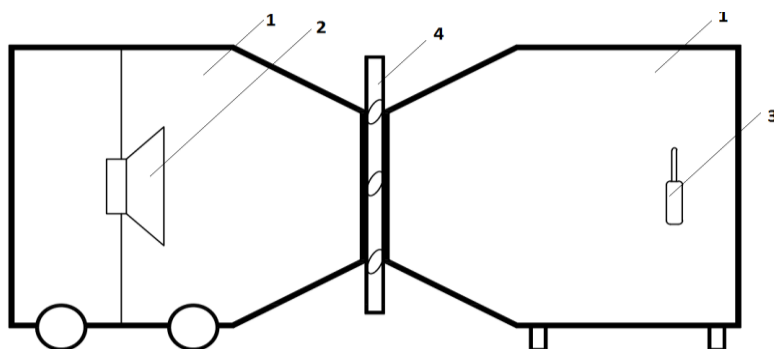


Рис. 1. Схема установки УИЗ-2М:

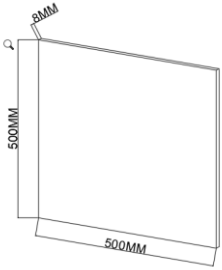
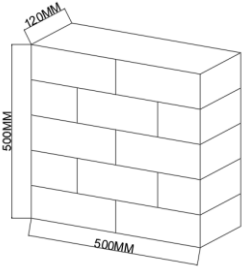
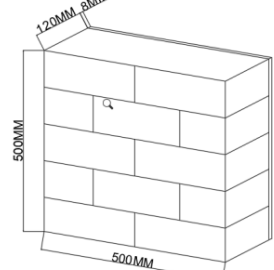
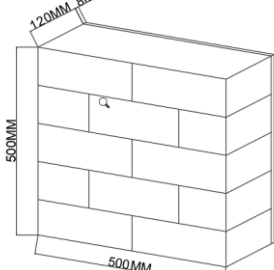
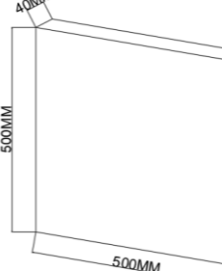
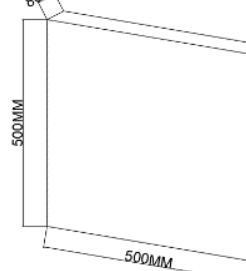
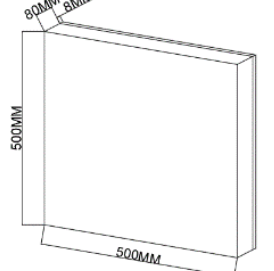
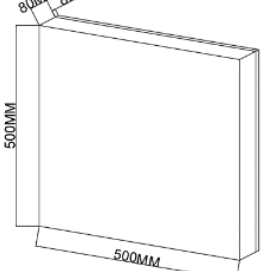
- 1 – звукомерные реверберационные камеры; 2 – излучатель акустической системы;  
3 – микрофон; 4 – испытываемая конструкция

На первом этапе испытаний определялись начальные значения спектра звукового давления при плотном взаимном соединении камер без исследуемых образцов. Затем между

секциями камер устанавливались поочередно образцы конструкций и слоев перегородок, при этом уровень излучаемого сигнала не менялся.

Конструкции опытных образцов из материалов для перегородок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Конструкции опытных образцов

Гипсокартонные листы $\delta = 8$ мм	Стенка из пустотелого кирпича $\delta = 120$ мм	Стенка из пустотелого кирпича $\delta = 120$ мм + лист гипсокартона $\delta = 8$ мм	Стенка из пустотелого кирпича $\delta = 120$ мм + 2 листа гипсокартона $2 \cdot (\delta = 8 \text{ мм}) = 16$ мм
			
Пенопласт $\delta = 40$ мм	Гипсовая пазогребневая плита ВОЛМА $\delta = 80$ мм	Гипсовая пазогребневая плита ВОЛМА $\delta = 80$ мм + лист гипсокартона $\delta = 8$ мм	Гипсовая пазогребневая плита ВОЛМА $\delta = 80$ мм + 2 листа гипсокартона $2 \cdot (\delta = 8 \text{ мм}) = 16$ мм
			

По результатам измерений проводился качественный анализ звукоизолирующей способности испытываемых образцов по значениям перепадов уровней звукового давления по формуле:

$$D = L_{1i} - L_{2i}, \quad (1)$$

где  $L_{1i}$  – средний полученный уровень звукового давления сигнала при отсутствии испытываемого фрагмента в третьоктавных полосах частот (дБ);  $L_{2i}$  – то же, при наличии испытываемого фрагмента (дБ).

Результаты измерений, представленные на рисунке 2, выражаются величинами разности звуковых давлений  $D$  соответственно частотным характеристикам излучаемого сигнала.

В целом, для всех конструкций наблюдаются близкие к аффинному подобию соотношения измеряемых величин для всех трех диапазонов частот – низкочастотного (НЧ) от 100 до 500 Гц, среднечастотного (СЧ) от 500 до 1000 Гц и высокочастотного (ВЧ) от 1000 до 5000 Гц.

Подобные методики измерения звукоизолирующих свойств материалов применяются и в КНР [6].

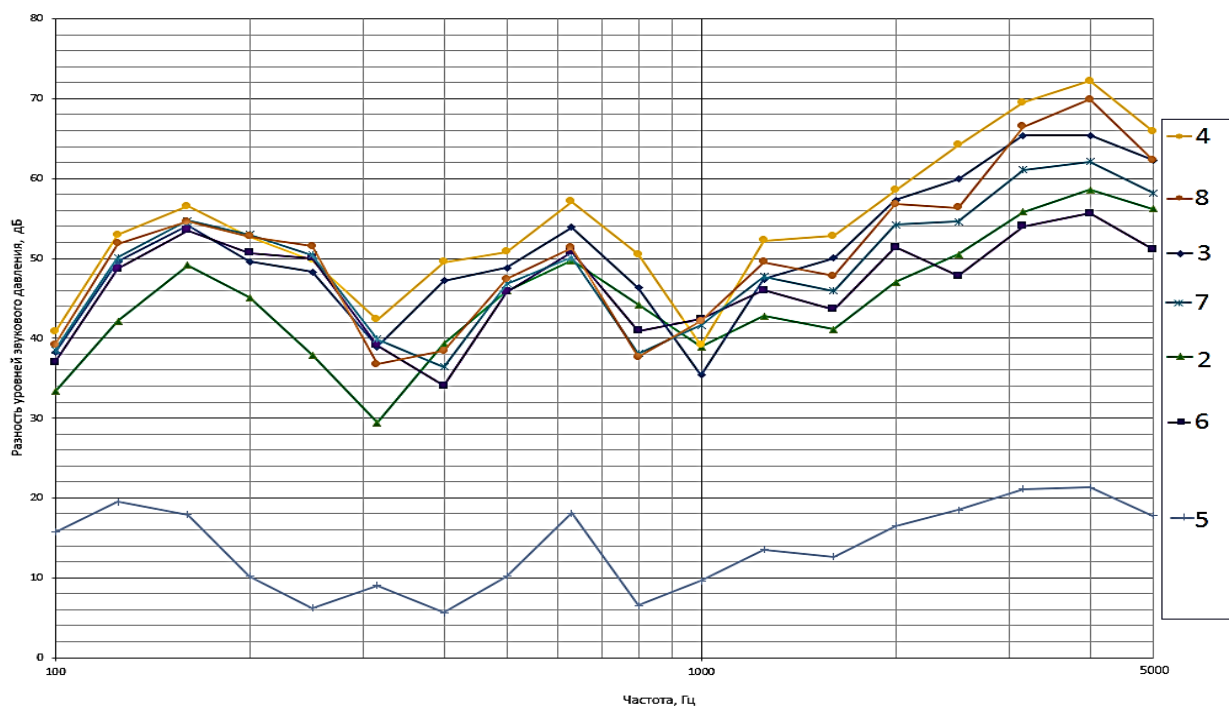


Рис. 2. Графики зависимости разности звуковых давлений  $D$  в камере соответственно типам испытанных конструкций

**Выводы:**

1. Во всем диапазоне от 100 до 5000 Гц наиболее эффективным по показателям звукоизоляции является образец стены из пустотелого кирпича  $\delta = 120$  мм с двухсторонней отделкой листами гипсокартона толщиной по  $\delta = 8$  мм.

2. Достаточно широко применяемые в настоящее время для устройства перегородок гипсобетонные пазогребневые плиты ВОЛМА  $\delta = 80$  мм с отделкой двумя листами гипсокартона показывают звукоизолирующие характеристики на 4, 12 и 3% ниже таковых у перегородок из пустотелого кирпича соответственно для диапазонов низких, средних и высоких частот излучаемого сигнала.

**ЛИТЕРАТУРА:**

- Cuthbertson D., Berardi U., Briens C., Berruti F. Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties // Biomass and Bioenergy. 2019]. URL: doi:10.1016/j.biombioe.2018.11.007 (дата обращения 28.02.2022).
- Тюрин А.П. Разработка экспериментальной установки для проведения лабораторных исследований шумозащитных материалов / А.П. Тюрин // Noise Theory and Practice. 2021. №5 (27).
- Способы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей / В.Н. Бобылев, В.И. Ерофеев, Д.В. Мониц [и др.] // Приволжский научный журнал. 2021. № 2(58). – С. 32–45.
- Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. – Л.: Судостроение, 1986. – С. 329–338.
- Осипов Г.Л. Акустические измерения в строительстве. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 36–39.
- Чжан Цзюньтуань. Анализ системы виброизоляции при случайном возбуждении и исследовании виброизолятора [D]. Сиань, Сианьский университет электронных наук и технологий, 2008.

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПЕРЕКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОГНЕСТОЙКОГО ПОДВЕСНОГО ПОТОЛКА

*Актуальность* исследования обусловлена необходимостью повышения пределов огнестойкости несущих конструкций при использовании системы огнестойкого подвесного потолка в качестве пассивной противопожарной защиты.

*Цель работы* – сравнительный анализ пределов огнестойкости нескольких моделей подвесного потолка с различными размерами теплоизоляционного слоя, а также оценка возможности улучшения технико-экономических показателей данной конструкции.

При пожарах в зданиях строительные конструкции с огнезащитой находятся под действием постоянной нормативной нагрузки. В процессе деформирования несущих стержневых конструкций при нагреве в огнезащитных покрытиях и облицовках могут образовываться трещины и отслоения от поверхности металла [1].

В пассивной противопожарной защите огнестойкий потолок функционирует как облицовка, включающая в себя любой несущий каркас, вешалки, крепления и любой изоляционный материал. Назначение огнестойкого потолка в противопожарной защите – горизонтальное разделение здания или определенного отсека [2–4].

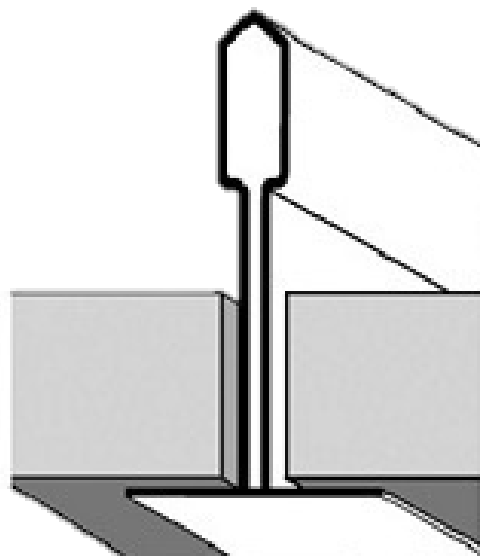


Рис. 13. Потолочная плита «ULTIMA+ BOARD»

В качестве примера такой системы огнестойкого потолка рассмотрим систему, представляющую собой сборную горизонтальную металлическую конструкцию из Т-образных профилей, L-образных молдингов, вертикальных подвесов, выполненных из проволоки, и соединительных элементов. Лицевые элементы – плиты заполнения марки «ULTIMA+ BOARD» производства Armstrong Building Products GmbH (см. рис. 1).

Плиты заполнения марки «ULTIMA+ BOARD» – изделия с прямоугольной кромкой, изготовленные на основе твердого минерального волокна, окрашенного в белый цвет.

Подвесные потолки, применяемые для повышения пределов огнестойкости перекрытий и покрытий, по классу пожарной опасности должны соответствовать требованиям, предъявляемым к этим перекрытиям и покрытиям в соответствии с СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты.

Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

Испытания образцов проведены исходя из требований ГОСТ Р 53298-2009 «Потолки подвесные. Метод испытания на огнестойкость». Результаты наблюдений при испытании образцов в условиях стандартного температурного режима приведены в таблице 1.

Рассмотрим возможность улучшения технико-экономических характеристик конструкции путем уменьшения теплоизоляционного слоя в полтора раза. Для сравнительного анализа создадим модели распределения температурных полей в программном комплексе



SOFiSTiK [5, 6] трех образцов огнестойкого подвесного потолка – со стандартными и с уменьшенными в 1,5 и 2 раза толщинами слоя минерального волокна (рис. 2).

Результаты моделирования и огневого испытания наглядно показаны на графике изменения среднеарифметического значения температуры на стальных балках (рис. 3).

Таблица 1 – Результаты испытаний

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра	
		По ГОСТ	Фактическое
1	Температурный режим в печи	$T - T_0 = 345lg(8t + l)$	В пределах норм
2	Избыточное давление в огневой камере печи через (5±0,5) мин. после начала огневых испытаний, Па	10±2	9...11
3	Потеря несущей способности	Потеря несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций	Спустя 120 минут после начала испытания потери несущей способности не произошло
4	Достижение критической температуры	Достижение критической температуры 500 °С на стальных балках	Спустя 120 минут превышения среднеарифметической температуры 500 °С на стальных балках не произошло
5	Потеря целостности	Потеря целостности – обрушение лицевых элементов подвесного потолка	Потери целостности не зафиксировано

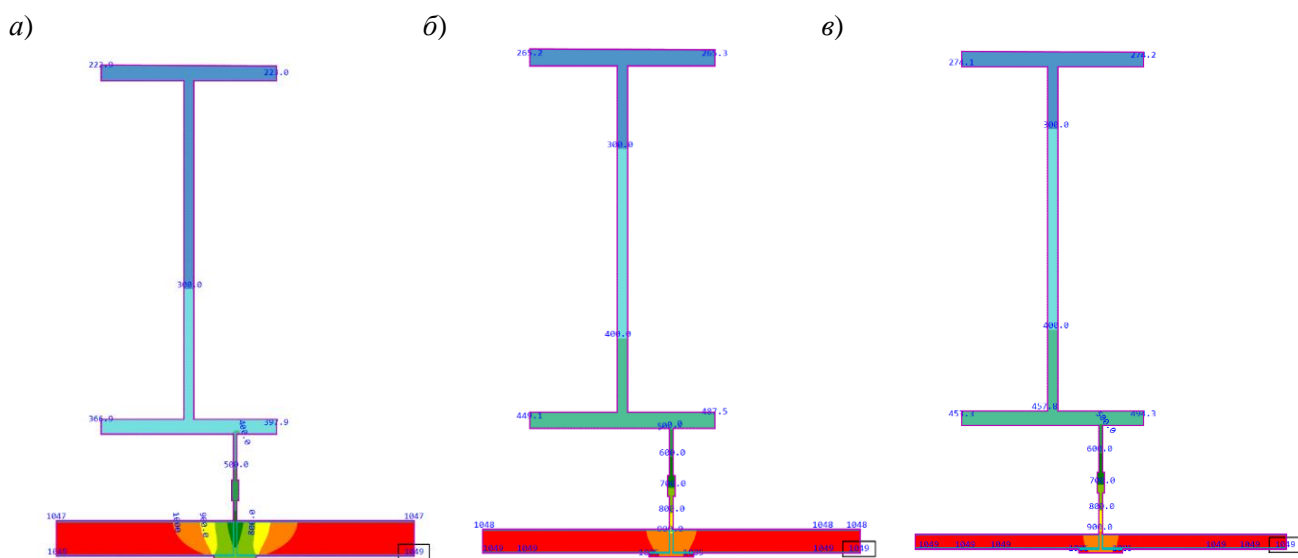


Рис. 14. Распределение температуры в течение 120 минут: а – образец со стандартной толщиной теплоизоляционного слоя, б – образец с уменьшенными в 1,5 раза толщиной теплоизоляционного слоя, в – образец с уменьшенными в 2 раза толщиной теплоизоляционного слоя

Таким образом, предел огнестойкости образца системы подвесного потолка со стандартной толщиной теплоизоляционного слоя составляет 120 минут. Данная система подвесного потолка доказала свою высокую эффективность в качестве вида пассивной противопожарной защиты для конструкций перекрытий.

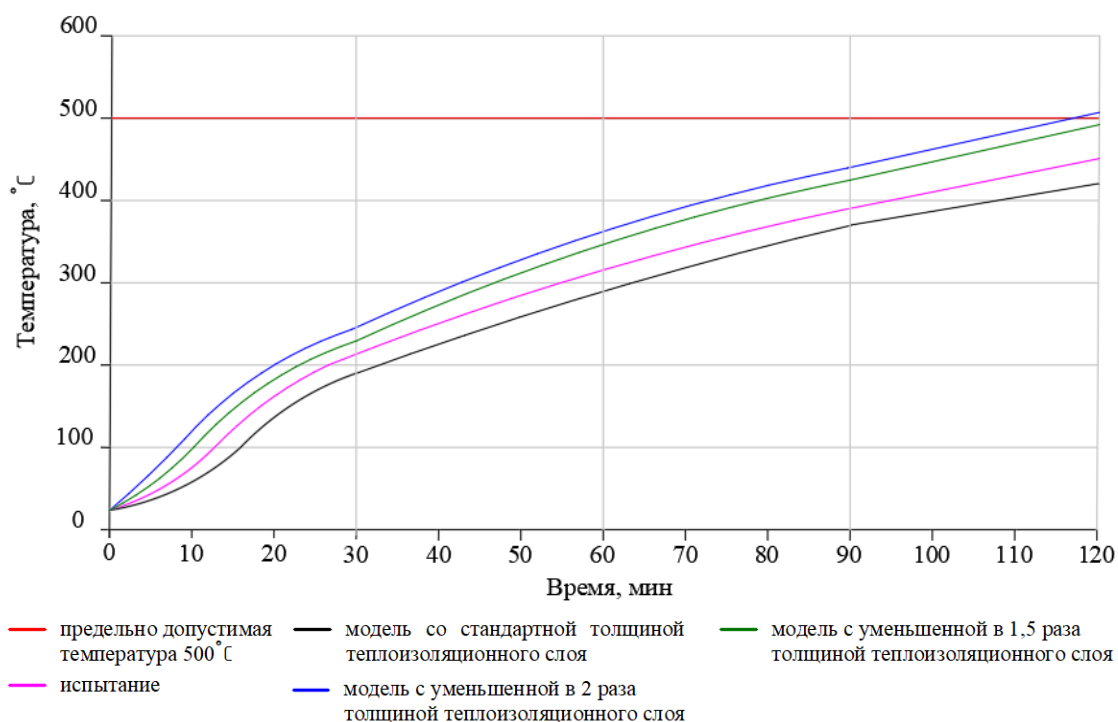


Рис. 15. График изменения среднеарифметического значения температуры на стальных балках

С помощью программного комплекса «SOFiSTiK» выполнено моделирование огнестойкого потолка, отклонение от результатов огневых испытаний составило не более 7%, что демонстрирует хорошую сходимость результатов с графиком (рис. 3). Автоматизированный расчет показал, что уменьшение толщины теплоизоляционного слоя в два раза приводит к потере огнестойкости в 1,33 раза, при этом предел огнестойкости составляет 90 минут, что является недостаточным показателем для данной конструкции, а при уменьшении в 1,5 раза – 120 минут, что позволяет использовать более экономически выгодную систему огнестойкого подвесного потолка с меньшей толщиной слоя минерального волокна. Однако, исходя из результатов моделирования в программном комплексе, нельзя сделать вывод о сохранении целостности и несущей способности конструкции, а, следовательно, необходимо провести огневые испытания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Головань В.И., Кузнецова Е.В. Эффективные средства огнезащиты для стальных и железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство 9, 2015. № 9. С. 82–90.
2. Caetano, H.; Laím, L.; Santiago, A.; Durães, L.; Shahbazian, A. Development of Passive Fire Protection Mortars. Appl. Sci. 2022, 12, 2093.
3. Гравит М.В., Голуб Е.В., Григорьев Д.М., Иванов И.О. Огнезащитные подвесные потолки с высокими пределами огнестойкости // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 8(84). С. 75–85.
4. Шабалин С. Методы пассивной огнезащиты // Газовая промышленность. 2017. № 9. С. 122–125.
5. Gravit, M., Dmitriev, I., Lazarev, Y. Validation of the Temperature Gradient Simulation in Steel Structures in SOFiSTiK. Advances in Intelligent Systems and Computing 2019.
6. Dmitriev, I., Lyulikov, V., Bazhenova, O., Bayanov, D.: Calculation of fire resistance of building structures in software packages. In: E3S Web of Conferences, vol. 91, p. 02007 (2019).

ОБЗОР И ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Актуальность* – современные реалии ставят перед проектировщиками неординарные задачи, решение которых может быть облегчено использованием современных технологий, например, BIM – технологий (Building information model – информационная модель зданий). По сравнению с классическим способом проектирования в чертежных программных комплексах, BIM-технологии позволяют более точно и правильно выполнить проектную часть работ по объекту строительства, а также, экономят значительное количество времени [4], поэтому проводится внедрение BIM в строительную сферу [6].

В современном мире обстановка постоянно меняется и какие-то иностранные ПК (программные комплексы) могут стать недоступными в России. По этой причине их сравнение с Российскими аналогами является актуальным.

*Цель работы* – исследование различных программных комплексов, использующих информационные технологии в сфере строительства, их сравнение.

Для достижения поставленной цели был проведен обзор и оценка наиболее используемых отечественных и иностранных программных комплексов.

Самым популярным программным комплексом (ПК) на данный момент является Autodesk Revit. Главными конкурентами этого комплекса являются NanoCad от компании Нанософт Российского производства и ПК Renga от предприятий компании АСКОН и фирмы «1С» [1].

Сравнение программных комплексов проводится по нескольким параметрам:

- интерфейс;
- необходимость обучения;
- стоимость программы и наличие льготных тарифов;
- поддержка основных нормативных документов;
- наличие русскоязычного интерфейса;
- необходимость в мощном компьютере;
- наличие курсов или видеоуроков в открытом доступе;
- совместимость с другими ПК;
- распространенность программы;
- возможность 3D-моделирования;
- требования государственных экспертиз (МосГосЭкспертиза требует ifc-формат файла [7]).

Можно выделить Revit как самую подходящую для проектировщиков и конструкторов программу по следующим параметрам: многофункциональность, распространённость программы, гибкая настройка под любые нормативные документы, наличие обучающего материала в открытом доступе и совместимость с другими ПК.

Удобство и применимость AutoCad не идет ни в какое сравнение с аналогами, хотя большинство компаний продолжают им пользоваться [5].

Таблица 1 – Сравнение современных ПК

Параметры	Revit	NanoCad	Renga	AutoCad
Интерфейс	Понятный интерфейс, много различных функций.	Понятный интерфейс, похож на интерфейс AutoCad, много различных функций	Интуитивно понятный интерфейс	Понятный интерфейс, относительно много различных функций
Необходимость обучения	Требует обучения для продуктивной работы, после освоения – удобен, большой функционал. Наличие Dynamo [2]	Требует обучения, после освоения – удобен, но есть нестабильности в работе программы	Требует обучения, удобен за счет простоты интерфейса	Требует обучения
Стоимость программы и наличие льготных тарифов*	7255\$ (779913 руб.) в 3 года или 2545\$ (273587 руб.) в год или 320\$ (34400 руб.) в месяц. Есть бесплатная лицензия для студентов	14 900 руб. в год. Есть бесплатная лицензия для студентов	55 000 руб. в год. 5000 руб. в месяц. Лицензия покупается учебным учреждением	5060\$ (543950) руб. в 3 года или 1775\$ (190812 руб.) в год или 220\$ (23650 руб.) в месяц. Есть бесплатная лицензия для студентов.
Поддержка основных нормативных документов	Можно настроить для любого документа	Можно настроить для любого документа	Можно настроить для любого документа	Нет
Наличие русскоязычного интерфейса	Есть.	Есть	Есть	Есть
Минимальные системные требования	Процессор: многоядерный, тактовая частота 2,5 ГГц. Оперативная память: 8 GB. Видеокарта: поддержка DirectX 11 Место на диске: 30 GB	Процессор: с тактовой частотой 2 ГГц. Оперативная память: 4 GB. Видеокарта: поддержка DirectX 11 Место на диске: 7 GB	Процессор: с тактовой частотой 2 ГГц. Оперативная память: 4 GB. Видеокарта: поддержка DirectX 11	Процессор: с тактовой частотой 2.5 ГГц. Оперативная память: 4 GB. Видеокарта: поддержка DirectX 11, 1 GB. Место на диске: 7 GB
Наличие курсов или видеоуроков в открытом доступе	Много обучающих видео на разных платформах, много уроков на официальном сайте, также преподаются в университетах, легко доступны	Много уроков на официальном сайте. Видео в интернете также есть, но гораздо меньше, чем для Revit	Много уроков на официальном сайте. Видео обучение в интернете есть, но гораздо меньше, чем для Revit	Много обучающих видео на разных платформах, много уроков на официальном сайте, также преподаются в университетах, легко доступны. Больше, чем у Revit
Совместимость с другими программными комплексами	Есть возможность экспорта в dwg и ifc, что обеспечивает совместимость с большинством расчетных и строительных программных комплексов [3]	Есть возможность экспорта в dwg и ifc, но меньшая распространенность снижает возможности точного экспорта в другие специализированные ПК	Есть возможность экспорта в dwg и ifc	Нет, можно вывести проекты только в форматах 2D рисунков или аннотационных линий
Распространенность программы	Повсеместно используется во многих строительных компаниях	Распространена меньше, чем Revit, используется реже	Распространена меньше, чем Revit, на данный момент активно развивается	Одна из самых популярных программ у проектировщиков, дизайнеров, разработчиков и инженеров. Нашла широкое применение в технических вузах [1]
Возможность 3D-моделирования	Есть	Есть	Есть	Нет, но имеется возможность изменять видимость для отображения
Требования государственной экспертизы	Есть возможность настройки ifc	Есть возможность настройки ifc	Есть возможность настройки ifc	Можно вывести чертеж в формат ifc

Примечание: \* – цены в рублях приведены с учетом стоимости 1 доллара в 107,5 руб.

Renga выделяется легкообучаемостью, интуитивно понятным интерфейсом, невысокими системными требованиями и невысокой стоимостью, но уступает в функциональных возможностях. Программа активно развивается.

Napocad более схож с AutoCad, чем с Revit, отличается низкой стоимостью лицензии, невысокими системными требованиями, но встречаются нестабильности работы с данными, что связано с пока что, неоптимизированным программным обеспечением.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шумский А.Ю. Информационные технологии в строительстве. Минск, 2017.
2. Пученков С.И. Обработка информации в BIM среде с помощью Dymaco на примере работы с классификатором. В Материалах III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 2020.
3. Чегодаева М. А. Трудности внедрения и развития BIM-технологий в России. Молодой учёный, т. 29, № 163, pp. 29–31, 2017.
4. Оценка применения BIM-технологий в строительстве. М.: НИУ МГСУ, ООО «Конкуратор», 2016, р. с. 44–45.
5. Коровина М.Д., Шавва А.А. Сложности перехода к BIM проектированию. СПб.: СПбПУ, 2016.
6. Гурьева Ю.А. BIM-технологии в строительном комплексе: зарубежный и отечественный опыт. В Материалах III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 2020
7. Требования к цифровым моделям архитектурных решений зданий для прохождения экспертизы при использовании технологии информационного моделирования, редакция 4.0, стр.12, табл.1

УДК 69.05

М.Д. Борисова, В.Ф. Поповцев, Н.С. Астафьева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На фоне растущей цифровизации строительной отрасли остро стоит вопрос о модернизации методов контроля выполнения строительно-монтажных работ на строительной площадке. С использованием современных технологий информационного моделирования зданий и отечественного программного обеспечения можно повысить эффективность строительного контроля, повысить устойчивость процессов по отношению к влиянию внешних факторов.

Строительно-технический контроль обеспечивает соответствие строительства проектным решениям, а также используемых материалов государственным нормам, что позволяет минимизировать риск возникновения замечаний от проверяющих организаций [1].

Проверки, выполняемые в рамках строительного контроля, сопровождаются выдачей огромного комплекта документов на бумажном носителе, что существенно затрудняет работу строительных организаций, осуществляющих контроль. Повышение эффективности обеспечит наличие унифицированного инструмента, при помощи которого контролируемые субъекты могли бы увязывать все этапы строительства и, таким образом, более эффективно контролировать качество и сроки работ [2, 3].

*Цель работы* – предложить способ осуществления строительного контроля с использованием отечественных технологий информационного моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Сбор информации о существующих способах автоматизированного строительного контроля;

- Анализ существующих программных комплексов, осуществляющих строительный контроль на строительной площадке;
- Оценка возможности импортозамещения зарубежных решений отечественными разработками.

В наше время существует множество автоматизированных способов строительного контроля. В России наиболее часто применяются программные комплексы: «BIM 360», «Fieldwire», «Lement Pro», «СтройКонтроль» [4], а также виртуальная реальность (VR) [5].

«Fieldwire» – узконаправленное программное обеспечение, разработанное в США для строительного контроля. Данный сервис имеет удобный интерфейс, мобильное приложение, обучение внутри приложения. Однако Fieldwire также имеет и недостатки: отсутствие активной связи с разработчиком, отсутствие дистрибуции и компаний в России, которые бы занимались внедрением данного продукта, нет возможности создавать предписания и акты по своим формам.

«Lement Pro» – российское программное обеспечение, позволяющее формировать документы по настраиваемому шаблону. Систему отличает гибкая, комплексная настройка процессов и интеграция с BIM, в том числе через использование Autodesk Forge. Lement Pro позволяет перейти на электронный документооборот и использовать интеграцию с другими ИТ-системами. Тем не менее, на данный момент российский продукт не охватывает все необходимые функции для строительного контроля, которые есть в специализированных решениях.

«СтройКонтроль» – российское специализированное мобильное и облачное решение, обеспечивающее цифровизацию строительного контроля в компаниях Заказчика и Генподрядчика. Содержит решения для сбора данных о фактически выполненных объемах, контроля безопасности и т.д. Программа разворачивается внутри компании на локальных серверах, также имеет русскоязычную поддержку и гибкую настройку – создание предписаний по форме организации. Программа имеет несколько недостатков, а именно – ограниченную поддержку BIM, отсутствие встроенной утилиты пространственного отображения «3D-viewer», а также ограниченную возможность отслеживания изменения статуса замечаний.

«BIM 360 Build» – самая популярная на сегодняшний день облачная система для создания единого информационного пространства. Продукт обеспечивает единую BIM-платформу и бесшовную интеграцию с хранилищем моделей «BIM 360 Docs». Программа имеет открытый код, что позволяет создавать плагины и интегрировать ее с внутренними ИТ-системами. Из недостатков нужно отметить отсутствие российской локализации, возможности создавать предписания и акты по формам российских норм, а также хранение всей информации по проекту на серверах, расположенных в зарубежных странах.

На основе сравнения программ были сделаны следующие выводы:

- разработанные методы строительного контроля не в полной мере эффективны ввиду недостаточно высокой функциональности применяемого программного обеспечения;
- российские сервисы не имеют интеграции с BIM либо имеют недостаточно функций для использования в строительном контроле;
- зарубежные сервисы решают вышеупомянутые проблемы, но они не заточены под специфику работы на российских строительных площадках, нет российских серверов.

Большая часть проблем рассмотренных сервисов может быть решена с использованием российского программного обеспечения «Signal».

«Signal» представляет собой набор цифровых сервисов, которые помогают повысить эффективность управления проектами в строительстве. Основное преимущество данного сервиса – это мобильное приложение «Signal» и коллаборация с «Autodesk BIM 360». «Signal» содержит сервисы для отчетности перед Заказчиком, отслеживания прогресса строительства,

создания строительной модели, ведения юридически заверенного электронного документооборота, контроля статуса документации. Также есть возможность создавать предписания и акты по редактируемым формам.

В таблице 1 сравниваются вышеупомянутые программные комплексы по основным признакам: интерфейсу; интеграции с BIM; наличию российских серверов; возможности ведения юридически заверенного электронного документооборота на строительной площадке; отслеживанию статуса рабочей документации; создания предписаний по форме организации; быстрой фиксации нарушений; отслеживанию статуса замечаний; наличию в России компании, готовой внедрить программное обеспечение; стоимость программного обеспечения.

В условиях развития информационных технологий все более актуальной становится проблема цифровизации всех этапов строительства, перехода от бумажных носителей к электронным. Для этого разрабатываются множество программных комплексов, в том числе и российских. В сфере строительного контроля уже применяются технологии информационного моделирования, но они не в полной мере эффективны.

Таблица 1 – Сравнение программных комплексов

№ п/п	Признак для сравнения	Программные комплексы				
		Fieldwire	Lement Pro	СтройКонтроль	BIM 360 Build	Signal
1	Интерфейс	Простой	Сложный	Простой	Сложный	Простой
2	Интеграция с BIM	+	+	+ (ограниченная интеграция, без 3D)	+	+
3	Наличие серверов на территории России	-	+	+ (облачное хранилище на локальных серверах)	-	+ (резервное копирование из BIM 360 на локальные сервера)
4	Электронный документооборот	+	+	-	+	+
5	Отслеживание статуса документации	+	+	-	+	+
6	Генерация предписаний по форме организации	-	+	+	-	+
7	Быстрая фиксация замечаний	+	-	+	-	+
8	Отслеживание статуса замечаний	+	-	+	+	+
9	Наличие компании, готовой внедрить софт	-	+	+	+	+
10	Стоимость (1 лицензия на 1 пользователя), руб./мес.	9244 (89 долл.)	12950	От 6000	5100	5416

Такие программы, как «BIM 360» и «Fieldwire», не имеют необходимых для российского производства функций и шаблонов. Российские аналоги, которые сейчас применяются в практике, зачастую недоработаны, имеют недостаточно функций и не приспособлены к совместной работе в облачном хранилище. Решением этих проблем является новая разработка «Signal». Данный сервис работает совместно с «BIM 360» и дополняет его. Это отечественная разработка, учитывающая все потребности российского производства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов Н.С., Майорова Н.П. Роль службы строительного контроля, BIM-технологий и службы материально-технического снабжения при строительстве нефтеперерабатывающего завода // Евразийский Союз Ученых. 2020. № 6-2 (75). С.14–17.
2. Хахимов С.Р., Горюнова А.В. Исследование функций строительного контроля, осуществляемого техническим заказчиком в условиях применения технологий информационного моделирования строительства // Строительное производство. 2021. № 4. С.44–48.
3. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // Вестник Евразийской науки. 2019. Т.11. № 3. С.49.
4. Кузьмина Т.К., Ледовских Л.И. Особенности использования технологии информационного моделирования при осуществлении строительного контроля // Строительное производство. 2021. № 4. С.49–53.
5. Тускаева З.Р., Албегов З.В. Осуществление строительного контроля с применением технологий информационного моделирования зданий и виртуальной реальности // Инженерный вестник Дона. 2021. № 2(74). С.371–384.
6. SIGNAL – цифровой контроль и управление строительством. URL: <https://docs.sgnl.pro/> (дата обращения: 13.03.2022).

УДК 692.232.7

М.В. Васильева, З.А. Гаевская, А.А. Шавва  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ФАСАДНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗДАНИЯ АПАРТ-ОТЕЛЯ ВЫСОТОЙ 125 М В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Строительство зданий и сооружений набирает обороты день ото дня. Статистика демонстрирует нам, что с начала 2014 г. ежегодно в России в эксплуатацию вводится не меньше 260 тысяч зданий различного назначения, а последний отчетный 2020 год установил рекорд в данной статистике: почти 327 тысяч введенных зданий [1]. Увеличение темпов строительства делает тему подбора фасадных систем зданий особенно актуальной с каждым днем.

*Цель работы* – подбор наиболее подходящего и эффективного фасадного решения для уникального здания апарт-отеля простой формы высотой 125 м в городе Санкт-Петербург.

Для достижения поставленной цели были проведены изучение рынка фасадных систем, сравнение и подбор оптимального решения для обеспечения комфортной среды и долговечности здания. Исследование выявило, что наиболее распространенные системы для наружных ограждающих конструкций высотных зданий представляют из себя навесные вентилируемые фасады (НВФ), «мокрые» и остекления.

Сравнение НВФ и «мокрых» фасадов [2] показало следующие результаты:

- монтаж НВФ гораздо быстрее, чем «мокрых»;
- НВФ более долговечны, чем «мокрые» фасады;
- оба фасада хорошо защищают здание от влаги;
- может быть применен одинаковый утеплитель;
- звукоизолирующая способность НВФ лучше, чем у «мокрых» фасадов;
- НВФ более устойчив к изменению погодных условий, чем «мокрый» фасад;
- «мокрый» фасад обходится значительно дешевле, чем НВФ;
- эксплуатация вентилируемых фасадов дешевле и проще, нежели «мокрых».

Таким образом, в результате сравнения данных решений лучше показывает себя система навесных вентилируемых фасадов. Высотное здание апарт-отеля несомненно нуждается в долговечности и устойчивости к погодным изменениям. Во временной перспективе и частоте ремонта НВФ по цене приблизится к «мокрым» фасадам.



Выполним сравнение различных систем фасадного остекления [3, 4], анализ и результаты приведем в таблице 1.

Таблица 8 – Сравнение систем фасадного остекления

Тип остекления / Параметр	Стойечно-ригельное	Структурное	Спайдерное
Монтаж	Высокая скорость монтажа	Монтаж более сложный, чем стойечно-ригельного	Высокие требования к качеству работ, быстрый монтаж
Ремонт	Простая замена поврежденных стеклопакетов	Поврежденное стекло легко заменяется	Ремонт всей секции
Обслуживание	Поверхность легко очищается	Поверхность легко очищается	Поверхность легко очищается
Визуальная целостность остекления	Нет целостности остекления	Практически полная целостность остекления	Практически полная целостность остекления
Архитектурные возможности	Маленькие ячейки (до 2 м <sup>2</sup> ), формы ограничены	Разные размеры ячеек (до 12,5 м <sup>2</sup> ), различные конфигурации и формы	Почти безграничные архитектурные возможности
Долговечность	Срок службы более 50 лет	Срок службы более 50 лет	Срок службы более 50 лет
Термоизоляция	Высокая термоизоляция	Высокая термоизоляция	Высокая термоизоляция
Звукоизоляция	До 48 дБ	До 48 дБ	До 48 дБ
Водонепроницаемость	Полная водонепроницаемость	Полная водонепроницаемость	Полная водонепроницаемость
Устойчивость к внешним воздействиям	Некоторые наружные элементы крепления стеклопакетов могут реагировать на внешние факторы	Наружным воздействиям подвергается стекло и сталь, не реагирующие на внешние факторы	Наружным воздействиям подвергается стекло и сталь, не реагирующие на внешние факторы
Стоимость, руб. за м <sup>2</sup>	От 6800	От 8000	От 17000

Сравнение систем остекления фасадов демонстрирует, что по базовым требованиям, предъявляемым к ограждающим конструкциям [5], таким как простота ремонта и обслуживания, долговечность эксплуатации, термо- и звукоизоляция, а также устойчивость к внешним воздействиям, соответствуют все рассматриваемые типы. Для апарт-отеля простой формы нет необходимости переплачивать за те же свойства и схожие параметры, поэтому наилучшим решением среди витражей принято структурное остекление фасадов (СОФ).

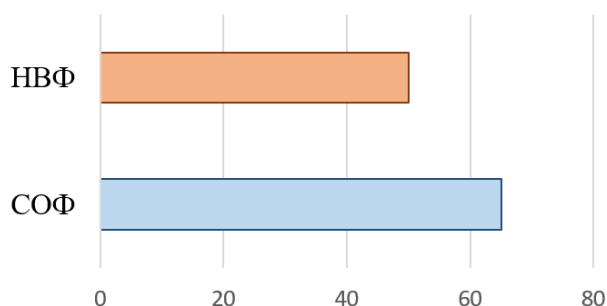


Рис. 4. График сравнения средних процентов энергоэффективности навесных вентилируемых фасадов и структурного остекления

Для определения самого рационального и подходящего решения для наружной ограждающей конструкции, сравним навесной вентилируемый фасад и структурное остекление. Основное преимущество структурного остекления перед НВФ – беспрепятственный доступ естественного освещения и дополнительный способ прогрева помещения солнечными лучами. Здания с площадью светопрозрачных ограждающих конструкций более 50% позволяют снизить затраты тепла на отопление и освещение. Проведем сравнение навесных вентилируемых фасадов и структурного остекления с точки зрения энергоэффективности. В результате исследования остекления [2–4] и показателя НВФ [5–7] можем привести график средних процентов энергоэффективности фасадных решений на рисунке 1.

Таким образом, структурное остекление демонстрирует лучшие параметры с точки зрения энергоэффективности наружной ограждающей конструкции, чем навесные вентилируемые фасады. Выявив разницу среднего процента энергоэффективности в 15% в пользу СОФ, а также выигрышный внешний вид данной системы, выбираем для апарт-отеля высотой 125 м в городе Санкт-Петербург структурную систему остекления фасадов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ЕМИСС Государственная статистика. Количество введенных зданий [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/40559>
2. Теребенкова М.А. Навесные вентилируемые фасады и «мокрые»: понятия, характеристики, сравнение. Уральский федеральный университет // Конференция евразийского научного объединения. URL: <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/files/pdf/Tebenkova-Marina-Aleksandrovna2.pdf>
3. Федюнина, Т.В. Сравнительный анализ различных видов фасадного остекления / Федюнина Т. В., Иванисова Е.С. // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: Материалы V Международной НПК. В 2-х частях. 29–30.11.2017 г. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – с. 16–21.
4. Казакова Ю.Д., Половников М.Э., Калошина С.В. Устройство остеклённых фасадов в современном строительстве. Пермский национальный исследовательский политехнический университет
5. Ольшевский В.Я, Донцова А.Е., Калинина А.В. Энергоэффективность навесных вентилируемых фасадов. СПбПУ / Alfabuild. 3(10), 2019. с. 48–58.
6. Попова, Е.Е. Повышение энергоэффективности домов с помощью навесных вентилируемых фасадов / Е.Е. Попова, А.Е. Городилова, М.И. Куколев // Ростовский научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 367–378.
7. Масенене, А.Р. Применение витражного остекления для устройства фасадов энергоэффективных зданий / А.Р. Масенене // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика: Сборник статей по материалам международной НПК, Уфа, 03 июня 2019 года. – Уфа: ООО "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2019. – С. 195–201.

УДК 721.012.2

В.Б. Виноградов, А.Д. Занина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ ОФИСА С ПОМОЩЬЮ КОНЦЕПЦИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

Планировка офиса – это важная часть проекта бизнес-центра, которая влияет непосредственно на уровень комфортности условий труда. Тип планировки должен способствовать более экономному использованию площадей, притом не мешающему повышению эффективности труда персонала [1]. Важнейшим условием совершенствования существующей системы деловых пространств является разработка общей стратегии развития, учитывающей градостроительные, организационные, социальные, архитектурно-художественные, экономические и экологические факторы [2]. В том числе конкретно на рациональность планировки может влиять совокупность

большого числа различных факторов: от требований нормативных документов до эстетических предпочтений работников. Также нужно уметь приспосабливаться к изменениям «правил» проектирования с течением времени или из-за конкретных событий. Например, с 2019 года в связи с распространением коронавирусной инфекции в мире возникла неблагоприятная обстановка в области здравоохранения, которая может вносить свои коррективы в коммуникацию людей во всех общественных местах, в том числе и на работе [3]. Таким образом, создание оптимальной планировки офисного пространства сопряжено с трудностью одновременного учета ряда факторов.

В данной проблеме архитекторам может помочь новая технология, приходящая в строительство, – генеративный дизайн. Основана она на применении программного обеспечения, способного самостоятельно, без участия конструктора, генерировать трехмерные модели, отвечающие заданным условиям. Фактически в системе «человек – машина» компьютеру передаются творческие функции, и он с ними отлично справляется [4]. Генеративное проектирование уже применяется в строительстве на базе BIM. В частности, в программном комплексе для автоматизированного проектирования зданий Autodesk Revit в версии 2021 года впервые появилась возможность проводить исследования, используя технологию генеративного дизайна. Для этого необходимо с помощью встроенного плагина для визуального программирования Dynamo создать скрипт, который уже экспортировать в модуль генеративного проектирования.

*Цель работы* – создать оптимальную планировку офиса в ПО Autodesk Revit с помощью модуля генеративного проектирования.

В качестве основы использовался доступный в стандартной базовой версии тип расчета «Компоновка рабочего пространства». Данный алгоритм позволяет создать расстановку столов в помещении в зависимости от трех факторов:

1. Расстояние от рабочего места до выходов.
2. Качество вида из окна с рабочего места.
3. Количество рабочих мест.

Также есть возможность задать интервал между рядами столов и величину поворота ряда.

Перед тем как создать исследование, скрипт был модернизирован. Во-первых, необходимо, чтобы полученная планировка офиса соответствовала нормативным требованиям. Согласно пункту 249 [5] установлена площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – не менее 4,5 м<sup>2</sup>. Для того чтобы требование выполнялось, нужно установить минимальное расстояние не только между рядами столов, но и между столами в ряду. Во-вторых, были добавлены дополнительные функции: возможность регулировать минимальное расстояние от стола до стены и оперировать величинами в метрах, а не футах.

Исследование осуществляется путем запуска скрипта Dynamo. Ноды (блоки или узлы в визуальном программировании, которые, соединяясь связями, образуют программный код) разбиты по группам с названиями, также имеются текстовые заметки, что помогает сориентироваться в алгоритме скрипта. Сначала необходимо подгрузить использующиеся дополнительные пакеты нодов (в верхней вкладке выбрать «Просмотреть», затем «Показать ссылки рабочего пространства» и выбрать пакеты). При создании новых нодов можно нажать правую кнопку мыши и выбрать «является вводом» или «является выводом», чтобы они попали в окно настроек исследования. После завершения внесения изменений необходимо в верхней вкладке выбрать «Генеративное проектирование», затем «Экспорт для генеративного проектирования», запустить скрипт и нажать «Экспорт». В остальном работа в Dynamo с такого типа скриптами стандартна.

Затем было создано исследование. Рассматривалось помещение, окруженное стенами из газобетона и витражами, с несколькими дверями и колоннами внутри. Использовался

экземпляр стола размерами 1500×1000 мм. Площадь одного рабочего места составляет не менее 5 м<sup>2</sup>, что больше минимально допустимого значения.

Выбор переменных и постоянных

Поворот ряда столов  
Переменная: -90 до 90

Интервал между рядами (метры)  
Постоянная: 1.5      1.5 |————— 5

Расстояние до стены (метры)  
Постоянная: 1.2      0.5 |————— 5

Расстояние между столами в ряду (метры)  
Постоянная: 0.5      0 |————— 5

Задание целей

Среднее расстояние до выходов      ● Свернуть ○ Развернуть

Виды наружу      ○ Свернуть ● Развернуть

Количество столов      ○ Свернуть ● Развернуть

Рис. 1

В результате были получены различные варианты планировок офисного пространства с полученными значениями параметров для каждого и построенным графиком (рис. 2). Можно сделать выводы, что в варианте с наибольшим числом столов среднее расстояние до выходов минимально, однако также минимально и качество видов наружу. Лучший показатель качества вида и низкое значение показателя «расстояние от рабочего места до выходов» обеспечивается за счет использования наименьшего числа столов. В остальных вариантах значения заданных параметров лежат внутри этих диапазонов. Так как в исследовании учитывались все три фактора, то оптимальным выбором считался вариант, значения параметров которого находятся как можно ближе к середине относительно других (линия выделена жирным на графике на рис. 2). Такая планировка достигается путем поворота рядов

столов на 35°. В завершении была запущена функция «Создание элементов Revit», и программа сама создала экземпляры столов в модели в соответствии с выбранным вариантом.

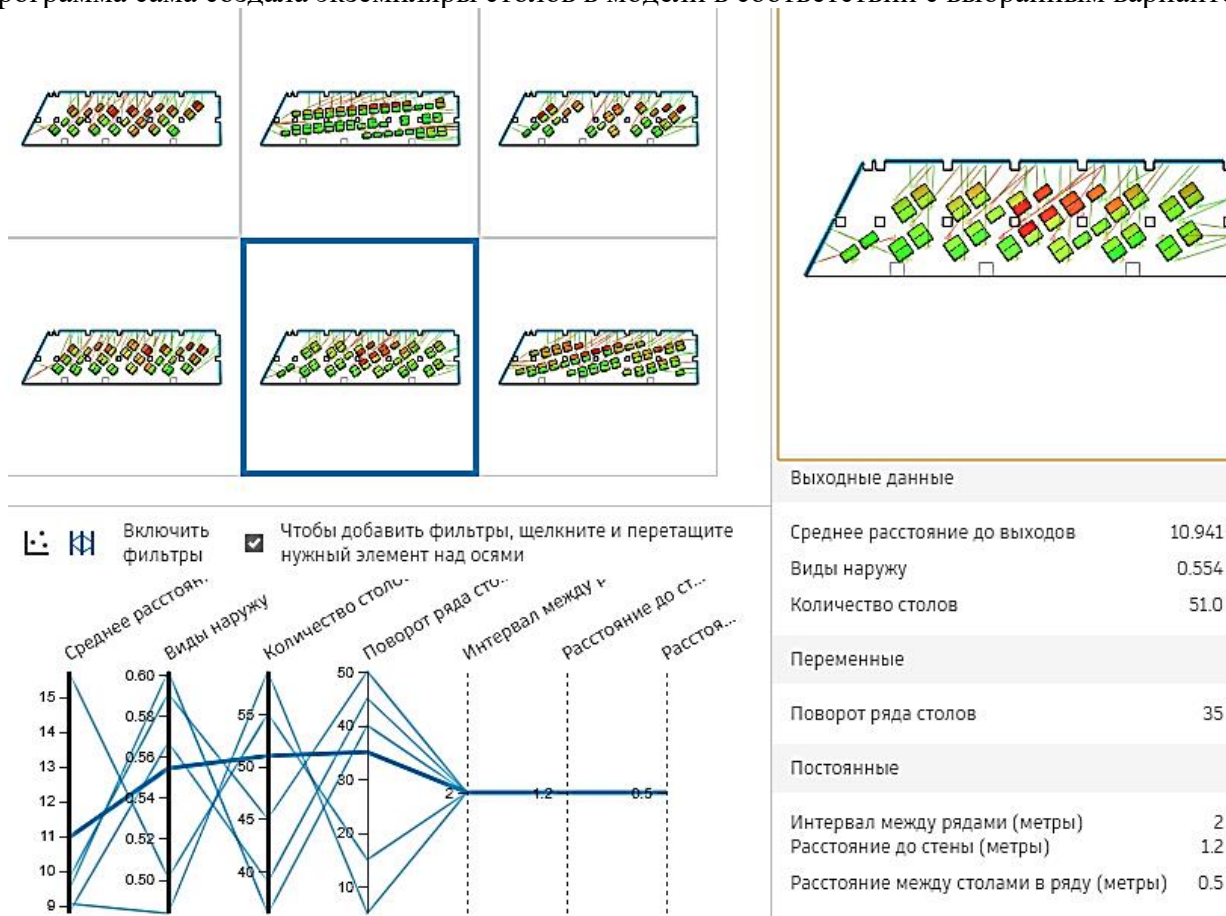


Рис. 2

*Вывод:* с помощью технологии генеративного дизайна создана оптимальная планировка рабочих мест в офисном помещении. Очевидно, что данный алгоритм можно развивать далее и что стандартная планировка была бы менее рациональной.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гилязова О.С. Управление офисом: социологический аспект – Екатеринбург, 2014
2. Вартапетова А.Е. Архитектурно-планировочные принципы организации офисных объектов // Московский архитектурный институт – М., 2010, 182 с.
3. Санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1.3597-20. Профилактика новой коронавирусной инфекции (COVID-19): утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 22.05.2020 – М., 14 с.
4. Лукманов О.А. Генеративный дизайн: на пороге новой эпохи проектирования // CADmaster, 2018, №1.
5. Санитарные правила СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 02.12.2020 – М., 49 с.

УДК 69.003

Е.А. Глебова, Л.В. Талипова, М.В. Петроченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕДЕВЕЛОПМЕНТА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

*Актуальность работы* определяется наличием в пределах крупных населенных пунктов Российской Федерации большого количества территориальных зон, требующих градостроительного преобразования для изменения внешнего облика и формирования новых центров деловой активности.

*Цель работы* – анализ, выявление текущих проблем и перспектив процесса редевелопмента промышленных территорий Санкт-Петербурга, подлежащих градостроительному преобразованию.

Объектом исследования являются промышленные территории Санкт-Петербурга, подлежащие градостроительному преобразованию. Предметом исследования являются параметры указанных промышленных территорий и соответствующие прогнозные показатели, обеспечиваемые по результатам реализации процедур редевелопмента.

Санкт-Петербург – динамично развивающийся и расширяющийся город с исторически сложившимися районами промышленного развития и отраслевой специфики. Всего в городе к промышленным территориям относится 18,9 тысяч гектар, большую часть которых занимают свыше 50 крупных производственных зон общей площадью 15,6 тысяч гектар [1].

Правовой статус промышленных зон закреплён Генеральным планом и Правилами землепользования и застройки, которые предусматривают выделение две основных групп промышленных территорий:

- промышленные зоны, подлежащие дальнейшему использованию и развитию;
- промышленные зоны, подлежащие градостроительному преобразованию.

Вторая группа включает в себя территории, не соответствующие экономическим, социальным, экологическим и градостроительным условиям дальнейшего развития города и подлежащие преобразованию с выводом с данных территорий производственных предприятий. Такие промышленные территории в Санкт-Петербурге образуют так называемый «серый пояс».

На данный момент к территориальным объектам Санкт-Петербурга, соответствующим второй группе и подлежащим процессу редевелопмента, относятся 25 крупных промышленных зон, которые располагаются в 12 административных районах города. Общая площадь таких территорий на сегодняшний день составляет 6,1 тыс. гектар – около 4% от

общей площади Санкт-Петербурга и около 10% от площади исторического центра города. Зоны «серого пояса» Санкт-Петербурга являются неоднородно промышленными. В соответствии с Генеральным планом города, около 33 % соответствующей территории занимают зоны промышленного использования, деловая зона занимает 28,4 %, жилая зона занимает 12,7 % и около 25 % занимают территории, которые не могут быть подвергнуты изменениям: уличная сеть, инженерно-транспортные сети, зоны рекреации и т.п. Соответственно, из выявленных ранее 6,1 тыс. гектар около 4,2 тыс. гектар могут быть подвергнуты градостроительным преобразованиям [2].

Наиболее крупные промышленные территории, подлежащие редевелопменту, располагаются в Калининском, Кировском и Невском районах Санкт-Петербурга и суммарно занимают около 49 % от всех рассматриваемых промышленных территории, подлежащих градостроительному преобразованию.

В историческом центре – Петроградском, Центральном и Выборгском районах – располагается самое маленькое количество территорий, подлежащих преобразованиям (около 12 %), но данные зоны считаются наиболее востребованными для редевелопмента [3].

Исторически изменяющаяся социально-экономическая ситуация повлияла на настоящее функционально-пространственное развитие города. Основными факторами изменений стали рост промышленности, повышение требований к улучшению качества жизни и экологическим качествам объектов, рост стоимости земли, а также рост потребностей городского хозяйства.

На преобразующихся территориях могут быть построены жилые здания, торговые центры, офисы, гостиницы, современные технопарки и индустриальные парки. В связи с этим процесс редевелопмента требует тщательного анализа развития территорий и инфраструктуры с учетом востребованности и направленности реорганизации. Важно отметить, что на сегодняшний день существует тенденция реорганизации промышленных территорий «серого пояса» под проекты жилой застройки. Согласно аналитическим данным, к 2020 году через редевелопмент прошло около 20 % промышленных территорий, на которых было построено 12 млн м<sup>2</sup> жилья [4, 5].

Для дальнейшего развития процесса редевелопмента на данный момент пригодны не более 35% территории «серого пояса». Кроме того, за последние годы произошло значительное увеличение и ужесточение требований по обеспечению проектов школами, детскими садами, поликлиниками и улично-дорожной сетью. В «сером поясе» нужным статусом для строительства обладают более 2,3 тыс. гектар, из которых теоретически для преобразований доступны около 1,5–1,8 тыс. гектар.

Основные сложности, возникающие при реализации процедур редевелопмента, связаны с разрешением вопросов по территориальному планированию, градостроительному зонированию, планировке территорий, архитектурно-строительному проектированию. Пассивная позиция в освоении «серого пояса» и, как следствие, отсутствие общего видения и стратегии работы с промышленными территориями приводит к увеличению сложности, капиталоемкости и долгосрочности проектов строительства [6].

Процесс редевелопмента промышленных территорий Санкт-Петербурга, подлежащих градостроительным преобразованиям на данном этапе развития не имеет системного характера и явно выраженных тенденций. Составление стратегии дальнейшего развития и определение общего видения перепланировки пространств с учетом глубокого анализа состояний инфраструктуры позволит создать импульс к развитию процессов редевелопмента в Санкт-Петербурге, формированию новых жилых и деловых зон и преобразованию облика исторически сложившихся промышленных зон.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Редевелопмент не остановить // Интернет-газета «Карповка», 2020. URL: <https://karpovka.com/2020-08-07/redevelopment-ne-ostanovit-potencialno-na-zemlyah-promzon-mozhno-postroit-zhilya-na-1-6-trln-rublej/> (дата обращения: 10.08.2020).
2. Данные аналитического центра M2Market / ООО «ГДЕЭТОТДОМ.РУ». URL:
3. <https://spb.gdeetodm.ru/articles/2048836-2020-10-07-itogi-redevelopmenta-serogo-poyasa-sankt-peterburga-ksentyabryu-2020-g/> (дата обращения: 10.08.2020).
4. Богачева Е., Юденко М.Н. Перспектива редевелопмента промышленных зон Санкт-Петербурга // Строительный комплекс: экономика, управление, инвестиции. СПб.: СПбГЭУ, 2020. С. 81–87.
5. Черная, О.А., Талипова, Л.В. Подходы к реновации промышленных территорий // Неделя Науки ИСИ: материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург. 2021, С 180–182.
6. Талипова, Л.В., Шонина, Е.А. Изменение функционального назначения объекта на основе урбанистического анализа // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства: сборник научных трудов участников межвузовской научно-практической конференции. Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва. 2019, С 354–358.
7. Talipova, L., Shonina, E., Strelets, K., Lapteva, S. Reconstruction of the gray belt objects based on energy efficiency clusters // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110. No. 01021.

УДК 692.231.3

А.И. Груздева, М.В. Петроченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

По данным Международного энергетического агентства (2021 г.), на строительный сектор приходится 40% мирового потребления энергии и 36% выбросов. По данным исследования [1] фасадные конструкции имеют значительное влияние на общее количество выбросов от здания.

*Цель работы* – изучение энергетического анализа для определения количества выбросов от фасадной конструкции на протяжении всего жизненного цикла.

В работе были решены следующие задачи:

1. Проведен критический анализ существующих программных комплексов, реализующих оценку жизненного цикла;
2. Изучены стандарты, описывающие принципы и основы оценки жизненного цикла;
3. Рассмотрена совместная работа двух программных комплексов BIM-LCA;
4. Определены значения выбросов от фасадной конструкции высотного здания.

На данный момент существует несколько инструментов BIM-LCA с различными уровнями сложности и производительности [2]. Некоторые исследования показали, что Tally работает лучше многих других комплексов, позволяя пользователям определять влияние конкретных материалов в здании и создавать подробный список материалов, используемых в проекте, в качестве приложения к отчету о воздействии [3]. Поэтому для достижения цели данного исследования были выбраны плагин Tally для Autodesk Revit (версия 2019.06.27.01) и калькулятор воплощенного углерода ЕС3.

Методология Tally соответствует стандартам LCA ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012 и EN 15978:2011 [4]. По результатам расчетов Tally получены параметры выбросов парниковых газов фасадной конструкции на протяжении всего жизненного цикла (стадии A-D) с использованием базы данных GaBi.



Рис. 1. Методология энергетического анализа

На следующем этапе выполнен экспорт данных о материалах проекта в калькулятор воплощенного углерода EC3, дающий более точные результаты по выбросам углекислого газа. В EC3 произведено сравнение и оценка выбросов воплощенного углерода с привязкой материалов к конкретным продуктам от производителей. EC3 использует данные о количестве строительных материалов из строительных смет и/или моделей BIM, а также надежную базу данных цифровых экологических деклараций продукции (EPD).

Методология Tally соответствует стандартам LCA ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012 и EN 15978:2011 [4]. По результатам расчетов Tally получены параметры выбросов парниковых газов фасадной конструкции на протяжении всего жизненного цикла (стадии A-D) с использованием базы данных GaBi.

На следующем этапе выполнен экспорт данных о материалах проекта в калькулятор воплощенного углерода EC3, дающий более точные результаты по выбросам углекислого газа. В EC3 произведено сравнение и оценка выбросов воплощенного углерода с привязкой материалов к конкретным продуктам от производителей. EC3 использует данные о количестве строительных материалов из строительных смет и/или моделей BIM, а также надежную базу данных цифровых экологических деклараций продукции (EPD).

Одним из наиболее важных структурных компонентов для достижения целей устойчивого строительства являются фасады [5]. В данной работе рассмотрен жизненный цикл вентилируемого фасада высотного офисного центра, состоящего из следующих слоев:

1. Штукатурка известково-песчаная ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ), толщина  $\delta_1 = 0,02 \text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{B1} = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ .
2. Кладка из газобетонных блоков Н+Н (прямой блок без захвата для рук) на цементно-песчаном растворе (марка по плотности – D600), толщина  $\delta_1 = 0,3 \text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{B1} = 0,183 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ .
3. Минеральная вата ROCKWOOL ЛАЙТ БАТТС, ( $\rho = 37 \text{ кг/м}^3$ ), толщина  $\delta_2 = 0,1 \text{ м}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_{B2} = 0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ .
4. Вентилируемый зазор, 50 мм.
5. Алюминиевая композитная панель М 9003 цвета "White M9003". Серия "Матовые".

Результаты использования программного обеспечения Tally представлены на рис. 2, показывающие вклад каждой стадии жизненного цикла за исключением модулей В6 и В7 – предполагается, что эти два модуля не зависят от структуры фасадной конструкции, поэтому исключены из области анализа [5].



Согласно рисунка 2 наиболее значительные воздействия были зарегистрированы для GWP на стадиях A1-A3. Наименьшие воздействия были получены для потенциала эвтрофикации Neq.

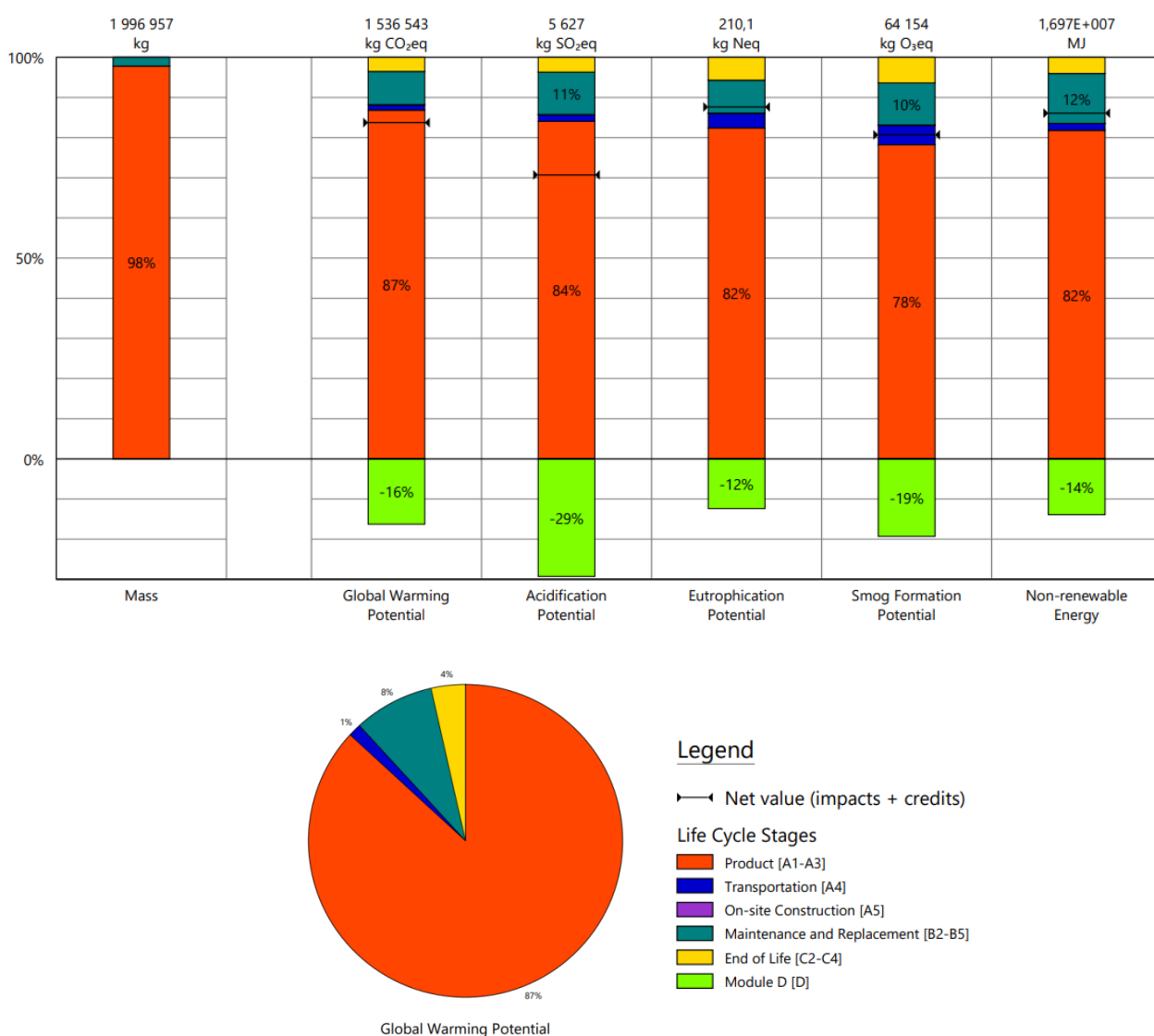


Рис. 2. Результаты расчетов Tally

Таблица 1 – Значения выбросов по материалам ЕС3

Параметр	CLF Baseline	Achievable	Min/Max
Газобетонные блоки, кгСО <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>	550	251,9	230,6/450,8
Минеральная вата, кгСО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	4,0	2,118	1,487/6,326
Цементный раствор, кгСО <sub>2</sub> /м <sup>3</sup>	389,2	307,0	37,6/1263
Композитные панели, кгСО <sub>2</sub> /кг	-	4,784	4,784/10,01

В таблице 1 представлены данные о материалах по базе EPD, используемые для конструкции фасада. ЕС3 позволяет выбрать те материалы, которые будут соответствовать минимальным выбросам углерода на стадия жизненного цикла А: CLF Baseline – «высокая» оценка воплощенного углерода в данной категории продуктов (большинство продуктов в категории будут ниже этого порога); «Achievable» представляет собой достижимую цель или низкое значение для категории, при котором не менее 20% продуктов, соответствующих

спецификации, лучше этого значения. Продукты, соответствующие этому порогу, можно с уверенностью считать материалами с очень низким содержанием углерода по сравнению с материалами с аналогичными характеристиками и функциями. В соответствии с полученными данными ЕСЗ выбираются материалы с наименьшими выбросами.

Таким образом, в работе были определены стадии жизненного цикла фасадной конструкции, соответствующие наибольшим выбросам парниковых газов, – А1-А3; так же получены возможные значения выбросов углекислого газа в модуле А для материалов фасада от производителей. Предложенная схема энергетического анализа и ее последующее влияние на отрасль стимулируют спрос на низкоуглеродные решения и стимулируют производителей и поставщиков строительных материалов вкладывать средства в раскрытие информации, прозрачность и инновации в области материалов, которые сокращают выбросы углерода их продуктами. На основе полученных данных инструмент ЕСЗ можно внедрить как на этапах проектирования, так и на этапе закупок строительного проекта, чтобы посмотреть на общие воплощенные выбросы углерода в проекте, что позволяет определить и закупить варианты с низким уровнем выбросов углерода.

Предлагаемая конструкция фасада может дать разработчикам важные отзывы для сравнения и выбора решений для фасадов с наименьшим углеродным воздействием. Решения, от которых сначала можно отказаться, например, из-за более высоких эксплуатационных выбросов могут представлять собой ценные варианты с учетом более низких выбросов углерода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Martínez-Rocamora A., Rivera-Gomez C., Galan-Marín C., Marrero M. Environmental benchmarking of building typologies through BIM-based combinatorial case studies. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 132. Pp. 1–17.
2. Ajayia S.O., Oyedele L.O., Ceranic B., Gallanagh M., Kadiric K.O. Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2015. №6(1). Pp. 14–24.
3. Asare K.A.B., Ruikar K.D., Zanni M., Soetanto R. BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana. *SN Applied Sciences*. 2020. Vol. 2. Pp. 1–20.
4. Alecrim I., Carvalho J.P., Bragança L., Mateus R. Using BIM for Assessing Buildings Life Cycle Impacts. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 503. Pp. 1–16.
5. Xue K., Hossain M.U., Liu M., Ma M., Zhang Y., Hu M., Chen X., Cao G. BIM Integrated LCA for Promoting Circular Economy towards Sustainable Construction: An Analytical Review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13.

УДК 69.001.5

Ю.А. Демидова, О.М. Кротов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОМИТЕТА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

Грамотная организация документооборота способствует уменьшению трудозатрат сотрудников, влияет на качество управления, а также, позволяет своевременно осваивать бюджет. Оценка эффективности деятельности исполнительных органов государственной власти определяется несколькими важными показателями – экономичностью, продуктивностью и результативностью [1].

*Цель работы* – оценка эффективности применения технологий информационного моделирования на примере использования автоматизированной информационной системы Комитета по строительству при оптимизации процесса подготовки комплекта документов для строительства и реконструкции бюджетных объектов социальной инфраструктуры.

Активная работа по усовершенствованию и созданию государственных автоматизированных информационных систем, в частности, автоматизированной информационной системы Комитета по строительству (АИС КС) представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих:

- контроль исполнения государственных программ [2];
- мониторинг строительного процесса;
- внедрение и использование хранилищ ВМ – моделей и документации по объектам бюджетного строительства на каждом этапе реализации проекта;
- быстрый доступ к отчетности всех уровней.

Применение АИС КС позволяет узнать актуальные данные о состоянии всех объектов бюджетного строительства Санкт-Петербурга, к которым относятся школы, детские сады, библиотеки, поликлинические учреждения, спортивные комплексы и другие. Единый механизм по электронному документообороту на стадии возведения строительного объекта помогает упростить работу по внутри- и межведомственному взаимодействию [3-4].

Ключевыми участниками процесса подготовки пакета документации на строительство объекта социальной инфраструктуры являются отраслевой комитет исполнительного органа государственной власти, Комитет по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга, Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры, центр государственной экспертизы, непосредственно подрядчик, а также иные заинтересованные ведомства.

В данной работе рассмотрен проект развития территории острова Новая Голландия. В рамках данного проекта проведены мероприятия по реконструкции здания (постройка зрительного зала и библиотеки) Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения «Дом культуры «Парголовский».

Таблица 1 – Сравнение длительности этапов подготовки документации стандартным методом и с использованием АИС КС

Название этапов процесса	Длительность выполнения этапов процесса, дн.	
	Без использования АИС КС	С применением АИС КС
Подготовка технического задания	105	90
Разработка ПД и РД	270	252
Получение технических условий	42	11
Проверка ПД и РД	28	16
Устранение замечаний перед экспертизой	38	24
Подготовка и поиск коммерческих предложений на закупки	26	12
Проведение экспертизы	77	69
При наличии устранение и снятие замечаний	12	8
Выдача положительного заключения	7	7
Получение разрешения на строительство	11	5
Итого:	616	494

Весь цикл подготовки комплекта документации включает в себя следующие этапы:

- подготовка технического задания (подача заявки на проектирование, составление технического задания, расчет стоимости для каждого этапа календарного плана, определение подрядчика на конкурсной основе);
- подготовка рабочей документации (РД) и проектной документации (ПД), а также её неоднократная проверка [5];
- разработка и анализ технических условий;

- устранение замечаний и доработка ПД и РД перед экспертизой;
- поиск оптимальных коммерческих предложений на закупки;
- проведение экспертизы и выдача положительного заключения;
- получение разрешения на строительство;
- проверка комплектности и архивирование комплекта документов.

В таблице 1 представлено сравнение длительности этапов подготовки документации стандартным методом и с использованием АИС КС.

На основе информации, представленной в таблице 1, можно сделать следующий вывод: внедрение автоматизированной информационной системы обеспечило повышение структурированности, последовательности и экономичности (с точки зрения временного фактора; собственно экономия составила 122 дня) процесса подготовки и передачи документов. Указанное обстоятельство позволило выполнить строительные работы в установленный в контракте срок, что в свою очередь, свидетельствует о высокой эффективности применения технологий информационного моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Авербух Е.А. Анализ основных направлений совершенствования системы государственного управления в Хабаровском крае // Ученые заметки ТОГУ. 2017. Т. 8. № 2. С. 491–499.
2. Наумов В.Н., Кучеренко Д.В. Исследование структурной сложности инфраструктуры государственных информационных систем Санкт-Петербурга методами анализа социальных графов // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 2. С. 114–122.
3. Эдиев А.М. Информационные технологии в органах исполнительной власти Российской Федерации // Дистанционные образовательные технологии: Материалы II Всероссийской научно-практической интернет-конференции, Ялта, 18–22 сентября 2017 года. 2017. С. 87–95.
4. Сталоверов В.А. Цифровая трансформация государственного управления в условиях пандемии COVID-19 // Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий в России, Брянск, 25 мая 2021 года. 2021. С. 262–265.
5. Давыдова, А.Д. Актуальные экологические требования к проектной строительной документации // Сборник материалов Международной научной студенческой конференции, М.: 2018. С. 188–190.

УДК 911.375.62

Д.И. Донова, М.Д. Терех  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### КЛЮЧЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕЛеноЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДОВ РОССИИ

Планирование зеленой инфраструктуры (ЗИ) является неотъемлемой частью градостроительной политики, поскольку сочетает в себе как природоохранные мероприятия, так и планы формирования комфортной городской среды. Важно отметить, реализуемая на сегодняшний день Российская национальная программа «Жилье и городская среда» (2019 г.), предполагает использование 36 соответствующих оценочных индикаторов, из которых зеленую инфраструктуру характеризуют следующие [1, 2]:

- доля озелененных территорий общего пользования в общей площади зеленых насаждений;
- уровень озеленения;
- состояние зеленых насаждений;
- привлекательность озелененных территорий;
- разнообразие услуг зеленой зоны;
- процент населения, имеющего доступ к общественной зеленой зоне.

Однако большинство из указанных показателей не учитывают достаточно большое количество значимых факторов, в том числе пространственную неоднородность и устойчивость ЗИ. Данное обстоятельство определило актуальность проведения исследования, целью которого является выделение ключевых показателей и современных методов оценки качества и учета зеленой инфраструктуры.

На первом этапе теоретического исследования был произведен анализ показателей зеленой инфраструктуры и их разделение на следующие группы:

1. «Общие» показатели, которые в целом характеризуют количество и типы городских зеленых насаждений; среди наиболее важных показателей можно выделить следующие:

- доля площади зеленых насаждений в общей площади городской застройки (может быть оценена с помощью дистанционного зондирования; в соответствии с действующими в России национальными стандартами городской зеленой инфраструктуры минимально допустимое значение показателя составляет 40%);
- площадь городской зеленой инфраструктуры, приходящаяся на душу населения (рекомендованное Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) минимальное значение составляет 9 м<sup>2</sup>/чел., оптимальное значение – около 50 м<sup>2</sup>/чел. [3]); нормативные значения показателя варьируются в разных странах, но при этом эквивалентны рекомендуемым ВОЗ значениям или превышают их.

2. «Особые» показатели, характеризующие качество зеленой инфраструктуры, т.е. определяющие, насколько хорошо городские зеленые насаждения выполняют свои функции; значения показателей во многом зависят от состояния растительности, в частности, от густоты и состояния листового покрова; наиболее важными показателями группы являются:

- нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI), который характеризует плотность растительности с помощью спутниковых снимков зеленой массы, которая поглощает электромагнитные волны в видимом красном диапазоне и отражает их в ближнем инфракрасном [4];
- индекс площади листьев (LAI), который определяется как площадь зеленых листьев, приходящаяся на единицу площади поверхности земли [4];
- показатель общей доступности зеленой инфраструктуры, определяемый как отношение населения, имеющего доступ к зеленой зоне в 300-метровой буферной зоне, к общей численности населения города (расчет показателя предполагает оценку наличия зеленых насаждений в шаговой доступности от жилой застройки).

Стоит отметить, что рост населения является важным фактором, который следует учитывать при исследовании городской ЗИ, в частности обосновании параметров динамики ее развития: рост населения обусловит потребность в расширении ЗИ, «политики защиты и сохранения» будет недостаточно, возникнет необходимость принятия дополнительных мер по благоустройству зеленых зон.

Второй этап исследования заключался в создании комплексной системы показателей для оценки современного состояния и качества городской зеленой инфраструктуры. Особенность предложенной системы показателей основана на том, чтобы зеленая инфраструктура не только удовлетворяла потребности граждан, но и поддерживала себя (обеспечивала устойчивое развитие) как система интегрированных элементов.

Выделенные в рамках исследования группы показателей и их содержимое представлены в таблице 1.

В связи с постоянным ростом значения земельных ресурсов целесообразно проведение мониторингов с применением предложенных показателей для получения наиболее полного и достоверного анализа использования указанных ресурсов. Сегодня для этих целей следует применять современные методы ГИС-моделирования. Геоинформационная система (ГИС) – это

программно-аппаратный комплекс, способный решать задачи по хранению, отображению, обновлению и анализу пространственных данных с учетом их территориального распределения [5].

Таблица 1 – Выделенные в рамках исследования группы показателей и их содержимое

Наименование группы показателей	Наименование показателя	Ед. изм.
1. Общая доступность зеленой инфраструктуры	Общая городская зеленая инфраструктура	%
	Наличие зеленой инфраструктуры	м <sup>2</sup> /чел.
	Обеспеченность зеленой инфраструктурой наименее озелененного района города	м <sup>2</sup> /чел.
	Разница между городской зеленой инфраструктурой на душу населения в городе с наибольшей и наименьшей растительностью районов	м <sup>2</sup> /чел.
	Изменение доли общей зеленой инфраструктуры	%
2. Формирование комфортной городской среды	Наличие городской зеленой инфраструктуры для отдыха	м <sup>2</sup> /чел.
	Доля жилой застройки без зеленой инфраструктуры в 300-метровой полосе	%
	Доля жилой застройки без зеленой инфраструктуры в 800-метровой полосе	%
3. Устойчивость зеленой инфраструктуры	Древесная растительность в зеленой инфраструктуре	%
	Земли сельскохозяйственного назначения в зеленой инфраструктуре	%
	Индекс фрагментации зеленой инфраструктуры	-
	Городские охраняемые территории	%
	Изменение доли древесного покрова в зеленой инфраструктуре	%

Существует три основных группы моделей, применяемых в рамках ГИС-моделирования зеленой инфраструктуры:

1. Модели, используемые для характеристики земельного покрова (CORINE Land Cover).
2. Модели, используемые для оценки зеленой инфраструктуры относительно потенциальных объемов предлагаемых экосистемных услуг (Urban Atlas).
3. Модели, используемые для оценки конфигурации, фрагментированности и пространственной структуры зеленой инфраструктуры (MSPA-анализ) [6].

Благодаря автоматизированным мониторинговым системам контроль за градостроительной деятельностью становится более эффективным, поскольку постоянное наблюдение позволяет не только следить за правильностью выполнения законов, но и вносить в него поправки соответственно фактическим условиям экологической и социально-экономической обстановки [5]. На сегодняшний день комплексный многофункциональный подход к организации зеленых насаждений следует считать лучшей градостроительной практикой, направленной на формирование комфортной городской среды и повышающей устойчивость зеленой инфраструктуры.

В результате выполненного исследования была предложена комплексная система для оценки качества зеленой инфраструктуры, характеризующая влияние зеленых насаждений на комфортность городской среды, а также целостность зеленых насаждений как взаимосвязанной экосистемы. Представленные показатели и методы анализа служат отправной точкой для разработки конкретных сводов и правил, регулирующих деятельность человека и улучшающих управление эко-средой.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Национальный проект «Жилье и городская среда». URL: <http://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyy-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda/> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Индекс качества городской среды. URL: <http://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyy-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda/> (дата обращения: 20.02.2021).
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация производственных, жилых и иных объектов.
4. Klimanova O.A., Illarionova O.I. Green infrastructure indicators for urban planning: applying the integrated approach for Russian largest cities. *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. № 13(1). С. 251–259.
5. Как создать экологическую геоинформационную систему. Геоинформационные системы в экологии и природопользовании. URL: <https://goaravetisyan.ru/kak-sozdat-ekologicheskuyu-geoinformacionnaya-sistema/> (дата обращения: 05.03.2022)
6. Миронова Е.Е. ГИС-моделирование зеленой инфраструктуры средиземноморских городов для управления урбанизированными экосистемами (на примере города малага) // *Экосистемы: экология и динамика*. 2020. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gis-modelirovanie-zelenoy-infrastruktury-sredizemnomorskih-gorodov-dlya-upravleniya-urbanizirovannymi-ekosistemami-na-primere> (дата обращения: 07.03.2022).

УДК 658.7

Е.А. Дровалева, А.Е. Радаев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

*Актуальность исследования.* Эффективное функционирование строительной отрасли невозможно без рационального обоснования сроков выполнения работ, а также их качества и стоимости. Важно отметить, что в рамках решения задач обеспечения требуемых сроков выполнения строительных работ особую роль выполняет планирование поставок строительных материалов на объект. Тем не менее, обоснование характеристик процессов ресурсного снабжения объектов строительства является трудоемким ввиду наличия большого количества факторов внутренней и внешней среды, также сложности структуры технологического процесса и высокой интенсивности материальных потоков. Данные обстоятельства определяют необходимость проведения научного исследования, описание которого приведено далее.

*Цель исследования* заключается в разработке методики обоснования характеристик процессов материально-технического снабжения объектов гражданского строительства.

*Основные задачи исследования:*

- произвести обзор и анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов в сфере обоснования характеристик процессов снабжения групп объектов строительства;
- разработать оптимизационную модель обоснования характеристик процессов снабжения объектов строительства;
- разработать и реализовать на практическом примере методику обоснования характеристик процессов снабжения объектов строительства.

На начальных этапах исследования был произведен анализ научных работ в области обоснования характеристик процессов снабжения групп объектов строительства с использованием средств аналитического, оптимизационного и имитационного моделирования [1–4]. Результаты анализа упомянутых работ показали ограниченность или отсутствие эффективных средств рациональной организации процессов ресурсного снабжения объектов строительства с обеспечением минимальных суммарных затрат на транспортировку грузов.

При разработке оптимизационной модели на следующем этапе исследования были сформулированы следующие основные положения:

- организация-застройщик осуществляет строительство определенного количества  $n$  жилых комплексов (объектов строительства), при этом снабжение соответствующих строительных площадок в разрезе различных видов груза (в общем количестве  $K$ ) осуществляется с использованием общего распределительного склада строительных материалов;
- снабжение каждого объекта строительства производится индивидуально и предполагает организацию определенного количества поставок со склада на соответствующую строительную площадку; каждая поставка включает в себя определенное количество ездов, выполняемых отдельными типами (моделями) автомобильных транспортных средств (ТС), каждый из которых имеет собственные массогабаритные характеристики (общее количество типов ТС  $\Omega$ );
- суточный объем потребности в грузе каждого отдельного вида, выражаемых в так называемых грузовых единицах (ГЕ) – паллетах, поддонах, упаковках и т.д., является случайной величиной, соответствующей нормальному закону вероятностного распределения;
- необходимо определить количество ГЕ  $q_{kiv}$  (шт./ед.) в части каждого вида груза  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) и количество ездов  $z_{jv}$  (ед./ед.) для каждого типа ТС  $v$  ( $v = 1, 2, \dots, \Omega$ ) в составе одной поставки со склада на каждый объект строительства  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), а также интервал времени между смежными поставками со склада  $T_j$  (дн./ед.) на каждый объект строительства  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), при которых обеспечиваются минимальные суммарные затраты на транспортировку ГЕ и загрузку ТС, при условии, что вероятность образования дефицита каждого отдельного вида груза в рамках каждого отдельного объекта строительства не будет превышать предельно допустимого значения.

Основная особенность исходной структуры разработанной модели обусловлена тем, что для учета вышеописанного ограничения по отношению к вероятностному показателю, а также при вычислении суммарных затрат на транспортировку и загрузку используются нелинейные функции соответственно  $f_1(T_j) = \sqrt{T_j}$  и  $f_2(T_j) = 1/T_j$  относительно целочисленной неизвестной переменной  $T_j$  для каждого объекта строительства  $j$ .

Для обеспечения возможности преобразования исходной модели в линейный вид и последующего применения симплекс-метода, обеспечивающего нахождение истинного оптимального решения [5], целесообразно использовать метод кусочно-линейной аппроксимации вышеуказанных функций при рациональном количестве интервалов посредством построения и реализации специальной оптимизационной модели. Исходные данные и неизвестные переменные, а также расчетные характеристики модели представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

*Выводы.* Таким образом, использование результатов кусочно-линейной аппроксимации, выполненной в соответствии с данными, представленными в таблицах 1 и 2, для решения основной задачи позволит существенно сократить количество неизвестных переменных соответствующей оптимизационной модели (в сравнении с базовым методом кусочно-линейной аппроксимации, предполагающим использование бинарных переменных в количестве, соответствующем числу альтернативных значений целочисленного аргумента исходной нелинейной функции) и, как следствие, уменьшить трудоемкость реализации модели при сохранении адекватности результатов.



Таблица 1 – Исходные данные и неизвестные переменные оптимизационной модели

№ п.п.	Наименование элемента исходных данных	Обозначение
1	Исходные данные	
1.1	Функция кусочно-линейной аппроксимации	$y(x)$
1.2	Количество кусочно-линейных интервалов	$z$
1.3	Минимальная ширина кусочно-линейного интервала	$\delta^{\min}$
1.4	Нижняя граница интервала значений аргумента	$x^{\min}$
1.5	Верхняя граница интервала значений аргумента	$x^{\max}$
1.6	Количество теоретических значений функции	$m$
1.7	Предельно допустимая относительная ошибка	$\Delta^{\max}$
1.8	Порядковый номер интервала	$k = 1, 2, \dots, z$
2	Неизвестные переменные, учитываемые для каждого интервала $k$ ( $k = 1, 2, \dots, z$ )	
2.1	Оптимальное значение нижней границы интервала	$lb_k$
2.2	Параметр масштаба – оптимальное значение	$a_k$
2.3	Параметр смещения – оптимальное значение	$b_k$

Таблица 2 – Расчетные характеристики оптимизационной модели

№ п.п.	Наименование расчетной характеристики	Выражение
1	Расчетные характеристики, вычисляемые для каждого интервала $k$ ( $k = 1, 2, \dots, z$ )	
1.1	Начальное значение нижней границы интервала	$lb_k^0 = x^{\min} + (x^{\max} - x^{\min}) \cdot (k - 1) / z$
1.2	Верхняя граница интервала	$ub_k = \begin{cases} lb_k, & k < z; \\ x^{\max}, & k = z \end{cases}$
1.3	Ширина кусочно-линейного интервала	$\delta_k = ub_k - lb_k$
1.4	Параметр масштаба – начальное значение	$a_k^0 = (y(ub_k^0) - y(lb_k^0)) / (ub_k^0 - lb_k^0)$
1.5	Параметр смещения – начальное значение	$b_k^0 = y(ub_k^0) - a_k^0 \cdot ub_k^0$
1.6	Прогнозное значение на верхней границе текущего интервала (должно соответствовать значению п. 1.7)	$y_k^{ub} = a_k \cdot ub_k + b_k$
1.7	Прогнозное значение на нижней границе следующего интервала	$y_{k+1}^{lb} = a_{k+1} \cdot lb_{k+1} + b_{k+1}$
2	Расчетные характеристики, вычисляемые для каждой характерной точки $i$ ( $i = 1, 2, \dots, m$ )	
2.1	Значение по оси абсцисс	$x_i = x^{\min} + (x^{\max} - x^{\min}) \cdot (i - 1) / m$
2.2	Значение по оси ординат (теоретическое)	$y_i = y(x_i)$
2.3	Значение по оси ординат (прогнозное)	$\bar{y}_i = a_k \cdot x_i + b_k, k : lb_k \leq x_i \leq ub_k$
2.4	Значение относительной ошибки (текущее) – должно находиться между значениями пп. 2.5 и 2.6	$\Delta_i = (\bar{y}_i - y_i) / y_i$
2.5	Значение относительной ошибки (минимальное)	$\Delta_i^{\min} = -\Delta_i^{\max}$
2.6	Значение относительной ошибки (максимальное)	$\Delta_i^{\max} = \Delta^{\max}$
2.7	Сумма квадратов отклонений прогнозного значения функции от теоретического (целевая функция – минимизируется)	$\Delta^{\Sigma} = \sum_{i=1}^m (\bar{y}_i - y_i)^2$
2.8	Коэффициент детерминации	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^m \left( y_i - \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} \right)^2}$

На дальнейших этапах исследования предполагается формирование методики, включающей в себя поэтапное описание процесса решения задачи, а также реализация предложенного инструментального средства на практическом примере.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бушлякова Е.С., Кокурин Д.И. Оптимизация логистической деятельности на объектах строительства. М. Издательство: Научные технологии, 2018.
2. Самойлова А.И. Питель Т.С. Особенности логистического управления процессом материально-технического обеспечения строительства. Научный журнал молодых ученых, 2018. С. 53–56.
3. Топоров В.Ю. Проблемы организации логистических процессов в строительстве. Сметно-договорная работа в строительстве, 2015. С. 33–36.
4. Опарина Л.А. Совершенствование организационного механизма материально-технического снабжения строительства. В сборнике: Организация строительного производства. Материалы II Всероссийской научной конференции, 2020. С. 27–34.
5. Mostovskiy N., Mostovskaya P., Radaev A., Yugov A. Procedure for the formation of the optimal transportation route with application of stochastic programming tools // Proceedings of EECSE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. С. 357–371.

УДК 69.003.13

М.М. Жунусов, А.В. Мишакова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*Актуальность.* На сегодняшний день внедрение цифровых технологий как фактора развития строительной отрасли предполагает не только перевод данных и процессов в цифровой вид, но и переход к концептуально новым подходам и моделям, позволяющим решать ряд задач разработки, реализации и управления строительными проектами. Одним из актуальных направлений цифровизации строительной отрасли является использование информационного моделирования зданий в комплексе с облачными технологиями. Такой подход позволяет обеспечить удаленную и гибкую совместную работу специалистов над проектом, а также снизить его стоимость и сократить сроки реализации.

*Цель работы.* Обоснование возможности и необходимости использования облачных технологий как инструмента для охраны труда и контроля качества строительного объекта.

В настоящее время, существуют определенные сложности с внедрением инновационных ИТ-технологий в строительство, были выявлены две основные сложности:

- отсутствие у руководящего персонала видения как может повыситься качество строительства с применением современных информационных технологий [6];
- сложность решений, предлагаемых ИТ-специалистами конечному пользователю из-за большого объема информации на строительной площадке, ее разнообразия и количества взаимодействий между участниками строительного процесса.

На данный момент, распространено мнение, что внедрение облачных решений в строительную отрасль положительно скажется на показателях качества и оценке эффективности системы менеджмента качества в строительстве [5]. Что в будущем может привести к существенной экономии материальных и трудовых ресурсов как при проектировании, изготовлении строительных материалов, деталей и конструкций, выполнении строительного-монтажных работ, так и при эксплуатации зданий и сооружений.

Экономия материальных ресурсов может быть достигнута за счет:

- снижения расходов на урегулирование жалоб;
- выявление причин дефектов;
- исправления брака изделий и конструкций;
- исправление некачественно выполненных строительных работ.

Экономия трудовых ресурсов может быть достигнута за счет:

- уменьшения потерь рабочего времени на обнаружение и исправление брака;

- замены устаревшего оборудования на современное.

Несмотря на то, что дальнейшее улучшение качества требует соответствующих затрат, экономия материальных и трудовых ресурсов при повышении качества строительства приводит к существенному сбережению денежных средств [8].

Одним из представителей облачного решения от компании-поставщика программного обеспечения для строительства Autodesk является набор готовых веб-сервисов BIM 360. Это глубоко интегрированная экосистема облачных сервисов и настольных приложений, которая позволяет оптимизировать рабочие процессы.

Использование Autodesk BIM 360 в строительном производстве позволяет решать такие важные задачи, как выделение персонального облачного пространства каждому пользователю, где сохраняется вся строительная документация; возможность совместной работы с BIM-моделями и CAD-чертежами; интеграция своих приложений любой сложности, которые привлекают в работу данные BIM-моделей [2].

Возможные выгоды инструмента:

- единая BIM платформа и бесшовная интеграция с хранилищем BIM 360 Docs;
- расширяемость – возможность создавать плагины и интегрировать с внутренними ИТ-системами;
- развитие – продукт развивается, обрстая новым большим функционалом, например «Контроль за движением техники», «Контроль расходов».

Но данное решение также обладает следующими минусами:

- отсутствие российской локализации;
- нет возможности генерировать предписания и акты по своим формам;
- недоработанный функционал, который оптимизируется и дорабатывается в настоящий момент.

Если сфокусироваться на предмете исследования – подходящим решением является встроенный модуль «Field Management». С помощью этого модуля специалисты имеют возможность выполнять рабочие процессы, связанные с оценкой качества строительства, безопасностью, выявлением недостатков и вводом оборудования в эксплуатацию. Основной функционал модуля состоит из следующих пунктов:

- просмотр и заполнение чек-листов (контрольных списков);
- создание, подписание и отслеживание замечаний;
- формирование отчетов и отправка информации о замечаниях участникам строительства.



Рис. 1. Пример сводной аналитики выполненная с помощью ПО «Power BI»

Вся информация, получаемая с помощью модуля, может быть приведена в графическую сводную аналитику. По результатам которой, руководство может делать выводы касательно качества строительства на отдельно взятом участке.

Для контроля качества строительства используется инструмент Issues (перевод. «Замечания»). Данный функционал облачной платформы BIM 360 позволяет документировать и выписывать замечания ответственным лицам или подрядным организациям используя мобильное приложение от разработчиков Autodesk. Замечания, своевременно назначенные ответственным лицам/подрядным организациям могут способствовать повышению качества выполненных работ.

Используя данную методику аналитики данных, собранных на строительной площадке, руководители проектов могут отслеживать показатели качества и безопасности на строительной площадке (Quality Frequency Rate, Safety Frequency Rate) (рис. 1).

Формула для подсчета показателя качества работ выглядит следующим образом:

$$QFR = \frac{N_{от}}{N_{об}} \cdot \frac{1000000}{t}$$

где  $N_{от}$  – количество открытых замечаний, шт.;  $N_{об}$  – общее количество замечаний, шт.;  $t$  – количество рабочих часов, ч.

## Quality frequency rate

Рабочие часы			Открытые замечания			Все замечания		
Year	Month	Hours(Overall)	Количество ID	Год	Месяц	Количество ID	Год	Месяц
2021	1	83477	5	2021	Март	3	2021	Январь
2022	1	98647	24	2021	Июль	15	2021	Февраль
2021	2	91541	6	2021	Август	27	2021	Март
2021	3	100839	6	2021	Сентябрь	25	2021	Апрель
2021	4	101542	19	2021	Октябрь	52	2021	Май
2021	5	75648	9	2021	Ноябрь	31	2021	Июнь
2021	6	85813	16	2021	Декабрь	68	2021	Июль
2021	7	105874	11	2022	Январь	40	2021	Август
2021	8	99003	17	2022	Февраль	20	2021	Сентябрь
2021	9	101895	113			30	2021	Октябрь
2021	10	100864				39	2021	Ноябрь
2021	11	113307				35	2021	Декабрь
2021	12	125116				14	2022	Январь
Всего		1283566				22	2022	Февраль
						421		

Январь:  $(108/399) * 100\% * (1000000/1283566) = 21,09\%$

Февраль:  $(113/421) * 100\% * (1000000/116820) = 22,98\%$

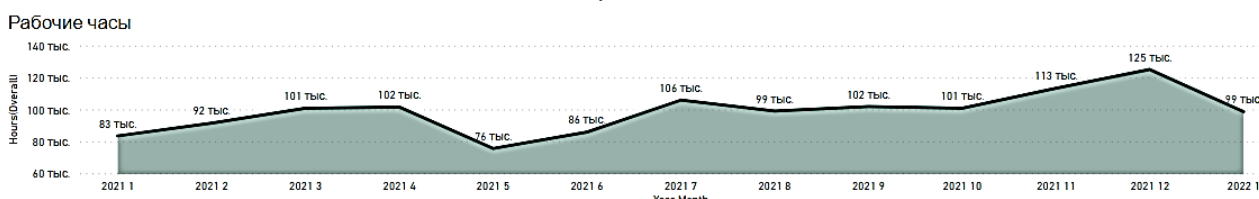
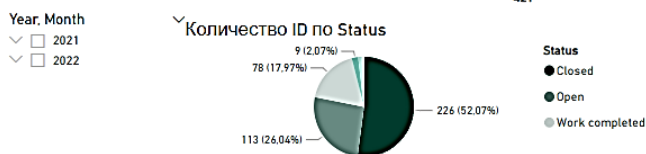


Рис. 2. Пример расчета Quality Frequency Rate

По итогам данного расчета за двухмесячный период можно наблюдать увеличение показателя QFR на 1,89%, что говорит об ухудшении качества выполненных работ. Таким образом имеется возможность вовремя принимать ключевые решения по дальнейшему ведению проекта. Например: отказ от услуг подрядной организации, которая игнорирует запросы на исправление дефектов или сосредоточение трудовых ресурсов на конкретной области реализации проекта.

**Выводы:** По итогам исследования были обоснованы положительные свойства от использования облачных технологий для охраны труда и контроля качества строительного

объекта. Облачное решение платформы Autodesk BIM360 позволяют решить целый ряд проблем на разных этапах жизненного цикла строительного объекта:

- повышение эффективности производства и получены высокие показатели в управлении инвестиционно-строительным проектом;
- потенциальное снижение материальных и трудовых ресурсов;
- экономия времени работы инженеров строительного контроля;
- повышение показателей качества строительного объекта;
- снижения уровня затрат.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вилисова А.Д. Вызовы цифровой экономики: Анализ современного состояния цифровизации строительной отрасли.
2. Накифова М.В., Астафьева Н.С., Мамаев А.Е. Использование облачных сервисов при реализации инвестиционно-строительных проектов.
3. Пестрякова В.А., Ушакова В.Е. Облачные технологии в строительстве.
4. Хатамов Ю.Б. Облачные технологии в строительстве.
5. Степанова В.С., Фролова М.С. Показатели качества и оценка эффективности системы менеджмента качества в строительстве.
6. Татаринев Т. Что такое “облачные” технологии для бизнеса? Стройконтроль [Электронный ресурс] (дата обращения: 15.02.2017).
7. Провоторов И.А., Вторников А.В., Актуальные направления цифровизации строительной отрасли.
8. Лукманова И.Г., Петрова И.П., Иванов Н.А. Основные направления развития систем менеджмента качества в строительстве: монография. М.: МГСУ, 2011.

УДК 004.94

А.М. Зуева, Н.С. Астафьева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ BIM – ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Строительная отрасль сталкивается с появлением новых технологий, направленных на повышение производительности и эффективности процесса, увеличения качества и устойчивости строительства, сокращения затрат на жизненный цикл здания и сроков его выполнения, а также возможности взаимодействия всех заинтересованных сторон строительного объекта. Внедрение новых технологий становится все более необходимым в связи с удаленностью строительных проектов, что способствует появлению новых и еще более сложных проблем, связанных с коммуникацией и управлением. Хотя во многих случаях внедрение BIM имеет множество потенциальных преимуществ, оно также способствует возникновению проблем в отношении того, как информационные технологии влияют на бизнес-процессы внутри организации на всех стадиях жизненного цикла проекта.

*Цель работы* – проанализировать пилотное внедрение технологий информационного моделирования на реальном удаленном строительном объекте и выявить преимущества внедрения новых технологий на уровне самой компании.

Развитие информационных технологий в строительной отрасли восходит к 1980-м годам, в этот же момент происходит внедрение программного обеспечения САПР на основе информации об объекте в 2D-технологии [1]. В 90-е годы были попытки объединить графическую и неграфическую информацию в концептуальной модели здания, что положило начало динамическому развитию концепции SBM (единая модель здания) [2]. В последующие годы наблюдалось расширение традиционного трехмерного моделирования BIM (3D). Технология BIM 4D – это виртуальная модель здания с планами строительства и возможностью

контролировать ход работ с течением времени наряду с визуализацией виртуально созданного здания. Модель 5D позволяет составить смету и исключить потенциальные ошибки. Что касается количественных показателей, то модель 6D вводит устойчивое развитие в инвестиционный процесс, а модель 7D обеспечивает управление жизненным циклом продукта (PLM), которое в строительстве называется управлением жизненным циклом здания – BLM [3].

При хорошей реализации использование BIM в качестве инструмента для коммуникации и совместной работы может привести к повышению качества проектирования и качества реализованного здания, а также повышению эффективности и экономии затрат [4]. BIM может быть использован для интегрированной коммуникации и сотрудничества между различными заинтересованными сторонами, как на одном, так и на разных этапах проекта. На каждой стадии жизненного цикла строительства требуется всесторонний обмен информацией между всеми участниками реализации объекта. Следовательно, необходим скоординированный обмен данными и структурированное управление [5].

В качестве объекта исследования рассмотрим проект дома Broom Lane, который разрабатывала архитектурная компания JMA. Он представляет собой пример проекта удаленного строительства, так как архитекторы, основная подрядная организация, все субподрядчики, а также и сама строительная площадка находились в абсолютно разных городах. В сравнении с другими удаленными строительными проектами, реализация которых осуществлялась традиционным способом, процесс разработки дома Broom Lane с внедрением BIM-технологий был более эффективным уже на ранних стадиях управления и коммуникации между всеми заинтересованными сторонами. На рисунке 1 показан пример пилотного проекта с помощью инструмента BIM, а именно программы ArchiCad.



Рис. 1. Пилотный проект дома Broom Lane

Архитектурная компания JMA поделилась упрощенной версией BIM-модели с главным подрядчиком, который также поделился этим с соответствующими субподрядчиками и командой удаленного управления. В дополнение к информационной модели проекта, компанией также были отправлены соответствующие графики строительства и ведомости объемов, которые были автоматически сгенерированы на основе BIM-модели.

Главный подрядчик использовал модель вместе с количественными показателями для координации проектной деятельности на удаленной площадке, а также для улучшенного взаимопонимания между всеми вышеупомянутыми заинтересованными сторонами.

Например, изображения на рисунке 2 показывают пример стиля общения между менеджером по закупкам главного подрядчика, командой компании и субподрядчиком в связи с закупкой и установкой различных оконных рам.

Рассматривая и анализируя внедрение BIM в жизненный цикл проекта Broom Lane и последующего его влияния на управление объектов и коммуникацию удаленных строительных процессов внутри архитектурной компании, можно выделить следующие преимущества:

- автоматизация всех процессов жизненного цикла и обеспечение качества, экономии времени и затрат благодаря упрощенному созданию чертежей и мгновенному созданию 3D-модели здания, обнаружения ошибок в процессе проектирования и их моментальное устранение;



Рис. 2. Коммуникация в процессе проектирования между сторонами объекта с помощью BIM-технологий

- сравнение и корректировка информации, которой обмениваются заинтересованные стороны, участвующие в проекте удаленного строительства;
- возможность обмена информацией с вышеупомянутыми заинтересованными сторонами для успешного дальнейшего сотрудничества;
- хранение всех данных о здании в едином месте. Все необходимые документы, характеристики и данные о здании систематизированы и хранятся в одном месте. Также можно отслеживать на всем проекте внесенные изменения. Технология информационного моделирования позволит иметь все данные о здании в одной системе и отслеживать их на всем жизненном цикле здания;

- возможность технического анализа проектов, с целью устранения ошибок, возникающих из-за изменений в спецификациях, чертежах или элементах проектируемого объекта.

По результатам анализа внедрения BIM для строительной организации, можно сделать вывод, что информационные технологии упрощают работу с подсчетами сроков строительства и ведомости объемов, значительно экономят время и позволяют наладить более эффективные коммуникации между заинтересованными сторонами удаленного объекта строительства.

На примере проекта Groom Lane можно сказать, что использование информационных технологий послужило инструментом для повышения производительности, эффективности и качества работы.

Многие из ключевых проблем, в том числе связанных с техническими и человеческими факторами, для реализации удаленных строительных объектов могут быть решены путем внедрения BIM – технологий. В статье было рассмотрено внедрение информационного моделирования в работу архитектурной компании, но если также рассмотреть внедрение на уровне подрядной организации, то ключевые преимущества в том числе затрагивают такие направления, как охрана труда и техника безопасности, коммуникация на месте, а также планирование и мониторинг строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Морозова Н.Е., Аль-Згуль С.Х. Управление проектом внедрения технологий информационного моделирования на предприятиях строительной отрасли // Инженерный вестник Дона. 2017, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive) – (дата обращения: 12.03.2022)
2. Plebankiewicz, E., Zima, K., Skibniewski, M. Analysis of the first Polish BIM-Based cost estimation application // Procedia Eng, 2015, p. 405–414.
3. Trach, R., Pawluk, K., Lendo-Siwicka, M. The assessment of the effect of BIM and IPD on construction projects in Ukraine // Int. J. Constr. Manag, 2020, p. 1562–3599.
4. Ding, L., Zhou, Y., Akinci, B. Building Information modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable // Autom. Constr, 2014, p. 82–93.
5. Анисимова Н.В., Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Развитие инновационных технологий девелопмента на основе информационного моделирования зданий // Экономика и предпринимательство, 2014, № 11-4. с. 188.

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ УРОВНЯ  
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Условия реализации государством энергоэффективной политики, предполагающей в том числе использование энергосберегающих технологий в производстве, предполагают снижение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания для вновь создаваемых зданий и сооружений. Уменьшению указанной характеристики, а также удельной теплозащитной характеристики здания способствует доработка теплозащитной оболочки здания. При этом одной из наиболее важных задач является определение характеристик конструктивных решений для обеспечения оптимального соотношения между капитальными и эксплуатационными затратами с учетом как денежных, так и энергетических ресурсов.

*Цель работы* – разработка методики принятия управленческих решений для оптимизации уровня теплозащиты здания (класса энергоэффективности) с помощью математического моделирования.

Реализация комплекса энергосберегающих мероприятий – один из эффективных способов решения рассматриваемой проблемы – обеспечивает снижение энергопотребления в существующих зданиях (и, как следствие, снижение эксплуатационных расходов, например, на отопление) за счет теплоизоляции ограждающей конструкции, повышения целостности строительных конструкций, внедрения эффективного инженерного оборудования, использования вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии [1]. Высокая приоритетность (в сравнении с другими мероприятиями) повышения энергоэффективности ограждающих конструкций здания определяется следующими особенностями:

- достаточно высокая доля (порядка 50 %) энергии, рассеиваемой через оболочку здания, в общем количестве потребляемой энергии [2–4];
- соответствие наибольших тепловых потерь здания окнам, стенам, слабо утепленным перекрытиям над подвалом.

Важно отметить, что увеличение сопротивления теплопередаче конструкций в общем случае сопряжено со значительным ростом капитальных затрат, определяемых себестоимостью устройства дополнительных ограждающих слоев, что в условиях достигаемой экономии затрат на отопление здания может обусловить отсутствие экономической целесообразности реализации соответствующих конструктивных решений [5].

Для достижения цели исследования была разработана математическая модель обоснования уровня тепловой защиты зданий на основе критериев энергетической и экономической эффективности. Основу модели составляет удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{от}^p$  (Вт/(м<sup>3</sup>·°C)), определяемая выражением [6]

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ} \cdot (k_{быт} + k_{рад}), \quad (1)$$

где  $k_{об}$  – удельная теплозащитная характеристика здания (Вт/(м<sup>3</sup>·°C));  $k_{вент}$  – удельная вентиляционная характеристика здания (Вт/м<sup>3</sup>·°C);  $\beta_{КПИ}$  – коэффициент, учитывающий авторегулирование отопления и снижение использования тепlopоступлений в период превышения их над тепlopотерями;  $k_{быт}$  – удельная характеристика бытовых тепловыделений ((Вт/м<sup>3</sup>·°C));  $k_{рад}$  – удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации ((Вт/м<sup>3</sup>·°C)).



Для выявления взаимосвязи показателей энергетической и экономической эффективности ограждающих конструкций здания удельная вентиляционная характеристика здания  $k_{\text{вент}}$ , удельные характеристики бытовых тепловыделений здания  $k_{\text{быт}}$  и теплопоступлений в здание от солнечной радиации  $k_{\text{рад}}$  были приняты постоянными; при этом удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{\text{от}}^p$  рассматривалась как величина прямопропорциональная относительно удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{\text{об}}$ .

В таблице 1 представлены исходные данные для реализации оптимизационной модели – альтернативные значения изменения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, а также соответствующие значения капитальных затрат на устройство дополнительной теплоизоляции. При расчете значений изменения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания базовое термическое сопротивление конструкций окон принималось равным  $R_0^{\text{np}} = 0,64 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Таблица 1 – Капитальные затраты на повышение уровня энергоэффективности

№ п.п. $i$	Изменение удельной характеристики, $\Delta q_{\text{от}i}^p$	Капитальные затраты $k_{ij}$ на повышение уровня энергоэффективности, тыс. руб., для ограждающих конструкций категории ( $j$ )			
		Стены наружные, $j = 1$	Покрытие, $j = 2$	Перекрытие над подвалом, $j = 3$	Окна, $j = 4$
1	0	0	0	0	0
2	0,01	939,4	1864,8	1831,1	8204,1
3	0,02	1043,7	2072,0	2034,5	10833,1
4	0,03	1174,2	2331,0	2288,8	13462,1
5	0,04	1342,0	2664,0	2615,8	16091,1
6	0,05	1565,6	3108,0	3051,8	18720,1
7	0,06	1878,7	3729,6	3662,1	21349,2
8	0,07	2348,4	4662,1	4577,7	23978,2
9	0,08	3131,2	6216,1	6103,6	26607,2
10	0,09	4696,8	9324,1	9155,4	29236,2
11	0,1	9393,7	18648,2	18310,7	31865,2

Неизвестными переменными оптимизационной модели являются бинарные индикаторы  $y_{ij}$ , определяющие целесообразность изменения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию для  $j$ -й категории ограждающих конструкций в соответствии с  $i$ -м альтернативным вариантом ( $y_{ij} = 1$  в случае, если изменение целесообразно; в противном случае  $y_{ij} = 0$ ).

Структура оптимизационной модели определяется следующими выражениями:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot y_{ij} \rightarrow \min; & (2) \\ y_{ij} \in \{0;1\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n; & (3) \\ \sum_{j=1}^n \left( \Delta q_i \cdot \sum_{i=1}^m y_{ij} \right) = \Delta q^{\text{req}}; & (4) \\ \sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n. & (5) \end{cases}$$

Выражение (2) описывает целевую функцию – суммарные капитальные затраты, связанные с изменением удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания; выражение (3) определяет прямые ограничения бинарности неизвестных переменных; выражение (4) описывает не прямое ограничение, определяющие соответствие суммарного (по категориям ограждающих конструкций) изменения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию некоторому требуемому значению  $\Delta q^{req}$  (Вт/(м<sup>3</sup>·°С)). Выражение (5) описывает не прямые ограничения, в соответствии с которыми для каждой  $j$ -й категории ограждающих конструкций может быть реализован только один вариант изменения вышеупомянутой удельной характеристики.

На заключительном этапе исследования была произведена реализация разработанной оптимизационной модели на практическом примере – решении задачи перехода от класса “С” до класса “А” энергоэффективности для 3-х этажного здания детского образовательного учреждения за счет устройства дополнительной теплоизоляции и замены окон. При выполнении расчетов использовалась надстройка «OpenSolver» для программы «Microsoft Excel».

Полученные результаты позволили сформировать конструктивные решения на основе критериев энергетической и экономической эффективности, что, в свою очередь, подтвердило целесообразность использования модели при проведении процедур технико-экономического обоснования решений, формируемых в рамках предпроектной стадии объектов капитального строительства.

Вышеописанная оптимизационная модель будет использована на дальнейших этапах исследования в качестве базы для разработки методики принятия управленческих решений для оптимизации уровня теплозащиты здания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лысев В.И., Шилин А.С. Анализ требований Свода Правил теплозащитной оболочке здания // Refrigeration and Air Conditioning. 2016. С. 15–22.
2. Fan, Y., Xia, X. A multi-objective optimization model for energy-efficiency building envelope retrofitting plan with rooftop PV system installation and maintenance. Applied Energy. 2017. № 189. С. 327–335.
3. Zemitis J., Terekh M. Management of energy efficient measures by buildings' thermorenovation // MATEC Web of Conferences. Сер. «International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering, EECCE 2018». 2018. С. 06003.
4. Terekh M., Tretyakova D., Morozova N., Zemītis J. Cost and energy assessment of buildings thermal protection level // Proceedings of EECCE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. С. 191–204.
5. Terekh M., Tretyakova D. Primary energy consumption for insulating // E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, КТТИ 2019. 2020. С. 06008.
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

УДК 69.001.5

И.С. Птухина, А.А. Шавва, А.С. Князева  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ

*Актуальность.* При проектировании зданий и микрорайонов огромное значение имеет степень комфортности окружающей среды в зоне застройки. Есть множество факторов, формирующих климат и непосредственно влияющих на самочувствие человека. Одним из них является скорость ветра.

Ветер может оказывать как благоприятное, так и неблагоприятное воздействие. При высокой плотности застройки и низких скоростях ветра происходит накопление пыли и снега. Помимо этого, отсутствие достаточной циркуляции воздуха может привести к скоплению выхлопных газов от автомобилей и т.п. Высокие скорости ветра приводят к переохлаждению и, как следствие, повышению уровня заболеваемости среди населения [1].

Для высотных зданий проблема оценки ветрового воздействия стоит особенно остро, так как с увеличением высоты строения растет величина скорости ветра в уровне пешеходной зоны [2, 3]. Результаты оценки действия ветра на территории участка строительства сильно влияют на итоговый вид его зонирования. Так, например, с подветренной и наветренной сторон здания образуются максимальные отложения снежных масс [4]. Значит, в данных областях нельзя предусматривать стоянки и места отдыха. Пренебрежение оценкой ветровой комфортности пешеходных зон участка строительства может привести не только к серьезным финансовым потерям, но и к возникновению опасной для жизни и здоровья людей обстановки.

*Метод исследования:* программный, с использованием Autodesk CFD.

*Цель работы:* изучить понятие ветрового комфорта, а также рассмотреть этапы расчета ветрового воздействия в Autodesk CFD

*Задачи:*

1. Рассмотреть параметры определения уровня ветрового комфорта на примере России и Западной Европы.
2. Проанализировать сложности при переносе модели САПР в CFD.
3. Выделить основные этапы расчета ветрового воздействия в Autodesk CFD.

При оценке действия ветра на пешеходов используется понятие ветрового комфорта. Ветровой комфорт оценивает физическое и эмоциональное состояние человека, степень его безопасности при различных видах активности (сидение, бег, прогулка) под воздействием ветра разной силы. В разных странах существуют свои критерии оценки ветрового комфорта. Все они описываются в соответствующих нормативных документах и в основном несут рекомендательный характер. В России таким документом является МДС 20-1.2006 [5]. Согласно данному документу, существует три уровня комфортности. В качестве критериев выступают граничные значения скоростей ветра, а также продолжительность их воздействия в течение года (табл. 1).

Таблица 1 – Критерии оценки ветрового комфорта согласно МДС 20-1.2006

Уровень комфортности	I	II	III
$V_{cr}$ , м/с	6	12	20
$T_{lim}$ , час/год	1000	50	5

В Нидерландах в 2006 г. изданы нормы по ветровому комфорту NEN 8100 (2006) [6]. Здесь критериями ветровой комфортности служат граничный показатель скорости и вероятность его превышения в течение года. Различается пять классов качества ветровых условий. Класс А соответствует условиям, благоприятным для всех видов активности пешехода, а класс Е – условиям, крайне неблагоприятным для деятельности человека (табл. 2).

Таблица 2 – Критерии оценки ветрового комфорта согласно NEN 8100 (2006)

Класс качества	$P(U_{гр} > 5 \text{ м/с}), \%$	Тип деятельности		
		Сидение	Прогулка	Передвижение
А	< 2,5	Благоприятный	Благоприятный	Благоприятный
В	5,0	Удовлетворительный	Благоприятный	Благоприятный
С	10	Плохой	Удовлетворительный	Благоприятный
Д	20	Плохой	Плохой	Удовлетворительный
Е	>20	Плохой	Плохой	Плохой

Моделирование ветрового воздействия с использованием Autodesk CFD [7].

Существует два способа определения ветровых условий участка или района строительства: эксперименты в аэродинамической трубе и расчеты методами вычислительной гидродинамики с использованием компьютерного моделирования.

Моделирование ветрового воздействия производится в несколько этапов:

1. Подготовка САПР модели. Для этого необходимо провести анализ того, какая геометрия участвует в расчете. Все незначительные детали модели необходимо скрыть или упростить перед экспортом в CFD во избежание ошибок при разбиении сетки конечных элементов. По этой же причине необходимо найти и устранить все зазоры и пересечения конструкции.
2. Экспорт расчетной модели. Экспорт геометрии в CFD чаще всего производится в несколько итераций. После первой корректировки и упрощения модели САПР, ее возможно экспортировать непосредственно в CFD, либо использовать инструмент проверки модели MAT. Во втором случае проводится автоматический анализ модели по четырем основным видам ошибок, которые могут помешать корректному расчету. К таким ошибкам относятся короткие ребра, маленькие поверхности, зазоры, пересечения. В случае наличия неточностей необходимо вернуться на предыдущий шаг и откорректировать модель. После окончательной корректировки геометрия экспортируется в CFD. После экспорта модели в CFD можно воспользоваться инструментом Geometry Tools, позволяющим дополнительно упростить расчетную модель. Инструмент позволяет объединять ребра, создавать дополнительные объемы.
3. Задание материала. На данном этапе задается материал для конструкций, а также расчетной области (воздуха). Можно использовать материал из встроенной библиотеки программы, либо настроить необходимые параметры материала вручную.
4. Граничные условия. В качестве граничных условий возможно задание скорости, давления, температуры и т.д.
5. Разбиение сетки. Для этого можно воспользоваться автоматическим разбиением. В случае, если разбиение сетки не удовлетворяет запросу, возможна ручная корректировка и локальное уточнение.
6. Расчет и анализ результатов. Перед началом расчета задается количество итераций и другие параметры расчета. Минимальное число итераций, необходимое для получения установившегося решения, обычно равняется 100.

Autodesk CFD содержит обширный набор функций для анализа результатов моделирования. Наглядность достигается за счет использования цветовой шкалы (рис.1).

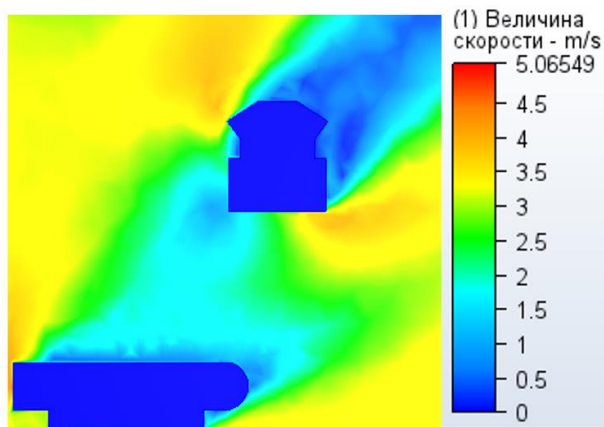


Рис. 1

*Выводы.* Таким образом, в работе рассмотрено понятие ветрового комфорта, а также параметры его определения в России и Нидерландах. Несмотря на различие в количестве уровней комфортности, критерии оценки схожи: критическое значение ветра и число, характеризующее его повторяемость в течение года. Также были описаны этапы моделирования ветрового воздействия в Autodesk CFD. Главной проблемой при создании расчетной модели является подготовка геометрии, включающая в себя упрощение исходной архитектуры для корректного разбиения сетки конечных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Оленьков В.Д., Колмогорова А.О., Сапогова А.Е. Компьютерное моделирование аэрационного режима жилой застройки с целью проветривания и ветрозащиты // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – № 1 (21) – С. 5–12.
2. Xinyue Zhang. Pedestrian wind comfort near a super-tall building with various configurations in an urban-like setting // Building Simulation. – 2020. – № 20. – С. 327–352.
3. Yukio Tamura, Xiaoda Xu, Hideyuki Tanaka, Kazuo Ohtake, Yong Chul Kim, Akihito Yoshida, Qingshan Yang. Effects of configurations of super-tall buildings on aerodynamic and wind-environmental characteristics. Paper presented at the Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18), Korea, 2018, August
4. Лицкевич В.К., Конова Л.И. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании: Учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. – М: МАРХИ, 2011 – 21 с.
5. МДС 20-1.2006. Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2006. – 17 с.
6. NEN 8100 (2006), Wind comfort and wind danger in the built environment, NEN 8100:2006. Dutch Standard.
7. Autodesk Knowledge Network: [Электронный ресурс] // Официальный сайт Autodesk. URL: <https://knowledge.autodesk.com/ru> (Дата обращения: 07.03.2022).

УДК 699.81

В.С. Кудрявцев, М.В. Гравит

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### СРАВНЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ СТАНДАРТНОГО И РЕАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Основным требованием к несущим конструкциям здания является устойчивость при воздействии огня. Как правило, расчет предела огнестойкости несущих конструкций ведется по «стандартной» температурной кривой, которая получена из экспериментальных данных около 100 лет назад и почти не изменилась с тех пор.

«Стандартная» температурная зависимость не учитывает многие факторы. В работе [1] проанализированы влияние скорости ветра, учет системы АУПТ. Нормированный температурный режим эквивалентен  $200 \text{ кг/м}^2$  древесины [2]; для жилых зданий пожарная нагрузка принимается как  $25\text{--}60 \text{ кг/м}^2$  [1, 3]. Таким образом, завышение пожарной нагрузки практически в четыре раза, приводит к ситуации увеличения стоимости строительства за счет использования завышенных требований к огнестойкости конструкций.

Для оценки предела огнестойкости конструкции необходимо знать, в том числе, температурные поля в сечении конструкции. Огневые испытания затруднительно проводить для монолитных железобетонных конструкций [4]. Распределение температур по сечению монолитных конструкций, а также расчет предела их огнестойкости для самых распространенных сечений осуществляется с использованием документации [5].

Для определения температурных полей в сечении широко применяется компьютерное моделирование воздействия огня на конструкцию, выполняемое в различных программах: «ANSYS», «SOFiSTiK», «Robot», «ELCUT» и др. [6].

Определить «реальные» температурные поля в различных помещениях здания возможно при моделировании пожара [1], выполняемого в программах с динамическим заданием пожара (FDS): «JASMINE», «SOFIE», «FDS» [7], использующего дифференциальные уравнения теплообмена для всего 3D-пространства [8].

Целью исследования является сравнение предела огнестойкости железобетонной конструкции при воздействии «стандартного» и «реального» температурного режима пожара.

Для проведения исследования применяется метод компьютерного моделирования пожара в ПК «PyroSim», расчет прогрева железобетонной конструкции в ПК «ELCUT» и аналитический расчет прочности сечения согласно нормативной документации [5, 9].

Задачи исследования:

1. Проанализировать нормативно-техническую литературу по расчету предела огнестойкости железобетонных конструкций.
2. Выполнить теплотехнический расчет железобетонной конструкции.
3. Выполнить статический расчет конструкции.
4. Проанализировать влияние рассматриваемых температурных режимов пожара на конструкции рассматриваемого объекта.

Для исследования был выбран проект высотного здания апарт-отеля с аутригерными конструктивными системами (рис. 1). На основании работы [10] для моделирования пожара выбран третий этаж сооружения, место возникновения пожара – кухня-гостиная. Реакции и поверхности в модели взяты из работы [11] для здания I степени огнестойкости; мебель и ткани описываются коэффициентами 0,75 и 0,25 соответственно.

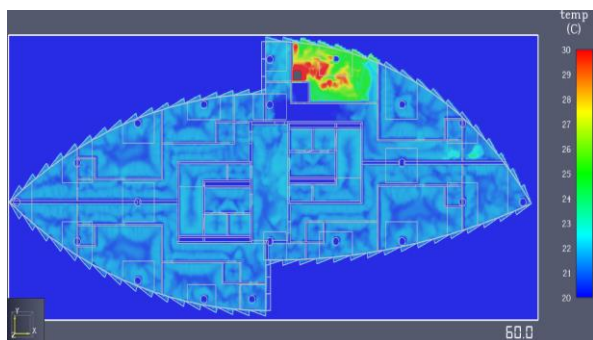


Рис. 1. Распределение температуры в плане здания после 1 минуты пожара

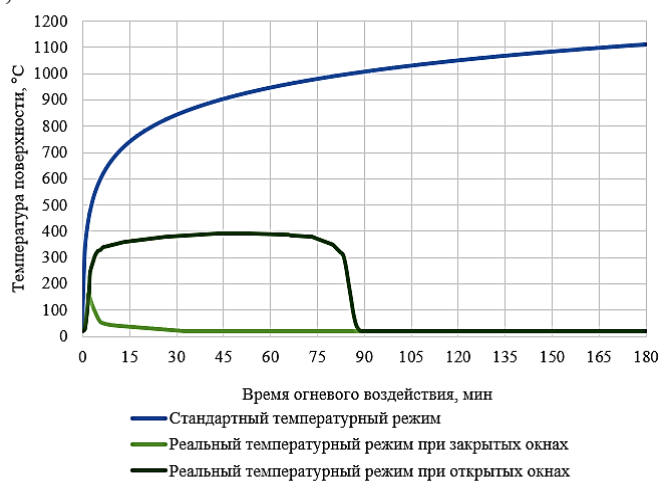


Рис. 2. Сравнение «реального» и «стандартного» температурного режима пожара

На основе результатов моделирования пожара в течение 10800 с сформирована зависимость температуры поверхности несущей колонны от времени пожара. Как показано на рис. 2, «реальный» температурный режим практически в два раза «мягче», чем «стандартный». Время действия «реального» пожара составляет порядка 90 мин., что совпадает с результатами ранее проведенных исследований [1, 2].

Для получения температурных изополей проводилось моделирование прогрева железобетонной колонны в программном комплексе «ELCUT». Анализ несущей способности сечения производился каждые 30 мин действия «стандартного» и «реального» пожара. На рис. 3 показаны температурные распределения при действии огня в течении 180 мин для обоих вышеупомянутых режимов прогрева.

Аналитический расчет прочности сечения колонны производился согласно нормативной документации [5, 9]: при рассмотрении центрально-сжатой колонны использовалась формула (8.23) [5]; глубина прогрева бетона определялась как толщина слоя бетона, прогретого до температуры не менее 600°C (согласно п. 8.7 [5]) в соответствии с моделью прогрева конструкции в программной комплексе; расчетное значение сопротивления бетона сжатию принимается по табл. 6.7 [9]; расчетное сопротивление арматуры определялось с учетом нагрева по формуле (5.6) [5]; коэффициент условия работы арматуры определялся по таблице 5.6 [5].

На основании результатов расчета получены зависимости несущей способности сечения от времени действия огня (рис. 4). Прочность колонны при «стандартном» температурном режиме уменьшается на 38% (относительно первоначального значения) после 180-минутного огневого воздействия, что приводит к выходу из строя конструкции, в то время как уменьшения прочности при «реальном» режиме не происходит.

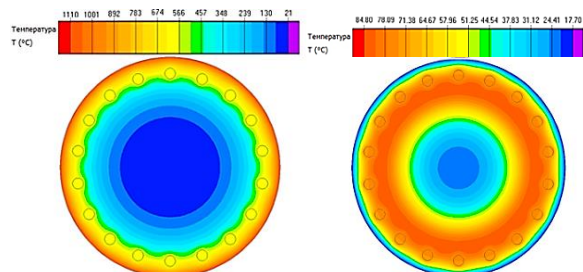


Рис. 3. Распределение температуры при действии огня 180 мин. для «стандартного» и «реального» температурного режима пожара соответственно

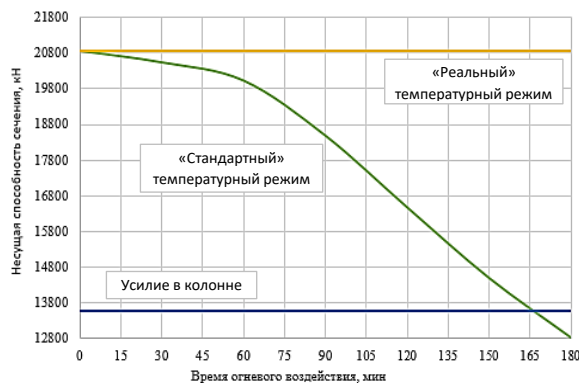


Рис. 4. График зависимости несущей способности сечения при различных видах воздействия огня

Таким образом, нормативной документацией предусмотрено завышение температурного режима пожара практически в два раза для жилых зданий, из-за которого проектировщиками закладывается увеличение сечений конструкций и диаметра арматуры, что вызывает необоснованное удорожание строительства.

В данном исследовании проведено моделирование пожара и определена зависимость температуры на поверхности колонны диаметром 800 мм с нагрузкой 13500 кН от времени воздействия огня (пожарная нагрузка – 30 кг/м<sup>2</sup>). Предел огнестойкости железобетонной колонны при «стандартном» режиме пожара составляет R150, при «реальном» режиме несущая способность элемента не снижается в течении всего пожара (длительность пожара 90 мин, максимальная температуры в арматуре 171 °С).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов В.Н. Оптимизация нормативных требований к пределам огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий: дис. ... канд. техн. наук: 18.12.19 / Иванов Владимир Николаевич. Москва, 2019. 225 с.
2. Ройтман В.М., Фирсова Т.Ф. Необоснованное завышение требований норм и сту по пределам огнестойкости ряда конструкций высотных зданий // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. М.: Изд-во ФГБОУ ВО «ГПС МЧС России», 2017. С. 59–62.
3. Jain V., Bhatt G. Fire Load Estimation for a Medium-Rise Residential Building: A Case Study // Advances in Industrial Safety, 2020. С. 53–62.
4. Кузнецова И.С., Рябченкова В.Н. Противопожарные нормы – основа пожарной безопасности зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. М.: ООО «Издательство ПГС», 2017. С. 35–39.
5. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564542941> (дата обращения: 10.03.2022).
6. Гравит М.В. Моделирование огнестойкости конструкций в программных комплексах, в том числе с использованием огнезащиты // Огнезащита материалов и конструкций: материалы I международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 18–24.
7. Iringova A., Vandlickova D. Analysis of a fire in an apartment of timber building depending on the ventilation parameter // Civil and Environmental Engineering, 2021. С. 10.

8. Min-Ho M., Hyung-Jun K., Su-Gyeong M., Sung-Chan K., Won-Jun P. Simulation of Indoor Fire Dynamics of Residential Buildings // Sustainability, 2021. С. 21.
9. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2)». Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403082> (дата обращения: 10.03.2022).
10. Marty Ahrens. High-Rise Building Fires // National Fire Protection Association. 2016. С. 39.
11. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

УДК 69: 721.02

Р.А. Лемешко, И.С. Птухина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ПРОЦЕДУРА СОЗДАНИЯ СВОДНОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТА В РАМКАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СРЕДЕ BIM

Современные условия функционирования строительной отрасли – в частности, ужесточение требований к строительным проектам в части сроков реализации, стоимости и качества производимых работ – определяют актуальность вопросов формирования актуальных сводных моделей в составе проектов строительства с помощью инструментов автоматизации рабочих процессов при использовании технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling – BIM). При этом решение соответствующих задач обеспечит оптимизацию процессов проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, в том числе с точки зрения эффективности управления инвестиционно-строительными проектами. При этом результаты анализа литературных источников, относящихся к вышеописанной проблематике, свидетельствуют об ограниченности существующих научных разработок в области использования BIM-технологий для оптимизации и автоматизации процесса проектирования. Данное обстоятельство определило целесообразность проведения данного исследования.

*Целью исследования* является разработка инструментальных средств для повышения эффективности управления инвестиционно-строительными проектами посредством автоматизации процессов проектирования в программных средах BIM.

Достижение указанной цели обеспечивается посредством выполнения основных задач исследования, к которым относятся:

1. Разработка процедуры создания сводной модели проекта в рамках автоматизации процесса проектирования.
2. Реализация разработанной процедуры на практическом примере.

На начальных этапах исследования был выполнен обзор научных работ по рассматриваемой тематике. По результатам выполнения обзора работ сделан вывод о том, что достаточно большое количество литературных источников [1–7] представляют собой разработки методического характера, содержат по большей части результаты обзора научных трудов и практические рекомендации в области решения следующих подзадач:

- решение основных проблем внедрения BIM технологий в строительной отрасли [1–4];
- анализ возможностей BIM технологий для автоматизации рутинных процессов [5–7].

На последующих этапах исследования была разработана процедура создания сводной модели проекта в программной среде BIM. Блок-схема процедуры, представленная на рис. 1, предполагает последовательное выполнение следующих основных этапов:

1. Задание параметров местоположения исполнительного файла, компонентных моделей, а также каталога для сохранения сводной модели. Запуск подпрограммы «Batch Utility» и ее настройка – редактирование отдельных параметров в соответствии с принципами, представленными в таблице 1.



2. Задание подпрограмме «Batch Utility» рабочих инструкций для создания сводной модели в формате «.nwf» на основе исходных компонентных моделей разделов «Архитектурные решения» (АР), «Конструкторские решения» (КР) и др. в формате «.rvt».
3. Задание подпрограмме «Batch Utility» рабочих инструкций для декомпозиции сводной модели в формате «.nwf» с формированием компонентных моделей разделов АР, КР и др. в формате «.nwc».
4. Задание подпрограмме «Batch Utility» рабочих инструкций для объединения компонентных моделей в формате «.nwc» в сводную модель в формате «.nwf»/«.nwd» с формированием компонентных моделей разделов АР, КР и др.

Таблица 1 – Редактируемые параметры подпрограммы «Batch utility» в рамках процедуры создания сводной модели проекта

№ п.п.	Наименование параметра	Значение
1	/i	X:\11_BIM_Project\447\1 Model (rvt, nwc)\K01_AR_R_R19.rvt
2	/i	X:\11_BIM_Project\447\ 447.txt
3	/of	X:\11_BIM_Project\447\1 Model (rvt, nwc)\K01_AR_R_R19.nwf
4	/of	X:\11_BIM_Project\447\1 Model (rvt, nwc)\K01_AR_R_R19.nwd
5	/version	2019

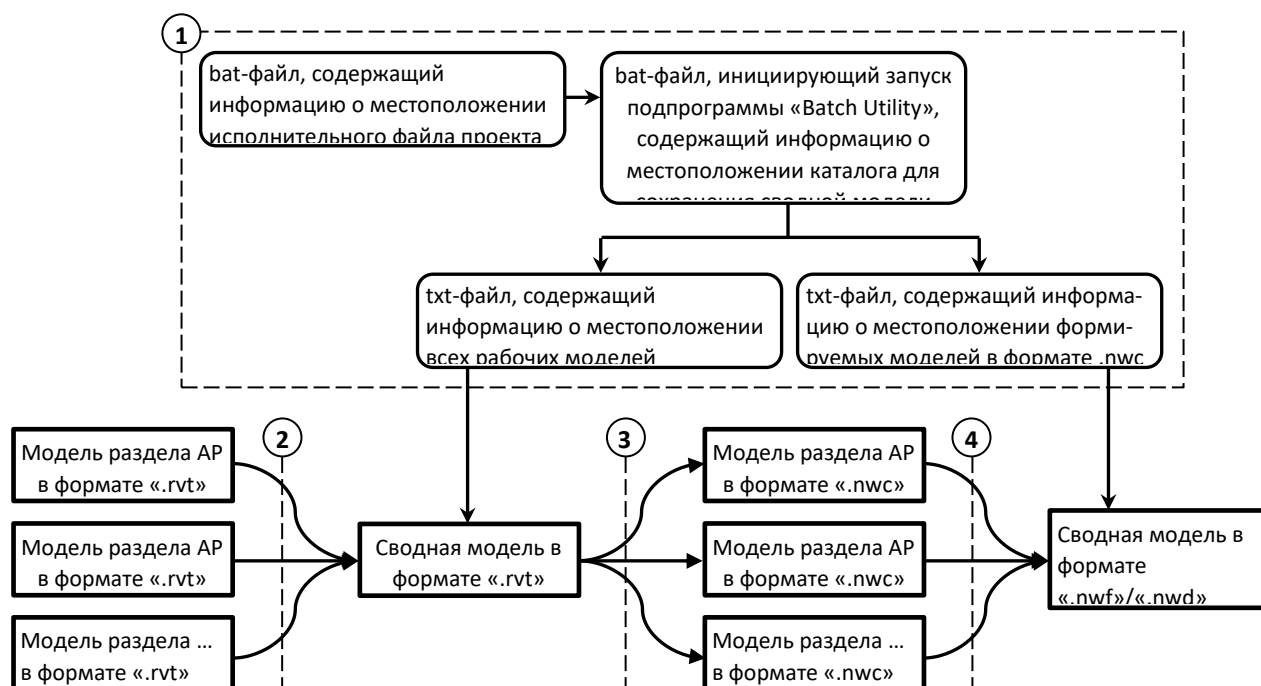


Рис. 1. Блок-схема, описывающая структуры разработанной процедуры

В рамках заключительного этапа исследования была произведена реализация разработанной процедуры на практическом примере. для оценки ее адекватности и. Полученные результаты позволили сделать вывод о возможности применения разработанной процедуры при разработке реальных проектов в программных средах BIM.

На дальнейших этапах исследования предполагается оценка эффективности использования разработанной процедуры в части экономии трудозатрат на разработку проектов сотрудниками профильных организаций.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Четверик Н.П. Поэтапное внедрение технологий информационного моделирования (ВМ) в строительной сфере // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12(191). С. 44–47.
2. Поляков А., Талапов В.Т. Что дает ВМ техническому заказчику // САПР и графика. 2017. № 4 (246). С. 44–46.
3. Талапов В.В. Основы ВМ: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011.
4. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий – современное понимание // CADmaster. 2010. №4. С. 114–121.
5. Талапов В. Т. Три принципа, лежащие в основе ВМ // САПР и графика. 2016. № 8(238). С. 12–15.
6. Криницкий Е.В., Якубсон В.М., Ватин Н.И. Информационная модель здания (ВМ) // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2(12). С. 16–18.
7. Куприяновский В.П., Синягов С.А., Добрынин А.П., Намиот Д.Е., Бубнов П.М. Куприяновская Ю.В. Новая пятилетка ВМ – Инфраструктура и умные города // International Journal of open information technologies. 2016. № 8. С. 20–35.

УДК 69: 721.02

Р.А. Лемешко, И.С. Птухина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ НАДСТРОЙКИ «DYNAMO» ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЗАДАНИЯ ОБЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К РАЗЛИЧНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ПРОЕКТА В ПРОГРАММЕ «AUTODESK REVIT»

В настоящее время технологии информационного моделирования зданий (ВМ) нашли широкое распространение в деятельности проектных организаций. В частности, достаточно большую популярность приобрела программная среда трехмерного моделирования «Autodesk Revit» в комбинации с визуальным редактором программирования – надстройкой «Dynamo». Указанная программная среда является основой для организации совместной деятельности архитекторов, конструкторов, инженеров и других участников процесса строительства [1, 2].

*Цель работы* – разработка инструментальных средств для повышения эффективности создания проектов в программе «Autodesk Revit» с использованием возможностей надстройки «Dynamo».

Достижение указанной цели обеспечивается посредством выполнения следующих основных задач:

1. Формирование структуры алгоритма, создаваемого с использованием надстройки «Dynamo» для задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта, разрабатываемого в программе «Autodesk Revit».
2. Разработка и реализация алгоритма на практическом примере.

На начальном этапе работы был выполнен обзор литературы в области автоматизации процессов разработки проекта в программе «Autodesk Revit» с использованием надстройки «Dynamo». По результатам выполнения процедуры сделаны следующие выводы:

- достаточно большое количество литературных источников [3–11] содержит описание алгоритмов автоматизации различных элементов процесса проектирования с помощью инструмента визуального программирования «Dynamo»; к указанным элементам относятся следующие процедуры: создание строительных конструкций различной формы с вариативной настройкой исходных данных [3–8]; теплотехнический расчет [9]; разработка документации [10].
- отсутствуют разработки в области автоматизации процессов разработки проектов в программе «Autodesk Revit» в части задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта.

На последующих этапах работы была предложена структура алгоритма, создаваемого с использованием надстройки «Dynamo» для задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта, разрабатываемого в программе «Autodesk Revit». Более подробная информация представлена в таблице 1 и рис. 1.

Таблица 1 – Основные элементы структуры алгоритма, создаваемого с использованием надстройки «Dynamo»

№ п.п.	Наименование блока	Тип выходных данных	Основные элементы содержимого
1	Retry	Boolean	Правила сравнения рабочих значений параметров с фактическими значениями параметров элемента модели «Autodesk Revit» (используются в процессе проверки)
2	Путь к семействам	String	Локализация элементов модели, параметры которых проверяются/редактируются
3	Параметры	String	Наименования общих (проверяемых/редактируемых у элементов модели «Autodesk Revit») параметров
4	Python Script	Void	Инструкции на языке программирования «Python», обеспечивающие просмотр элементов модели с проверкой/редактированием отдельных параметров

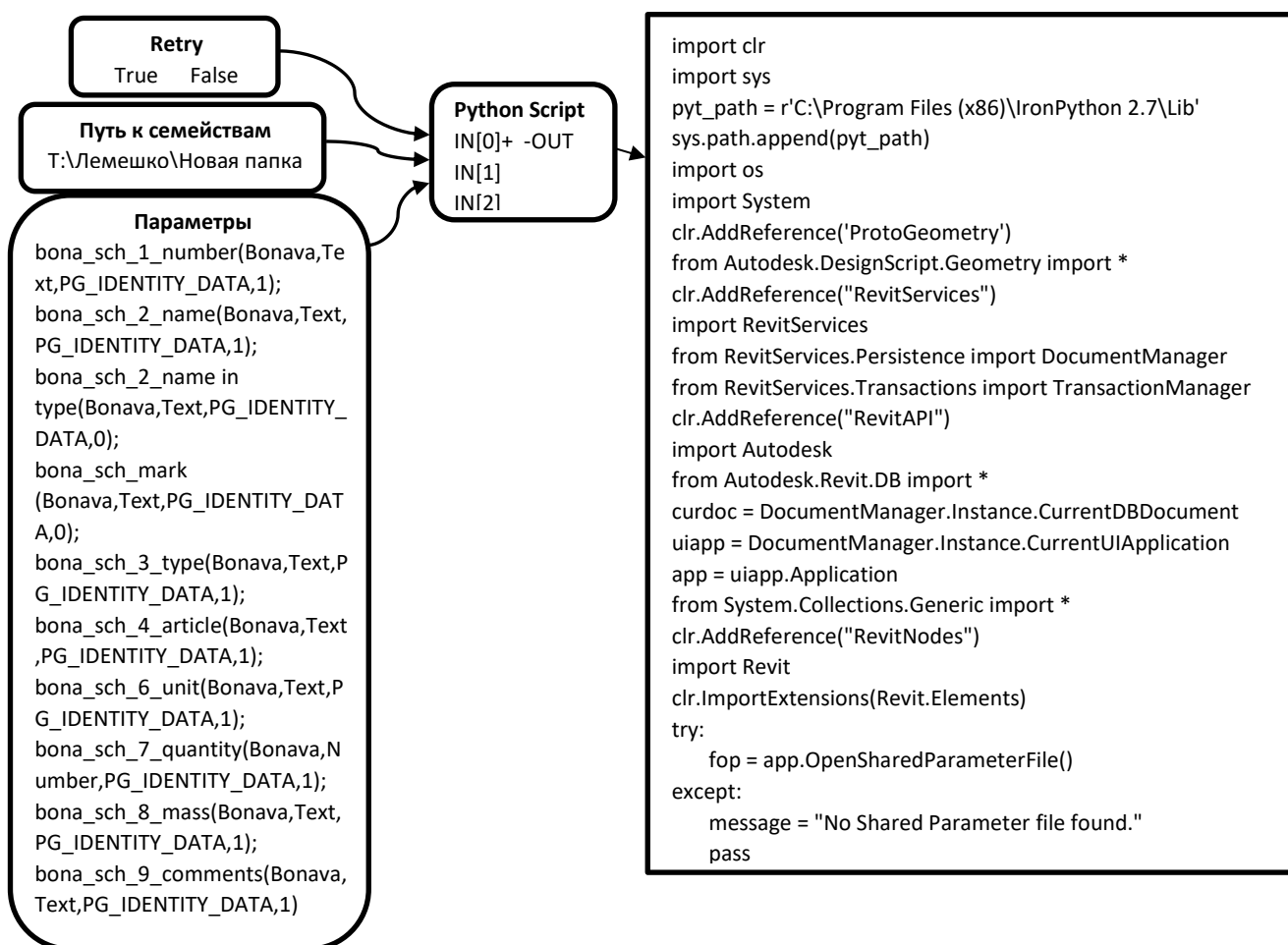


Рис. 1. Элементы структуры алгоритма, создаваемого с использованием надстройки «Dynamo», отображаемые в соответствующем графическом редакторе

На заключительных этапах работы была произведена разработка и реализация алгоритма для задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта, разрабатываемого в программе «Autodesk Revit», с использованием надстройки «Dynamo» на основе вышеописанной структуры. Полученные результаты подтвердили корректность предложенной структуры алгоритма.

#### ЛИТЕРАТУРА:

7. Preidel C. Automated code compliance checking based on a visual language and building information modeling // Trans-actions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series. 2019. № 18.2. С. 36–43.
8. Астафьева, Н.С. Преимущества использования и трудности внедрения информационного моделирования зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 8. С. 41–62.
9. Шишина Д.Л., Сергеев Ф.В. Revit | Dynamo: Проектирование объектов сложных форм // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международной научно-практической конференции. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2019. С. 194–199.
10. Георгиев Н.Г., Шумилов К.А., Семенов А.А. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4(38). С. 117–123.
11. Арцибасова Т.С. использование визуального программирования Dynamo при создании информационной модели здания в Revit // Дни студенческой науки: Сборник докладов НТК по итогам НИР студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости НИУ МГСУ. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2021. С. 500–504.
12. Предеина В.П. автоматизация создания архитектурной модели путем визуального программирования в Dynamo // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Международной НПК. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2021. С. 525–532.
13. Андреев И.И., Мальцев В.Л. Dynamo. Визуальное программирование в строительстве // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности: сборник статей II Международной НПК. Тюмень: Изд-во Тюменск. индустр. ун-та, 2018. С. 169–171.
14. Каренгин Г.В., Есипов А.В. Dynamo как способ расширения возможностей Autodesk Revit // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности: сборник статей II Международной НПК. Тюмень: Изд-во Тюменск. индустр. ун-та, 2018. С. 216–218.
15. Ярашов П., Городишенина А.Ю. Алгоритм создания скрипта для автоматизированного теплотехнического расчета в Dynamo // Неделя науки ИСИ: материалы всероссийской конференции в 3-х частях. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. С. 75–78.
16. Игнатова Е.В., Смышляева А.С. Автоматизация формирования рабочей документации для строительства в Autodesk Revit // Системотехника строительства. киберфизические строительные системы: сборник материалов семинара, проводимого в рамках VI Международной научной конференции. М.: Изд-во МГСУ, 2018. С. 95–98.
17. Перцева А.Е., Хижняк Н.С., Радаев А.Е. Алгоритм проектирования конструкций сложной конфигурации с использованием средств автоматизации (на примере Autodesk Revit, Autodesk AutoCAD и Dynamo) // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2018. № 4.

УДК 69.032.21

С.М. Медведева, М.В. Петроченко  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM)

*Введение.* Строительная индустрия вносит один из крупнейших вкладов в выбросы углекислого газа и потребление энергии в городах. В зависимости от размеров и плотности

города, строительство и эксплуатация зданий могут выбрасывать до 50% от всего углекислого газа и потреблять до 90% энергии города.

В связи с ростом осведомленности об уроне экологии, который наносит природе человеческая деятельность, строительство, как одна из областей, которая оказывает большое влияние на нее, сейчас находится в процессе поиска решений для снижения вреда для экологии. Цифровизация призвана помочь ускорить и облегчить данный процесс

Наибольшее влияние на выбросы оказывают решения, принятые на ранних стадиях проектирования. При этом основной сложностью является недостаточная информация о проектных решениях и используемых материалах, в связи с чем вначале проекта тяжело получить достоверные и близкие к реальности данные [1, 2].

Для внедрения принципов устойчивого развития и зеленого строительства, на этапе проектирования необходимо выбрать наиболее энергоэффективные внешние конструкции здания, так как наибольшее влияние на потери энергии оказывают ограждающие стены и кровля. Грамотный выбор внешних ограждающих конструкций способен уменьшить потери энергии до 40% [3–5].

Помимо потерь энергии, которые будут влиять на выбросы от систем кондиционирования и отопления здания, большой вклад в общие выбросы вносят и применяемые для строительства материалы. Применение местных материалов снизит выбросы от их перевозок к месту строительства, а выбор экологичных альтернатив так же снизит выбросы во время стройки. Исследователи часто предлагают альтернативы для монолитного железобетона, так как обычно он выделяет до 50% от общих выбросов CO<sub>2</sub> во время строительства. Среди альтернатив отмечают сборный железобетон и применение стального каркаса [6–8].

Использование новых цифровых технологий, в том числе применение подхода BIM-проектирования, способно облегчить расчет выбросов углекислого газа, упростить расчет энергоэффективности зданий и предоставить реальные данные о влиянии здания на окружающую среду.

*Цель работы* – рассмотреть возможности программного комплекса Autodesk Revit для расчета выбросов углекислого газа от строительных конструкций на основании EPD.

*Методы и материалы.* Для исследования будет использоваться BIM-модель жилого здания в городе Санкт-Петербург, Россия. Здание имеет 6 этажей и подвал. Несущие конструкции выполнены в основном из сборного железобетона, а ненесущие перегородки – из листов гипсокартона, с отделкой из цементной штукатурки.

Сейчас функционал Autodesk Revit поддерживает вычисления энергоэффективности зданий с помощью дополнительного функционала, но встроенных инструментов для вычисления выбросов углекислого газа от строительных конструкций в нем нет.

На рис. 1 представлена информационная модель здания, используемого в исследовании.

Говоря о специфике таких вычислений, нужно рассматривать два вопроса: откуда берутся данные и как производится расчет. Для данного исследования предполагается брать данные по выбросам на основании данных из инструментария OneClick LCA, а расчет будет производиться по двум методам.

1-й метод: выбросы углекислого газа в кг будут присваиваться материалам, назначенным на конструкции внутри Revit. При таком подходе с помощью внутреннего функционала Revit для спецификаций материалов и формул можно получить итоговые значения по выбросам. Назовем данный метод как «Materials QTO». Расчет для данного способа будет производиться по формуле:

$$E_T = \sum_1^i E_i V_i,$$

где  $E_T$  – общая масса выбросов от категории материалов, кг;  $E_i$  – масса выброса от материала  $i$ , объемом 1 м<sup>3</sup>, кг/м<sup>3</sup>;  $V_i$  – объем  $i$ -го элемента в м<sup>3</sup>.

2-й метод: выбросы в кг будут присваиваться конечным конструкциям в зависимости от их состава. Смысл подхода такой же, как и в первом случае, а также появится возможность учесть в расчете больше конструкций. Данный вариант расчета назовем как «Elements QTO».



Рис. 1

Расчет для данного способа будет производиться по формуле:

$$E_T = \sum_1^i E_i A_i,$$

где  $E_T$  – общая масса выбросов от категории элементов, кг;  $E_i$  – масса выброса от элемента  $i$ , площадью  $1 \text{ м}^2$ ,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;  $A_i$  – объем  $i$ -го элемента,  $\text{м}^2$ .

Для конструкций, которые состоят из однородных слоев, оба метода дадут одинаковые результаты, поэтому в первую очередь для качественного сравнения методик надо рассматривать те конструкции и материалы, которые являются гетерогенными или данных по выбросам для каждой части конструкции недостаточно (например, двери или окна).

На основании проведенных расчетов составим сравнительную таблицу с полученными данными.

Таблица 1 – Сравнение величины выбросов по категориям

Категории модели	Materials QTO, кг CO2	Elements QTO, кг CO2
Потолки	106 455,80	108 517,65
Витражные системы	48 094,63	97 217,33
Двери	0,00	52 028,12
Перекрытия	390 483,95	388 379,45
Обобщенные модели	5 206,62	5 206,62
Крыши	41 179,72	195 478,45
Фундамент несущей конструкции	111 276,32	111 276,32
Стены	903 223,50	905 381,53
Окна	12 515,21	45 945,72
Итого:	1 618 435,75	1 909 431,19

На основании таблицы 1 видно, что вариант с заданием данных по выбросам для конечных типов конструкций дает более точные данные, за счет того, что появляется возможность учесть выбросы от немоделируемых элементов, или от элементов, которые сложно смоделировать корректно с точки зрения их конечного объема.

В среднем для категорий как стены, полы и потолки объемы выбросов уточнились на 1–2%, а для категорий, по которым было недостаточно данных для учета всех материалов способом Materials QTO, при использовании метода Elements QTO данные по выбросам увеличились на 100–200%. Сравнивая же общие объемы выбросов, а не по категориям, метод Elements QTO дал значения больше, чем метод Materials QTO, за счет учета большего количества материалов и конструкций.

При этом у способа Elements QTO так же есть недостатки. В таблице 1 наблюдается большая разница в выбросах для кровли здания, несмотря на то что в обоих способах расчета взята одинаковая конструкция кровли. Данное различие связано с особенностями моделирования уклонообразующих конструкций. В рассматриваемом здании многослойная конструкция кровли включает в себя уклонообразующий слой из керамзитобетона. В связи с этим при формировании уклонов плоской кровли программное обеспечение меняло толщину данного слоя. При расчете объема уклонообразующего материала способом Materials QTO учитывалась его неравномерная

толщина, тогда как для способа Elements QTO необходимо было задаться некоторой постоянной толщиной, на основе которой и рассчитывался конечный выброс.

На основании проведенного исследования сделаны следующие *выводы*:

1. Присвоение выбросов на типы элементов является более точным способом работы с данными по выбросам, так как позволяет учитывать те материалы, которые входят в сборку, но являются сложными для моделирования в элементе. В среднем учет выбросов от целых конструкций дает на 18% более точные данные, чем при учете отдельных материалов.
2. Наибольший вклад в выбросы углекислого газа вносят такие конструкции здания как стены (47%) и конструкции перекрытий и полов (20%). Остальные категории в среднем занимают 5–6 % от общих выбросов. В связи с этим при необходимости уменьшения общего числа выбросов в первую очередь необходимо рассматривать конструкции стен и полов.
3. Существуют региональные ограничения для проведения оценки выбросов от зданий. Малое количество данных от производителей из Российской Федерации увеличивает трудоемкость оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Galiano-Garrigós A., García-Figueroa A., Rizo-Maestre C., González-Avilés Á. Evaluation of BIM energy performance and CO2 emissions assessment tools: a case study in warm weather. *Building Research and Information*. 2019. 47 P. 787–812.
2. Schneider-Marin P., Harter H., Tkachuk K., Lang W. Uncertainty analysis of embedded energy and greenhouse gas emissions using BIM in early design stages. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. 12.
3. Abhinaya K.S., Prasath Kumar V.R., Krishnaraj L. Assessment and remodelling of a conventional building into a green building using BIM. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2017. 7 P. 1675–1681.
4. Gan V.J.L., Deng M., Tse K.T., Chan C.M., Lo I.M.C., Cheng J.C.P. Holistic BIM framework for sustainable low carbon design of high-rise buildings. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 195 P. 1091–1104.
5. Tushar Q., Bhuiyan M.A., Zhang G., Maqsood T. An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 289.
6. Najjar M.K., Figueiredo K., Evangelista A.C.J., Hammad A.W.A., Tam V.W.Y., Haddad A. Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design. *International Journal of Construction Management*. 2019.
7. Hao J.L., Cheng B., Lu W., Xu J., Wang J., Bu W., Guo Z. Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment approach. *Science of the Total Environment*. 2020. 723.
8. Uddin M.N., Wei H.H., Chi H.L., Ni M., Elumalai P. Building information modeling (BIM) incorporated green building analysis: an application of local construction materials and sustainable practice in the built environment. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2021. 6.

УДК 69.032.21

Л.А. Михайловская, З.А. Гаевская  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА SPACEMAKER AUTODESK НА РАННЕЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Создание и анализ предпроектных вариантов объемно-планировочных решений зданий это один из ключевых этапов, определяющих достижение целей инвестиционно-строительного проекта [1]. Сложность ранней стадии проектирования заключается в том, что степень неопределенности показателей проекта высока, а качественная оценка вариантов решений – это трудоемкий процесс. Вопросы автоматизации проектирования на ранней стадии

широко освещаются в научной литературе [2, 3]. На практике решение подобных задач с помощью генеративного дизайна требовало от проектировщиков знаний в области программирования. Однако в последние годы благодаря достижениям в области передачи, обработки и анализа больших массивов данных, появились возможности автоматизации данных задач с помощью современных облачных сервисов, ориентированных на самый широкий круг пользователей. Примерами таких новых сервисов служат Spacemaker от компании Autodesk и другие аналогичные разработки: p-Energy Analysis [4] и Plot Planner [5].

*Цель работы* – оценка возможностей программы с функцией генеративного проектирования и многоцелевой оптимизации в практической работе архитекторов-проектировщиков.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Моделирование примера объемно-планировочного решения многоэтажной жилой застройки со встроенно-пристроенными помещениями;
2. Сравнение технико-экономических показателей и инсоляции исходного проекта со значениями, вычисленными автоматически;
3. Сравнение технико-экономических параметров исходной концепции застройки, и концепций, полученных в результате многоцелевой оптимизации.

Для рассмотрения был выбран проект жилой многоэтажной застройки в Санкт-Петербурге. На ранней стадии проектирования проектировщики строительной компании разработали четыре варианта. Вариант 1 (рис.1, а) был утвержден «интуитивно» и для него были рассчитаны технико-экономические показатели.

В облачном сервисе Spacemaker был смоделирован вариант 1 (рис. 1, б) и автоматически вычислены его технико-экономические показатели. Для этого была выбрана область на карте в интерфейсе сервиса, после чего в течение двух минут автоматически были подгружены данные о топоповерхности, окружающих зданиях, инсоляционных, ветровых, температурных, шумовых характеристиках. Из файла AutoCAD были импортированы границы участка и застройки с привязкой к географическим координатам в системе UTM. Для моделирования линейной застройки указываются две точки на карте, для остальных параметров вводятся их числовые значения – этажность, высота этажа, ширина и длина секций, назначение, планировка.

Основной целевой показатель при проектировании концепции – общая площадь объекта капитального строительства, она измеряется в пределах внутренних поверхностей наружных стен для всех этажей, включая технические. В Spacemaker вычисляются следующие технико-экономические показатели:

BC (building coverage) – общая площадь всех зданий по наружному контуру;

GFA (gross floor area) – рассчитывается как общая площадь всех надземных этажей по наружному контуру;

GIA (gross internal area): общая площадь надземной части объекта,  $GIA = k_1 \cdot GFA$ ;

NIA (net internal area): общая «полезная» площадь помещений,  $NIA = k_2 \cdot GIA$ .

Последние два показателя рассчитываются через пользовательские коэффициенты, что позволяет учитывать особенности конструктивных и объемно-планировочных решений. Подбором коэффициентов была обеспечена согласованность данных:  $k_1 = 0,91$ ,  $k_2 = 0,68$  (для жилых помещений)  $k_2 = 0,43$  (для встроенных помещений) (табл. 1).

Анализ инсоляции всех фасадов, обычно занимающий значительную часть трудозатрат проектировщика, программа позволяет провести автоматически в течение двух-трех минут. Данные анализа согласуются с проектными данными.

В Spacemaker была проведена оптимизация по высоте жилых секций на основе исходного варианта 1. Цель – максимизация площади фасадов с инсоляцией более двух часов на 22 апреля, ограничения – минимальное и максимальное значения GIA и максимальное и минимальное количество этажей секций. Планировка зданий при этом не изменялась.



Таблица 1 – Сравнительный анализ технико-экономических показателей

Технико-экономический показатель согласно проекту планировки территории	Технико-экономический показатель, вычисленный в Spacemaker	Расхождение, %
Площадь застройки, м <sup>2</sup>	15083	BC, м <sup>2</sup>
Общая площадь по наружному контуру (нет расчета)	–	GFA, м <sup>2</sup>
Площадь подвалов (нет расчета)	-	0,9·BC жил. зданий, м <sup>2</sup>
Общая площадь объекта капитального строительства, м <sup>2</sup> за минусом подвалов	170995	GIA = 0,91·GFA, м <sup>2</sup>
Общая площадь объекта капитального строительства, м <sup>2</sup>	182800	GIA+ 0,9·BC жил. зданий, м <sup>2</sup>
Общая площадь квартир, м <sup>2</sup>	112200	NIA =0,68·GIA жил. пом., м <sup>2</sup>
Общая площадь встроенных помещений, м <sup>2</sup>	4000	NIA, встроенные. пом., м <sup>2</sup>

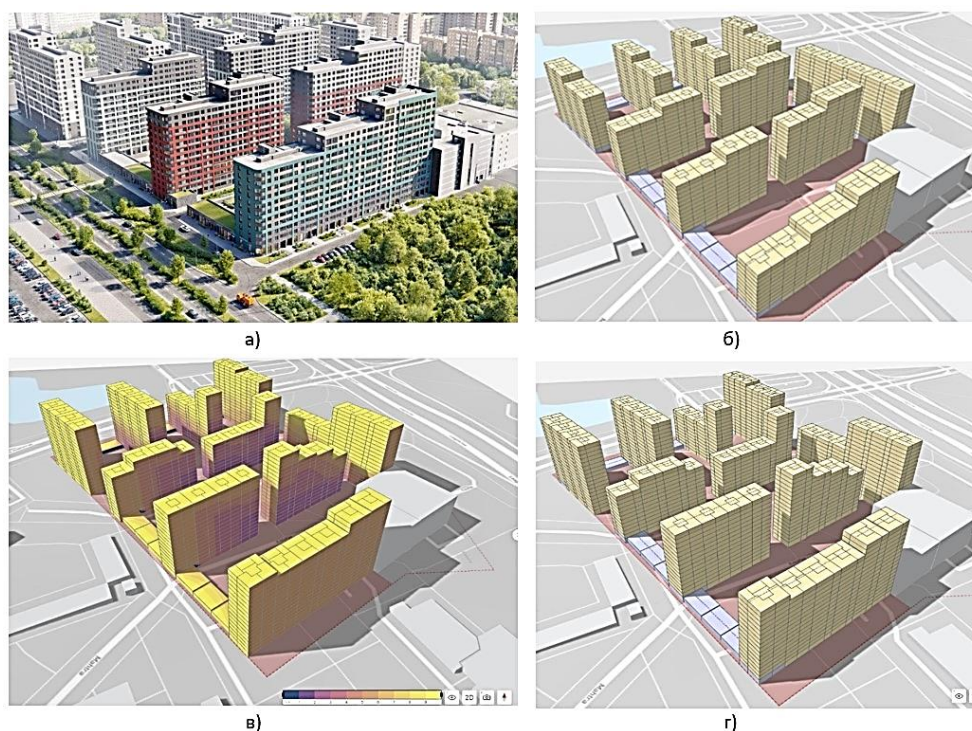


Рис. 1. Объемно-планировочные решения:  
*a* – вариант 1 (исходный), визуализация застройщика; *б* – вариант 1, модель;  
*в* – вариант 2 (оптимизированный), визуализация инсоляции; *г* – вариант 2, модель

Методом генетического алгоритма программа формирует варианты, соответствующие заданным ограничениям и цели. Из пяти предложенных программой вариантов был выбран наиболее приближенный к варианту 1 по показателю общей площади объекта капитального строительства, так как показатели инсоляции фасадов всех вариантов оказались одинаковые. На рисунке 1, *г*) представлено объемно-планировочное решение, полученное в результате оптимизации, и визуализация инсоляции.

Найденное решение существенно отличается от исходного варианта по этажности отдельных секций и позволяет повысить на 1% площадь фасадов с инсоляцией более двух часов.

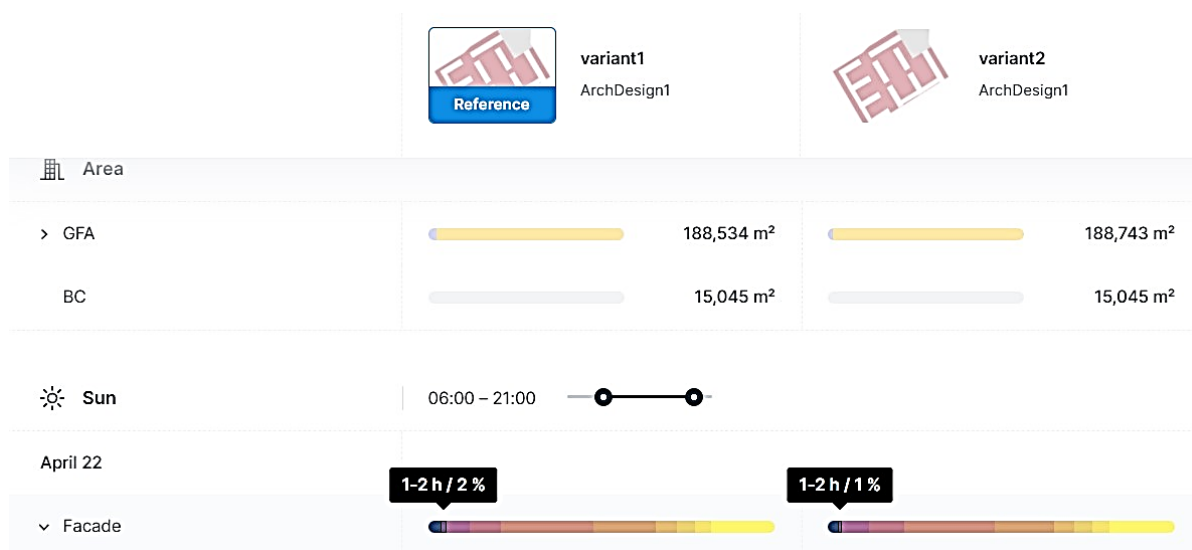


Рис. 2. Сравнение вариантов 1 и 2 в интерфейсе программы по выбранным показателям

**Выводы.** Результаты расчетов демонстрируют, что в результате многоцелевой оптимизации по высоте секций жилых зданий было достигнуто увеличение площади нормативно инсолированных фасадов на 1%, что составляет 8988 м<sup>2</sup> и соответствует примерно 553 жилым помещениям. Показано, что проведение такой оптимизации не составляет больших трудозатрат проектировщика, однако требует внимательного приведения технико-экономических показателей к реальным.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Костикова, Г.Д. Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей / Г.Д. Костикова, Г.В. Земляков // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 6. С. 481–492
2. Østergård, T., Jensen, R.L., Maagaard, S.E. Building simulations supporting decision making in early design – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. №61, pp. 187-201.
3. Attia S., Gratia E., De Herde A., Hensen J.L.M. Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design, Energy and Buildings, Volume 49, 2012, Pages 2-15, ISSN 0378-7788.
4. Программное обеспечение p-energyanalysis: официальный сайт. – Германия. – URL: <http://p-energyanalysis.de> (дата обращения: 01.03.2022).
5. Онлайн-сервис Plot Planner: официальный сайт. – Норвегия. – <https://www.parametric.se> (дата обращения: 02.03.2022).

УДК 721.001

Е.В. Морозова, Л.В. Талипова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛОВ

**Актуальность.** При проектировании общественных помещений, таких как конференц-залы или переговорные, не учитывается акустическая комфортность их использования. К специалистам по архитектурно-строительной акустике обращаются только в случаях проектирования специализированных помещений, таких как концертные залы, кинотеатры или студии звукозаписи. Для их проектирования есть СП 309.1325800.2017 «Здания театрально-зрелищные. Правила проектирования», где учитывается и расстановка аппаратуры и мебели по

назначению помещений для комфортного обеспечения видимости и слышимости. Но для конференц-залов на законодательном уровне отсутствует методика проведения расчетов.

Акустика помещений важна при разном назначении общественных пространств. В помещениях, где проводятся выступления перед аудиторией, должна быть обеспечена хорошая слышимость и качественное звучание.

*Методы исследования.* Основополагающим для предпринимаемого исследования является метод теоретической оценки и сравнения разных программных обеспечений для акустического моделирования помещений.

*Цель работы.* Цель работы состоит в представлении и выборе в результате сравнения программного комплекса, наиболее подходящего для расчета акустических свойств помещений при смене функционального назначения.

*Задачи работы.* В задачи исследования входит обзор литературы по проектированию конференц-залов, анализ сути расчетов акустических характеристик помещений, описание и сравнение программных комплексов и плагинов для моделирования акустики помещений.

Конференц-зал – это специально оборудованное помещение для проведения корпоративных мероприятий, таких как переговоры, тренинги, совещания и семинары. Проектирование конференц-зала начинается с разработки объемно-планировочного решения. Требования к эргономике конференц-зала основываются на достаточной видимости и слышимости выступающего [1].

Акустическое качество зала определяется его архитектурными параметрами: формой, размерами, очертанием, отделкой поверхностей и элементов заполнения. Согласно статье [2–3], артикуляция и время реверберации являются главными критериями качества звучания.

Также имеют место такие характеристики как звукопоглощение и звукоизоляция. Поэтому правильный выбор формы, поверхности, конфигурации и материалов ограничивающих помещение поверхностей является гарантией хорошей акустики будущего сооружения [4–5].

Современное акустическое моделирование – это комплексный процесс построения модели конкретного помещения на основе расчета акустических критериев, благодаря чему возможно определить рациональные объемно-планировочные решения хорошими показателями качества акустики. Для моделирования акустической картины помещения разработано множество программных пакетов.

Компьютерные программы для реализации акустического моделирования являются ИТ-решениями, позволяющими создавать и редактировать трехмерную модель конкретного помещения и определять для него значения основных качественных акустических критериев.

Особенности программных комплексов, таких как EASE (с вычислительным модулем AURA), CATT-Acoustic, Soundvision, ODEON, CARACAD отображены в табл. 1.

Улучшение акустических характеристик достигается за счет рационального выбора размеров и формы помещения в сочетании со свойствами отделки интерьера, учитывая, звукоизоляцию ограждающих конструкций.

Как в России, так и в европейских странах на сегодняшний день достаточно актуально использование информационных технологий при осуществлении акустического проектирования. Это связано с тем, что информационное моделирование акустики помещений позволяет не только уменьшить временные затраты на проведение акустического анализа, но и учесть все индивидуальные особенности отдельно взятого проекта. В отличие от классического, компьютерное акустическое моделирование позволяет проанализировать не только геометрические параметры помещения, но и учесть размещение мебели и специальных рассеивающих и поглощающих звук панелей относительно местонахождения источников звука. В случае компьютерного моделирования автоматизации процесса обработки исходных данных значительно упрощает расчет основных акустических параметров, таких как: время

реверберации, ясность звучания, разборчивость речи и др. Также имеется возможность определить комплекс акустических параметров как для конкретного участка помещения, так и для всего помещения в целом [6].

Таблица 1 – Программные комплексы для моделирования при акустическом проектировании помещения

№	Наименование ПК	Разработчик ПК	Особенности
1	EASE (с вычислительным модулем AURA)	AFMG – Ahnert Feistel Media Group	К программе только платный доступ; Позволяет сформировать графики времени реверберации как с учётом акустической обработки помещения, так и без неё; Основные результаты акустического расчёта концертного зала в программе EASE представляются в графическом виде; Расчет дополнительных акустических параметров для более подробного анализа: время реверберации, прямой и отраженный звук, разборчивость речи, максимальное, среднее и минимальное значения параметров; Возможность импортировать модель из AutoCad.
2	CATT-Acoustic	CATT	К программе только платный доступ; Широкие возможности по детализации и изменению параметров вычислительных процедур, что, однако, требует детального изучения ее возможностей и использованных алгоритмов; Программа способна учитывать не только траекторию распространения звука, но и его амплитуду, что позволяет составить более полную акустическую картину с использованием всех переотражений; Имеет параметрическую модель обработки данных, в которой основные геометрические параметры помещения должны быть набраны вручную в geo-файле с использованием специального языка.
3	Soundvision	L-ACOUSTICS	Программа имеет бесплатный доступ; При редактировании количества элементов акустической системы в Soundvision сразу видны изменения уровня звукового давления (УЗД) на карте модели; В Soundvision точно видна область звукового покрытия от каждого источника, а также теневые зоны; Программа выдает не только координаты расположения акустических систем, но и точки для их подвеса.
4	ODEON	Технический Университет Дании (DTU)	Разработчик предоставляет бесплатную demo-версию; В программе используется гибридный или комбинированный метод отражений, представляющий собой сочетание трех основных акустических методов: трассировки лучей, мнимых источников и диффузных отражений; Учитываются геометрия и акустические свойства поверхностей; Программа использует метод мнимых источников, совмещенный с методом лучевых траекторий; Импорт геометрии из программ CAD; На сайте разработчика имеются видео-уроки в открытом доступе.
5	CARA Room Acoustics PLUS	Компания "ДАС"	Разработчик предоставляет бесплатную demo-версию; При расчете учитывает расположение мебели и материалы стен, потолков и пола; Большой диапазон использования комплексных частотных характеристик для моделирования звукового излучения акустической системы.

Принцип расчета в данных программах схож. Расчет в программе начинается с создания архитектурной модели помещения, где для всех элементов назначается материал. Так как отражающие свойства каждой поверхности по-своему влияют на реверберационную картину помещения, формируя ранние и поздние отражения, это важный момент акустического расчета помещений. Таким образом, вследствие сравнения программных обеспечений EASE (с вычислительным модулем AURA), CATT-Acoustic, Soundvision, ODEON и CARACAD, можно сделать вывод, что программа EASE (с вычислительным модулем AURA) обладает наиболее обширными возможностями для акустического моделирования помещений и удобным способом задания модели.

ПО EASE может представлять в удобном графическом виде основные параметры, определяющие акустические свойства помещения, такие как:

- время реверберации;
- уровень акустического давления прямого звука;
- уровень акустического давления общего звука;
- коэффициент разборчивости речи Rasti;
- коэффициент потери согласных Alcons;
- коэффициент музыкальной ясности C80 и коэффициент речевой ясности C50.

Выбранная программа дает ясную и понятную картину результатов моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Романюк М.А., Афанасьева М.С. Применение интерактивных методов оценки акустического поля помещения в архитектурной акустике // Архитектура, 2010. – 79–81 с.;
2. Горчакова С.Д., Сапожников А.П. Оценка качества и улучшение акустической среды в учебной аудитории // Инженерный вестник Дона, №4, 2018. – 2–10 с.;
3. Романюк М.А. Аудиоэкология в учебных аудиториях // Известия ЮФУ. Технические науки, 2018. – 250 с.;
4. Жабько Е.И., Рублевская Н.И. Акустическое проектирование залов многоцелевого назначения // Учеб. пособие – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 89 с.;
5. Смирнов А. Проектирование акустики конференц-залов // Академия гостеприимства, 2014. – 80–86 с.;
6. Истратова Е.Е., Черний Ю.С., Бирюля С.И. Сравнительный анализ программного обеспечения для акустического моделирования помещений // Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств. 2017. – 102–108 с.

УДК 697.1

Д.Г. Морозова<sup>1</sup>, А. Бородинец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>Институт тепло-, газо- и водной технологии Рижского технического университета

### 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

На протяжении многих лет строительный сектор считается одним из наиболее ресурсоемких направлений в России. Например, на строительство и использование зданий приходится около половины общего конечного потребления энергии. Потребление значительных объемов не возобновляемых источников энергии приводит к их постепенному исчезновению, увеличению сложности их производства, и, как следствие, к увеличению стоимости приобретения. Кроме того, процесс строительства характеризуется большим количеством не перерабатываемых отходов и вредными выбросами двуокиси углерода в

атмосферу. Эти факторы заставляют задуматься о снижении общих затрат на энергию и использовании возобновляемых источников энергии [1–2].

Во многих странах строительство зданий с низким энергопотреблением регулируется и поощряется на национальном уровне даже путем ограничения потребления тепла в домах, которые будут построены, до 60–70 кВт/ч. Кроме того, существуют стандарты зеленого строительства, которые динамически используются на практике для всесторонней оценки полного жизненного цикла проекта по ряду критериев. Конечная цель – уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, создать комфортные условия для жизни человека, эффективно контролировать потребление энергии и материальных ресурсов [3–4].

Одной из главных проблем, которые могут возникнуть даже в зданиях с хорошей энергетической производительностью, является летний перегрев. Для того, чтобы предотвратить это дом нуждается в системе охлаждения. В соответствии с Директивой об энергоэффективности зданий цель состоит в том, чтобы уменьшить потребление энергии для охлаждения здания и в то же время улучшить климат в помещении и предотвратить перегрев [5–6].

В России СП 50.13330.2012 используется для оценки энергоэффективности, которая устанавливает классы энергосбережения в зависимости от энергопотребления для отопления и вентиляции. Однако этот набор правил не дает комплексной оценки конструкции проекта, это качество воздуха в помещении и охлаждение. Российское исследование подчеркивает важность правильного энергетического проектирования в нестабильных экологических условиях.

Ряд исследований посвящен изучению методов энергосбережения и теплового комфорта с помощью моделирования в программном обеспечении IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE). Эти результаты показали точность результатов моделирования и корреляцию с реальными измеренными параметрами [7–9].

В ходе исследования были проведены вычислительные анализы с использованием программного обеспечения IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) 4.8. IDA-ICE является инструментом для динамического моделирования теплового комфорта, качества воздуха в помещениях и потребления энергии в зданиях. Точность этого инструмента моделирования была изучена Travesi J и др., который провел эмпирическое исследование проверки моделей в IDA-ICE, связанных с тепловым поведением зданий и оборудования HVAC. Был сделан вывод о том, что соглашение между смоделированными и измеренными данными является хорошим, а разногласия аналогичны неопределенности измерения. Изначально IDA-ICE была проверена в соответствии с ISO 13791:2012 Thermal performance of buildings – Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – General criteria and validation procedures Kropf и Цвайфель в 2001 году.

В исследовании также был задействован ПК Insight Revit. Проанализированная строительная модель была создана с использованием программного обеспечения Autodesk Revit и после того она была переведена на программное обеспечение моделирования для анализа параметров.

Методом, предложенным для исследования, является математический анализ теплового баланса модели здания, реализованной в программном обеспечении для моделирования энергии. Анализ теплового баланса здания был произведен на основе динамического расчёта с часовым интервалом.

Объектом этого исследования является односемейный жилой дом. Место проведения Санкт-Петербург, Россия. Учитывая тот факт, что существующие нормативные акты не предоставляют данных о типовом климате с часовым интервалом климатические данные были приняты в соответствии с ASHRAE 2013 и профилем ветра в соответствии с ASHRAE 1993. Выбранные структуры наружных ограждающих конструкций являются типичными для России и отвечают применимым национальным стандартам.

Модель здания была смоделированная в программном комплексе Revit 2021. Где ограждающим конструкциям были заданы расчетные (проектные) значения сопротивлений теплопередаче:

- Наружных стен  $R_w = 4,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 3,32 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ ;
- Покрытия  $R_c = 4,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 4,94 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ ;
- Пол по грунту  $R_f = 7,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 2,62 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ ;
- Оконных заполнений  $R_F = 0,73 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 0,56 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ ;
- Дверных заполнений  $R_{ed} = 1,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт} > 0,79 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Выставлены климатические условия по г. Санкт-Петербург и сгенерирована модель здания, которая после конвертировалась в Insight.

При предложенном изначальном варианте модели здания потребляло в год  $610 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$ . После чего были введены некоторые преобразования с целью понижения энергопотребления, указанные в Таблице 1.

Также выполнен анализ относительно вентиляции. Результаты приведены в Таблице 2. Это говорит о том, что применения естественной вентиляции поможет уменьшит некое количество потребляемой энергии зданием и сэкономить около 408 долл. США в год.

Тепловые условия и энергосбережение были исследованы с помощью моделирования здания в программном комплексе Revit Insight в случае одноэтажного жилого дома, расположенного в Санкт-Петербурге.

Таблица 1 – Общие сведения по результатам исследования

Показатель	Описание изменения	Количественное изменение
Процентное соотношение окон и стен южного и восточного фасадов	Увеличена площадь оконных проемов на южной и восточной сторонах для лучшей инсоляции	Это все позволяет снизить энергопотребление здания на $180 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2/\text{год}$
Конструкция кровли	Увеличено сопротивление кровли к теплопотерям	
Эффективность подключаемой нагрузки	Уменьшена мощность потребляемой энергии источниками внутреннего потребления	
Системы HVAC	Выбран тепловой насос AHRAE	
Солнечная энергетика	Установление солнечных панелей на крыше здания	

Таблица 2 – Возможность естественной вентиляции

Характеристика	Показатель
Требуемое общее количество часов механического охлаждения	5,509 ч
Возможные часы естественной вентиляции	1,285 ч
Возможная годовая экономия затрат на электроэнергию	408 долл. США
Требуется механического охлаждения в часах нетто	4224 ч

Динамическое моделирование было использовано для оценки теплового комфорта здания и потребления энергии. Программное обеспечение динамического моделирования IDA-ICE 4.8 использовалось в качестве инструмента, обеспечивая детальное изучение климата здания в помещении, энергетического баланса и энергоэффективности.

Сравнение результатов энергопотребления по всем смоделированным случаям показывает, что наиболее эффективным решением является использование комбинации агрегатов обработки воздуха с теплообменников, теплового контроля и контроля температуры ИП. Как и в этом случае, количество потраченной энергии является самым низким. Это позволяет сэкономить около 45% от общих затрат на энергию.

Случаи использования теплового насоса свидетельствуют о значительном снижении общего энергопотребления за счет сокращения энергопотребления, расходуемого на отопление топлива. Ориентация на юг комнаты со 30% соотношением окна к стене оказывает положительно влияние на тепловой комфорт. И инсоляцию помещений.

Результаты показали, что в случае естественной вентиляции удовлетворяющий уровень теплового комфорта может быть достигнут открытие окон летом с 8 утра до 6 вечера, потому что он падает количество часов с температурой, превышающей 25°C с 4510 до 1662 (63%). Этот тип вентиляции также имеет хорошее влияние на комнату, ориентированную на север с 50% соотношение окна к стене, как это уменьшает количество часов с температурой, превышающей 25°C с 3140 до 309 (90%). Тепловой комфорт в жилом доме достижим с помощью естественной вентиляции, но механический позволяет не только обеспечить комфортный климат в помещении, но и снизить потребление энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Mardiana A., Riffat S. Building Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions: Threat to Climate Change. *Journal of Earth Science and Climatic Change*. 1 (2015) 1–3.
2. Азаров В.Н., Калюжина Е.А., Маринин Н.А., Тертишников И.В. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>) в воздушной среде // Вестник Волгоградского архитектурно-строительного университета. – 2011. – Вып. 25(44). – С. 402–407.
3. Zhao D., McCoy A., Du J.. An Empirical Study on the Energy Consumption in Residential Buildings after Adopting Green Building Standards. *Procedia Engineering*. 145 (2016) 766–773.
4. Кангезова М.Х., Гинзбург А.В. Применение методов оценки состояния среды жизнедеятельности в строительной практике // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2017. – С. 33–35.
5. R. Simson, J. Kurnitski, M. Maivel. Summertime overheating prevention requirements and results in Estonia. *REHVA Journal*. 10 (2015) 23–27.
6. Шаумаров С.С., Ишанович А.А., Щипачева Е.В. О некоторых аспектах теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций гражданских зданий в условиях летнего перегрева // Транспорт азиатско-тихоокеанского региона. – 2019. – С. 12–15.
7. Gorshkov, P. Rymkevich. A diagram method of describing the process of non-stationary heat transfer. *Magazine of Civil Engineering*. 60 (2015) 68–82.
8. Kropf S., Zweifel G., 2001. Validation of the Building Simulation Program IDA-ICE, HLK Engineering, Norw.
9. Тихомирова Т.И., Щетинина И.А., Щетинин Н.А. Энергосбережение при утеплении фасадов зданий // Энергетические, управляющие и информационные системы: сб. статей I-й междунар. науч. технич. конф. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – С. 154–156.

УДК 697.1

Д.Г. Морозова<sup>1</sup>, А. Бородинец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup>Институт тепло-, газо- и водной технологии Рижского технического университета

#### ВЛИЯНИЕ НАРУЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОСТЕКЛЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИЯ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

Согласно отчету о возможностях ресурсоэффективности в строительном секторе, строительство и эксплуатация зданий занимают примерно половину потребления энергии, что побуждает инженеров разрабатывать методы снижения общего энергопотребления зданий и использовать возобновляемые источники энергии [1]. Приблизительно 56% упомянутой энергии используется для отопления и охлаждения, а также для освещения, в то время как от 25% до 35% этой энергии тратится впустую из-за неэффективных окон. Значительной экономии энергии можно добиться за счет простого ремонта, включая установку современных окон с тройным остеклением [2–5].



Энергоэффективные ограждающие конструкции зданий защищают жильцов от внешних погодных условий, обеспечивая связь снаружи с помощью естественного света и видов. Чистое влияние окна на энергетический баланс здания зависит от характеристик остекления и ориентации окна, а также от солнечных и погодных данных [6–8].

В рамках данного исследования были проведены симуляции энергопотребления для определения оптимальных характеристик и ориентации остекленных поверхностей с целью обеспечения как оптимальной общей энергоэффективности здания в течение года, так и теплового комфорта людей.

Энергетическое моделирование здания (BEM) позволяет прогнозировать энергопотребление здания, находить и корректировать слабые места с точки зрения энергопотребления и находить наиболее эффективный способ использования энергосберегающих технологий. Insight Revit, выбранный в качестве BEM в исследовании, представляет собой круглогодичное подробное и динамичное многозонное приложение для моделирования теплового климата в помещении, а также всего потребления энергии в здании.

Климатические данные взяты из ASHRAE 2017 и профиль ветра из ASHRAE 1993. Точность климатических данных Insight Revit. Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций здания приняты в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Моделью, созданной для исследования, является офисное здание и специфика прироста тепла, расположенное в Санкт-Петербурге.

Параметры здания следующие:

- Общая площадь – 1244,64 м<sup>2</sup>;
- Объём – 130687,2 м<sup>3</sup>;
- Площадь стен – 43218 м<sup>2</sup>;
- Окна/Стены – 57,1%;
- Площадь других окон – 6174 м<sup>2</sup>;
- Регулируемая температура в помещении летом/зимой – 25°С/20°С;
- Вентиляция – постоянный расход воздуха 2 л/см<sup>2</sup>.

Площадь главного застекленного оконного фасада составляет 18522 м<sup>2</sup>. Площадь прочего остекления составляет 6174 м<sup>2</sup>. Для оценки влияния оконных свойств на годовое энергопотребление офисного здания разработано 12 сценариев. Рабочее время здания с 9.00 до 18.00 с понедельника по пятницу и с 10.00 до 17.00 в субботу. Внешняя стена предполагается в виде легкого бетона с теплоизоляцией.

Основными параметрами, характеризующими тепловые свойства окон, являются коэффициент теплопередачи, воздухопроницаемость и солнечная проницаемость. В современных динамических расчетах важная роль принадлежит g-значению остекления, которое колеблется в пределах от 0,22 до 0,89.

Проанализирована ориентация окон и влияние g-значения на потребление энергии в течение года с учетом климатических данных, потребления отопления и охлаждения (отдельно), влияния жалюзи. Алгоритмы работы жалюзи, следующие:

(Солнце) – жалюзи закрываются, если солнечное излучение на поверхности окна превышает 100 Вт/м<sup>2</sup>.

(Солнце + Получить тепло) – жалюзи закрываются, если солнечное излучение на поверхности окна превышает 100 Вт/м<sup>2</sup>, и люди остаются в помещении. Когда люди не остаются в помещении, жалюзи активируются, если солнечное излучение не превышает 100 Вт/м<sup>2</sup> и помещение не нуждается в обогреве.

(Солнце + Получить тепло + Сохранить тепло) – жалюзи закрываются, как в сценариях «Солнце» и «Получить тепло», но также и ночью, когда нет необходимости в обогреве и люди не остаются в комнате.

Моделирование в программном обеспечении Insight Revit проводилось в соответствии с Таблицей 1. Во второй колонке показана ориентация застекленной стены, что оказывает наибольшее влияние на внутренний климат офисного помещения. Изменяющимся параметром остекления является примененный жалюзи: их отсутствие, закрытый световой проем на половину своей площади и почти закрытое остекление. В последнем столбце приведены результаты расчета программы по энергопотреблению.

В современных офисных зданиях площадь поверхности остекления достигает до 80% площади стен. Увеличение доли остекления фасадной площади не только приводит к дополнительным охлаждающим нагрузкам, но и значительно ухудшает тепловой комфорт. Исследования показали заметный перегрев основных помещений в течение лета, при этом не применялись пассивные или активные методы охлаждения.

Таблица 1 – Список и расшифровка сценариев

№ сценария	Ориентация застекленной стены	Жалюзи: рабочий алгоритм	Энергопотребление, кВтч/м <sup>2</sup> /год
1	Север	Нет	302
2	Север	1/2 светового проема	302
3	Север	2/3 светового проема	303
4	Юг	Нет	303
5	Юг	1/2 светового проема	299
6	Юг	2/3 светового проема	298
7	Восток	Нет	301
8	Восток	1/2 светового проема	299
9	Восток	2/3 светового проема	298
10	Запад	Нет	302
11	Запад	1/2 светового проема	300
12	Запад	2/3 светового проема	299

В ходе моделирования было установлено, что для зданий, ориентированных на север, остекление с закрытыми жалюзи хуже сохраняет тепло в помещении. Поэтому итоги года энергобаланса для северно-ориентированного строительства, позволяют сделать вывод, что остекление со свободным проникновением лучей выгоднее, как с комфортной, так и с финансовой точки зрения.

По результатам моделирования, для юго-восточных зданий остекление с применением почти закрытых жалюзи эффективнее защищает помещение от перегрева в летний период. Детальный анализ теплового комфорта приводит к выводу, что такое остекление может снизить риск заторов в помещениях, а также рабочую температуру помещений.

Также выполнен анализ относительно вентиляции, результаты которого приведены в Таблице 2. Это говорит о том, что применения естественной вентиляции поможет уменьшить некое количество потребляемой энергии зданием.

Таблица 2 – Возможность естественной вентиляции

Характеристика	Показатель
Требуемое общее количество часов механического охлаждения	5,509 ч
Возможные часы естественной вентиляции	1,285 ч
Требуется механического охлаждения в часах нетто	4224 ч

Хотя использование внешних жалюзи может улучшить защиту от перегрева внутри помещений, однако в рамках данного исследования установка сложных жалюзи не помогла добиться значительного снижения энергопотребления как для отопления, так и для охлаждения. Основной причиной этого является относительно небольшое количество солнечных дней в Санкт-Петербурге.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Report on Resource Efficiency Opportunities in The Building Sector, 2013.
2. Psomas T., Heiselberg P., Lyme T., and Duer K. Automated roof window control system to address overheating on renovated houses: Summertime assessment and intercomparison, Energy Build., 2017.
3. Psomas T., Heiselberg P., Duer K., and Bjørn E. Overheating risk barriers to energy renovations of single-family houses: Multicriteria analysis and assessment. Energy Build., vol. 117, pp. 138–148, 2016.
4. Pathan A., Mavrogianni A., Summerfield A., Oreszczyn T., and Davies M. Monitoring summer indoor overheating in the London housing stock. Energy Build., vol. 141, pp. 361–378, 2017.
5. Kähkönen E., Salmi K., Holopainen R., Pasanen P., and Reijula K. Thermal environment in eight low-energy and twelve conventional Finnish houses. Appl. Ergon., vol. 51, pp. 50–59, 2015.
6. Baranova D., Sovetnikov D., Semashkina D., and Borodinecs A. Correlation of energy efficiency and thermal comfort depending on the ventilation strategy. Procedia Eng., vol. 205, pp. 503–510, 2017.
7. Soleimani-Mohseni M., Nair G., and Hasselrot R. Energy simulation for a high-rise building using IDA ICE: Investigations in different climates. Build. Simul., vol. 9, no. 6, pp. 629–640, 2016.
8. Prasauskas T., Martuzevicius D., Kalamees T., Kuusk K., Leivo V., and Haverinen-Shaughnessy U. Effects of Energy Retrofits on Indoor Air Quality in Three Northern European Countries, in Energy Procedia, 2016, vol. 96.

УДК 69.001.5

А.О. Мохирева, П.Н. Недвига, Е.И. Иванова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПЕРЕВОД НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ РАЗДЕЛА «АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ» В МАШИНОЧИТАЕМОЕ СОДЕРЖАНИЕ

На сегодняшний момент одним из возможных направлений развития проектирования зданий является автоматическое создание основы проекта, за счет использования технологий BIM проектирования. Для полноценного технологий BIM необходимо применять SMART-стандарты (Standards Machine Applicable, Readable & Transferrable) – стандарты в виде базы данных, моделей и т.д., ключевым потребителем которых является информационная система (потенциально проверяющая выполнение требований НТД). Тем не менее, вопросы внедрения вышеупомянутых стандартов в практику проектных организаций в области строительства, сейчас являются недостаточно проработанными.

*Цель работы* – формирование нового подхода к переводу нормативно-технической документации раздела АР в машиночитаемое содержание.

На рис 1. представлена шаги для перехода SMART-стандартам. Уровень 1 определяет системы публикации утвержденных стандартов. Уровень 2 включает в себя информационные справочные системы, реализующие пользовательские сервисы. Уровень 3 – детальное логическое описание документов для внедрения в жизненный цикл, и отражение последнего в нормативно-технической документации (НТД). Уровень 4 включает в себя системы управления требованиями, тесно интегрированные с CAD/CAM, PLM/PDM системами, системами на основе BIM-технологий, а также системы, содержащие стандарты в виде контейнеров текстовых, графических, числовых структур, цифровых моделей [1].



Рис. 1. Шаги для перехода к SMART-стандартам

Не затронутым на сегодняшний день остался уровень 3 – машиночитаемое содержание. Для реализации машиночитаемого содержания документа предлагается использовать следующий подход передачи НТД в ПО для проектирования.

В первую очередь НТД это предложения. В их основе лежит синтаксическая конструкция [2]. Применим синтаксический анализ, который состоит из двух частей: характеристика предложения и определение членов предложения. Исходя из характеристики предложения по цели высказывания, можно сделать вывод что повествовательное предложение носит рекомендательный характер, а побудительное обязательный. Иначе обязательный и необязательный пункт к исполнению, рис. 2, а [3]. То есть применяя такой подход, можно выделить ряд параметров для машиночитаемого содержания НТД.

Исходя из результатов синтаксического анализа, в общем виде можно вывести следующую модель:

$$\{[\text{Подлежащее} + \text{определение}] + [\text{сказуемое} + \text{определение}]\} \\ = \{[\text{Объект} + \text{ограничение}] + [\text{Ограничение} + \text{характеристика}]\}.$$

Синтаксический анализ по определению членов предложения позволяет представить текст в виде нисходящей иерархии, рис. 2, б. Благодаря этой структуре можно назначить теги словам. Тегирование позволит сгруппировать объекты по разным признакам, выявленным в ходе исследования. Благодаря тегам, иначе метаданные, можно будет занести информацию из НТД в BIM модель, подготовить основу для цифровой проверки проекта. К минусам данного метода можно отнести необходимость ручной проверки полученных результатов обработанной НТД. Однако, это не соизмеримо по трудозатратам с такой же аналогичной работой проектировщика [4, 5]. Далее исходя из набора ограничений в дополнительном ПО генерируются рекомендации по принятию планировочных или проектных решений, рис. 2, в и 2, г.

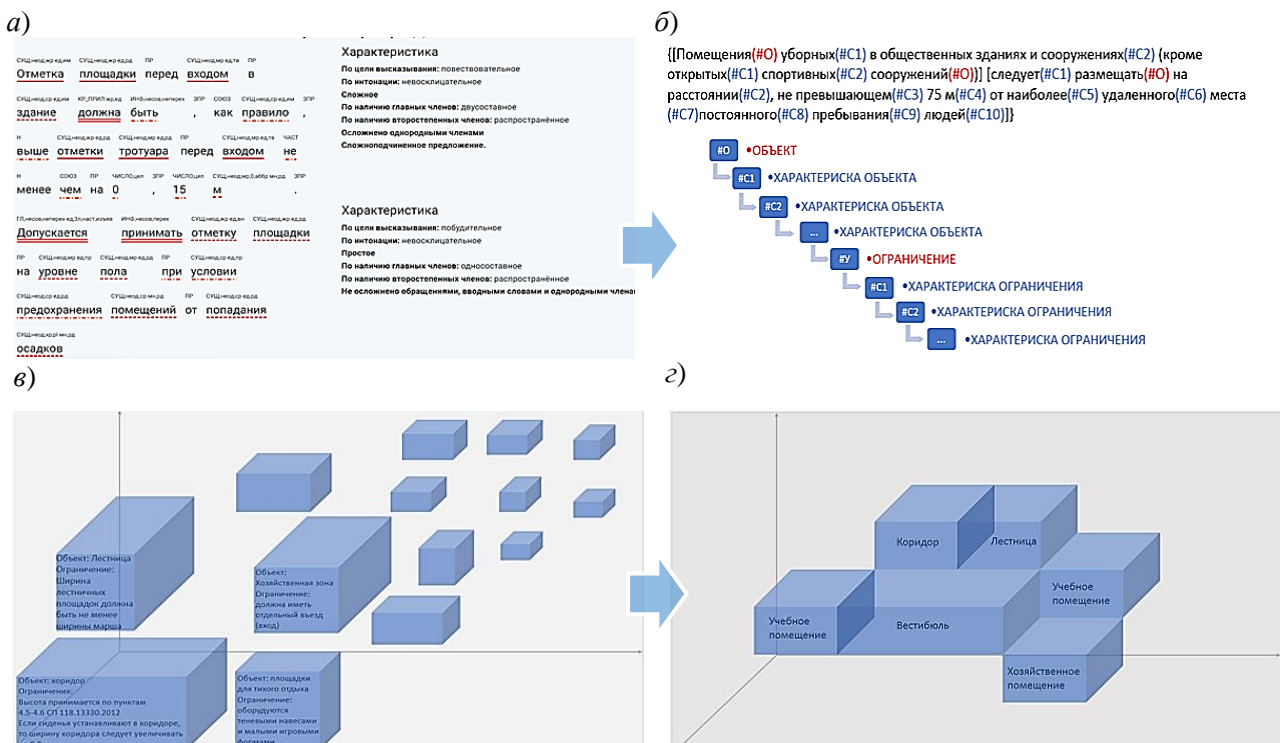


Рис. 2. Передача НТД в ПО: а – синтаксический анализ НТД; б – переведенная НТД для использования в программах проектирования; в – набор помещений с ограничениями в их проектировании; г – полученная планировка соответствующая требованиям НТД

Исходя из вышесказанного, можно представить схему работы со стандартами при использовании предложенного подхода следующим образом, рис. 3.

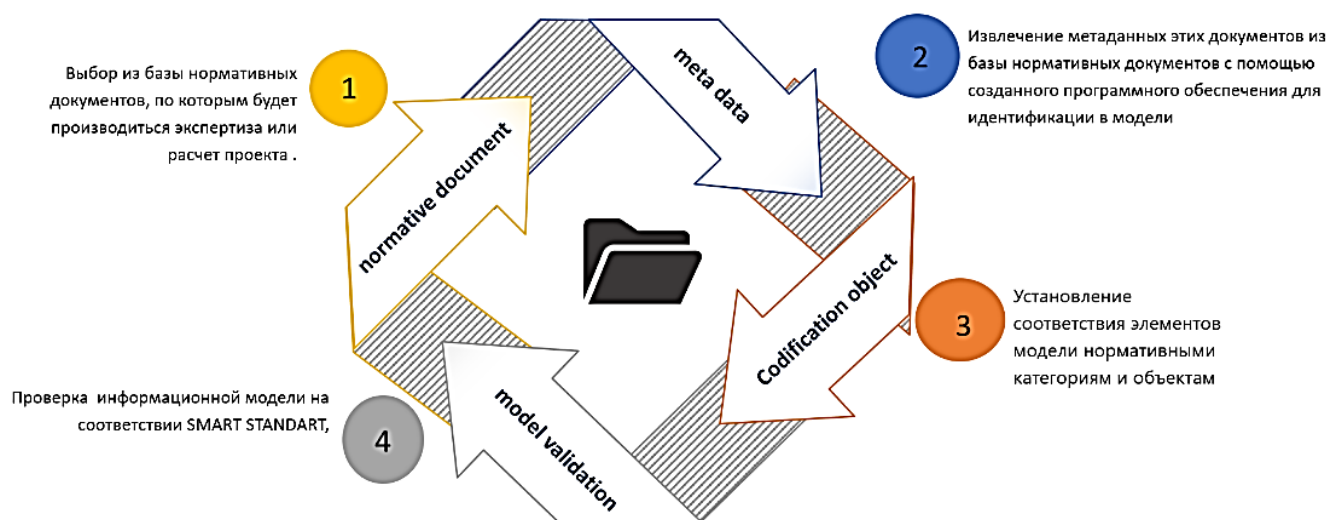


Рис. 3. Схема процесса работы со стандартами при использовании предложенного подхода

Результаты реализации предложенного подхода будут:

- выявление критериев фундаментальных правил перевода или записи научно-технической документации (НТД) для машиночитаемого содержания;
- представление НТД для проектирования раздела АР в визуальном упрощенном (удобном для восприятия) формате;
- формирование основы для создания системы автоматизированных проверок.
- создание дополнительного программного обеспечения (ПО) для генерации возможных вариантов планировочных или проектных решений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тихомиров С.Г. Российские реалии использования машиночитаемого формата нормативной документации. Конференция «Машиночитаемые стандарты: перспективы применения в промышленности». 2021.
2. Синтаксический разбор предложения. Интернет-ресурс: <https://textovod.com/syntax>
3. Синтаксические парсеры для русского языка. Интернет-ресурс: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/418701/>
4. Макиша Е.В. Анализ методов перевода требований нормативно-технической документации в машиночитаемый формат для проверки информационных моделей строительных объектов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Том 7. № 2.
5. Юрин А.Ю., Дородных Н.О., Коршунов С.А. Средства поддержки моделирования логических правил в нотации RVML // Программные продукты и системы. 2018. Т. 31. № 4. С. 667–662.

УДК 004.946

М.Д. Муравьева, А.С. Короткова  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

*Введение.* Технологии информационного моделирования зданий в последние годы получили широкое применение на этапе проектирования и строительства объекта, при этом внедрение BIM-технологии в эксплуатацию и обслуживание зданий в настоящее время только

начинает развиваться [1–5]. В литературе достаточно редко встречаются конкретные примеры внедрения цифровизации активов с экономическими показателями. Тем не менее, существуют исследования, показывающие возможность уменьшения эксплуатационных расходов при помощи BIM-технологий [6]. Для полноценного функционирования системы управления цифровыми активами, BIM следует применять на всех этапах жизненного цикла. BIM модель должна стать основой для формирования цифрового актива и уменьшения стоимости управления им, а наполнение этой модели актуальной, полной и достоверной информацией с использованием иммерсивных технологий обеспечит основу для эффективной эксплуатации зданий.

*Актуальность.* В настоящее время существует значительное количество материалов, посвященных вопросам применения различных технологий виртуальной и дополненной реальностей при проектировании и моделировании объектов капитального строительства, как от самих компаний-производителей программного обеспечения, так и от специалистов в области строительства, проектирования и BIM-моделирования [7-9]. Однако вопросы применения цифровых моделей с использованием иммерсивных технологий, позволяющих осуществлять эффективную операционную деятельность и обслуживание объекта на этапе эксплуатации, практически не освещены.

*Цель исследования:* проанализировать возможности применения различного программного обеспечения для создания приложения дополненной реальности, используемого при эксплуатации объектов капитального строительства, и предложить конкретный вариант реализации такого приложения.

*Метод исследования.*

В процессе исследования были определены ключевые функции, которыми должно обладать приложение, для обеспечения эффективной операционной деятельности службы эксплуатации:

1. Общее хранилище всей информации об объекте капитального строительства и его элементов, оборудования, комплектующих;
2. Регулярное обновление данных;
3. Точное определение местоположения оборудования и устройств, а также повреждений конструкций для мониторинга и обслуживания;
4. Наглядное и быстрое отображение необходимой информации об объектах, подлежащих мониторингу и обслуживанию;
5. Возможность внесения новой информации об объектах, подлежащих мониторингу и обслуживанию.

Следующим этапом исследования были рассмотрены следующие существующие программные комплексы, приведённые в таблице 1, с точки зрения возможности реализации вышеперечисленных функций.

На основании обзора, можно утверждать, что платформа Unity Reflect от полностью соответствует заявленным требованиям и имеет ряд преимуществ в сравнении с аналогами.

Таким образом, для обеспечения необходимого функционала для эксплуатации зданий было принято решение использовать:

- Программу Autodesk Revit для работы непосредственно с моделью, с использованием инструмента визуального программирования Dynamo для дополнительной параметризации;
- Платформу Matterport для создания цифровой копии реального объекта для координации модели и позиционирования объектов в ней;
- Платформу дополненной реальности Vuforia для совмещения модели и информации;
- и платформу Unity Reflect для создания приложения, работающего на мобильных устройствах (Android).

Таблица 1 – Программные комплексы для работы с иммерсивными технологиями

ПО	Специальные возможности
PlanRadar	<p>Доступен на любых устройствах: компьютере, ноутбуке, смартфоне или планшете;</p> <p>Принимает файлы формата .ifc и совместим со всеми основными САД инструментами таких ПО, как ArchiCAD, AllPlan, Navisworks и др.;</p> <p>Можно интегрировать весь программный инструментарий, рассчитанный для эксплуатации и обслуживания здания, в BIM-модель;</p> <p>Позволяет связывать такие данные, как даты установки конструкции, использованные материалы, информацию о производителе, о поставщиках расходных материалов и пр.</p>
Autodesk Forge и Constructive Cloud	<p>Обладает широким спектром поддерживаемых рабочих процессов;</p> <p>Обеспечивает работу с лучшими в своем классе программными продуктами и связность данных между этими продуктами;</p> <p>Позволяет собрать, упорядочить и передать всю информацию о здании – активы, документы, модели и т.д</p>
Unreal Engine Architecture	<p>Интуитивно понятный интерфейс;</p> <p>Встроенный искусственный интеллект;</p> <p>Поддержка практически всех устройств ввода и вывода;</p>
Unity Reflect	<p>Возможность импорта данных и файлов из Revit, BIM360, Navisworks, Rhino и SketchUp для разработки BIM-приложений с количеством измерений от 3 (3D) до 7 (7D);</p> <p>Возможность загрузки крупных моделей;</p> <p>Создание решений, подходящих любому проекту независимо от масштабов;</p> <p>Возможность работы в облаке с любых устройств и платформ;</p> <p>Возможность создания интерактивных иммерсивных миров с возможностью синхронизации с моделями исходного проекта;</p> <p>Возможность совместной работы ключевых участников над проектом в RT3D и AR в масштабе 1:1;</p> <p>Возможность отслеживания и обнаружения ошибок, коллизий и конфликтов на ранних этапах;</p> <p>Позволяет вносить изменения в проекты локально или в облаке, повышая эффективность совместной работы с пользователями за пределами корпоративной сети;</p> <p>Позволяет просматривать проекты на любом устройстве или платформе, включая VR, AR, iOS, Android, ПК и Mac;</p> <p>Возможность создания собственных приложений</p>
VR Concept	<p>Возможность коллективной работы в VR;</p> <p>Собственный движок, который удовлетворяет требованиям IT безопасности;</p> <p>Нативная загрузка данных CAD\CAE\CAM систем;</p> <p>Работа с иерархией CAD модели;</p> <p>Поддержка VR- устройств – проекционных систем и VR-шлемов</p> <p>Возможность в процессе работы вести документирование для последующей выгрузки в виде фото, видео и текстовой информации в PDM-систему заказчика;</p> <p>Интеграция данных телеметрии в имитационную модель разрабатываемого продукта</p>
UNIGINE SDK	<p>Возможность встраиваться в многооконные приложения (Qt, WPF, WinForms, SDL, нестандартные решения);</p> <p>Возможность выбора из нескольких API: C++, C#, UnigineScript;</p> <p>Совместимость с DirectX и OpenGL;</p> <p>Минимальная зависимость от сторонних библиотек;</p> <p>Поддержка для ОС Windows и Linux.</p>

*Результаты.* В процессе исследования была предложена методика создания приложения, которая представлена на рисунке 1.

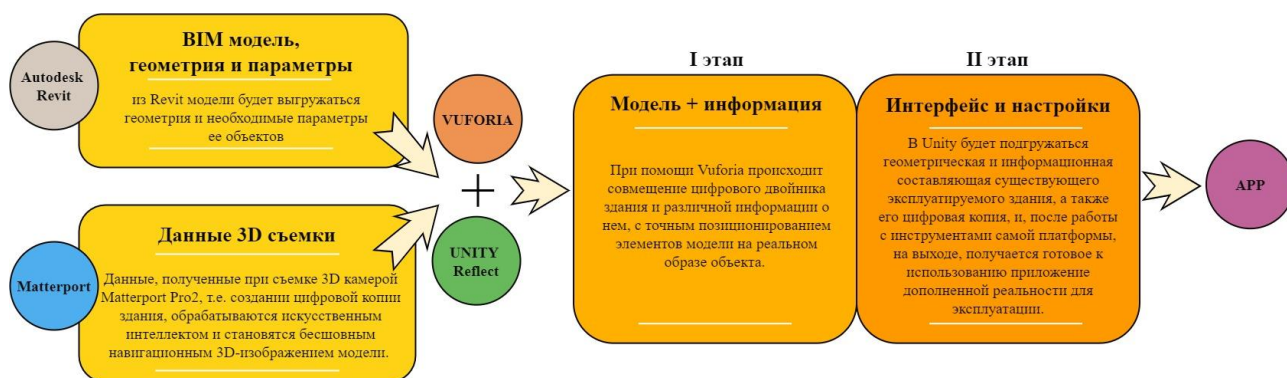


Рис. 1. Методика создания приложения для эксплуатации зданий

*Выводы.* В данной работе были рассмотрены варианты программного обеспечения, предоставляющего возможность создать приложение дополненной реальности для работников службы эксплуатации, удовлетворяющее всему необходимому, заявленному функционалу, а также предложена одна из возможных методик создания такого мобильного приложения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Aziz N.D., Nawawi A.H., Ariff N. R.M. ICT evolution in facilities management (FM): Building information modelling (BIM) as the Latest Technology. *Procediasocial and behavioral sciences*. 2016. 234. Pp. 363–371.
2. Dowd, T., Marsh, D. The future of BIM: Digital transformation in the UK construction and infrastructure sector. 2020.
3. Kensek K.M. Building Information Modeling. BIM in Current and Future Practice. 2014.
4. Lester, Albert. "Project Management, Planning and Control: Managing Engineering, Construction and Manufacturing Projects to PMI, APM and BSI Standards. 2017.
5. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. 2018.
6. Толстихина Е.Д., Брыжатый Д.Р., Шмидт М.И., Кудусов А.А., Кременская Е.А., Применение технологии виртуальной реальности в строительстве как способ экономии. 2020. 190. С. 84–89.
7. Deutsch, R. Data-driven design and construction: 25 strategies for capturing, analyzing and applying building data. 2015.
8. Figueres-Munoz A., Merschbrock C. Overcoming challenges in BIM and gaming integration: The case of a hospital project. *WIT Transactions on The Built Environment*. 2015, pp. 329–340.
9. Talamo, C., Bonanomi, M. Knowledge Management and Information Tools for Building Maintenance and Facility Management. 2016.

УДК 624.012.35

Е.П. Мясникова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

За последние несколько лет цифровые технологии в сфере строительства, первоначально разработанные в формате концепций и теоретических рекомендаций, получили огромное распространение в практике проектных и строительных организаций (на стадиях проектирования и возведения зданий) в формате различных программных сред благодаря интенсивному развитию информационно-вычислительных технологий. Важно отметить, что упомянутые технологии получили признание не только у организаций частного бизнеса в области жилищного строительства, но также и у государственных предприятий в области индустриального строительства. Заинтересованность государственных структур в повышении



качества работ, в сокращении сроков строительства, и, следовательно, в повышении эффективности инвестируемых средств определила разработку и вступление в силу Постановления Правительства № 331 от 5 марта 2021. В документе указано, что создание информационной модели и ее использование на всех этапах строительства становится обязательным для всех строительных объектов, финансируемых за счет средств государственного бюджета.

При этом результаты предварительного обзора работ зарубежных и отечественных ученых засвидетельствовали недостаточную степень научной проработанности вопросов оценки эффективности использования цифровых технологий, в частности технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling – BIM) на различных стадиях жизненного цикла объектов индустриального строительства.

Вышеперечисленные особенности определили целесообразность проведения исследования, целью которого является оценка эффективности использования BIM технологий на стадиях строительства и эксплуатации объектов индустриального строительства, а также формирование рекомендаций по повышению указанной эффективности для профильных организаций.

На начальных этапах исследования был выполнен обзор и анализ литературных источников, соответствующих тематике исследования. На основе полученных были определены основные преимущества, обеспечиваемые при использовании BIM технологий на стадиях строительства и эксплуатации объектов индустриального строительства:

- своевременное обнаружение и устранение разного рода коллизий в рамках проекта (в частности, пересечений арматурных стержней или закладных деталей при большом количестве сборных компонент) при формировании соответствующей документации [1];
- повышение адекватности исходных данных (в части пространственных характеристик конструкций), используемых при проектировании инженерных сетей в составе объекта инженерного строительства, в том числе за счет использования технологии лазерного сканирования (проект «Pingan Tower», город Шэньчжэнь, Китай [1]);
- своевременное обнаружение и устранение потенциальных конфликтов рабочего пространства в процессе монтажа сборных конструкций здания (в том числе конфликтов захваток) на стадии проектирования и, как следствие, повышение производительности, безопасности и качества выполнения работ на стадии строительства [2];
- повышение эффективности контроля прогресса строительства, в том числе производительности труда рабочих в составе бригад, посредством использования доступных в современных программных средах BIM инструментов визуализации и прогнозирования временных и стоимостных показателей процесса строительства [3].
- повышение эффективности выполнения работ по монтажу инженерных систем при использовании технологий смешанной реальности (Mixed reality – MR), а также рабочей документации и пространственных моделей, созданных в программной среде BIM [4];
- повышение эффективности процессов производства строительных изделий и компонент при внедрении системы цифровой помощи для основных рабочих в рамках процесса обучения [5].

На промежуточных этапах исследования были предложены показатели технологического процесса индустриального строительства в разрезе стадий проектирования и эксплуатации, определяющие эффект от использования BIM технологий:

- изменение сроков процесса проектирования объекта (ч);
- изменение среднего количества ошибок в проектной и рабочей документации (ед.);
- изменение суточной выработки рабочих в составе бригад, выполняющих монтаж сборных конструкций ( $\text{м}^3/\text{см.}$ ) и инженерных систем ( $\text{м}/\text{см.}$ );

- изменение коэффициента загрузки бригад рабочих, определяемый суммарным временем простоя вследствие ошибок в рабочей документации.

На заключительных этапах исследования была предложена процедура оценки эффективности использования BIM технологий на стадиях строительства и эксплуатации объектов индустриального строительства. Процедура предполагает последовательное выполнение следующих этапов:

- определение фактических значений вышеперечисленных количественных показателей эффекта от использования BIM технологий на основе результатов реализации технологического процесса строительства;
- формирование интегрального показателя эффекта использования BIM технологий посредством линейной свертки вышеперечисленных показателей эффективности;
- расчет затрат на внедрение BIM технологий в деятельность профильных организаций в сфере индустриального строительства;
- вычисление значения показателя эффективности посредством отнесения расчетного значения интегрального показателя эффекта к затратам на внедрение BIM технологий.

В рамках дальнейшей работы планируется реализация предложенной процедуры на практическом примере с целью оценки ее практической значимости.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Zhang, J., Long, Y., Lv, S., Xiang, Y. BIM-enabled Modular and Industrialized Construction in China. *Procedia Engineering*. 2016. № 145. С. 1456-1461.
2. Wang, Q., Guo, Z., Mei, T., Li, Q., Li, P. Labor crew workspace analysis for prefabricated assemblies' installation: A 4D-BIM-based approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2018. № 25(3). С. 374–411.
3. Lee, J., Park, Y.-J., Choi, C.-H., Han, C.-H. BIM-assisted labor productivity measurement method for structural formwork. *Automation in Construction*. 2017. № 84. С. 121–132.
4. Chalhoub, J., Ayer, S.K. Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*. 2018. № 86. С. 1–10.
5. Keller, T., Behling, M., Stockinger, C., Metternich, J., Schützer, K. Analysis of the influence of process complexity and employee competence on the effect of digital assistance in industrial assembly. *Production Engineering*. 2021. № 15 (1).

УДК 699.814

А.И. Нахимовский, М.В. Гравит

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### РАСЧЕТ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ПОЖАРНОГО ОТСЕКА, РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ ОБЪЕМЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ И ВСТРОЕННОЙ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ

*Актуальность исследования обусловлена необходимостью планирования помещений, определяемых различными классами функциональной пожарной опасности (далее классы ФПО) и разделенных между собой (согласно регламентной документации [1]) строительными конструкциями с нормируемыми пределами огнестойкости, при проектировании высотных зданий со встроенными подземными автостоянками.*

*Цель работы – сравнительный анализ аналитического и автоматизированного расчетов пределов огнестойкости железобетонной плиты перекрытия, отделяющей высотное здание от встроенного пожароопасного отсека, а также оценка повышения пределов огнестойкости при увеличении габаритов сечения.*

Рассмотрим железобетонную плиту перекрытия 1-го типа, отделяющую пожарный отсек автостоянки от вышележащего объёма высотного здания. Встроенное помещение автостоянки, согласно документации [1], категоризируется как пожароопасное (категория В2). Удельная пожарная нагрузка в помещении может достигать 2200 МДж/м<sup>2</sup> [2]. Рассматриваемая плита перекрытия является уникальной в высотном здании в связи с большим силовым воздействием на неё вышележащего объёма, а также обуславливает более высокую вероятность возникновения пожара в нижележащем помещении автостоянки. Данное обстоятельство определяет целесообразность моделирования ситуации температурного воздействия на плиту перекрытия в помещении автостоянки при возникновении пожара.

Для достижения поставленной цели был проведён аналитический расчет пределов огнестойкости железобетонной плиты, согласно нормативной документации [3]. Плита перекрытия подвергается одностороннему влиянию пожара снизу; разрушение плиты при шарнирном опирании происходит вследствие образования пластического шарнира в середине пролёта.

Характеристика железобетонной плиты перекрытия: толщина 200 мм; класс бетона В40; диаметр растянутой (нижней) арматуры 16 мм, шаг 200 мм, класс А500; диаметр сжатой (верхней) арматуры 14 мм, шаг 200 мм, класс А500; расстояние от центра тяжести арматуры до грани – 40 мм. Требуемый предел огнестойкости перекрытия 180 минут (степень огнестойкости высотного здания – I с повышенными пределами огнестойкости).

При проведении расчета в соответствии с документацией [3], для определения предела огнестойкости железобетонной плиты необходимо решить теплотехническую и статическую задачи. Теплотехническая задача предполагает определение температуры нагрева бетона и арматуры в определенный момент времени. Статическая задача позволяет произвести прочностной расчет нагретой конструкции.

По результатам решения статической задачи построен график зависимости коэффициента запаса прочности от продолжительности огневого воздействия в программном обеспечении «Microsoft Excel» (см. рис. 1).

Для осуществления аналитического расчета по отношению к конструкции было задано нормативное значение изгибающего момента от действия постоянных и длительных нагрузок, принимаемое 5 т·м/м. Значение момента определено посредством автоматизированного конечно-элементного расчета в программном комплексе «SCAD++». В соответствии с п. 8.4 документации [3] при расчете не учитывались ветровые, динамические и особые нагрузки, совпадение которых с пожаром маловероятно (учет данных нагрузок также является экономически нецелесообразным).

По результатам аналитического расчета плита перекрытия соответствует пределу огнестойкости R60 при требуемом значении R180. Предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности обеспечен и соответствует I240.

Аналогичная модель перекрытия была рассчитана (в соответствии с документацией [5, 6]) в программном комплексе «SOFiSTiK» с использованием интегрированного постпроцессора «Thermal Analysis/Hydra», после чего был выполнен сравнительный анализ результатов [4, 8].

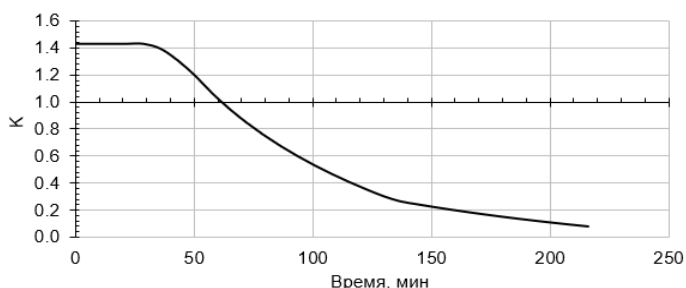


Рис. 5. Зависимость коэффициента запаса прочности от продолжительности огневого воздействия

Согласно результатам теплотехнического расчета, при нагреве в течение 180 мин наблюдается достижение конструкцией предела огнестойкости по несущей способности – значительное превышение критической температуры бетона  $t_{кр.бет.} = 500$  °С и стержней растянутой арматуры  $t_{кр.арм.} = 500$  °С [3]. Отметим также, что температура на необогреваемой части сечения не превышает 140 °С, что подтверждает отсутствие достижения сечением предела огнестойкости по теплоизолирующей способности (I) [3].

Также было рассмотрено сечение плиты перекрытия в момент достижения в нем предела огнестойкости по несущей способности – температура бетона достигает критической  $t_{кр.бет.} = 500$  °С. При этом температура растянутой арматуры не превышает критическую (рис. 2 и 3).

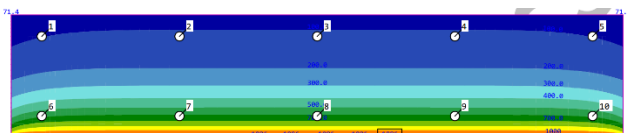


Рис. 2. Распределение температуры в сечении плиты перекрытия при огневом воздействии в момент времени  $t = 180$  мин.

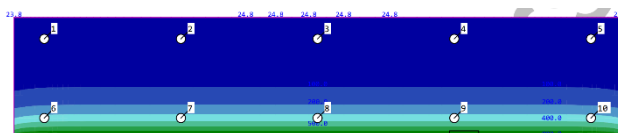


Рис. 3. Распределение температуры в сечении плиты перекрытия в момент достижения предела огнестойкости по несущей способности  $t = 60$  мин

Таким образом, полученные по результатам аналитического и автоматизированного расчетов значения предела огнестойкости по несущей способности плиты перекрытия соответствуют R60, что является недостаточным для обеспечения требуемой степени огнестойкости высотного здания. В рамках обеспечения огнезащиты рассматриваемой конструкции повышение предела ее огнестойкости может быть достигнуто посредством дополнительного обетонирования, увеличения габаритов поперечного сечения плиты, использования жаропрочного, более огнестойкого бетона. В рамках проведенного исследования было рассмотрено увеличение габаритов сечения как способ повышения предела огнестойкости плиты перекрытия. В рамках расчетов, выполненных в соответствии с ранее описанными методами, было подобрано необходимое сечение плиты перекрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости R180. В подобранном сечении переменна не только толщина, но и диаметр рабочей арматуры. Расстояние от центра тяжести арматуры до граней сечения было принято равным 40 мм, шаг армирования – 200 мм. Необходимые диаметры фоновой рабочей арматуры конструкции с учетом указанного шага армирования были определены посредством расчета модели в программном комплексе «SCAD++». В сечении рассматривается только фоновая арматура, так как, согласно документации [3], разрушение конструкции происходит в средней части пролёта, где отсутствует дополнительное усиливающее армирование. Результаты подбора необходимого сечения плиты приведены в табл. 1.

Таблица 9 – Результаты подбора требуемого сечения плиты

Толщина сечения плиты, мм	Диаметр стержней рабочей арматуры нижней/верхней, мм	Требуемый предел огнестойкости R, мин.	Фактический предел огнестойкости R, мин.
200	16/14	180	60
300	16/16		107
400	18/16		163
440	18/16		183

Исходя из результатов расчета, наименьшая необходимая толщина плиты перекрытия составила 440 мм, предел огнестойкости – 183 мин. Применение плит указанных размеров с

учетом повышенного собственного веса конструкции влечет за собой увеличение сечений нижележащих вертикальных и горизонтальных несущих конструкций, что, в свою очередь, значительно влияет на материальные затраты – требуемый объем бетона увеличивается более чем в два раза, значительно повышается масса армирования, усложняется технология возведения здания. Подобные проектные решения являются нецелесообразными.

Требуемый предел огнестойкости целесообразно обеспечивать посредством применения тонкослойных огнезащитных составов, штукатурных огнезащитных составов, а также облицовки листами и плитами из огнезащитных материалов [7].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Закон РФ от 22.07.2008 №123-ФЗ (с изменениями на 03.07.2016). Гос. Дума Федерального Собрания Российской Федерации, 2008.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1). ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. Минстрой России, 2019.
4. Дмитриев И.И., Шахова М.А., Гравит М.В. Цифровое проектирование железобетонных плитных конструкций // Неделя науки ИСИ: материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 22–25.
5. CEN EN 1992-1-2-2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design // European Committee for Standardization. 2004.
6. EN 1992-1-1-2009 (02250) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings // European Committee for Standardization. 2009.
7. Сергеева Ф.А. Огнестойкость железобетонных конструкций с применением различных огнезащитных покрытий: выпускная квалификационная работа магистра: направление 08.04. 01 «Строительство»; образовательная программа 08.04. 01\_20 «Проектирование и расчет строительных конструкций и оснований». 2021.
8. Gravit M., Nazarov M., Ivanov V., Dmitriev I. Fire resistance of monolithic reinforced concrete structures of the tall residential building with core structural system // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. №. 5 (90). С. 9004.

УДК 721.021.23; 624.07

Н.С. Астафьева, А.С. Никашина, Н.В. Федухина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ BIM-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время наблюдается явная тенденция импортозамещения программного обеспечения для BIM-проектирования в российской строительной отрасли, в связи с чем возникает высокая потребность в повышении возможностей интероперабельности между инструментами BIM-моделирования. Передача информационной модели строительного объекта без потерь данных является актуальной задачей для практикующих специалистов. Оптимальное применение различных программ для решения задач моделирования и расчетов конструкций позволит выстроить процессы проектирования более эффективно с экономической точки зрения.

С 2012 г. в российском законодательстве введена формулировка термина «интероперабельность (interoperability)» – это способность двух и более информационных систем или компонентов к обмену, а также использованию информации, полученной в результате обмена [1]. Современные проектные компании и вендоры программ в настоящее

время придерживаются концепции OpenBIM с использованием стандарта IFC для обмена данными [2, 3]. Множество статей посвящено вопросам эффективного взаимодействия программ для информационного моделирования [4–9]. Для ускорения внедрения BIM-технологий в России было принято Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 №331, по которому формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства, финансируемых с привлечением бюджетов бюджетной системы РФ, является обязательным с 1 января 2022 г. Несмотря на ускоренное внедрение программного обеспечения в процессы проектирования и стремление вендоров усовершенствовать возможности импорта и экспорта своих продуктов, существует ряд проблем в их интеграции между собой.

ПК Renga и ПК Revit предназначены для создания архитектурной модели здания, в них нет функционала, позволяющего выполнить расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) строительных конструкций. Поэтому возникает необходимость в передаче физической модели в другие расчётные комплексы, позволяющие создавать аналитические модели, расчетные схемы и выполнять прочностные расчеты с последующим проектированием сечений несущих элементов здания. Мы проиллюстрируем такую интеграцию с ПК САПФИР и ПК ЛИРА-САПР версии 2020.

*Методы исследования* – численное моделирование и анализ технологии проектирования зданий.

*Целью работы* является анализ процесса совместной работы различных программ по архитектурно-строительному проектированию для оценки их возможностей интеграции между собой. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: смоделировать одноэтажный жилой дом из железобетонных конструкций в ПК Renga, передать полученную архитектурную модель в ПК Revit, далее импортировать модель в ПК САПФИР для получения аналитической модели здания (конечно-элементной модели) с целью дальнейшего экспорта расчетной модели в ПК ЛИРА-САПР и выполнения прочностных расчетов здания, а также подбора арматуры в железобетонных элементах.

Смоделируем базовый процесс проектирования одноэтажного жилого дома с применением железобетонных конструкций. Моделирование осуществлено в Renga версии 5.1. В качестве несущих конструктивных элементов использованы внешние и внутренние стены, плита перекрытия и фундаментная плита, выполненные из монолитного железобетона. Общий вид спроектированного здания представлен на рисунке 1.

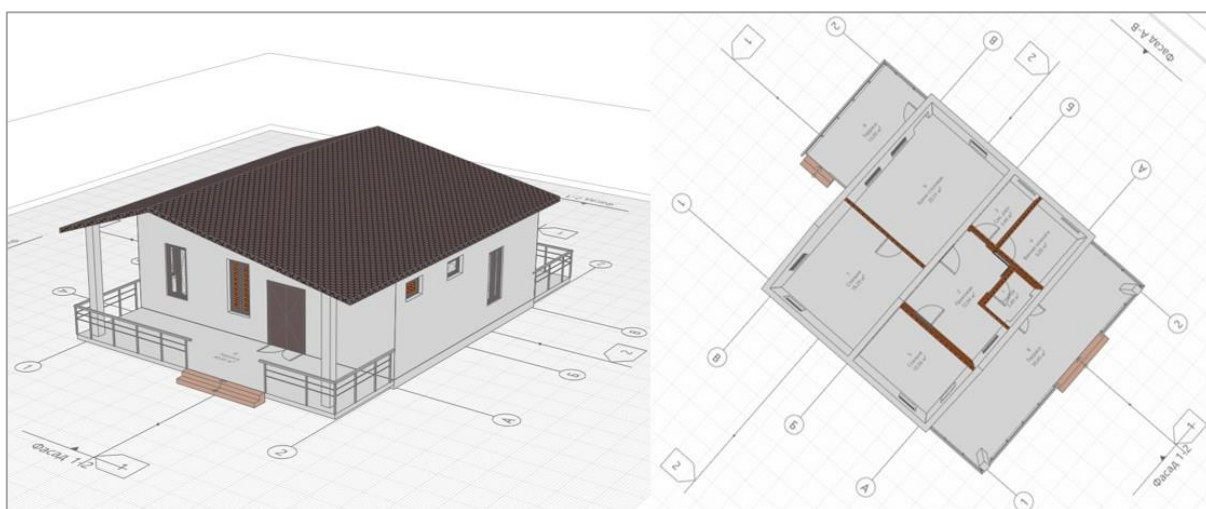


Рис. 1. Общий вид здания в Renga

По умолчанию в Renga установлены настройки экспорта в IFC 4 в соответствии с Model View Definition – Reference View 1.2. Если полученный при экспорте файл IFC импортировать непосредственно в ПК САПФИР, то программа считывает данные некорректно – искажено исходное положение несущих стен, перегородок и кровли, также не распознаны окна и двери (рис. 2). Несмотря на то, что вендор ПК САПФИР заявляет о поддержке импорта файлов формата IFC стандарта 2.3–4.0, проблемы в передаче данных существуют. ПК Renga поддерживает только экспорт формата IFC 4, поэтому в качестве обходного решения используем сначала импорт модели в ПК Revit (версия 2021), с последующим экспортом в IFC формате из него в САПФИР. Импортированную геометрию объектов из Renga ПК Revit распознаёт корректно, все подрезки и характеристики материалов отображены верно, импортированная арматура присутствует в конструктивных элементах, при этом каждый стержень является отдельным объектом, а не единым массивом, как в ПК Renga.

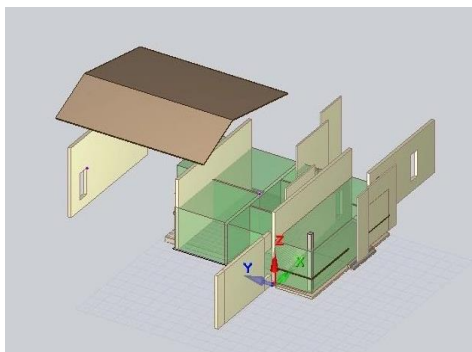


Рис. 2. Некорректный импорт IFC4 в ПК САПФИР

При экспорте IFC из ПК Revit программа даёт возможность выбрать вариант стандарта IFC, что является полезным функционалом и позволяет настроить экспорт в зависимости от возможностей принимающей стороны. Выбираем экспорт модели в IFC 2x3.

На рисунке 3 показаны этапы трансформации информационной модели здания (от архитектурной до расчетной схемы) в различных программных комплексах.

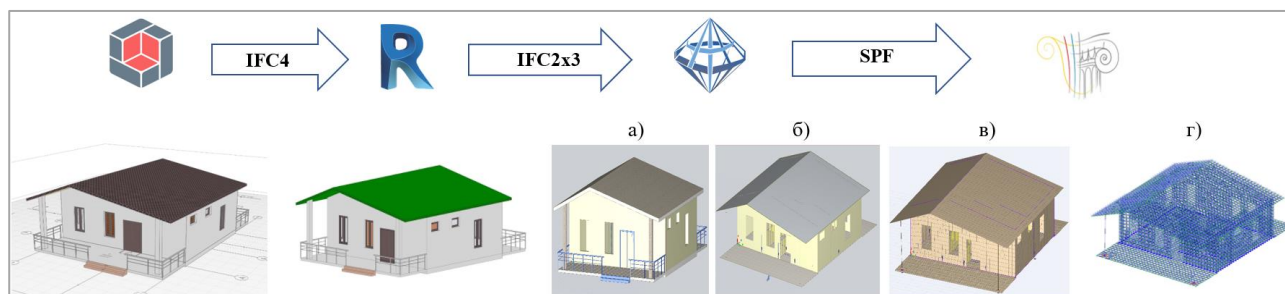


Рис. 3. Схема изучения интероперабельности:

*а* – архитектурная модель (исправленная); *б* – аналитическая модель; *в*, *г* – расчётная схема

В результате проделанной работы выявлены следующие особенности взаимодействия указанных программ:

- ПК САПФИР некорректно считывает информацию из файлов IFC4, переданных из Renga (не переносятся материалы объектов, проёмы окон и дверей, армирование стен и перекрытия, а также взаимные подрезки стен и крыши);
- ПК Revit импортирует информационную модель из Renga с незначительной потерей данных;
- при экспорте модели из ПК Revit в ПК САПФИР цифровая модель переносится с ошибками, например, требуется вручную переопределять «Материал» и «Тип элемента» для импортированных объектов, у ряда конструктивных элементов необходимо вручную изменять значение параметра «Интерпретация» («несущий конструктив», «нагрузка» или «игнорировать»).

Для устранения данных неточностей вендорам Renga и САПФИР необходимо доработать механизмы импорта и экспорта, в том числе с использованием последнего стандарта IFC4.

С учетом остро стоящих вопросов, связанных с импортозамещением программного обеспечения в Российской Федерации, а также с целью решения задач сквозного автоматизированного проектирования и внедрения цифровых технологий, возможность интеграции разных программных комплексов для архитектурно-строительного проектирования без потери информации являются крайне актуальной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 55062-2012 Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения.
2. ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018 Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных.
3. Описание стандарта OpenBIM buildingSMART [Электронный ресурс]. URL: <https://buildingSMART.su/about/chto-takoe-openbim.html> (дата обращения: 27.02.2022).
4. Талапов В.В. Развитие BIM в странах Бенилюкса // САПР и графика. 2016. №4. С. 64–65.
5. Шарманов В.В., Мамаев А.Е., Болейко А.С., Золотова Ю.С. Трудности поэтапного внедрения BIM // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №10. С. 109.
6. Ding L., Zhou Y., Akinci B. Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable // Automation in construction. 2014. Volume 46. P. 82–93.
7. Gamayunova O., Vatin N. BIM-technology in architectural design // Advanced Materials Research Vols. 1065-1069. 2015. P. 2611–2614.
8. Астафьева Н.С., Кибирева Ю.А., Васильева И.Л. Преимущества использования и трудности внедрения информационного моделирования зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. № 8 (59), 2017, С. 41–62.
9. Козлова Е.М., Шумилов К.А. Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) с применением ПК САПФИР 3D // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. 2020. С. 254–263.

УДК 693.98

Ю.К. Николаева, М.В. Петроченко, к.т.н., доцент  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В настоящее время согласно постановлению Правительства Российской Федерации №1431, строительная отрасль должна обеспечивать формирование и ведение информационной модели, также стратегия развития строительной отрасли предусматривает развитие цифровых технологий в области строительства. Анализ литературы показал, что оценка качества проектной документации сводится к проведению экспертизы. Для того чтобы полностью и комплексно оценить качество необходима автоматизация проекта, но в строительной отрасли не существует программных комплексов, которые были бы направлены не только на разработку проектной документации, но и на оценку качества принятых проектных решений [1].

*Цель работы* – исследование возможностей применения цифровых технологий для оценки качества строительства на этапе проектирования.

*Задачи* – 1. Анализ существующих методов оценки качества проектной документации; 2. Определение основных параметров качества проектной документации; 3. Определение существующих способов контроля качества проектной документации с использованием цифровых технологий.

На первом этапе проведённого анализа существующих методов оценки качества проектной документации было выявлено, что при оценке качества проектной продукции можно выделить четыре уровня контроля [2]:



1. Проектная организация при разработке проектной продукции осуществляет нормоконтроль. Проект должен полностью соответствовать нормативным документам и техническому заданию.

2. Государственная экспертиза проводит проверку проектной документации и по ее результатам составляет заключение.

3. Заказчик рассматривает акт экспертизы и передаёт его проектной организации.

4. Строительная организация, осуществляет входной контроль качества проектной документации, для проверки достаточности технической информации для производства работ.

Также было выявлено, что основной задачей для производственной организации является формирование и внедрение такой системы менеджмента качества, которая позволит обеспечить соответствие готовой строительной продукции требованиям проектной и нормативно-технической документации, соблюдать государственные стандарты, строить экономически выгодные объекты для страны, а также учитывать охрану труда и окружающей среды.

На втором этапе исследования определялись основные параметры качества проектной документации. На этапе проектирования на качество влияют: задание заказчика, а именно количество корректировок; соответствие стандартов, а именно количество несоответствий; Building Information Modeling (BIM) модель, а именно количество коллизий; погрешности при расчётах и соответствие разделов друг другу; значения абсолютных показателей свойств, а также свойства надёжности документации [3].

Показатель качества  $K^k$  может быть выражен с помощью формулы средней взвешенной арифметической:

$$K_j^k = K_j^3 \sum K_{ij} G_i, \quad (1)$$

где  $K_j^k$  – показатель качества  $j$ -го оцениваемого объекта ( $0 \leq K_j^k \leq 1$ );  $K_j^3$  – коэффициент сохранения эффективности  $j$ -го объекта ( $0 \leq K_j^3 \leq 1$ );  $\sum$  – суммирование по всем  $i$ -ым свойствам, характеризующим качество оцениваемого объекта ( $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – полное количество свойств, характеризующих качество оцениваемого объекта;  $K_{ij}$  – относительный показатель  $i$ -го свойства у  $j$ -го объекта ( $0 \leq K_{ij} \leq 1$ );  $G_i$  – коэффициент важности  $i$ -го свойства ( $0 < G_i < 1$ );  $n$  – полное число свойств, характеризующих качество оцениваемого объекта.

Особенность вычисления значения  $K^k$ : среди  $i$ -х свойств выделяют так называемые «критические», т. е. такие, для которых недопустимо существование неравенства:  $q_{ij} \prec q_i^{op}$  (где  $\prec$  обозначает «хуже» или «равноценно»). Если же такое неравенство существует хотя бы для одного (любого) критического свойства, то принимается:  $K^k = 0$  [4,5].

Также показатель качества можно найти с помощью современных программных комплексов, которые направлены на контроль качества проектной документации и осуществляют его на всех стадиях строительства.

Поэтому на третьем этапе были определены существующие программные комплексы для контроля качества проектной документации. Самые популярные программы на российском рынке: мобильные решения для строительства СтройКонтроль и Plan Radar. Данные программы представляют собой специализированные мобильные и облачные решения для цифровизации строительного контроля в компаниях. Содержат решения для сбора данных о фактически выполненных объемах, контроля промышленной безопасности и другого. Все решения содержат программный интерфейс приложения для синхронизации с системами, которые в данном контексте следует понимать, как аналитические панели мониторинга руководителя. Основные преимущества – гибкая настройка, простой интерфейс, оперативное решение вопросов, возможность добавления замечаний непосредственно на чертежах [6, 7].

Таким образом можно сделать вывод, что достоверный учёт, оперативная отчётность и эффективный контроль в процессе строительства, в первую очередь в цифровом формате, должны быть главными условиями ведения всех проектов. Это необходимо, для того чтобы

увеличить эффективность строительства, снизить себестоимость, увеличить скорость устранения замечаний, а также прийти к бережливому строительству. Решением возникших проблем может стать ведение отдельных документов каждым производителем работ и специалистами строительного контроля заказчика со сверкой в ежедневных отчётах, а также использование цифровых технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия. Итоги и перспективы// Стандарты и качество- 1999. -№ 1. – С. 27–31.
2. Ковалёва А.М., Семёнов А.С., Ряховский Ю.А. Порядок проведения контроля в строительстве // ИТпортал, 2016. №1 (9). с.7.
3. Юденко М.Н., Васильева О.М. Комплексная оценка качества объектов жилищного строительства/ Научный результат. 2016 – Изд. Научный результат – С. 32–38
4. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия в архитектурно строительном проектировании: Монография. М.: Стройиздат, 1989. 215 с
5. Азгальдов Г.Г. Определение ситуации оценивания качества // Стандарты и качество. – 1995. – № 9,
6. Pan Y., Zhang L., A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management // Automation in Construction, Volume 124, April 2021, P. 63
7. Боровков А.И. и др. Компьютерный инжиниринг//Учебное пособие. – Политехнический университет. – Санкт-Петербург, 2012. – 93 с.

УДК. 528.8

С.В. Омнин, Я.А. Олехнович  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ МАССИВА ИНФОРМАЦИИ В ВИДЕ ОБЛАКА ТОЧЕК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

*Актуальность* работы определяется необходимостью использования современных средств получения и обработки информации при проведении картографических и других работ в рамках предпроектного этапа строительства, а также малой степенью научной проработанности вопросов оценки эффективности использования альтернативных способов получения вышеупомянутой информации.

*Цель работы* – сравнительный анализ альтернативных способов получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических работ, формирование практических рекомендаций относительно наиболее предпочтительного способа по критерию качества и стоимости выполнения работ.

*Содержание исследования.* В работе были рассмотрены следующие способы получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических работ:

- наземное лазерное сканирование (предполагает статичное размещение оборудования);
- воздушное лазерное сканирование (предполагает установку оборудования на различные виды воздушных транспортных средств);
- мобильное лазерное сканирование (предполагает установку оборудования на различные виды наземных транспортных средств);
- сканирование с использованием малых летательных аппаратов (предполагает установку оборудования на различные виды беспилотных летательных аппаратов).

Сравнительный анализ производился по следующим критериям:

- качество выполнения работ, определяемое скоростью и точностью измерений параметров рельефа;
- стоимость процедуры сканирования, в общем случае включающая в себя затраты на аренду оборудования и стоимость выполнения работ.

В рамках исследования было изучено достаточно большое количество бумажных и электронных источников, непосредственно относящихся к рассматриваемой тематике [1–9].

На основе изученной информации были сформулированы следующие частные выводы:

1. Наземное лазерное сканирование характеризуется ограниченным кругом решаемых задач, но при этом является в определенной степени компромиссным (в сравнении с другими способами) вариантом с точки зрения соотношения качества и стоимости выполнения работ [1, 2]. Скорость сканирования, определяемая количеством точек в единицу времени, варьируется от 40000 до 1200000 ед./с, точность сканирования в зависимости от дальности измерений составляет 0,2–7 мм. Актуальные цены лазерной съемки в зависимости от площади исследуемой поверхности приведены в таблице 1. Стоимость качественного оборудования от иностранных производителей для наземного лазерного сканирования в общем случае находится в диапазоне от 4500000 руб. до 8500000 руб. за прибор.

Таблица 1 – Стоимость работ наземного лазерного сканирования в зависимости от площади сканирования

Площадь сканирования, м <sup>2</sup>	Цена, руб./м <sup>2</sup>	Минимальная цена, руб.
0-500	150	4000
500-1000	130	7500
1000-2000	100	13000
2000-5000	70	-
5000-10000	50	-

2. Воздушное лазерное сканирование характеризуется наибольшим значением стоимости выполнения работ, но при этом обеспечивает высокое качество выполнения более широкого (в сравнении с другими способами) спектра работ. В частности, использование данного способа позволяет создать цифровую модель рельефа через несколько дней после проведения полевых работ (производительность работ составляет до 800 км<sup>2</sup> за рабочий день). Точность измерений составляет до 5–15 см в плане и 7–10 см по высоте в зависимости от высоты полета и частоты сканирования [4]. Стоимость выполнения работ включает в себя в том числе:

- затраты на аренду воздушного судна (например, для самолета минимальное значение затрат составляет 50000 руб./ч, для вертолета – 150000 руб./ч) – в общем случае образуют 15–20 % от общей стоимости работ при воздушном лазерном сканировании [3];
- стоимость комплекта оборудования (от 50000000 руб.).

Характеристики структуры стоимости работ воздушного лазерного сканирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики структуры стоимости работ воздушного лазерного сканирования

Виды работ	Доля в общей стоимости выполнения работ, %
Аренда воздушного судна	15–20
Создание планово-высотного обоснования	40–45
Установка и калибровка оборудования	10–15
Лазерное сканирование местности и аэрофотосъемка	25–30

3. Мобильное лазерное сканирование с точки зрения разнообразия решаемых задач занимает промежуточное положение относительно воздушного и наземного способов сканирования, имеющих большую и малую универсальность соответственно. Для перемещения измерительного оборудования используются, как правило, средства автомобильного

транспорта стоимость аренды которых существенно меньше в сравнении с воздушными транспортными средствами. Сканирующая система в общем случае устанавливается на крыше автомобиля. Мобильная лазерная съемка в прямом и обратном направлениях производится на скорости не выше 70 км/ч. Совместно со сканированием, как правило, осуществляется фотосъемка территории объекта с помощью четырех широкоугольных камер с частотой съемки до 20 кадров в секунду [5]. Согласно статистическим данным, показатель точности наземного лазерного сканирования в плановом и высотном аспектах не превышает 5 см, что гарантирует высокое качество съемки [6]. Стоимость единицы оборудования для мобильного лазерного сканирования (картографирования) варьируется в диапазоне от 5000000 руб. до 50000000 руб.

4. Сканирование с использованием малых летательных аппаратов является наиболее универсальным по отношению к остальным методам за счет возможности реализации большего количества задач [7, 8]. Применяемые при этом малые (беспилотные) летательные аппараты предназначены специально для выполнения процедур воздушного лазерного сканирования на рабочих высотах порядка 70–80 метров, а устанавливаемое на упомянутые аппараты оборудование обеспечивает построение облака точек и цифровой модели рельефа с точностью 3–5 см и плотностью точек порядка 150 ед./м<sup>2</sup>. Стоимость одного летательного аппарата, варьирующаяся от 50000–100000 руб. до нескольких миллионов рублей, зависит в основном от трех параметров: точность данных XYZ, тип сенсора и рабочая высота. Более подробная информация представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Технические и стоимостные характеристики различных вариантов оборудования для лазерного сканирования, устанавливаемого на малые летательные аппараты

Тип сенсора	Точность данных XYZ, см	Рабочая высота, м	Стоимость, руб./ед.
Livox Avia	3–5	150	1300000
Velodyne Puck	3–5	70	1500000
Velodyne Ultra	3–5	150	1900000
Velodyne HDL	2–4	70	3900000

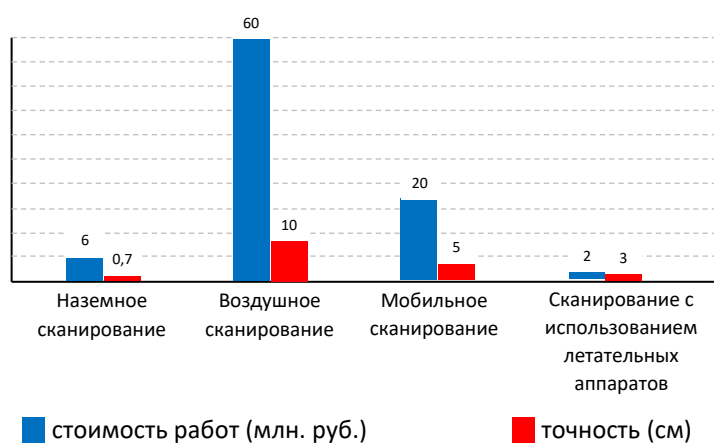


Рис. 1. Показатели стоимости и качества выполнения работ для различных способов получения массива информации в виде облака точек

Результаты оценки качества и стоимости выполнения работ для вышеуказанных способов получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических работ представлены на рис. 1.

На основе анализа указанных результатов был сделан *вывод*: наиболее предпочтительные способы получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических работ (с точки зрения критериев качества и стоимости выполнения работ) предполагают стационарное размещение оборудования (наземное сканирование), а также применение малых летательных аппаратов.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Ворошилов А.П., Караченцев Ю.А. Выбор местоположения станций при наземном лазерном сканировании зданий и сооружений // Вестник южно-уральского государственного университета. серия: строительство и архитектура. 2009. № 16 (149). С. 20–22.
2. Ковров А.А. Наземное лазерное сканирование: на смену ручной работе // Инженерные изыскания. 2008. № 3. С. 100–104.
3. Широкова Т.А., Антипов А.В. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования // Вестник сибирской государственной геодезической академии. 2010. № 2(13). С. 24–30.
4. Рыльский И.А. Лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка: новый уровень детальности // Геоматика. 2015. № 4. С. 53–56.
5. Подоприхин Р.В., Григорьев А.В. Новинки технологии: за мобильным лазерным сканированием – будущее // Геодезия и картография. 2008. № 3. С. 63–64.
6. Кузнецова В., Рамазанова А., Цховребова А. Мобильное лазерное сканирование // Образование. Наука. Производство – 2014. 2014. С. 107–108.
7. Степанова А. Возможности дронов в строительной сфере и их взаимосвязь с информационной моделью здания // Молодёжные инновации. 2019. С. 105–109.
8. Токарев А.В., Садыгов Э.А., Соловьев С.В., Соловьева Л.В. Аэрофотосъемка с использованием малых летательных аппаратов и цифровых фото- и видеокамер // Научный потенциал молодых – реструктуризации АПК. 2004. С. 96–102.
9. Tsareva O., Pshchelko N., Glazunov V., Yugov A. Separation of relative deformations of buildings from a general displacement vector of deformation marks. Lecture Notes in Civil Engineering 70, pp. 93–102. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3\_8.

УДК. 528.8

С.В. Омнин, Я.А. Олехнович  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА БПЛА И КАЧЕСТВА СНИМКОВ НА ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ

*Цель работы* – провести анализ скорости полета, качества снимков и времени работы при составлении полетного задания для беспилотного летательного аппарата и выявить закономерности в их связи.

Для реализации поставленной задачи было решено использовать приложение компании Pix4D – Pix4Dcapture. Pix4Dcapture – это приложение, позволяющее составлять план полета для оптимального картографирования, сбора данных и построения трехмерной модели местности [1].

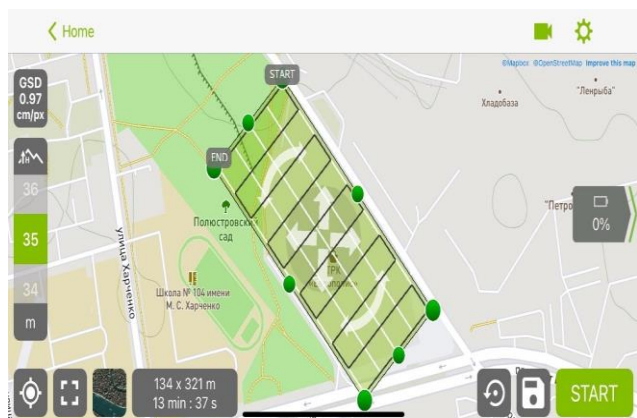


Рис. 1

В программе Pix4Dcapture есть четыре основных вида миссий, которые позволяют обеспечить необходимую гибкость решения поставленных задач. Миссия – это тип полетного пути. Чтобы получить наилучшие результаты по плану получения изображения, необходимо выбрать тип миссии и дрон в зависимости от местности / объектов, которые необходимо исследовать [2–3].

В данной работе было решено использовать double grid mission, так как именно эта миссия подходит поставленной задаче [4].

Объектом, на который будет составляться полетное задание был выбран ТРК «Европолис» расположенный по адресу Полюстровский пр., 84, Санкт-Петербург. Область облёта составила 134×321 м. Угол наклона камеры был принят 80° для всех вариантов [5]. На рисунке 1 показан первый вариант работы по составлению полетного задания с высотой 35 м, качеством снимков 0,97 см на пиксель и временем облёта в 13 мин. 37 с.

Всего таких вариантов было сделано восемь. В таблице 1 приведены значения показателей высоты полета, качества снимков и времени работы для каждого из вариантов составления полетного задания.

Таблица 1 – Результаты измерений на каждом из вариантов составления полетного задания

Высота полета, м	35	40	45	50	55	60	65	70
Качество снимков, см/пикс	0,97	1,11	1,25	1,38	1,52	1,66	1,8	1,94
Время облета, мин	13,37	10,32	8,46	8,22	8,24	6,22	6,12	6,15

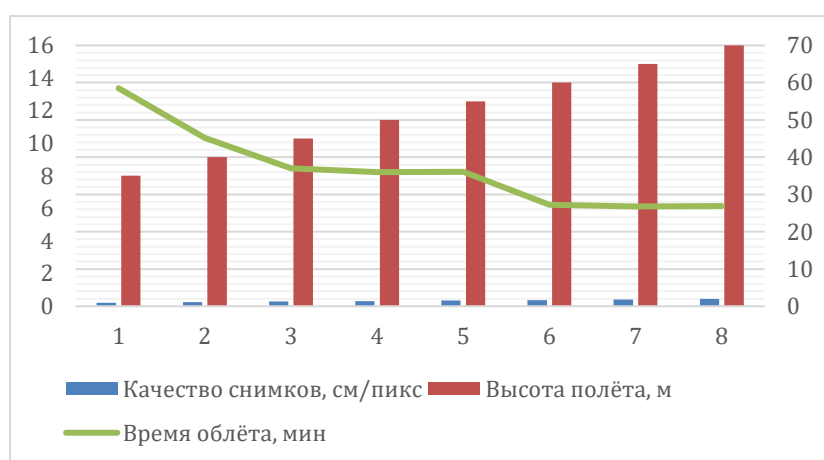


Рис. 2. Зависимость рассматриваемых параметров

очередь отрицательно влияет на качество снимков. И наоборот, если высота полёта будет меньше, то время облёта увеличивается, из-за этого миссия становится более детальной и снимки получаются более качественные за счет уменьшения количества сантиметров на пиксель. Также стоит отметить, что при высоте полёта 45, 50 и 55 м, а также 60, 65 и 70 м разница во времени облёта практически не меняется, что обусловлено нецелесообразностью изменения плотности миссии при изменении высоты в 5–10 м.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Молоко А.С., Колюк К.В., Шабалина Е.С., Ширшова В.Ю. Исследование возможностей фотограмметрической обработки изображений в Agisoft Metashape, Pix4D и Bentley Contextcapture // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование. – 2019. – С. 42–48.
2. Иванов П.В., Тарасов А.В. Фотограмметрия – новая жизнь старой технологии (принципы и приложение для поисков МПИ) // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. – 2017. – С.118.
3. Завтур А., Гришина Н., Чалый Ю. Трехмерная фотограмметрия, или от фотографии к 3D-модели // Сапр и графика. – 2016. – No 2(232). – С. 58–61.
4. Чибуничев А.Г. О возможностях применения цифровых методов фотограмметрии для решения инженерных задач // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1990. – No 6. – С. 76–82.
5. Гермак О.В. БПЛА – Фотограмметрия // Строительство и архитектура – 2015. – 2015. – С.77–79.

ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОТОЧНОМ  
МЕТОДЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

*Актуальность.* Эффективная реализация технологического процесса при возведении объектов промышленного и гражданского строительства невозможна без разрешения вопросов рационального обоснования характеристик процессов функционирования применяемых машин и механизмов. Проблема обоснования потребности в строительной технике, а также параметров функционирования машин усугубляется наблюдаемым на сегодняшний день усложнением структуры процессов строительства, а также ужесточением требований к срокам и стоимости выполнения работ в рамках строительных проектов. Также предварительный анализ научных разработок, относящихся к вышеуказанной проблематике, показал отсутствие инструментов для обоснования характеристик процессов функционирования парка строительной техники при использовании параллельно-поточного метода (поточного выполнения работ ресурсами в рамках последовательно реализуемых укрупненных этапов с обеспечением фиксированной длительности выполнения последних) организации работ в условиях временных ограничений. Эти особенности определили актуальность, выбор темы и формулировку основных задач настоящего исследования.

*Цель исследования* – разработка инструментальных средств для обоснования характеристик процесса функционирования строительной техники в условиях временных ограничений с использованием средств многокритериальной оптимизации.

*Задачи исследования:*

1. Обзор и анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов в области обоснования характеристик. А также анализ существующих методик оптимизации строительного парка машин;
2. Разработка оптимизационной модели обоснования характеристик процесса функционирования строительной техники в условиях временных ограничений.
3. Реализация разработанной модели на практическом примере.

В процессе выполнения работы были использованы следующие *методы исследования:* методы системного анализа, методы статистической обработки информации, методы аналитического и оптимизационного моделирования. Выполнение основной задачи исследования осуществлялось с использованием программы «Microsoft Excel» (настройка «Поиск решения»).

В рамках начального этапа исследования были произведены обзор и анализ научных разработок [1–5] в области обоснования характеристик парка техники, применяемой в рамках реализации строительных проектов. По результатам выполнения вышеуказанных процедур сделан вывод об ограниченности существующих инструментов для обоснования состава комплектов техники и структуры работ с использованием средств оптимизационного моделирования. Указанное обстоятельство определило целесообразность разработки оптимизационной модели обоснования характеристик процесса функционирования строительной техники в условиях временных ограничений.

К основным положениям относятся следующие:

1. Объектом рассмотрения является технологический процесс строительства, предполагающий параллельное выполнение в рамках ограниченного временного интервала продолжительностью  $T$  (ч) работ определенной категории (в частности, земельных работ) некоторым количеством  $n$  (ед.) комплектов техники, закрепляемых за соответствующими фронтами, формируемыми на основе некоторого количества  $m$  (ед.) участков выполнения работ.

2. Каждый отдельный участок  $i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) характеризуется объемом работ  $L_i$  (в частности,  $\text{м}^3$ ), реализуемым в общем случае несколькими комплектами техники.

3. Каждый отдельный комплект техники  $j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) в части ведущих машин, непосредственно определяющих производительность выполнения работ, формируется на основе некоторого количества  $r_j$  (ед.) альтернативных вариантов (моделей) машин.

4. Каждый альтернативный вариант машин  $k$  ( $k=1,2,\dots,r_j$ ) в составе каждого отдельного комплекта техники  $j$  характеризуется эксплуатационной производительностью выполнения работ  $p_{kj}$  ( $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{ед.})$ ) и удельными затратами на аренду  $c_{kj}$  (д.е./ $(\text{ч}\cdot\text{ед.})$ ).

5. Необходимо определить длительность временного интервала параллельного выполнения работ комплектами техники  $T$  (ч), долю объема работ в рамках каждого отдельного участка, выполняемого комплектом техники  $j$ , а также количество единиц техники  $z_{kj}$  (ед.) каждого отдельного варианта  $k$  в составе каждого отдельного комплекта  $j$ , при которых обеспечивается минимальная асинхронность (максимальная ритмичность) выполнения работ комплектами техники в соответствии с параллельно-поточным методом, а также выполняются следующие условия:

- значение длительности вышеупомянутого временного интервала должно находиться в пределах диапазона допустимых значений с границами  $T^{\min}$  и  $T^{\max}$  (ч);
- объем работ в рамках каждого отдельного участка  $i$  полностью распределяется по комплектам техники;
- суммарное количество единиц техники в составе каждого отдельного комплекта техники  $j$  должно быть не меньше предельно допустимого значения  $z_j^{\min}$  (ед.);
- значение суммарных затрат на аренду техники в рамках рассматриваемого временного интервала должно находиться в пределах диапазона допустимых значений с границами  $C^{\min}$  и  $C^{\max}$  (д.е.).

Структура оптимизационной модели определяется следующими выражениями:

$$\sum_{j=1}^n (\Delta_j^+ + \Delta_j^-) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$0 \leq \gamma_{ij} \leq 1, \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n; \quad (2)$$

$$T^{\min} \leq T \leq T^{\max}; \quad (3)$$

$$0 \leq \Delta_j^+ \leq \Delta^{\max}, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (4)$$

$$0 \leq \Delta_j^- \leq \Delta^{\max}, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (5)$$

$$y_j \in \{0;1\}, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (6)$$

$$z_{kj} \geq 0, \quad k=1,2,\dots,r_j; \quad j=1,2,\dots,n; \quad (7)$$

$$z_{kj} \in \mathbb{Z}, \quad k=1,2,\dots,r_j; \quad j=1,2,\dots,n; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{ij} = 1, \quad i=1,2,\dots,m; \quad (9)$$

$$\Delta_j^+ - \Delta_j^- = \sum_{k=1}^{r_j} p_{kj} \cdot z_{kj} - \frac{\sum_{i=1}^m L_i \cdot \gamma_{ij}}{T}, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (10)$$

$$\Delta_j^+ \leq \Delta^{\max} \cdot y_j, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (11)$$

$$\Delta_j^- \leq \Delta^{\max} \cdot (1 - y_j), \quad j=1,2,\dots,n. \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^{r_j} z_{kj} \geq z_j^{\min}, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (13)$$

$$\frac{C^{\min}}{T} \leq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r_j} c_{kj} \cdot z_{kj} \leq \frac{C^{\max}}{T}, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (14)$$

где  $\Delta_j^+$ ,  $\Delta_j^-$  – дополнительные неизвестные переменные – соответственно положительное и отрицательное абсолютное отклонение фактического значения производительности выполнения работ для комплекта  $j$  от планового значения, ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );  $\Delta^{\max}$  – максимальное значение абсолютного отклонения фактического значения производительности выполнения



работ в рамках фронта от планового значения, м<sup>3</sup>/ч;  $y_j$  – дополнительная бинарная неизвестная переменная – индикатор неотрицательности абсолютного отклонения фактического значения производительности выполнения работ в рамках фронта  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) от планового значения ( $y_j = 1$  в случае, если указанное отклонение неотрицательно; в противном случае  $y_j = 0$ );  $Z$  – множество целых чисел;  $Z = \{\dots; -1; 0; 1; \dots\}$ .

Указанная модель соответствует процедуре дробно-линейной оптимизации, поэтому может быть преобразована к линейному виду посредством перехода от переменной  $T$  к ее обратному значению

$$x_0 = \frac{1}{T} \quad ((15))$$

с последующей заменой переменных в выражениях (2), (3), (9), (10), (14) по принципу

$$x_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{T} = \gamma_{ij} \cdot x_0. \quad ((16))$$

Преобразованная модель может быть эффективно реализована с использованием метода ветвей и границ в современных средах оптимизационного моделирования.

На заключительном этапе исследования была проведена реализация вышеописанной оптимизационной модели на практическом примере для решения задачи обоснования количества ведущих машин для земляных работ – бульдозеров среднего тягового класса – в составе отрядов техники, задействованных в строительстве аэропорта «Федоровка» (Омская область). Для реализации модели была использована надстройка «Поиск решения», доступная в программе «Microsoft Excel». Полученные результаты позволили сделать вывод о высокой практической значимости разработанного инструментального средства.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Назарова, Е.С. Моделирование инвестиционных решений, направленных на оптимизацию парка строительных машин // Микроэкономика. 2014. № 2. С. 23–28.
2. Ветрова, А.В., Манжос Ю.А., Райгородская В.С. Экономические аспекты оптимального комплектования и использования парка дорожно-строительных машин // Автомобили. Дорога. Инфраструктура. 2017. № 2. С. 13.
3. Rybitskiy, V., Radaev A. Optimization Model for the Distribution of Production Resources by Elemental Sections of Railway Mainline // Proceedings of EECSE 2020. Cham: Springer, 2021. С. 356–368.
4. Жидкова, М.А., Невмержицкая В.В., Козлова Д.С. Оптимизация состава комплектов дорожных машин и критерии эффективности их использования // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. Омск: Омский филиал Финансового университета при Правительстве РФ. 2017. С. 6–10.
5. Репин, С.В., Ховалыг Н.К., Монгуш С.Ч. Оптимизация состава парка строительных машин на примере Республики Тыва // Технологии колесных и гусеничных машин. 2012. № 4. С. 56–64.

УДК 69.002.05

Н.Ю. Павлова, А.Е. Радаев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Современные условия развития строительной отрасли определяют высокую важность решения задач обоснования характеристик парка строительных машин, используемых в рамках технологического процесса строительства. Данные проблемы обусловлены не только наличием большого количества машин на рынке строительной техники с различными показателями (стоимостными, техническими, эксплуатационными), но и стремлением строительных компаний к

рационализации затрат на приобретение или аренду строительных машин. Трудность решения соответствующих задач также обусловлена наличием большого количества факторов (от обрабатываемого материала до состояния строительной машины), оказывающих существенное влияние на сменную эксплуатационную производительность техники.

С учетом всего вышеизложенного был сделан вывод о необходимости проведения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств для обоснования характеристик парка строительной техники с использованием средств стохастического программирования.

Достижение указанной цели исследования осуществляется посредством постановки и решения следующих задач:

1. Обзор и анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов по исследуемой тематике.
2. Разработка оптимизационных моделей обоснования характеристик парка строительной техники с использованием средств стохастического программирования.
3. Реализация разработанных моделей на практическом примере.

На начальном этапе исследования был проведен обзор и анализ научных работ [1–5] в области обоснования эксплуатационных характеристик парка строительной техники. На основе полученных результатов сделан вывод о том, что отдельные научные разработки не учитывают влияние различных особенностей, функционирования строительных машин (в том числе стохастического характера показателей эксплуатационной производительности) на эксплуатационные и стоимостные показатели парка техники и потому в общем случае не обеспечивают высокую адекватность получаемых результатов.

Вышеописанное обстоятельство определили целесообразность разработки оптимизационных моделей обоснования количества строительных машин в составе комплектов, распределяемых по фронтам работ с учетом факторов стохастического характера.

Основными положениями разработанной оптимизационной модели являются следующие:

1. Объектом исследования является технологический процесс, предполагающий выполнение в рамках ограниченного временного периода длительностью  $T$  (ч) определенной категории работ комплектами строительных машин (в общем количестве  $m$  (ед.)), распределяемых по фронтам (в общем количестве  $n$  (ед.)) в соответствии с параллельным принципом организации работ.

2. Каждый отдельный фронт работ  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), характеризуемый объемом работ  $V_j$  ( $\text{м}^3$ ), может быть закреплен только за одним из комплектов строительных машин.

3. Каждый отдельный комплект машин  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) формируется на основе некоторого количества  $z_i$  (ед.) вариантов (моделей) техники.

4. Производительность единицы каждого отдельного варианта техники  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, z_i$ ) в составе каждого отдельного комплекта  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) является случайной величиной, соответствующей нормальному закону распределения, и определяется параметрами математического ожидания  $\bar{p}_{ik}$  ( $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{ед.})$ ) и среднеквадратического отклонения  $\sigma_{ik}$  ( $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{ед.})$ ).

5. Затраты на аренду единицы техники  $c_{ik}$  (д.е./ед.) в рамках рассматриваемого периода для каждого отдельного варианта техники  $k$  в составе каждого отдельного комплекта  $i$  являются детерминированной величиной.

6. Производительность каждого отдельного комплекта машин  $i$  является случайной величиной, соответствующей нормальному закону распределения, и определяется значениями показателей математического ожидания  $\bar{P}_i$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и среднеквадратического отклонения  $\sigma_i^p$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ). Указанные показатели определяются соответствующими ранее упомянутыми параметрами единицы техники  $\{\bar{p}_{ik}\}$  и  $\{\sigma_{ik}\}$  в соответствии с законами суммирования математических ожиданий и дисперсий случайных величин.

7. Затраты на аренду техники в составе каждого отдельного комплекта  $i$  могут быть укрупненно оценены с использованием линейной зависимости относительно показателей  $\bar{P}_i$  и  $\sigma_i^p$ . Формирование зависимости – определение соответствующих вышеупомянутым показателям коэффициентов пропорциональности  $w_i^p$  и  $w_i^\sigma$  (д.е./ $(\text{м}^3/\text{ч})$ ), а также константы  $w_i^0$  (д.е.) – целесообразно производить с использованием процедуры многофакторной линейной регрессии на основе значений параметров  $\{c_{ik}\}$ ,  $\{\bar{P}_{ik}\}$ ,  $\{\sigma_{ik}\}$ .

8. Необходимо определить значения бинарного индикатора  $y_{ij}$  целесообразности закрепления каждого отдельного комплекта техники  $i$  за каждым отдельным фронтом работ  $j$  ( $y_{ij} = 1$  в случае, если комплект техники закрепляется за фронтов; в противном случае  $y_{ij} = 0$ ), а также количество единиц каждого отдельного варианта техники  $k$  в составе каждого отдельного комплекта  $i$ , при которых обеспечиваются минимальные суммарные затраты на аренду техники в составе комплектов, а также выполняются следующие условия:

- значения показателей  $\bar{P}_i$  и  $\sigma_i^p$  для каждого комплекта техники  $i$  будут принадлежать диапазонам допустимых значений с границами  $\bar{P}_i^{\min}$  и  $\bar{P}_i^{\max}$ ,  $\sigma_i^{p\min}$  и  $\sigma_i^{p\max}$  соответственно.
- значение коэффициента вариации (соотношение значений показателей  $\sigma_i^p$  и  $\bar{P}_i$ ), а также суммарного количества единиц техники в рамках каждого отдельного комплекта  $i$  будет находиться в пределах диапазона допустимых значений с границами  $v_i^{\min}$  и  $v_i^{\max}$ ,  $x_i^{\min}$  и  $x_i^{\max}$  соответственно;
- вероятность своевременного выполнения работ каждым отдельным комплектом техники  $i$  не должна быть меньше некоторого допустимого значения  $q_i^{\min}$ .

Оптимизационная модель обоснования агрегированных характеристик производительности комплектов техники, описываемая выражениями (1)–(7), обеспечивает определение оптимальных значений неизвестных переменных  $\{y_{ij}\}$ ,  $\{\bar{P}_i\}$  и  $\{\sigma_i^p\}$ ; оптимизационная модель обоснования количества единиц различных вариантов техники в составе комплектов, описываемая выражениями (8)–(13), обеспечивает вычисление оптимальных значений переменных  $\{x_{ik}\}$  на основе результатов реализации ранее упомянутой модели – значений  $\{\bar{P}_i^{\text{opt}}\}$  и  $\{\sigma_i^{p\text{opt}}\}$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m (w_i^0 + w_i^p \cdot \bar{P}_i + w_i^\sigma \cdot \sigma_i^p) \rightarrow \min; \quad (1) \\ \bar{P}_i^{\min} \leq \bar{P}_i \leq \bar{P}_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, m; \quad (2) \\ \sigma_i^{p\min} \leq \sigma_i^p \leq \sigma_i^{p\max}, i = 1, 2, \dots, m; \quad (3) \\ y_{ij} \in \{0; 1\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \quad (4) \\ v_i^{\min} \cdot \bar{P}_i \leq \sigma_i^p \leq v_i^{\max} \cdot \bar{P}_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (5) \\ \frac{\sum_{j=1}^n V_j \cdot y_{ij}}{T} - \bar{P}_i \leq \Phi'(1 - q_i^{\min}) \cdot \sigma_i^p, i = 1, 2, \dots, m; \quad (6) \\ \sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n; \quad (7) \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{z_i} c_{ik} \cdot x_{ik} \rightarrow \min; \quad (8) \\ x_{ik} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, z_i; \quad (9) \\ x_{ik} \in \mathbb{Z}, i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, z_i; \quad (10) \\ x_i^{\min} \leq \sum_{k=1}^{z_i} x_{ik} \leq x_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, m; \quad (11) \\ \sum_{k=1}^{z_i} \bar{P}_{ik} \cdot x_{ik} \geq \bar{P}_i^{\text{opt}}, i = 1, 2, \dots, m; \quad (12) \\ \sum_{k=1}^{z_i} \sigma_{ik}^2 \cdot x_{ik} \geq (\sigma_i^{p\text{opt}})^2, i = 1, 2, \dots, m; \quad (13) \end{array} \right.$$

где  $\Phi'$  – обратная функция Лапласа (обеспечивает вычисление нормированного отклонения на основе вероятности);  $\mathbb{Z}$  – множество целых чисел.

Разработанные оптимизационные модели являются линейными относительно неизвестных переменных и потому могут быть эффективно реализованы с использованием симплекс-метода, а также метода ветвей и границ в современных программных средах.

На заключительном этапе исследования была произведена реализация разработанных моделей на практическом примере для решения задачи обоснования состава парка строительной техники в части бульдозеров (как ведущих машин в составе отрядов техники), используемых для выполнения земляных работ в рамках процесса возведения здания для центра строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС). Для реализации моделей использовалась надстройка «Поиск решения» программы «Microsoft Excel». На основе полученных результатов был сделан вывод о высокой практической значимости предложенных инструментальных средств.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Arditi D., Kale S., Tangkar M. Innovation in construction equipment and its flow into the construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1997. No. 4. Pp. 371–378.
2. Glushko D., Pavlenko A., Radaev A., Rajczyk J. Determination of the Characteristics for the Construction Machinery Fleet with Application of Fractional Linear Optimization // *Proceedings of EECSE 2020: Energy, Environmental and Construction Engineering*, St. Petersburg, Russia, Cham: Springer, 2021. Pp. 441–453.
3. Пильник Ю.Н., Сушков С.И., Арутюнян А.Ю. Методика определения оптимальной структуры парка транспортно-технологических машин // *Современные проблемы науки и образования*. № 2–2. 2015. С. 125.
4. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лапидус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для строит. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2004. 446 с.
5. Хмара Л. А., Кононов С.И. Выбор машин для земляных работ по техническим, экономическим и эксплуатационным параметрам // *Вісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. №6-7(137). С. 5–10.

УДК 711.632

У.С. Попова, М.Д. Терех

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПУТИ РАЗВИТИЯ КАСТОМИЗАЦИИ ЖИЛЬЯ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ

*Актуальность* исследования определяется возрастающей значимостью процедур кастомизации – индивидуализации продукции под заказы конкретных потребителей посредством реализации конструктивных или дизайнерских изменений – с точки зрения приобретения конкурентных преимуществ участниками современных рынков недвижимости [1].

*Цель работы* – оценка современного и прогнозного (на перспективу) уровня развития кастомизации на рынке недвижимости в России. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- определить возможные изменения в объектах жилищного строительства (квартирах) посредством анализа данных застройщиков и требований потенциальных клиентов;
- предложить основные мероприятия в рамках процедур кастомизации готовой продукции в сфере жилищного строительства.

На начальных этапах исследования был проведен анкетный опрос с использованием инструмента «google-формы», в котором принимали участие конечные потребители готовой продукции в сфере жилищного строительства, а также представители соответствующих организаций-застройщиков, с целью определения возможных изменений (необходимых в рамках процедур кастомизации) в объектах жилищного строительства. Результаты выполнения процедуры представлены на рис. 1.

ТРЕБОВАНИЯ/ СТАДИИ	ПРОЕКТИРОВАНИЕ	СТРОИТЕЛЬСТВО	ЭКСПЛУАТАЦИЯ
Перемещение перегородок	✓	✓	✓
Изменение количества помещений	✓	✓	✓
Объединение смежных квартир на одном этаже	✓	✓/—	✓/—
Расширение оконного проема	✓	✓	✓
Объединение смежных квартир на соседних этажах	✓	✓/—	✓/—
Объединение/разделение с/у	✓	✓	—
Создание балконов/террас	✓	—	—

Рис. 1. Возможные изменения (необходимые в рамках процедур кастомизации) в объектах жилищного строительства

На основе вышеуказанных результатов были определены основные факторы, усложняющие проведение процедур кастомизации объектов жилищного строительства:

- необходимость реализации изменений на различных стадиях жизненного цикла строительного объекта.
- изменчивость состава требований потребителей к объекту строительства с течением времени (раздельное проживание, совместное проживание в браке и т.д.);
- различие состава требований у различных поколений потребителей [2].

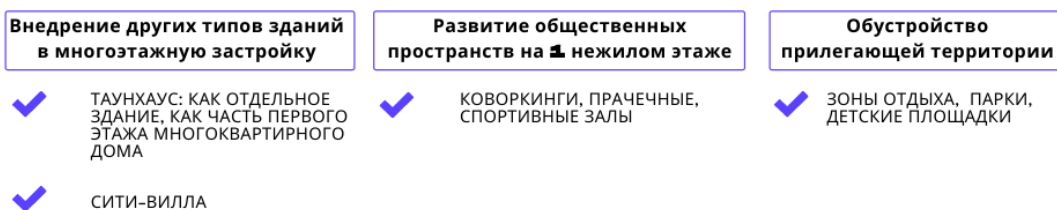
При выполнении последующих этапов исследования на основе сопоставления требований покупателей и возможности их удовлетворения организациями-застройщиками были предложены основные мероприятия в рамках процедур кастомизации готовой продукции в сфере жилищного строительства (рис. 2.).

Предлагаемые мероприятия можно разделить на следующие группы:

- мероприятия в рамках процедур кастомизации, реализуемые на макроуровне (предполагающие изменение объекта строительства в целом): внедрение в многоэтажную застройку таунхаусов [4], планирование большого количества общественных пространств на первых этажах многоэтажек, реализация концепции Сити-Виллы и т.д.
- мероприятия в рамках процедур кастомизации, реализуемые на микроуровне (предполагающие изменение элемента объекта строительства – квартиры): создание конструктора отделки [5], реализация свободных планировок, обеспечение возможности объединения соседних квартир и т.д.

## Пути развития кастомизации

### МАКРОУРОВЕНЬ



### МИКРОУРОВЕНЬ

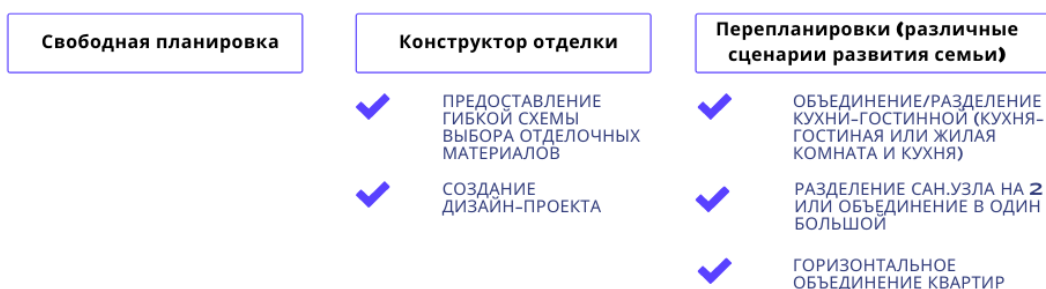


Рис. 2. Мероприятия в рамках процедур кастомизации готовой продукции в сфере жилищного строительства

Конечный состав мероприятий, реализуемых по отношению к отдельному объекту строительства, определяется конечным потребителем, исходя из его индивидуальных предпочтений и финансовых возможностей. Реализация указанных мероприятий позволят потребителю заселиться в жилье сразу же после совершения сделки без потери времени на ожидание окончания процессов, связанных с кастомизацией.

Таким образом, в ходе работы проведен анализ требований клиентов по кастомизации жилой площади, а также возможностей внесения застройщиком изменений на различных стадиях жизненного цикла жилого здания. Предложены основные направления в рамках процедур кастомизации готовой продукции в сфере жилищного строительства на макро- (предполагающие изменения внеквартирного (общественного) пространства) и микроуровне (предполагающие изменения пространства непосредственно внутри квартиры).

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Я свободен: как из типового жилья сделать индивидуальное // Domofond.ru. 2021. URL: [https://www.domofond.ru/statya/ya\\_svoboden\\_kak\\_iz\\_tipovogo\\_zhi-lya\\_sdelat\\_individualnoe\\_/101620](https://www.domofond.ru/statya/ya_svoboden_kak_iz_tipovogo_zhi-lya_sdelat_individualnoe_/101620) (дата обращения 20.02.2022).
2. Кастомизация в девелопменте: для кого выгодно строить квартиры сегодня // ЕРЗ.РФ: интернет-изд. 2021 20 июля. URL: <https://erzrf.ru/news/kastomizatsiya-v-developmente-dlya-kogo-vygodno-stroit-kvartiry-segodnya?nw=1626912046000> (дата обращения 20.02.2022).
3. Salvador, F., De Holan, P.M., Piller, F.T. Cracking the Code of Mass Customization // MIT Sloan Management Review: сетевой журнал. 2009. № 50(3). URL: <https://clck.ru/dngrN> (дата обращения 20.02.2022).
4. Кастомизация жилищного строительства: от квартиры до квартала // Строительный эксперт. 2021. URL: <https://ardexpert.ru/article/21234> (дата обращения 20.02.2022).
5. Kwiecinski K., Duarte J. Customers Perspective on Mass-customization of Houses // 37 Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe and XXIII Iberoamerican Society of Digital Graphics, Joint Conference (N. 1). 2019. № 7. С. 1.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА СТРОИТЕЛЬСТВА

По данным Росстата при реализации 50% строительных проектов исполнители не укладываются в сроки. Одна из причин – относительно невысокая эффективность управления проектом, обусловленная недостаточным вниманием к планированию. На сегодняшний день в практике строительных организаций не применяется каких-либо процедур по оценке качества календарных планов, принимаемых в работу, что, в свою очередь, вносит некоторую неопределенность с точки зрения своевременности выполнения проекта (указанные в календарном плане сроки чаще всего оказываются слишком сжатыми, нереалистичными).

*Целью работы* являлась разработка модели оценки качества календарного плана строительства.

Основными задачами работы явились следующие:

1. Анализ подходов к оценке качества календарных планов.
2. Определение основных показателей качества календарных планов.
3. Разработка модели оценки качества календарных планов.

Существует ряд подходов для оценки качества различных объектов и процессов [1–3]. Метод оценки на основе положений квалиметрии предполагает использование показателя качества  $K^K$ , который определяется по формуле среднего арифметического взвешенного на базе значений частных показателей и соответствующих коэффициентов весомости (чем больше значение показателя, тем выше качество). Единственным недостатком указанного метода является отсутствие способа количественного определения погрешности [5, 6].

В качестве исходных данных для оценки качества календарного плана строительства было предложено использовать следующие технико-экономические показатели [4]:

1. Показатель относительного сокращения сроков строительства:

$$K_1 = \frac{T_n - T_{пл}}{T_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $T_n$ ,  $T_{пл}$  – соответственно нормативная и плановая продолжительность строительства, мес.

2. Показатель равномерности распределения объемов строительно-монтажных работ (СМР):

$$K_2 = \frac{C_{СМР}^{ср}}{C_{СМР}^{max}}, \quad (2)$$

где  $C_{СМР}^{ср}$ ,  $C_{СМР}^{max}$  – соответственно средняя и максимальная квартальная за период строительства величина объемов СМР, тыс. руб.

3. Показатель стабильности штата рабочих:

$$K_3 = \frac{N^{ср}}{N^{max}}, \quad (3)$$

где  $N^{ср}$ ,  $N^{max}$  – соответственно среднее и максимальное количество рабочих за расчетный период, чел.

4. Показатель равномерности ввода жилых домов в эксплуатацию:

$$K_4 = \frac{F^{ср}}{F^{max}}, \quad (4)$$

где  $F^{ср}$ ,  $F^{max}$  – соответственно среднее и максимальное количество жилой площади по объектам, введенным в эксплуатацию, за расчетный период, м<sup>2</sup>.

5. Показатель экономического эффекта от сокращения сроков строительства (руб./мес.):

$$\mathcal{E}_{\text{уп}} = УП \cdot \left( 1 - \frac{T_{\text{ф}}}{T_{\text{р}}} \right), \quad (5)$$

где  $УП$  – условно-постоянные расходы, руб.;  $T_{\text{ф}}$ ,  $T_{\text{р}}$  – соответственно фактический и расчетный срок строительства, мес.

6. Показатель удельной трудоёмкости, относящийся к 1 м<sup>2</sup> жилой площади в составе объекта строительства.

7. Показатель удельной выработки, относящийся к 1 рабочему (руб./чел.·дн.):

$$B = \frac{C_{\text{СМР}}}{Q_{\text{пл}}}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{СМР}}$  – стоимость строительно-монтажных работ, руб.;  $Q_{\text{пл}}$  – трудоемкость строительно-монтажных работ, чел.·дн.

Важно отметить, что вышеописанные показатели имеют различные единицы измерения, привязаны к различным временным категориям (отдельный месяц, весь период строительства и т.д.), поэтому по отношению к упомянутым показателям должна быть выполнена процедура нормирования в рамках расчета на их основе комплексного показателя качества  $K^{\text{К}}$ . Дополнительно к показателю качества  $K^{\text{К}}$  для оценки календарных планов можно использовать интегральный показатель качества  $K^{\Sigma}$ , вычисляемый на основе комплексного показателя качества  $K^{\text{К}}$  и показателя экономичности  $K^{\text{Э}}$ :

$$K^{\Sigma} = f(K^{\text{К}}, K^{\text{Э}}). \quad (7)$$

Для определения комплексного показателя качества необходимо задать коэффициент весомости для каждого учитываемого технико-экономического показателя. Наличие у показателей различных единиц измерения определяет невозможность оценки коэффициентов весомости аналитическим методом, поэтому в данном случае необходимо использовать экспертный метод, который подразумевает определение значений коэффициентов посредством проведения экспертного опроса с последующей обработкой полученной информации. Существуют следующие варианты проведения экспертного опроса [1, 2]:

- привлечение единственного эксперта для оценки весомости каждого показателя (наименьшая трудоемкость; относительно невысокая адекватность получаемых результатов).
- привлечение экспертной группы, формирование каждым отдельным экспертом оценки весомости каждого показателя (относительно первого варианта – более высокая трудоемкость; более высокая адекватность результатов).
- организация массового опроса с последующей статистической обработкой результатов – оценок весомости каждого показателя (наивысшая трудоемкость; высокая адекватность получаемых результатов).

При расчете комплексного показателя качества  $K^{\text{К}}$  в качестве эталонного значения каждого частного показателя было предложено использовать либо среднее, либо нормативное (указанное в соответствующей регламентной документации) значение.

Таким образом, в рамках исследования был выполнен анализ подходов оценки качества календарных планов, определены основные частные показатели качества календарных планов строительства, предложена модель оценки качества календарных планов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Martysh O.O., Martysh O.P., Pavlov F.I., Poltavets M.O. Analysis of organizational and technological reliability at the level of the schedule time parameters determination // Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2019. № 2(0). С. 22–29.



2. Trishch R., Nechuiviter O., Dyadyura K. Qualimetric method of assessing risks of low quality products // MM Science Journal. 2021. № 4(2021). С. 4769–4774.
3. Раджабзода М. Квалиметрия как инструмент оценки качества и эффективность педагогических исследований // Таджикский государственный институт языков имени Сотима Улугзода. 2020. № 39(3). С. 89–94.
4. Ковалева Л.В. Организация и планирование в строительстве. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 137 с.
5. Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Квалиметрия для всех: учебное пособие. М.: ИД ИнформЗнание, 2012. 165 с.
6. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М.: Стройиздат, 1989. 264 с.

УДК 004.946

А.С. Салосин, А.А. Кукина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА VR-ТРЕНАЖЕРА НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА КОТЕЛЬНОЙ

Тема VR-тренажеров для обучения в сфере строительства актуальна ввиду важности сокращения рисков опасных ситуаций на строящихся и эксплуатируемых объектах. О применении виртуальной реальности в строительной сфере писали многие зарубежные авторы: Mastli и Zhang [1] осуществили интерактивное моделирование строительства шоссе с использованием игрового движка и виртуальной реальности; Moore и Gheisari [2] провели обзор существующих приложений виртуальной и смешанной реальности по безопасности строительства; Sacks и др. [3] проверили гипотезу о том, что обучение технике безопасности на строительной площадке в виртуальной реальности осуществимо и эффективно; Barkokebas и др. [4] представили систему виртуальной реальности для обучения рабочих обслуживанию и ремонту строительной техники; Zhao и Lucas [5] представили тренинг на основе виртуальной реальности, который обеспечивает виртуальную рабочую среду, в которой рабочие могут безопасно репетировать задачи, связанные с опасностью поражения электрическим током. Стоит отметить, что научных статей, посвященных VR-тренажерам, в настоящее время недостаточно, и тема до сих пор достаточно не изучена, особенно на территории России.

*Цель работы* – разработка процедуры создания прототипа VR тренажера, позволяющего обучать рабочих поведению на производственном объекте в штатных и аварийных ситуациях.

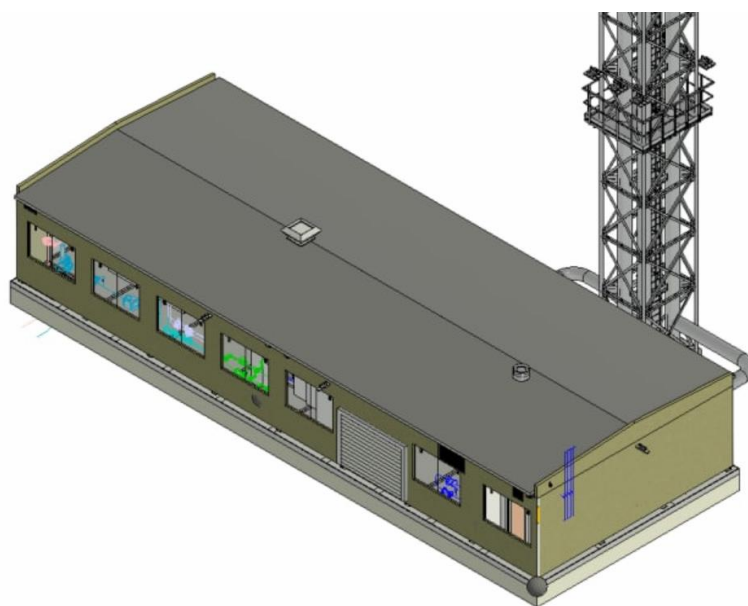


Рис. 1. Исходная модель котельной в Autodesk Revit

Для достижения данной цели требуется решить следующие задачи:

1. Определить оптимальные программные и аппаратные решения, позволяющие максимально эффективно создать данный продукт;
2. Сформулировать концепцию VR-тренажера;
3. Разработать VR-тренажер на основании концепции и условий по программной и аппаратной части.

В качестве исходной модели принят проект котельной (см. рис. 1). В качестве процесса принято обучение устранению аварийной ситуации на различных участках газопровода данной котельной.

Исходные характеристики аппаратного обеспечения, используемого в данном исследовании, представлены в табличном виде.

Таблица 1 – Характеристики аппаратного обеспечения

	Устройство 1	Устройство 2
Центральный процессор	AMD Ryzen 5 1600X (6*3,6 ГГц)	Intel Core i9-10900 (10*2,8 ГГц)
Оперативная память	16 gb	32 gb
Видеокарта	Nvidia Geforce GTX970 (3.5gb VRAM)	AMD Radeon RX 6800XT (16gb VRAM)

В ходе исследования был произведен анализ и выведены оптимальные условия для создания VR тренажера на базе информационной модели здания:

1. Использование «игрового движка» Unreal Engine, создавая сцену категории «Архитектура и строительство»;
2. Использование как первоисточника модели, полученной из Autodesk Revit и экспортированной с помощью специализированного плагина Unreal Datasmith;
3. Использование высокопроизводительного ПК с центральным процессором уровня AMD Ryzen 5 1600X или выше. Прочие комплектующие ПК в данной задаче не подвергаются высокой нагрузке.

Для взаимодействия пользователя со сценой тренажера было осуществлено написание скриптов для взаимодействия пользователя с объектами. Для этого использовался инструмент blueprint, стандартный набор геометрии, поставляемый Unreal Engine, и стандартные параметры для взаимодействия VR пользователя с окружением. На рисунке 2 изображен один из разработанных в проекте скриптов – скрипт открытия двери:

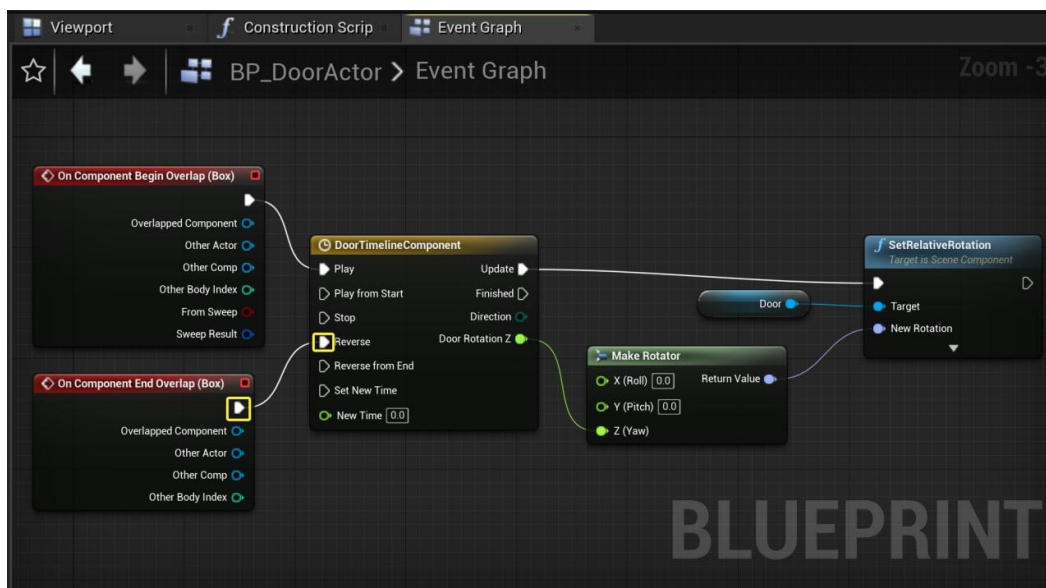


Рис. 2. Скрипт открытия двери в blueprint

Пользователь тренажера получает одно из двух заданий (устранение общей аварии на газопроводе либо аварии на конкретном котле) и затем выполняет указания, возникающие на всплывающих виджетах в сцене, после чего движение газа на требуемом участке прекращается (показатели барометра становятся равны нулю). На рис. 3 показан скриншот взаимодействия пользователя со сценой разработанного VR-тренажера.

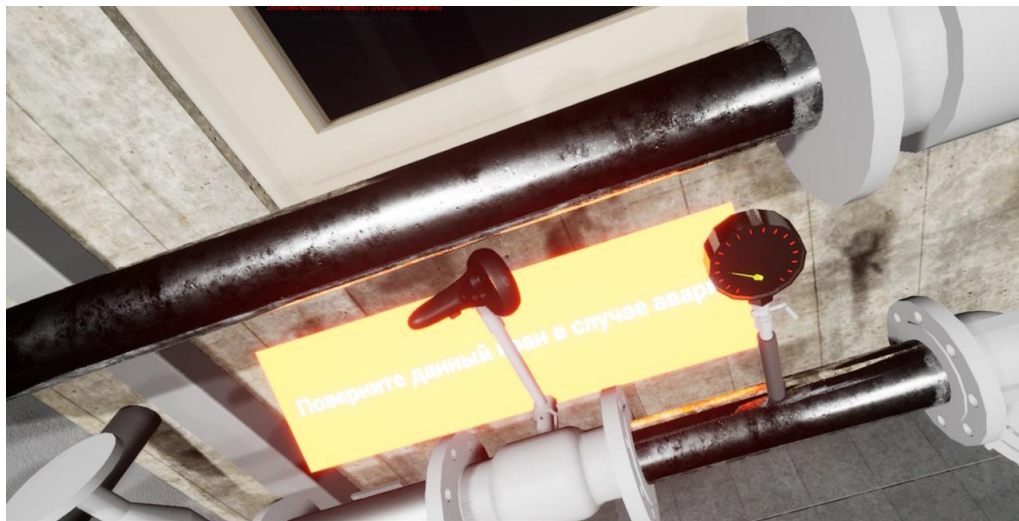


Рис. 3. Взаимодействие пользователя с шаровым краном

В результате работы были определены оптимальные программные и аппаратные условия для создания VR-тренажера, а именно экспорт из ПО Autodesk Revit в движок Unreal Engine с использованием специализированного плагина Unreal Datasmith, работающая на высокопроизводительной рабочей станции, оснащенной центральным процессором уровня AMD Ryzen 5 1600X или выше.

Также экспериментальным путем было получено, что при помощи относительно простых в освоении базовых функций игрового движка и при выполнении сформулированных условий по программным и аппаратным решениям, возможно создать VR тренажер по обучению работе и устранению аварийных ситуаций на опасных и ответственных производственных объектах.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Mastli M., Zhang J. Interactive Highway Construction Simulation Using Game Engine and Virtual Reality for Education and Training Purpose, in: Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017, pp. 399–406. Doi: 10.1061/9780784480830.049.
2. Moore H.F., Gheisari M. A review of virtual and mixed reality applications in construction safety literature. Safety, 5 (2019), p. 51, 10.3390/safety5030051
3. Sacks R., Perlman A., Barak R. Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, 31 (2013), pp. 1005-1017, 10.1080/01446193.2013.828844
4. Barkokebas R., Ritter C., Sirbu V., Li X., Al-Hussein M. Application of virtual reality in task training in the construction manufacturing industry. Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019. International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C) (2019), pp. 796-803, 10.22260/isarc2019/0107
5. Zhao D., Lucas J. Virtual reality simulation for construction safety promotion. International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 22 (2015), pp. 57-67, 10.1080/17457300.2013.861853

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛА «АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ»  
НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «AUTODESK REVIT»

*Актуальность исследования* определяется необходимостью разработки и реализации организационно-технологических решений для сокращения времени выполнения различных операций в рамках процессов проектирования зданий и сооружений.

*Цель работы* – повышение эффективности разработки проектной документации с помощью технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling – BIM) в программе «Autodesk Revit» путем оптимизации временного ресурса на примере разработки раздела «Архитектурные решения» (далее – раздел АР). Объект исследования данной работы – процесс проектирования раздела АР в программе «Autodesk Revit». В качестве научной задачи выступает расширение функционала программы «Autodesk Revit» путем создания дополнительных семейств, динамических параметров, типовых шаблонов.

Для достижения поставленной цели был произведен анализ затрачиваемого времени на разработку раздела АР, а также предложены методы, ускоряющие те или иные процессы проектирования.

Ключевым инструментом, позволяющим реализовывать разработку проекта с помощью BIM-технологий, является высокотехнологичное программное обеспечение (далее – ПО), позволяющее выполнять полный комплекс работ по подготовке строительной проектной документации на базе предварительно созданной виртуальной модели здания.

Распределение времени при использовании BIM технологий по сравнению с двухмерным проектированием описывается так называемой кривой Маклими, описывающей распределение времени при использовании BIM технологий и базового подхода (2D CAD) в рамках процессов проектирования зданий, – графиком на рис. 1. На основе информации, представленной на рисунке, можно сделать вывод о том, что наибольшие затраты времени при использовании BIM технологий соответствуют этапу проектирования, но также обеспечивается экономия времени на подготовку документации и согласование проекта [1].

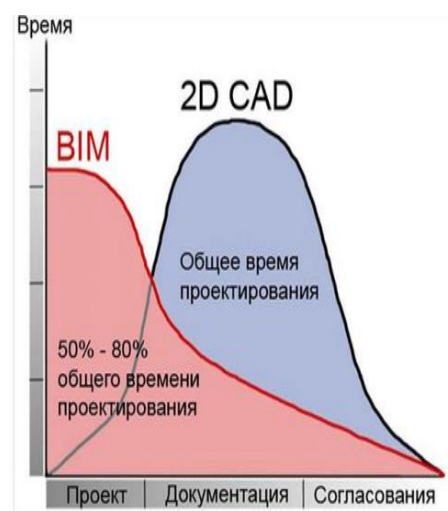


Рис. 1. Кривая Маклими

В настоящее время в большинстве стран для выполнения проектировочных работ с использованием BIM технологий (BIM проектирования), как правило, используются следующие программные обеспечения: «Autodesk Revit», «Bentley Building Designer», «Tekla Structures», «Graphisoft Archicad», «MagiCad» ([2], рис. 2), «Allplan», «САПФИР-3D» и др. Согласно релевантным статистическим данным по Российской Федерации, 80% русскоязычных пользователей предпочитают программу «Autodesk Revit», поскольку она объединяет все разделы проектирования, а также имеет относительно невысокую стоимость в отличие от конкурентов [3].

В зависимости от этапа проектирования документации – эскиз, проект, рабочая стадия – учитываются различные требования к проработке модели объекта. В частности, в соответствии с упомянутыми

стадиями различают проектную и рабочую модели. Рабочая модель отличается от проектной гораздо большим количеством деталей и адаптированностью к современным условиям реализации инвестиционно-строительного проекта. Именно поэтому при переходе от проектной стадии к рабочей увеличиваются временные рамки на разработку модели [4].

Современный подход к проектированию предполагает учет совокупности различных факторов, влияющих на быструю и правильную выдачу документации заказчику и успешную реализацию стадий строительства и эксплуатации проектируемого объекта. Однако, для достижения указанных результатов необходима отлаженная система функционирования подразделений проектной организации. Процесс создания упомянутой системы сопряжен с рядом проблем, ключевой из которых являются большие временные затраты на выполнение отдельных операций процесса разработки проектной документации (далее – ПД). Основными причинами возникновения больших временных затрат являются: выполнение типовой и однообразной работы, переходящей из проекта; детальная проверка нормоконтролером и заказчиком; человеческий фактор (совершение ошибок).

Для уменьшения упомянутых временных затрат с учетом вышеперечисленных особенностей необходима разработка и реализация определенных организационно-технологических решений с учетом существующих подходов к увеличению производительности работы подразделений проектной организации [5, 6]. Предложенные в рамках работы решения будут подробно описаны далее при рассмотрении отдельных аспектов разработки раздела АР типового проекта жилищного строительства в части вентиляционных каналов.

При создании проекта здания, состоящего из 16 этажей и площадью этажа от 100 до 500 м<sup>2</sup>, процесс разработки вентиляционных каналов предполагает формирование соответствующей документации примерно на 5 листах формата А1 в течение 10 и 14 рабочих дней для сотрудника соответственно высокой («профессионал») и низкой («новичок») квалификации при отсутствии проекта-аналога (рис. 2, а). При наличии же последнего интервал времени сокращается в два раза, составляя 5 и 7 дней для «профессионала» и «новичка» соответственно. Процесс разработки металлических конструкций «профессионала» и «новичка» производится дней при отсутствии проекта-аналога в течение 3 и 5 рабочих, при наличии проекта-аналога – в течение 1,5 и 2,5 рабочих дней соответственно (рис. 2, б).

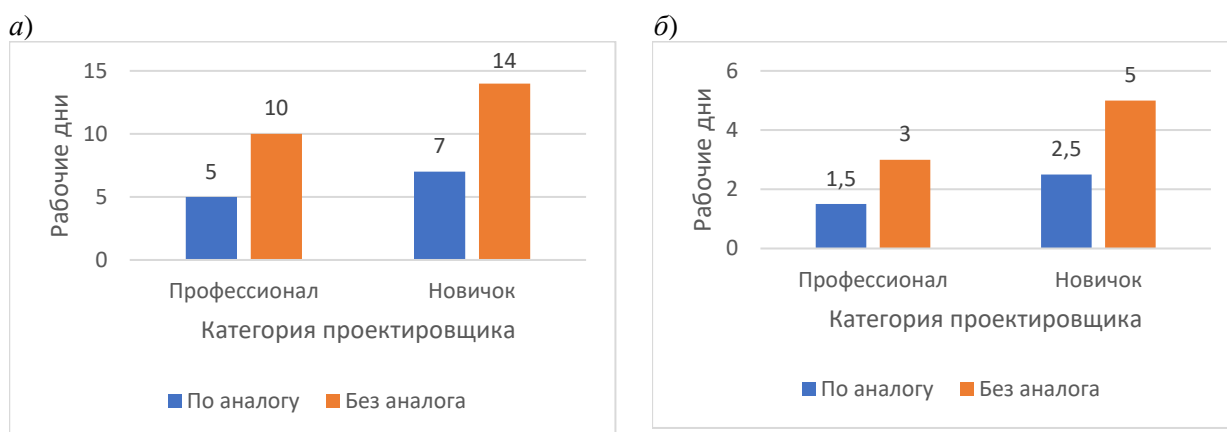


Рис. 2. Сравнительный анализ временных показателей для различных категорий работников и условий разработки отдельных элементов раздела АР:  
 а – разработка вентиляционных каналов; б – разработка металлических конструкций.

В качестве организационно-технологических решений, направленных на сокращение длительности процесса разработки отдельных элементов раздела АР были предложены следующие:

1. В части разработки вентиляционных каналов:

- создание базы типовых разверток с автоматическим занесением в спецификации проекта в зависимости от этажности (1–8 этажей, 1–16 этажей, более 16 этажей) и типа помещений (кухня, санузел).
- разработка семейств вентиляционных каналов в разрезе вариантов конфигурации вентиляционных блоков и высоты вентиляционного канала (высоты этажа); при этом спецификация элементов вентиляционного канала будет формироваться автоматически с возможностью корректировки при необходимости внесения изменений в типоразмер канала.

Предполагаемый эффект: сокращение длительности выполнения процесса разработки элемента раздела АР высококвалифицированным работником («профессионалом») до 3 рабочих дней.

2. В части разработки металлических конструкций:

- разработка библиотеки металлических элементов, используемых в разделе АР, в виде семейства с возможностью выгрузки объемов в спецификацию; металлические изделия создаются по ГОСТу или разрабатываются по типовым решениям при выполнении работ для постоянного заказчика;
- добавление дополнительных параметров в системное семейство ограждения и другие семейства для извлечения необходимых объемов элемента для устранения проблемы некорректного (согласно отечественным нормам) занесения в спецификацию базовых инструментов некоторых металлических конструкций, предусмотренных в программе «Autodesk Revit».

Предполагаемый эффект: сокращение длительности выполнения процесса разработки элемента раздела АР «профессионалом» до 0,5–1 рабочего дня.

3. В части разработки вентиляционных шахт на кровле:

- разработка семейства с редактируемыми габаритными параметрами шахт и соответствующих решеток с возможностью выгрузки объемов в спецификации (при этом обеспечивается преимущество только в разработке сечений; узлы остаются в объеме разработки).

Предполагаемый эффект: примерное сокращение времени разработки элемента раздела АР на 30% (точное значение экономии времени определяется количеством и сложностью проектируемых систем).

Предложенные решения обеспечивают оптимизацию временного ресурса на разработку раздела АР, что, в первую очередь, повышает эффективность процесса проектирования в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА:


1. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM – технологий в России // Синергия наук. 2017. № 10. С. 529–549. URL: <http://synergyjournal.ru/archive/article0417>.
2. Четверик Н.П. Поэтапное внедрение технологий информационного моделирования (BIM) в строительной сфере // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12. С. 44–47.
3. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции; СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2021. 552 с.
4. Шарманов В.В., Мамаев А.Е., Болейко А.Е., Золотова Ю.С. Трудности поэтапного внедрения BIM // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 10(37). С. 108–120.
5. Shishina D., Sergeev P. Revit Dynamo: designing objects of complex forms. Toolkit and process automation features // Architecture and Engineering. 2019. № 4, т. 3. С. 30–38.
6. Младзиевский Е.П. Расширение возможностей BIM-проектирования // Academy. 2020. №1 (52). С. 19–20.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПОРТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИНФРАСТРУКТУРНОЙ BIM-МОДЕЛИ В IFC ФОРМАТ

Ключевым словом в термине BIM [1], является – информация. При проектировании инфраструктурной BIM-модели используется специализированное и технологическое программное обеспечение. Одной из функциональных особенностей программного обеспечения является поддержка принципов интероперабельности, а именно возможность экспорта и импорта данных в открытый IFC формат [2]. В практическом исследовании был выбран программный комплекс для проектирования объектов инфраструктуры – Autodesk AutoCAD Civil 3D.

*Цель работы* – разработка процедуры для оптимизации экспорта пользовательских параметров инфраструктурной BIM-модели в IFC формат [3].

Для достижения поставленной цели, на первом этапе практического исследования был выявлен инструментарий в программном комплексе AutoCAD Civil 3D – «Набор характеристик», который по своему функционалу сочетает в себе возможность определения программных и формульных характеристик. Особенностью данного инструмента является возможность поддерживать динамическую связь между 3D-элементами и извлекать системные параметры используя API (Интерфейс прикладного программирования) при помощи VBScript.



Имя	Описание	Тип	Источник	Стандартное з...
Внутренний диаметр	СП.333_Внутренний диаметр	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Давление	СП.333_Давление	Текст		
Диаметр трубы	СП.333_Диаметр трубы	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Диапазон по расходу	СП.333_Диапазон по расходу	Текст		
Длина	СП.333_Длина	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Масса	СП.333_Масса	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Материал	СП.333_Материал	Текст		
Назначение	СП.333_Назначение	Текст		
Наименование	СП.333_Наименование	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Наличие изоляции	СП.333_Наличие изоляции	Список	Наличие изоляции	Не имеется
Наружный диаметр	СП.333_Наружный диаметр	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Отметка в конце	СП.333_Отметка в конце	Формула	RESULT = "-" On Error Resume ...	
Отметка в начале	СП.333_Отметка в начале	Формула	RESULT = "-" On Error Resume ...	
Рабочее давление	СП.333_Рабочее давление	Текст		
Режим расхода	СП.333_Режим расхода	Список	Режим расхода	Постоянный
Скорость	СП.333_Скорость	Текст		
Состояние	СП.333_Состояние	Список	Состояние	Проектируемый
Способ соединения	СП.333_Способ соединения	Список	Способ соединения	Раструбный
Тип транспортируемого продукта	СП.333_Тип транспортируемого продукта	Текст		
Толщина стенки	СП.333_Толщина стенки	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	
Уклон	СП.333_Уклон	Формула	RESULT = "-" On error Resume ...	

Рис. 1

На втором этапе практического исследования были рассмотрены функциональные возможности инструментария и разработан набор атрибутов по требованиям СП 333.1325800.2020, предъявляемые к объектам линейной [4] инфраструктуры [5]. Основные атрибуты элементов инженерной цифровой модели были взяты из Таблиц В.3, В.4 и Д.41. и представлены на рисунке 1.

В ходе исследования атрибуты были разделены на: текстовые – значения которых, в зависимости от проекта, прописывались вручную; формульные – прописывались на основе VBScript и извлекали нужные параметры из «Civil 3D .NET API Reference». Итогом второго этапа стало определение наборов обязательных атрибутов, создание формульных и текстовых характеристик.

Свойства	
Свойство	Значение
СП 333.1325800.2020.	Сведения о модели трубы
	Стадия возведения
	Защитный слой арматуры
	TimeLiner
Длина	26445,997
Наименование	Труба КОРСИС АРМ SN 16 полимерная, для водоотведения
Уклон	1,130
Внутренний диаметр	800,000
Диаметр трубы	880,000
Отметка в начале	-3,623
Отметка в конце	-3,923
Состояние	Проектируемый
Толщина стенки	40,000
Наличие изоляции	Не имеется
Наружный диаметр	880,000
Масса	51,000
Способ соединения	Раструбный
Режим расхода	Постоянный
Давление	-
Рабочее давление	-
Материал	Труба полимерная
Тип транспортируемого продукта	Вода
Назначение	Наружное водоснабжение
Диапазон по расходу	-
Скорость	-

Рис. 2

На третьем этапе практического исследования рассматривались способы определения (присвоения) пользовательских характеристик и функциональные возможности экспорта в IFC формат. За основу была взята линейная инфраструктурная модель, которой был присвоен созданный набор с основными атрибутами. Присвоение выполнялось при помощи ввода команды – AECPSDAUTOATTACH. Данная команда автоматически присваивает все данные набора свойств ко всем объектам, которые присутствуют на чертеже, а также выполняет автоматическое обновление, если наборы свойств редактируются. После присвоения созданных атрибутов, была произведена настройка экспорта в IFC, и предпочтительной версией для экспорта стала версия 2×3. Далее были выбраны экспортируемые 3D-объекты и выгружены в IFC. На рисунке 2 представлен экспорт пользовательских параметров, определенный по данным из СП 333.1325800.2020.

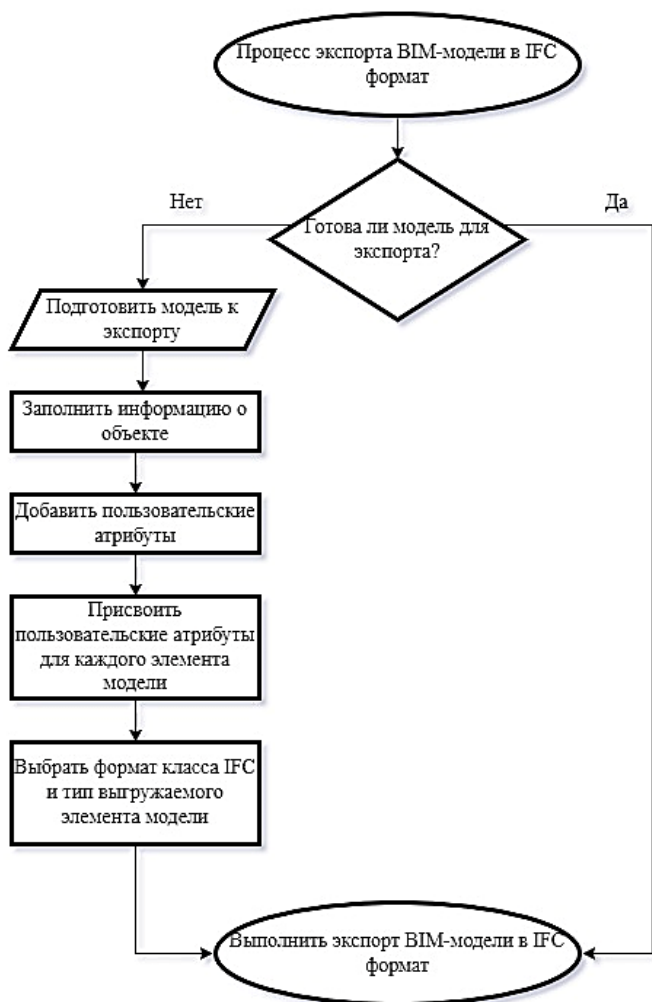


Рис. 3



Заключительным этапом в практическом исследовании стала разработка алгоритма для корректного экспорта и представлена на рисунке 3.

Таким образом, в практическом исследовании были выполнены следующие задачи: разработан оптимальный алгоритм для экспорта в IFC; рассмотрен полуавтоматический способ присвоения пользовательских параметров; создан шаблон с обязательными атрибутами к линейной инфраструктурной модели и рекомендован для внедрения. Данная процедура позволяет существенно сократить время на подготовку модели для экспорта, минимизировать потерю информации и повысить качество экспортируемой модели в информационной области.

Исследуя применение IFC формата, можно отметить, что он доказал свою эффективность как важный инструмент, позволяющий экономить колоссальное количество временных ресурсов на крупных проектах и достигать уникальных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Abbasnejad B., Nepal M.P., Ahankoob A., Nasirian A., and Drogemuller R. Building Information Modelling (BIM) adoption and implementation enablers in AEC firms: a systematic literature review, <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1793721>, pp. 1–23, 2020, doi: 10.1080/17452007.2020.1793721.
2. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., and Calis G. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, no. 3, pp. 431–442, Jun. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.
3. Panteli C. et al. Overview of BIM integration into the Construction Sector in European Member States and European Union Acquis, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 410, no. 1, p. 012073, Jan. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/410/1/012073.
4. Parisher R.A. and Rhea R.A. Overview of Pipe Drafting and Design, *Pipe Drafting and Design*, pp. 1–3, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-822047-4.00015-7.
5. СП 333.1325800.2020/ Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла от 31 декабря 2020 – docs.cntd.ru. <https://docs.cntd.ru/document/573514520> (accessed Dec. 15, 2021).

УДК 697.14

А.П. Ольшевский, О.К. Тушкова, Д.Д. Заборова, К.И. Стрелец  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАНГЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ МИКРОКЛИМАТА АУДИТОРИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

*Цель* – анализ эффективности метода Фангера при прогнозировании теплоощущений людей в закрытом помещении. Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи: провести измерения параметров микроклимата, организовать опрос студентов, находившихся в помещении во время измерений, на основе этих данных вычислить индексы PMV (Predicted Mean Vote) и PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Микроклимат оказывает непосредственное влияние на организм человека. Большую часть жизни человек проводит в замкнутом пространстве: школа, университет, офис. Помещение становится своеобразной средой обитания, благоприятные условия которой необходимы для поддержания здоровья и высокой работоспособности человека [1].

При значительных отклонениях параметров среды от комфортных и их длительном воздействии пределы терморегуляции могут быть исчерпаны и организм человека будет перегреваться или переохлаждаться [2].

Фангер, основываясь на исследованиях Невинса и позднее проведя свои [3], предложил свой метод комплексной оценки микроклимата. Заключается он в определении индексов теплового комфорта PMV и PPD.

На первом этапе теоретических исследований были проведены измерения некоторых параметров микроклимата помещений – температуры воздуха, скорости движения воздуха, относительной влажности воздуха, концентрации CO<sub>2</sub>.

Измерения производились в трех помещениях в восьми точках на расстоянии 2–3 м друг от друга, а также 0,1 и 1 м от уровня пола в каждой точке. Усредненные результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ помещения	Температура, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %	Концентрация CO <sub>2</sub> , ppm
1	24,98	0,11	32	390
2	26,41	0,07	32	435
3	25,77	0,11	35	433

Также было произведено анкетирование студентов, находящихся в исследуемых помещениях. Им была предоставлена возможность оценить, как они себя чувствуют по 7-бальной шкале температурных ощущений, представленных в таблице 2, указав при этом вид одежды, их возраст и пол.

Таблица 2 – Шкала температурных ощущений стандарта ASHRAE [4]

Величина	Ощущение
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Слегка тепло
0	Нейтрально
-1	Слегка прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Дополнительно было запрошено угадать температуру за пределами здания. Все эти данные позволяют нам при помощи метода Фангера спрогнозировать теплоощущения студентов в помещении университета и сравнить их с результатами опроса.

PMV – индекс, с помощью которого определяется среднее значение чувствительности к параметрам микроклимата по 7-балльной шкале. PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) – это показатель, который устанавливает прогнозируемый процент недовольных микроклиматом людей, которым слишком тепло или слишком холодно [5].

Индекс помещения 1  $PMV = 0,07$ , а индекс PPD = 5 % при расчете по методу Фангера в портале СВЕ [6]. По результатам опроса студентов, представленном в таблице 3, в помещении 1  $PMV = 0,6$ , а PPD = 25 %.

Индекс помещения 2  $PMV = 0,47$ , а индекс PPD = 10 % при расчете по методу Фангера в портале СВЕ 2. По результатам опроса студентов, находящихся в помещении 2  $PMV = 1,4$ , а PPD = 7 %.

Расчет по методу Фангера помещения 3 в портале СВЕ представлен на рисунке 1. Индекс помещения 3  $PMV = 0,20$ , а индекс PPD = 6 %. По результатам опроса студентов, находящихся в помещении 3  $PMV = -0,43$ , а PPD = 9 %.

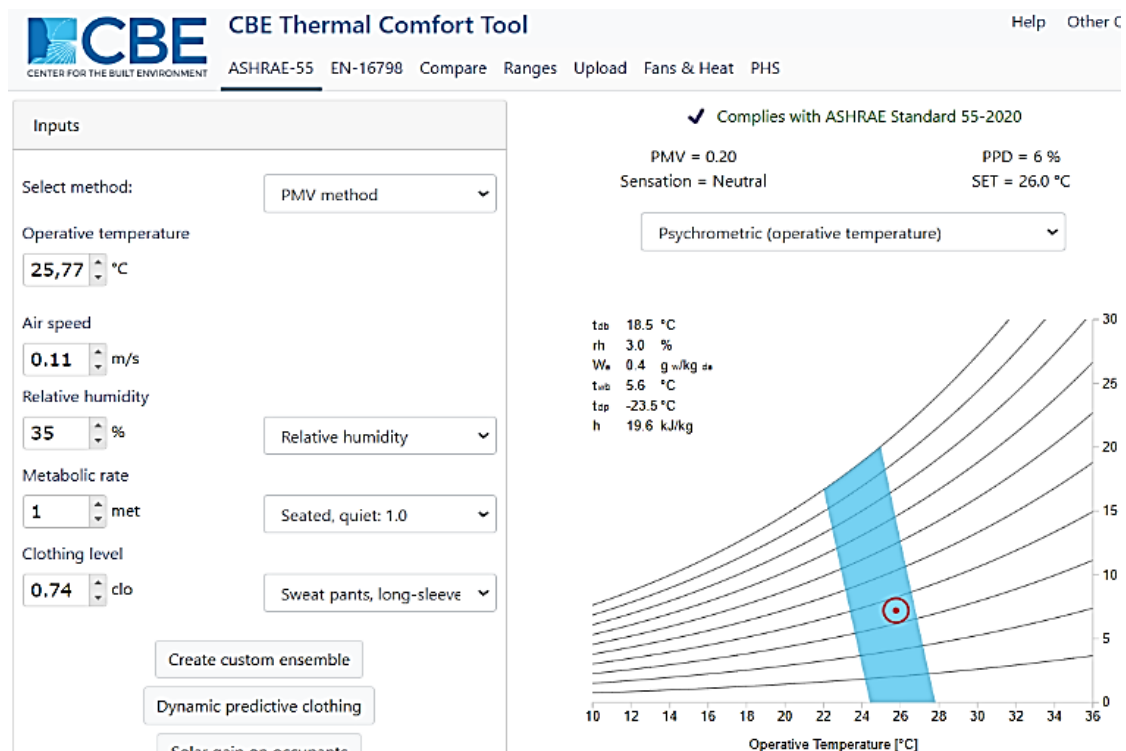


Рис. 1

Таблица 3

№ помещения	Параметры микроклимата		Расчет теплоощущений в программе	Реальные теплоощущения, полученные путем опроса
	ГОСТ	Фактические		
1	19-21 °C	24,98 °C	Нейтрально (PMV = 0,07)	Немного тепло (PMV = 0,6)
	0,2-0,3 м/с	0,11 м/с		
	30-45 %	32 %		
	500-600 ppm	390 ppm		
2	19-21 °C	26,41 °C	Нейтрально (PMV = 0,47)	Немного тепло (PMV = 1,4)
	0,2-0,3 м/с	0,07 м/с		
	30-45 %	32 %		
	500-600 ppm	433 ppm		
3	19-21 °C	25,77 °C	Нейтрально (PMV = 0,20)	Нейтрально (PMV = -0,43)
	0,2-0,3 м/с	0,11 м/с		
	30-45 %	35 %		
	500-600 ppm	435 ppm		

Таким образом, метод Фангера в данном случае не является эффективным способом определения комфорта микроклимата, так как значения индексов PPD и PMV, полученные из расчета в портале СВЕ отличаются от значений, полученных путем опроса. Расхождение можно объяснить тем, что при расчете в портале не учитывается локальный дискомфорт [7], [8] – это могут быть сквозняки, различие температур по вертикали. На ответы студентов могло влиять расположение их рабочего места относительно окон, входа, батарей. Оптимальной температурой по ГОСТу 30494-2011 является температура в пределах 19–21 °C, относительная влажность в пределах 30-45 %, скорость воздуха в пределах 0,2–0,3 м/с. Несмотря на то, что температура воздуха не соответствует нормам ГОСТ, теплоощущения людей приближены к «идеальным».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко А.В., Петрова И.Ю. Обзор моделей управления микроклиматом в помещении, Астраханский государственный университет, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
2. Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий. 2012. 200 с.
3. Paul Roelofsen , Kaspar Jansen and Peter Vink, A larger statistical basis and a wider application area of the PMV equation in the Fanger model: application area of the PMV equation, Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2021 – 9p.
4. ANSI/ASHRAE/ASHE Addendum n to ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, Ventilation of Health Care Facilities
5. Fanger P.O. Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering // Danish Technical Press. 1970. P. 244.
6. ASHRAE STD 55-2020. 2020. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
7. Житов В.Г. Исследование и обеспечение параметров микроклимата жилых и общественных зданий методами оптимального планирования эксперимента; опубл. 2007.
8. Денисихина Д.М. Оценка теплового комфорта в помещениях на основе анализа результатов математического моделирования // Вестник МГСУ. 2015. С. 184–193.

УДК 721.011.12

И.В. Чумаков, А.Д. Занина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ИНСОЛЯЦИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ RHINOCEROS

Комфортное существование человека во многом определяется средой его обитания. Качество этой среды зависит от различных факторов. Немаловажную роль среди этих факторов занимает количество солнечного света, воспринимаемое человеком.

В строительстве количество солнечного света нормируется за счёт продолжительности инсоляции [1, 2]. Методы расчёта продолжительности инсоляции, описанные в нормативных документах, основаны на применении инсоляционных графиков и солнечных карт [3]. Данные методы весьма просты для понимания и удобны для применения, однако при ручном расчёте качественный анализ инсоляции помещений в условиях плотной застройки становится практически невыполнимой задачей. Кроме того, результаты ручного расчёта не имеют достаточной наглядности.

С развитием информационного моделирования появились способы автоматизированного расчёта инсоляции. Для этого, например, используют программный комплекс СИТИС: Солярис [4]. Также существует возможность создания скриптов для программного комплекса Revit с использованием платформы визуального программирования Dynamo [5].

В этой работе рассмотрена возможность расчёта инсоляции с помощью программного комплекса Rhinoceros. *Целью работы* является автоматический расчёт с помощью скрипта, созданного в редакторе Grasshopper.

Grasshopper – это редактор графических алгоритмов для Rhinoceros. Он позволяет создавать скрипты посредством визуального программирования для решения самых разных задач [6].

Работа со скриптом начинается с исходных данных (рис. 1). Данные для работы алгоритма вводятся с помощью «нодов» – узлов, из которых собирается скрипт. Исходными данными в рассматриваемом алгоритме служат координаты (географическая широта) и дата (число и месяц). Для обработки этих данных в Grasshopper есть компонент, который позволяет построить инсоляционный график (рис. 2).

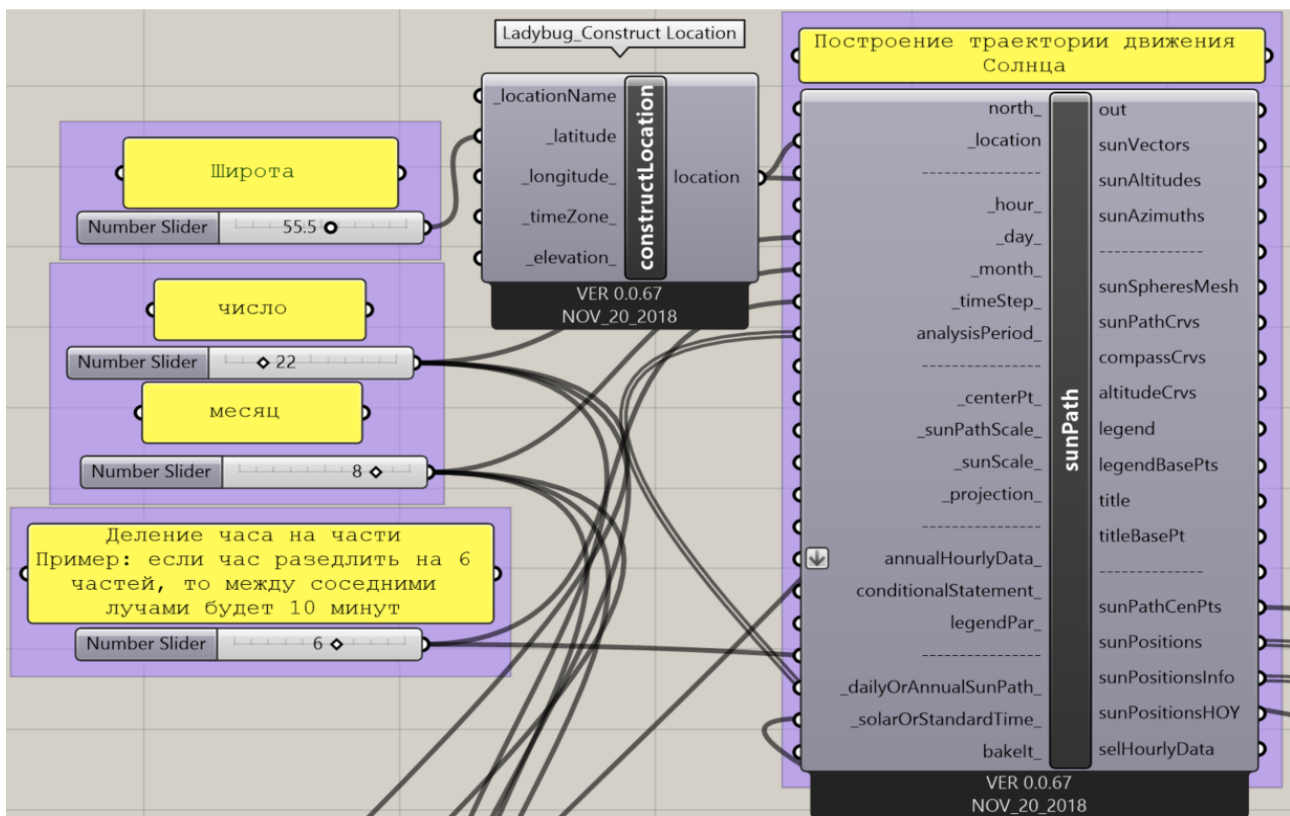


Рис. 16. Исходные данные

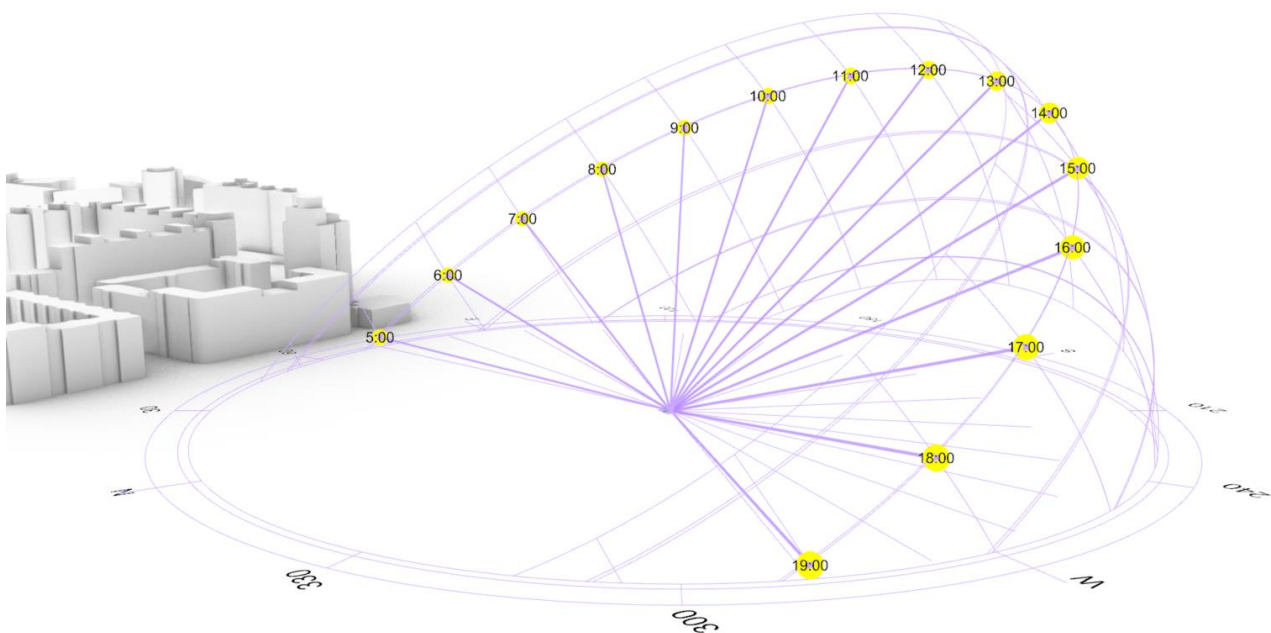


Рис. 17. Инсоляционный график, построенный алгоритмом

При построении графика необходимо также принять во внимание, что, согласно нормативным документам, при расчёте инсоляции не учитывается первый час перед восходом и последний час перед закатом.

Чтобы иметь возможность анализировать продолжительность инсоляции с учётом окружающей застройки, необходимо смоделировать район предполагаемого строительства. Для этого можно воспользоваться сервисом CADMapper. С помощью этого сервиса можно

загрузить модель нужного района города в пространство Rhinoceros, после чего разместить в этой модели проектируемое здание.

Когда геометрическая составляющая расчётной сцены готова, нам необходимо задать алгоритму поверхность, для которой будет оцениваться продолжительность инсоляции, а также указать здания, которые будут непосредственно влиять на расчёт (создавать тени на расчётной поверхности). Кроме того, анализируемая поверхность разбивается на сегменты, чтобы в дальнейшем получить продолжительность инсоляции для каждого из них.

Таким образом, основная часть алгоритма заключается в том, чтобы построить инсоляционный график для центральной точки каждого сегмента рассматриваемой поверхности. Затем каждый график анализируется на предмет пересечения его лучей с окружающей застройкой. Лучи, не пересекающие соседние здания, образуют сектора, которые подсчитываются и умножаются на шаг лучей (в минутах). Полученные значения отображаются прямо на самих сегментах. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 3.

Зелёным цветом подсвечено условное проектируемое здание, красным – окружающая застройка. Рассматриваемый фасад разделён на сегменты, для каждого из которых указана расчётная продолжительность инсоляции. Жёлтые линии – это лучи инсоляционного графика одного из сегментов, не пересекающие окружающую застройку. Именно эти лучи подсчитывает алгоритм для определения продолжительности инсоляции.

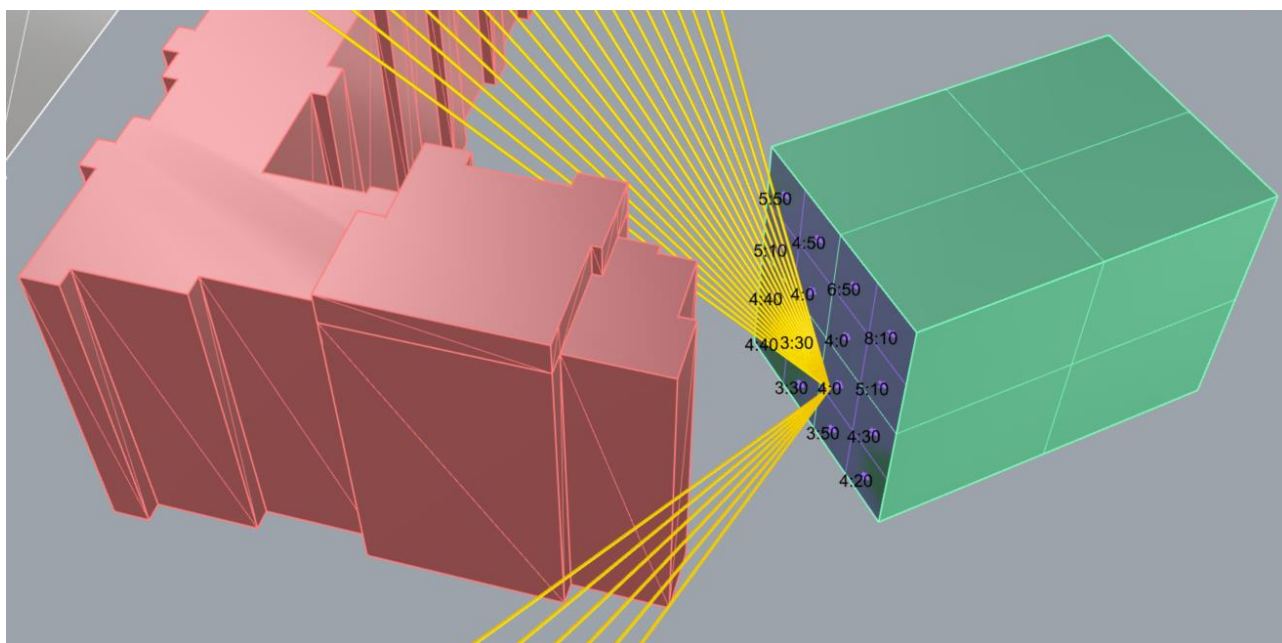


Рис. 18. Расчёт продолжительности инсоляции с помощью алгоритма

Рассматриваемый алгоритм способен также подсчитывать продолжительность инсоляции для произвольной точки пространства модели. Это даёт широкие возможности по определению так называемых «воздушных замков» – объёмов, которые образуют солнечные лучи, соответствующие выполнению требований норм по инсоляции. Такой подход не только позволит обеспечить требуемый инсоляционный режим в помещениях проектируемого объекта, но и поможет избежать ухудшения этого показателя в соседних зданиях.

Стоит отметить, что в дальнейшем алгоритм может быть усовершенствован. Например, возможности Grasshopper позволяют автоматически определять сегменты, в которых продолжительность инсоляции не соответствует нормам, и выделять их цветом. Также при достаточной проработке геометрической модели может быть учтено влияние откосов, козырьков и других выступающих частей здания.

Таким образом, рассмотренный алгоритм позволяет быстро и удобно рассчитать продолжительность инсоляции. При этом метод расчёта полностью соответствует методам, представленным в нормативных документах.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 54.13330.2016. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.
2. СП 160.1325800.2014. Свод правил. Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования.
3. ГОСТ Р 57795-2017. Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции.
4. СИТИС: Солярис 10 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sitis.ru/ru.656z511.htm> (Дата обращения 11.03.2022).
5. Грузков, А.А. Автоматический расчет инсоляции / А.А. Грузков, В.Д. Матвиенко, П.А. Харламова // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 12. – С. 214-217.
6. Grasshopper – Algorithmic modeling for Rhino [Электронный ресурс]. URL: <https://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1> (Дата обращения 11.03.2022).

УДК 699.81

Д.Е. Шабунина, М.В. Гравит  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Морские сооружения, в том числе плавучие, стационарные платформы и суда, состоят из стальных переборок и палуб [1]. Одним из главных критериев при проектировании конструкций морских платформ является их огнестойкость, оцениваемая при проведении огневых испытаний или методом моделирования. Конструкция судна должна обеспечивать прочность и жесткость для выдерживания всех возникающих нагрузок.

Повышение температуры конструкции палубы и переборки приводит к увеличению сжимающих напряжений, что вызывает деформацию как стенки, так и самих ребер жесткости [2]. Большинство исследований по определению прочности пластинчатых элементов при пожаре рассматривают отдельные элементы конструкции, подверженные воздействию огня. В работах [3, 4] представлены результаты теплового и механического анализа простых балок и разработаны численные модели. В реальных конструкциях при пожаре происходит взаимодействие между элементами, что позволяет перераспределять нагрузки с локализованных участков разрушения на другие части конструкции. В работе [5] рассматриваются характеристики палубы со стальным покрытием, подверженной поперечным нагрузкам при пожаре. В работе [2] изучено поведение стальной палубы при различных сценариях возгорания углеводородов с использованием программного комплекса (ПК) «ANSYS», приведены результаты численных исследований стальных палуб при совместном действии механической нагрузки и углеводородного режима пожара.

Согласно документации [6], для нормирования пределов огнестойкости переборок и палуб танкеров и платформ определяют предельные состояния по потере целостности (E) и потере теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °С.

Целью данной работы является моделирование экспериментальных данных переборки Н-120 и палубы Н-120 для проверки целостности конструкций с учетом совместного теплового и механического анализа при воздействии углеводородного режима пожара.

Испытания опытных образцов переборки Н-120 и палубы Н-120 по определению предельных состояний проводились согласно документации [7] при условии создания в печи углеводородного температурного режима по документации [8] в соответствии с выражением:

$$T - T_0 = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}), \quad (1)$$

где  $t$  – время, исчисляемое от момента начала испытаний, мин.;  $T$  – температура в печи, соответствующая времени  $t$ , °С;  $T_0$  – температура в печи до начала теплового воздействия, °С.

Внешние размеры переборки Н-120: высота 2480 мм, ширина 2420 мм, толщина 95/155 мм. Стальной лист толщиной 5 мм с ребрами жесткости на расстоянии 600 мм изолирован минеральной ватой «Rockwool» в 2 слоя: 40 мм с плотностью 150 кг/м<sup>3</sup> и 50 мм с плотностью 150 кг/м<sup>3</sup>. Внешние размеры палубы Н-120: высота 2440 мм, ширина 3040 мм, толщина 126/246 мм. Стальной лист толщиной 6 мм с ребрами жесткости на расстоянии 600 мм изолирован 2 слоями минеральной ваты «Rockwool» по 60 мм плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>.

Огневые испытания для переборки Н-120 и для палубы Н-120 прекращены на 125 минуте по достижении критической температуры на необогреваемой поверхности конструкции (более чем на 140 °С относительно начального значения). Установлено, что переборка Н-120 обладает огнестойкостью не менее 120 минут, в то время как палуба Н-120 обладает огнестойкостью не менее 120 минут. В ПК «Elcut» создана конечно-элементная модель с соблюдением геометрических размеров, физических и механических свойств материалов. Расчетные схемы конструкции переборки Н-120 и палубы Н-120 представлены на рис. 1. В результате моделирования получены визуализации прогрева переборки Н-120 (рис. 2, а) и палубы Н-120 (рис. 2, б) в соответствии с применяемой температурной шкалой при углеводородном режиме пожара (рис. 2, в).

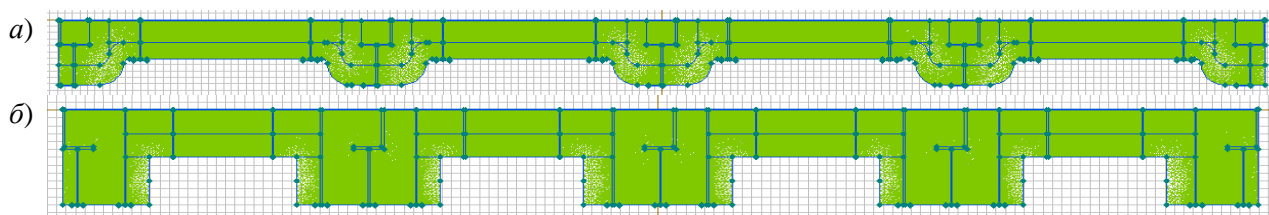


Рис. 1. Расчетная схема переборки Н-120 (а) и палубы Н-120 (б) в ПК «Elcut»

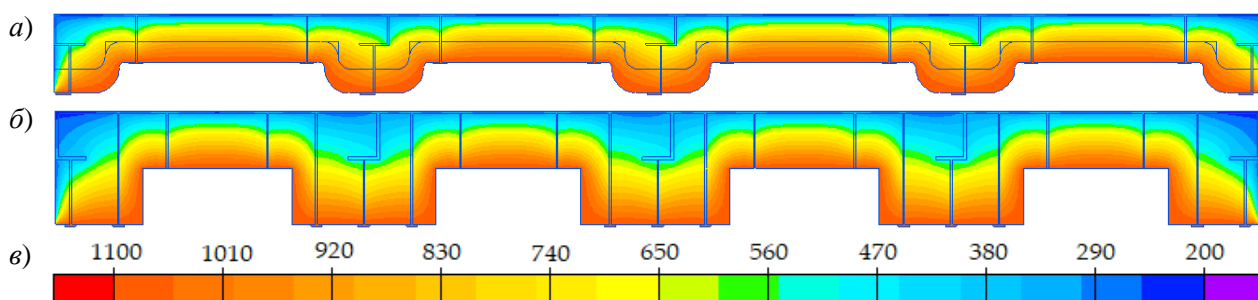


Рис. 2. Визуализация прогрева переборки Н-120 (а) и палубы Н-120 (б) в соответствии с температурной шкалой (в) в ПК «Elcut»

На рис. 3 представлены температурные кривые, полученные для конструкций переборки Н-120 и палубы Н-120.



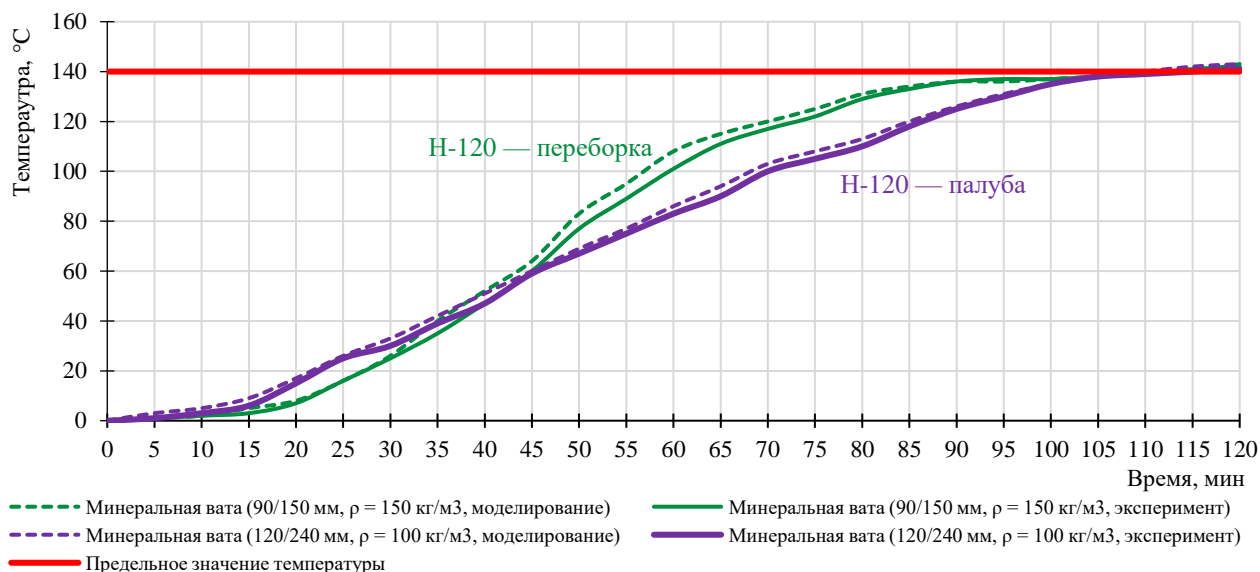


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные температурные кривые рассматриваемых образцов во время огневого испытания при углеводородном режиме пожара

В процессе огневого испытания зафиксирован прогиб в центре переборки Н-120 (24 мм). Соответствующее расчетное значение деформации, полученное в ПК «Elcut», составило 26 мм (рис. 4, а). Согласно документации [9], предельное состояние по потере несущей способности в зависимости от деформаций для изгибаемых конструкций определяется по формуле:

$$\Delta = l/20 = 2480/20 = 124 \text{ мм.} \quad (2)$$

Значение прогиба, полученное при проведении эксперимента (24 мм) и в результате моделирования (26 мм), не превышает допустимое значение и подтверждает, что переборка Н-120, подвергаясь углеводородному режиму пожара, сохраняет свои прочностные характеристики и целостность на протяжении всего испытания.

После проведения огневого испытания прогиб в центре палубы Н-120 не зафиксирован. Исходя из корреляции расчетных и экспериментальных температур, высчитана деформация в центре конструкции для палубы Н-120, значение которой составило 24 мм (рис. 4, б).

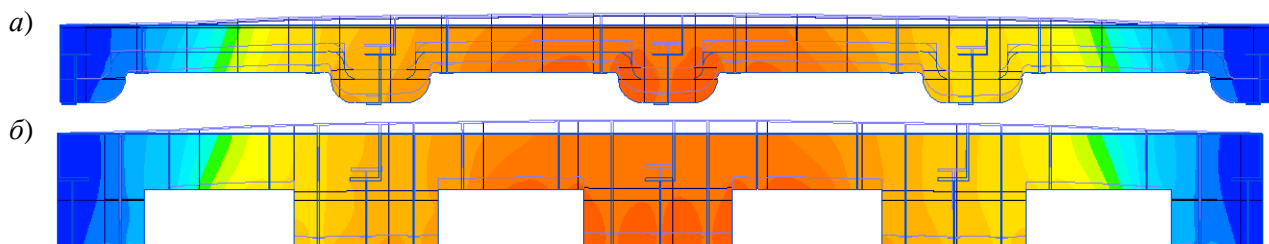


Рис. 4. Отображение деформационной схемы переборки Н-120 (а) и палубы Н-120 (б) при огневом воздействии

Значение прогиба, полученное в результате моделирования (24 мм), не превышает допустимое значение и подтверждает, что палуба Н-120, подвергаясь воздействию углеводородного режима пожара, сохраняет свои прочностные характеристики и целостность. На основе экспериментальных данных проведено моделирование огнестойкости переборки Н-120 и палубы Н-120 для морской платформы. По результатам моделирования прогиб в центре конструкции для переборки Н-120 составил 26 мм, что различается менее чем на 10% в сравнении с экспериментально полученным значением. На основании корреляции расчетных

и экспериментальных температур высчитана деформация в центре конструкции для палубы Н-120, значение которой составило 24 мм. Моделирование позволяет прогнозировать достижение конструкцией предельных состояний при огневом воздействии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Rahm M., Evegren F. Structural fire integrity testing of lightweight structures // Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering – OMAE. 2016. Vol. 3.
2. Chandrasekaran S., Nagavinothini R. Behavior of stiffened deck plates under hydrocarbon fire // Mar. Syst. Ocean Technol. 2020. Vol. 15, № 2.
3. Ufuah E. A performance based fire analysis of simple beams supporting non-structural concrete slabs // Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011. 2011. Vol. 3.
4. Fedosov S. et al. The Fire-Resistant Construction for Building Safety // Lecture Notes in Civil Engineering, 2020. Vol. 70.
5. Ufuah E. The Behaviour of Stiffened Steel Plated Decks Subjected to Unconfined Pool Fires. San Francisco, USA, 2012.
6. Rules for Building and Classing Facilities on Offshore Installations 2021. URL: [https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/offshore/63\\_rulesforbuildingandclassingfacilitiesonoffshoreinstallations\\_2021/fac-rules-july21.pdf](https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/offshore/63_rulesforbuildingandclassingfacilitiesonoffshoreinstallations_2021/fac-rules-july21.pdf) (дата обращения: 08.11.2021).
7. ИМО Резолюция А.754 (18). Рекомендация по испытаниям на огнестойкость перекрытий классов “А”, “В” и “F”. URL: [http://www.rise.odessa.ua/texts/A754\\_18.php3](http://www.rise.odessa.ua/texts/A754_18.php3) (дата обращения: 02.11.2021).
8. EN 1363-2:1999. Fire Resistance Tests – Part 2: Alternative and Additional Procedures. URL: <https://nd.gostinfo.ru/document/6239985.aspx> (дата обращения: 22.11.2021).
9. ISO 834-75. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9055248> (дата обращения: 02.11.2021).

УДК 721

В.В. Шерстюк, М.М. Войтенко, Л.В.Талипова  
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

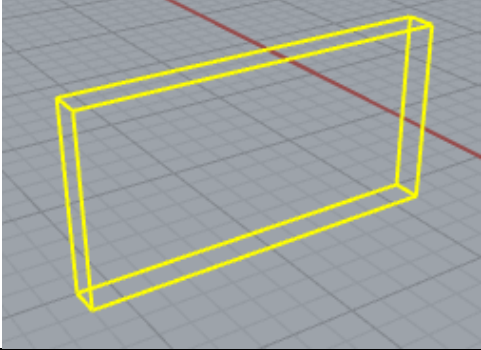
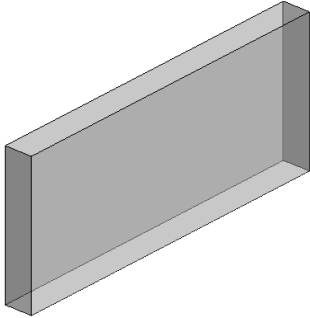
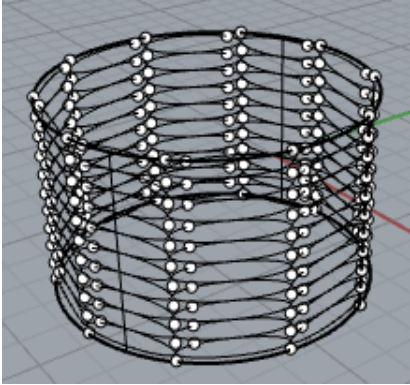
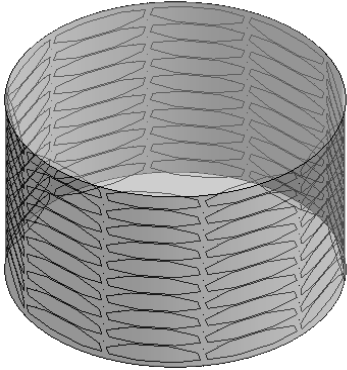
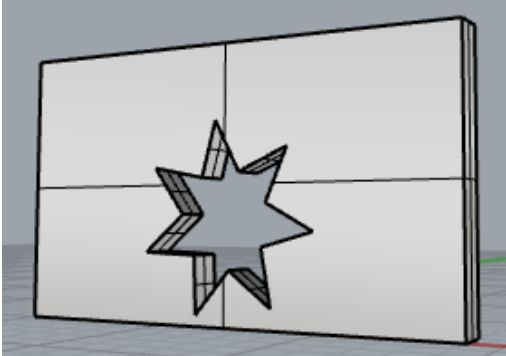
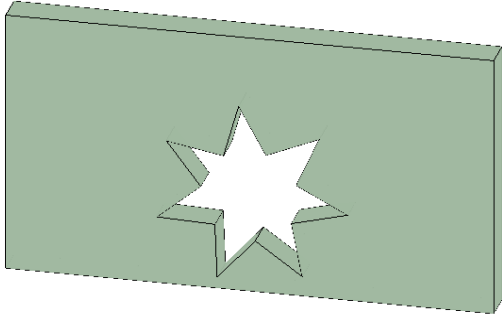
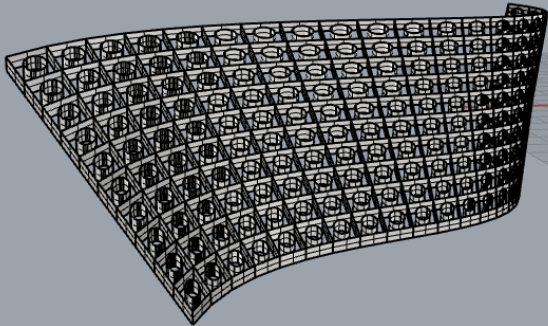
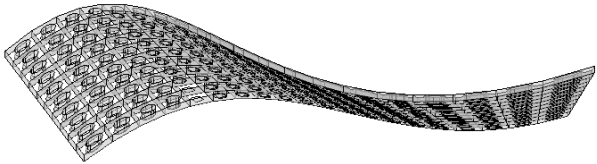
#### СОВМЕСТНАЯ РАБОТА AUTODESK REVIT И RHINOCEROS НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время информационные технологии используются повсеместно крупными строительными компаниями для проектирования, моделирования цифровой модели объекта. Использование BIM – технологий облегчает в разы процесс создания рабочей документации, предусматривает устранение коллизий на ранних этапах, обеспечивает и упрощает совместную работу множества специалистов, тем самым сокращая количество ошибок [1]. Сегодня Autodesk Revit является одной из самых часто используемых BIM программ в России. Autodesk Revit имеет широкий функционал, но имеет свои недостатки [2]. При создании параметрических объектов архитекторы все чаще и чаще используют Rhinoceros в связке с Grasshopper, приложения, которые позволяют моделировать практически любые формы, чего не позволяет делать Autodesk Revit. Проектировщики переносили созданные объекты из Rhinoceros в Revit через различные форматы файлов (dwg, 3dm, sat, ifc) и плагины («Hummingbird»), но в 2021 году официальные разработчики Rhinoceros создали плагин «Rhino.Inside.Revit.», обеспечивающий их совместную работу, не требующий сторонних форматов в обмене информации между этими программами [3].

*Цель работы* – проанализировать обмен данными системы Autodesk Revit и Rhinoceros посредством плагина «Rhino.Inside.Revit.» на примере фасадных конструкций различных форм.

В процессе исследования моделировались различные виды стеновых конструкций в Rhinoceros, которые в последствие передавались в Autodesk Revit автоматически в течение некоторого времени после нажатия кнопки «Toggle Preview» (рис. 1) [4].

Таблица 1

Отображение конструкции в Rhinoceros	Отображение конструкции в Autodesk Revit
	
	
	
	

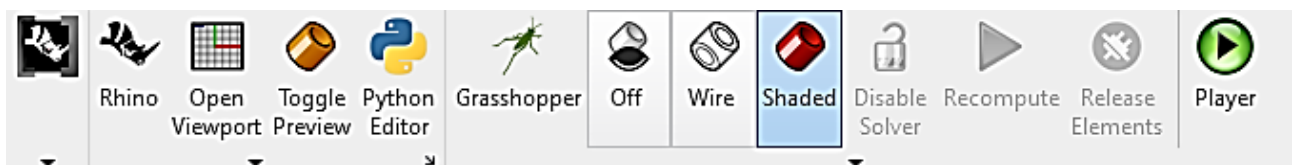


Рис. 1. Панель инструментов плагина «Rhino.Inside.Revit.» в Autodesk Revit

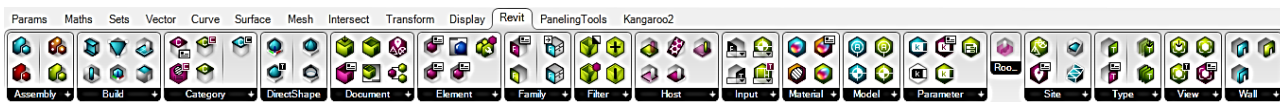


Рис. 2. Панель инструментов плагина «Rhino.Inside.Revit.» в Grasshopper

Уникальность плагина «Rhino.Inside.Revit.» в том, что нет необходимости в дополнительных манипуляциях при переводе объекта из Rhino в Autodesk Revit, вся передача данных заключается в обновлении файла Autodesk Revit, где появляется объект, созданный ранее в Rhinoceros и аналогично из Autodesk Revit в Rhinoceros. Также дополнительно есть возможность делить модель Rhino в Revit, армировать, изменять настройки этого семейства (категория, тип, материал), конфигурацию, двигая за «ручки» и многое другое, что нельзя было делать до появления плагина.

Интерфейс плагина представлен в виде панели инструментов в качестве дополнительной вкладки как в Autodesk Revit, так и в Rhinoceros и Grasshopper (приложение для автоматизированного проектирования, являющейся частью Rhinoceros). Данный инструментарий позволяет в полной мере в каждой программе извлечь и представить всю существующую информацию объектов для дальнейшей работы.

Для исследования создавались стандартная прямоугольная стена, радиальная стена с округлыми деталями, прямоугольная стена с отверстием в виде звезды, изогнутая стеновая конструкция с узорчатыми объемными панелями в Rhinoceros, используя инструменты «Paneling Tools» (дополнительный плагин Rhinoceros) [5]. Результаты представлены в таблице 1.

Таким образом, плагин «Rhino.Inside.Revit.» позволяет:

- преобразовать объекты в Revit, выполненного в Rhino, а именно: раздробление на части, различные манипуляции с армированием;
- создавать любые семейства Revit в среде Rhino+ Grasshopper с возможностью изменений данных;
- фильтровать объекты Revit на основе нодов Grasshopper и непосредственные модификации выбранных объектов;
- извлекать любую информации семейств Revit;
- редактировать и улучшать аналитическую модель объекта посредством использования различных скриптов Grasshopper;
- создавать новые материалы и их структуры, представления через инструменты Grasshopper;
- настраивать и создавать рабочие наборы;
- программировать в Python, VB.NET and C#.

По результатам исследования можно сделать *вывод*, что плагин «Rhino.Inside.Revit.», обеспечивающий совместную работу в программах Autodesk Revit и Rhinoceros, создает возможность моделирования параметрических фасадных конструкций с минимизацией потери качества объекта в части геометрии, прорисовки и отображения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Талапов В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.: ил.
2. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. [15–17 мая 2019 г.]; СПбГАСУ. – СПб, 2019. – 274 с.
3. Официальный сайт компании «Autodesk Revit». [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.autodesk.com> (дата обращения 12.03.22г.).
4. Официальный сайт компании «Rhinoceros». [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.rhino3d.com> (дата обращения 12.03.22).
5. Официальный обучающий сайт компании «Rhinoceros». [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.rhino3d.education> (дата обращения 12.03.22).

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОЛНЦЕЗАЩИТЫ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

*Актуальность исследования* обуславливается необходимостью использования солнцезащитных устройств (далее СЗУ) при проектировании зданий для обеспечения комфортного микроклимата в помещениях, снижении затрат на охлаждение и дополнительные устройства в зимний период, снижения инсоляционного и термического воздействий, что подтверждается результатами исследований [7].

*Цель работы* – проанализировать возможности программного комплекса Rhino в области проектирования солнцезащитных устройств для фасадных конструкций и инсоляционного расчета помещений с учетом затенения от них.

Выделяют следующие цели применения СЗУ [1]:

- снижение теплоступления в помещения в теплый период года;
- снижение теплотерь в помещения в холодный период года;
- повышение зрительного комфорта и обеспечение визуального контакта с внешней средой в течение всего года.

Актуальным нормативным документом [4] устанавливаются рекомендации, нормы проектирования и требования к СЗУ, а необходимость в их устройстве обосновывается в соответствии со сводом правил по проектированию тепловой защиты зданий [3], так, СЗУ рекомендуется предусматривать в районах со среднемесячной температурой июля  $21^{\circ}\text{C}$  и выше для окон зданий, в которых должны постоянно соблюдаться оптимальные нормы температуры, влажности. Приложены возможные варианты компоновок СЗУ, а также методы по расчету затенения аналитическим способом – с помощью солнечных карт.

В то же время специалисты стран ЕС активно ведут разработки методов автоматизированного расчета инсоляции в комплексе анализа энергоэффективности зданий [5]. На базе ПО Rhino, в среде Grasshopper с использованием плагина Honeybee специалисты проводят расчеты энергоэффективности зданий путем создания параметрических алгоритмов.

Для достижения поставленной цели был предложен скрипт, который учитывает климатологические данные г. Санкт-Петербург, взятые из открытой базы данных проекта International Weather for Energy Calculations организации ASHRAE [6]. Имеется возможность настройки геометрии расчетного помещения, а также оконного проема с учетом ориентации фасадов по сторонам света. В качестве основы алгоритма были использованы учебные материалы специалиста Philipp Galvan [8]. Блок-схема основных этапов алгоритма приведена на рис. 1.

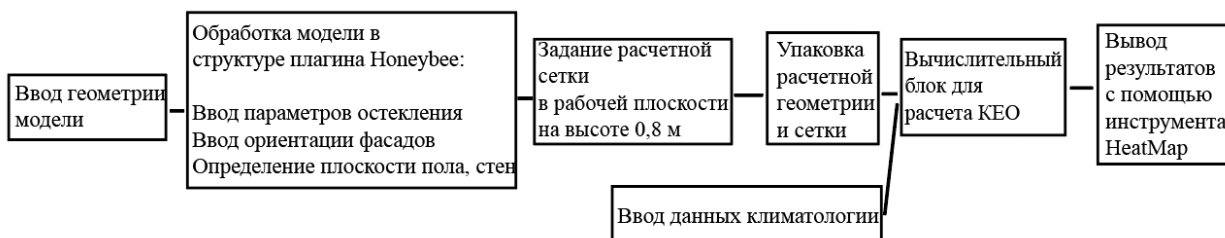


Рис. 1. Блок-схема основных этапов алгоритма

Модель представляет собой помещение офиса размерами: 6,5×6,1×4,0 м, световой проем имеет размеры 6,1×4,0 м, ориентирован на запад. Модель рассчитана в 5-ти конфигурациях (рис. 2–6).

Ламели заданы шириной 500 мм, абсолютно непрозрачными. Отведены от плоскости фасада на 100 мм, расстояние между ламелями: 500 мм.

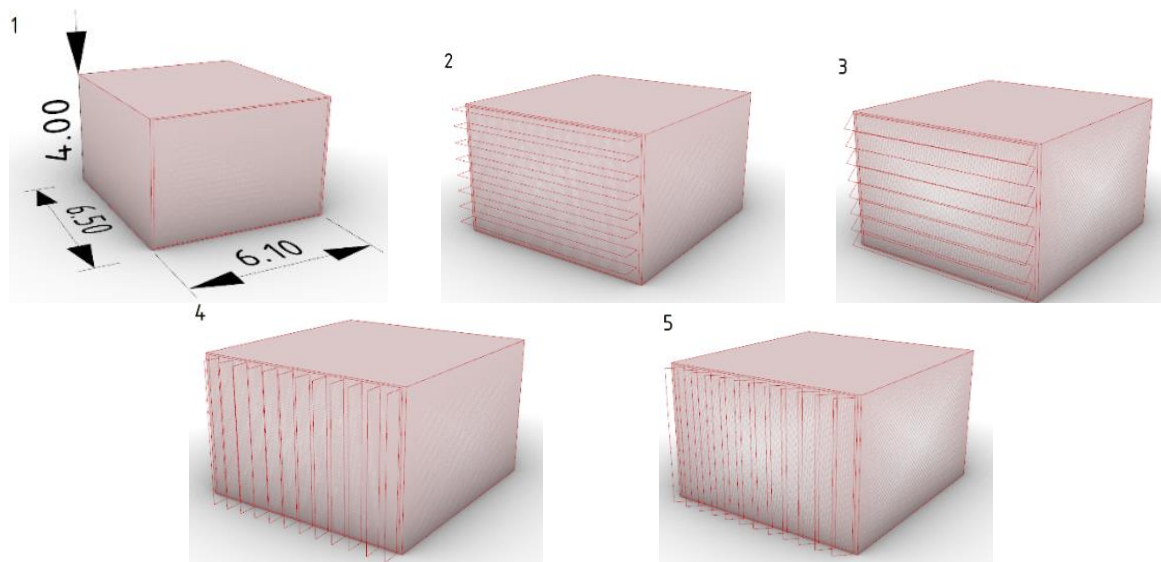


Рис. 2–6. Расчетные конфигурации модели

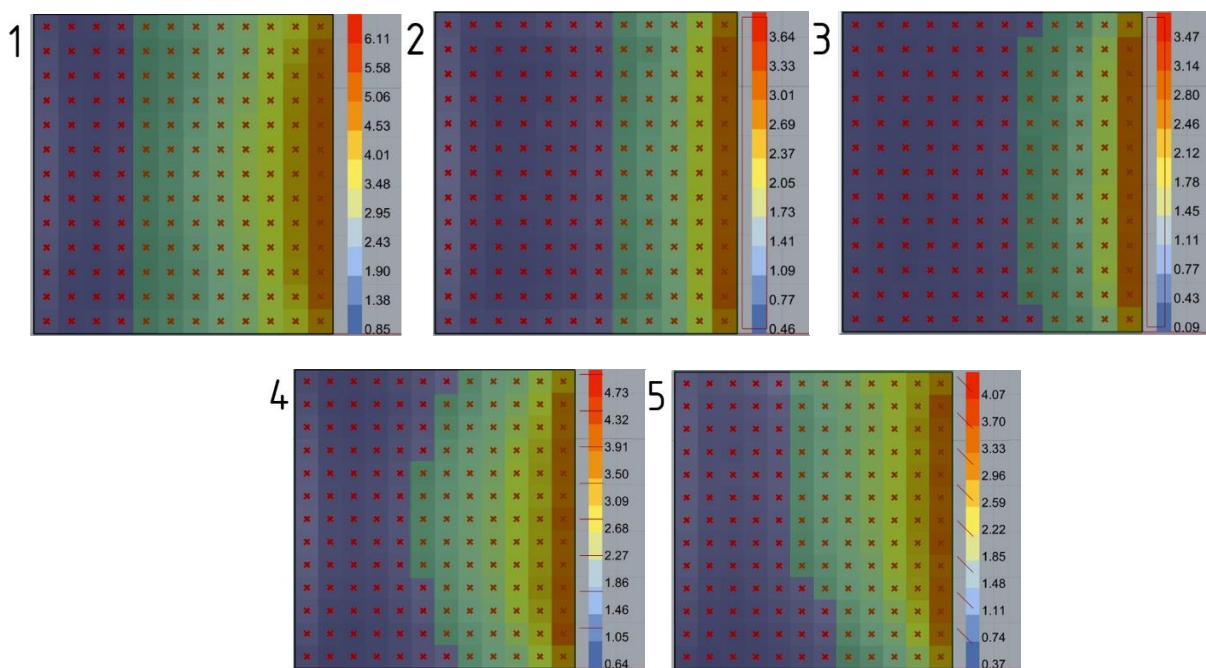


Рис. 7–11. Результаты расчета модели в единицах КЕО

На высоте 0,8 м соответствующей уровню рабочей поверхности, задана расчетная плоскость, ячейки плоскости имеют размеры 0,5×0,5 м, в каждой ячейке фиксируется значение освещенности, опционально с помощью инструментария можно вывести данные о среднегодовой инсоляции, коэффициенте естественной освещенности (далее КЕО), величине

светового потока в люксах в конкретный период времени. Сравнение конфигураций произведено по карте распределения значений КЕО (рис. 7–11).

На рисунках приняты следующие обозначения: 1 – без затеняющих устройств; 2 – горизонтальная ориентацией ламелей (при угле наклона  $0^\circ$ ); 3 – горизонтальная ориентация ламелей (при угле наклона  $45^\circ$ ); 4 – с вертикальной ориентацией ламелей (при угле наклона  $0^\circ$ ); 5 – с вертикальной ориентацией ламелей (при угле наклона  $45^\circ$ ).

На картах распределения зеленым выделены зоны, в которых обеспечивается выполнение норм инсоляции (согласно табл. 5.25. п.1. [2] для помещений кабинетов нормируемое значение КЕО равняется 1,2). Анализируя характер распределения КЕО в зависимости от конфигураций модели, можем сделать вывод о том, что наибольшее затенение создают горизонтально-ориентированные ламели конструкции, максимальное расчетное значение КЕО при горизонтальной ориентации с углом наклона ламелей в  $45^\circ$  на 43% меньше, чем при отсутствии каких-либо СЗУ. Различные конфигурации вертикально-ориентированных ламелей меняют характер распределения освещенности по площади помещения, концентрируя световой поток по направлению раскрытия шторок. На данный момент алгоритмические методы моделирования подобных систем не согласованы с требованиями нормативного законодательства. Требуется согласование как климатологических данных местности, так и самого алгоритма расчета. Тем не менее, среда программы Rhino может быть использована для создания уточненных моделей, для чего необходимо проведение натурных испытаний и согласование их результатов с выходными данными автоматизированного расчета, что изложено в диссертационной работе [9]. Возможно дальнейшее совершенствование работы скрипта для моделирования активно-адаптивных (динамических) систем.

По результатам работы можно сделать следующие *выводы*:

1. Использование среды ПО Rhino возможно для моделирования и расчета освещенности при различных характеристиках СЗУ, результаты могут использоваться для аналитической оценки характера затенения, создаваемых конструкцией;

2. Для уточнения результатов автоматизированного расчета необходим ручной расчет и корректировка вводных данных, ввиду отсутствия согласования с методами, регламентированными действующими нормативными документами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Моргунова М.А. Влияние особенностей климата Российской Федерации и ориентации здания на выбор типа стационарного солнцезащитного устройства //Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. – №. 4. – С. 50–57.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
3. СП.50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
4. СП 370.1325800.2017. Устройства солнцезащиты зданий.
5. Aksamija A. Methods for integrating parametric design with building performance analysis //ARCC Conference Repository. – 2018
6. ASHRAE – International Weather for Energy Calculations [Электронный ресурс]: база данных климатологических условий городов – Режим доступа: <https://www.rhino3d.com/> (дата обращения: 04.03.2022).
7. Carletti C., Scurpi F., Pierangioli L. The energy upgrading of existing buildings: Window and shading device typologies for energy efficiency refurbishment //Sustainability. – 2014. – Т. 6. – №. 8. – С. 5354–5377.
8. Philipp Galvan Design [Электронный ресурс]: обучающие материалы по разработке алгоритмов параметрического моделирования – Режим доступа: <https://www.philippgalvan.co.uk/> (дата обращения: 02.03.2022).
9. Ricci A. et al. Development of a self-sufficient dynamic façade within the context of climate change //Architectural Science Review. – 2021. – Т. 64. –№ 1–2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ  
ВСТРОЕННОГО ФИТНЕС-ЦЕНТРА

*Цель работы* – определить минимальный набор функциональных зон и их взаимосвязь для формирования конкурентноспособного фитнес-центра ограниченной площади, размещаемого в составе здания апартамент-отеля.

Культура фитнес-центров в России зародилась не так давно, первый фитнес клуб был открыт в ноябре 1990 года в Санкт-Петербурге [1]. Однако, свою популярность среди населения данная культура уже получила. В нормативной документации по проектированию есть требования по формированию спортивных сооружений, физкультурно-спортивных залов [3-5]. Определение такого понятия, как фитнес-центр в ней появилось недавно, в статье 30.1. Фитнес-центры, введенной Федеральным законом от 02.08.2019 № 303-ФЗ, однако оно не отражает в полной мере современных тенденций в проектировании данных объектов [2]. Рекомендации по составу помещений фитнес-центра [3] не отличаются от состава помещений физкультурно-оздоровительного комплекса, проектируемых несколько десятков лет назад. Стоит отметить различие между этими понятиями в вариативности спортивно-оздоровительных услуг и доступности маломобильным группам населения, предоставляемых в настоящее время фитнес-центрами. Вариативность функциональных возможностей заключается в гибкости использования зальных помещений для различных целей в течение одного дня и в наличии числа коммерческих и неспортивных помещений [6].

Следствием данной ситуации является отсутствие четких требований по формированию функционально-планировочных решений, минимально необходимого состава зон фитнес-центра в современное время.

Фитнес-центр по виду размещения может быть реализован в виде самостоятельной, приспособленной и встроенной модели [7]. Встроенная модель фитнес-центра отличается ограниченной площадью из-за необходимости разместиться в арендуемые помещения здания общественного назначения. По данной причине отсутствует возможность реализации полного объема всех функциональных зон самостоятельной модели. Однако, встроенная модель должна включать в себя ряд минимально необходимых зон. Для составления данных требований проведем сравнительный анализ в табл. 1 различных успешно существующих фитнес-центров, чтобы определить ряд необходимых функциональных зон.

Рассмотрим примеры реализованных встроенных моделей фитнес центров в г. Санкт-Петербург, пользующихся спросом согласно экспертной оценке журнала Expertology [8].

Таблица 1 – Функциональные зоны встроенных фитнес центров

№	Встроенный фитнес-центр (ФЦ)	Функциональные зоны	Общая площадь, м <sup>2</sup>
1	ФЦ по адресу: Невский пр., 114	Спортивные: тренажерный зал, зона групповых тренировок. Оздоровительные: финская сауна, солярий, массажный кабинет. Доп. услуги: фитнес-бар, магазин спорттоваров.	1500
2	ФЦ по адресу: ул. Народная, 4	Спортивные: тренажерный зал, зона групповых тренировок, зона единоборств. Оздоровительные: солярий, массажный кабинет. Доп. услуги: магазин спорттоваров.	700
3	ФЦ по адресу: пр. Науки, 10	Основные: тренажерный зал, зона групповых тренировок, зона единоборств. Оздоровительные: финская сауна. Доп. услуги: фитнес-бар.	1000



Можно сделать вывод, что для устройства фитнес-центра в составе другого здания необходимая площадь, как правило, должна быть в среднем 1000 м<sup>2</sup>. Такая площадь позволяет учесть все минимально необходимые зоны для фитнес-центра. В эту площадь должны войти зоны входной группы, раздевальных, спортивных залов разной направленности, оздоровительных, административных и коммерческих помещений неспортивного характера.

Минимальный набор функциональных зон встроенного фитнес-центра обязательно включает в себя тренажерный зал, где реализуются силовые и кардиотренировки, универсальные залы для проведения групповых занятий. Эти зоны являются наиболее востребованными среди посетителей фитнес-центров [9].

Оздоровительные услуги могут быть представлены в виде сауны, хамама, солярия, массажных кабинетов. Уровень комфорта повышается за счёт дополнительных услуг, которые являются неотъемлемой частью фитнес центра. Дополнительные услуги стоит представить в виде магазина спорттоваров и при возможности реализовать фитнес-бар или ресторан.

Учитывая данные рекомендации составлено зонирование встроенного фитнес центра в апартамент отеле рис. 1 и 2.



Рис. 1. Функциональные зоны 1-го этажа апартамент отеля



Рис. 2. Функциональные зоны 2-го этажа апартамент-отеля

Встроенный фитнес-центр было принято расположить на первом и втором этаже апартамент отеля для возможности реализации функционального блока с бассейном в пристроенной части. В общую площадь фитнес центра вошли зоны тренажерного зала и бассейна с отдельными раздевальными. Коммерческим помещением является магазин спорттоваров, доступ к которому осуществлен через входную группу фитнес-центра.

Оздоровительные услуги разделены по этажам. В зоне бассейна расположены финская сауна и хамам. На втором этаже реализованы СПА-услуги в виде массажного кабинета, солярия.

Планировочные решения отдельных зон в составе фитнес-центра, таких как тренажерный зал, СПА следует осуществлять согласно существующей нормативной документации для этих зон.

В ходе проделанной работы был выявлен минимальный необходимый состав функциональных зон встроенного фитнес-центра, на основе существующих успешных объектов. На основании выявленных рекомендаций было составлено зонирование фитнес-центра в объеме общественного здания.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Журнал «Коммерсантъ Секрет Фирмы» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/858713> (Дата обращения 05.03.2022); Коваленко Е., Тыдыкова Н. О проблемах использования термина «фитнес» в законодательстве Российской Федерации //Юрислингвистика. – 2020. – №. 18 (29); Пособие к МГСН 4.08-97. Массовые типы физкультурно-оздоровительных учреждений. Вып. 3. Специализированные спортклубы; СП 31-112-2004. Физкультурно-спортивные залы. Часть 1; СП 332.1325800.2017. Спортивные сооружения. Правила проектирования (с Изменением N 1); Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И. Архитектурно-планировочные принципы организации фитнес-центров //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2019. – №. 10. – С. 84–92; Козлов К.В. Функционально-планировочная организация современных фитнес-центров на примере Санкт-Петербурга //Вестник гражданских инженеров. – 2020. – №. 3. – С. 21–30; Журнал Expertology [Электронный ресурс]. URL: <http://surf.li/bmkig> (Дата обращения 05.03.2022). Смирнов С.И. Исследование некоторых критериев сферы фитнес-услуг //Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2011. – Т. 80. – №. 10. – С. 170–173.

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства .....</b>	<b>3</b>
<b>Секция «Дороги автомобильные, мосты и транспортные тоннели».....</b>	<b>3</b>
<i>Пахомов Е.А., Демидова В.К., Аверченко Г.А.</i> Анализ расчета армированных деревянных балок арматурой, работающих в среде с повышенной влажностью и температурой .....	3
<i>Гулаков В.С., Шушляков Р.С., Аверченко Г.А.</i> Снижение материалоемкости несущих конструкций временных сооружений для транспортного строительства.....	5
<i>Вуколов С.А., Светлов Л.П., Алексеев С.В.</i> Проблемы глобального потепления климата и их влияние на временные мостовые сооружения и ледяные переправы .....	8
<i>Бельский Е.И. Магомадов И.Р., Трепалин В.А., Алексеев С.В., Уколов С.А.</i> Обеспечение автомобильных дорог альтернативными источниками тепла .....	11
<i>Цой П.С., Макаров Л.С., Аверченко Г.А.</i> Усиление перекрытий и пролетных строений мостов стеклопластиковой арматурой под автомобильную нагрузку.....	14
<i>Бердник А.В., Шевченко С.М., Черемонцева Е.В., Алексеев С.В., Уколов С.А.</i> Повышение безопасности дорожного движения на основе концепции blue ocean .....	17
<i>Железнов С.А., Бирюков О.Р., Уколов С.А., Вуколов С.А.</i> Сравнительный анализ применения металлической и композитной арматуры в опорах мостов.....	20
<i>Новик В.А., Васюткин Е.С., Костюков И.И., Розанцева Н.В., Беркович Л.Г.</i> Сравнительный анализ отечественных опор наружного освещения.....	23
<i>Лукина К.А., Новик А.Н., Исмаилов А.М.</i> Анализ дорожных пропиточных составов на различных основах.....	26
<i>Voichenko K.V., Lukina K.A.</i> Assessing the strength of asphalt by adding crushed stone.....	29
<i>Кирсанов Д.А., Цвигун С.А., Олехнович Я. А</i> Выбор оптимальной методики мониторинга состояния автомобильных дорог.....	32
<i>Диденко С. С., Свальбова В. А., Новик А.Н., Симонов Д.Л.</i> Сравнение автодорожных водопропускных труб, выполненных из железобетона, гофрированного металла и композитных материалов .....	33
<i>Каюмов Т.Р., Бирюков О.Р.</i> Оценка прочности дорожной одежды при использовании метода холодной регенерации (ресайклинга) .....	36
<i>Ахмед Х.А., Трепалин В.А., Алексеев С.В.</i> Анализ организации и технологии ремонта городских дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей в условиях перевозки к месту укладки .....	38
<i>Борисова А.В., Бирюков О.Р., Самойлов К.А.</i> Организация среды общих данных для работы с BIM-моделями.....	41
<i>Марченко Е.С., Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Симонов Д.Л.</i> Сравнение физических и эксплуатационных свойств добавок VIATOR-premium и VIATOR-66 в щебеночно-мастичном асфальтобетоне .....	43
<i>Аблязова И.В., Новик А.Н.</i> Актуальные вопросы своевременного восстановления слоя износа дорожного покрытия .....	46
<i>Егоров К.К., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А.</i> Анализ зарубежного и российского опыта применения противогололедных материалов .....	48
<i>Ермошин Н.А., Змеева А.А., Крутько А.С., Бирюков О.Р.</i> Имитационная модель определения сроков и повышения качества проектов строительства .....	52
<i>Самойлов К.А. Борисова А.В. Алексеев С.В.</i> Концепция адаптивного пешеходного перехода .....	54
<i>Шакиров Л. А., Уколов С.А, Трепалин В.А.</i> Обоснование эксплуатационных характеристик дорожного покрытия из солнечных панелей.....	57

<i>Цой П.С., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А.</i> Использование битумно-эмульсионной технологии SLURRY SEAL для повышения срока службы дорожного покрытия.....	60
<i>Федосеев Н.А., Алексеев С.В., Симонов Д.Л.</i> Область использования мобильных дорожных покрытий .....	63
<i>Асташков А.А., Ермошин Н.А.</i> Графо-аналитический способ определения периодичности контроля дорожно-строительных работ .....	66
<i>Аверьянов Д.А., Ермошин Н.А.</i> Методика расчета конструкций армированных дорожных одежд при восстановлении отдельных участков автомобильных дорог .....	68
<i>Трифонов А.А.</i> Особенности применения геосинтетических материалов для армирования земляного полотна автомобильной дороги .....	70
<i>Рейтер Г.П., Бирюков О.Р., Алексеев С.В.</i> Оценка эффективности технологии уплотнения земляного полотна .....	73
<i>Коробова Е.Д., Алексеев С.В., Шевченко С.М.</i> Использование демпферов в мостостроении .....	76
<i>Федосеев Н.А., Симонов А.А., Алексеев С.В., Шевченко С.М.</i> Экономическая составляющая применения мобильных дорожных покрытий.....	79
<i>Забегалов А.Ю., Шевченко С.М., Алексеев С.В., Федосеев Н.А.</i> Определение толщины защитного слоя бетона для композитной арматуры в несущих конструкциях искусственных сооружений .....	82
<i>Ермошин Н.А., Ковтун И.В., Бирюков О.Р.</i> Методика оценки инновационных рисков в дорожном строительстве .....	84
<i>Петрушенко И.А., Уколов С.А., Трепалин В.А.</i> Сравнение методов определения уровня обслуживания движения автомобильной дороги, применяемых в Испании и России.....	87
<i>Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Исмаилов А.М., Ермошин Н.А.</i> Влияние количества стабилизирующей добавки на показатель стекания вяжущего в щебеночно-мастичном асфальтобетоне.....	89
<i>Баранова Д.А., Алексеев С.В., Симонов Д.Л., Федосеев Н.А.</i> Особенности конструкций вантовых мостов.....	93
<i>Магомадов И.Р., Бельский Е.И., Бирюков О.Р., Алексеев С.В.</i> Укрепление непрочных грунтов способом глубинной стабилизации .....	96
<i>Шакиров Л.А., Уколов С.А., Трепалин В.А.</i> Обоснование района использования покрытия тротуаров из солнечных панелей .....	99
<i>Гурьянов В.А., Шевченко С.М., Уколов С.А.</i> Контроль выполнения строительно-монтажных работ с применением БПЛА.....	102
<i>Гребенюк Е.А., Новик А.Н.</i> Анализ пригодности открытых моделей рельефа WORLDDEM для моделирования автомобильных дорог .....	104
<i>Аль Мсаджди С.А., Алексеев С.В., Симонов Д.Л.</i> Анализ влияния климатических факторов на свойства асфальтобетона.....	107
<i>Ахмадулина В.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В.</i> Оценка эффективности комплексной механизации строительства автомобильной дороги .....	109
<i>Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Талипова Л.В., Аверченко Г.А.</i> Способы уменьшения транспортных рисков на автомобильных дорогах.....	112
<i>Курушина С.А., Трепалин В.А.</i> Сравнение физико-химических свойств полимерно-битумных вяжущих и битумов нефтяных дорожных.....	115
<i>Морозова Е.В., Пестова Д.Н., Талипова Л.В.</i> Составление проектов организации дорожного движения с использованием современных программных комплексов.....	117
<i>Митин А.А., Киселёв С.В., Гац В.Е., Талипова Л.В.</i> Сравнительный анализ программного обеспечения для обработки результатов лазерного сканирования .....	120

<i>Макаров Л.С., Алексеев С.В.</i> Использование современных материалов при строительстве опор путепроводов .....	122
<i>Ефимов Д.А., Алексеев С.В., Симонов Д.Л.</i> Техника, используемая для устройства земляного полотна .....	125
<i>Арсеньева М.Н., Бирюков О.Р.</i> Оценка эффективности реконструкции автомобильных дорог .....	127
<i>Алексеев С.В., Исмаилов А.М., Симонов Д.Л.</i> Оценка влияния добавок на основе полифосфорной кислоты на устойчивость битумов к старению .....	129
<i>Соколова А.С., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А., Вуколов С.А.</i> Анализ особенностей строительства автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты .....	132
<i>Пепина Л.А., Шевченко С.М., Алексеев С.В.</i> Влияние шумовой продольной полосы на безопасность дорожного движения .....	135
<i>Крыль О.Б.</i> Методика обоснования организационно-штатной структуры мостостроительной организации .....	137
<b>Секция «Технология, организация и экономика строительства».....</b>	<b>141</b>
<i>Счастливая А.В., Мишакова А.В.</i> Экономическое обоснование целесообразности использования несъемной опалубки для уменьшения срока строительства объекта .....	141
<i>Аушева К.В., Петроченко М.В.</i> Определение алгоритма оценки эффективности модульного строительства .....	143
<i>Бережная А.Г., Городишенина А.Ю., Заводнова Е.Б.</i> Фиброцементные панели фирмы КМЕТ для облицовки НВФ высотного здания .....	145
<i>Батуева Е.М., Стрелец К.И.</i> Подбор оптимальной светопрозрачной конструкции для высотного здания в г. Санкт-Петербург .....	148
<i>Белова Е.И., Олехнович Я.А.</i> Сравнение сметной стоимости строительства жилого многоэтажного дома с использованием различных технологий .....	150
<i>Болобан С.А., Гамаюнова О.С.</i> Современные решения в остеклении фасадов общественных зданий .....	153
<i>Гераськина И.Е., Радаев А.Е.</i> Обоснование характеристик технологических ресурсов строительства с использованием средств мелко-линейного программирования .....	156
<i>Гапоненко Г.С., Солдатенко Т.Н.</i> Выбор оптимального варианта гидроизоляционного материала для устройства кровли .....	159
<i>Гогина В.А.</i> Оценка строительного процесса с помощью критериев эффективности инвестиционно-строительных проектов .....	161
<i>Горшков А.М., Корсун В.И.</i> Оценка экономической эффективности применения современных технологий гидроизоляционной защиты оболочек железобетонных башенных градирен .....	163
<i>Гузеева А.В., Овчинникова В.И., Шевченко С.М.</i> Стоимость предпроектных проработок объектов капитального строительства .....	166
<i>Данцев Н.Г., Ермошин Н.А.</i> Концептуальный подход к интегральной оценке стоимости строительного проекта .....	169
<i>Громыко П.А., Демидова Ю.А., Дуванова К.Н., Кузнецов М.В.</i> Сравнительный анализ программного обеспечения для организации управления качеством строительных проектов ...	172
<i>Демьшева А.А., Городишенина А.Ю., Е.Б. Заводнова Е.Б.</i> Энергоэффективность зданий с применением «зеленой кровли» .....	174
<i>Денисова Е.Г., Птухина И.С.</i> Влияние устройства подземной части здания на окружающую застройку .....	176
<i>Демидова Ю.А., Кротов О.М., Громыко П.А.</i> Распределение основных рисков при государственно-частном партнерстве .....	179
<i>Зарипова П.Р., Гамаюнова О.С.</i> Формула энергоэффективного остекления .....	181

<i>Иванов Е.Ю., Зимин С.С.</i> Выбор оптимального конструктивного решения стропильной фермы .....	184
<i>Ким А.Ч., Гамаюнова О.С.</i> Энергоэффективное панорамное остекление высотного здания .....	186
<i>Ковтун А.В., Андреева Д.С.</i> Многозональные аддитивные вентилируемые фасады высотных зданий.....	188
<i>Кротов О.М., Демидова Ю.А.</i> Применение мобильных строительных 3D-принтеров на практике .....	190
<i>Ли С.В., Гамаюнова О.С.</i> Использование системы «diagrid» в фасадном остеклении.....	192
<i>Мальчева А., Олехнович Я.А.</i> Применение композитной арматуры. Её преимущества и недостатки .....	194
<i>Мамаева Е.А., Городишенина А.Ю., Заводнова Е.Б.</i> Подбор оптимальной ограждающей конструкции для высотного здания при строительстве в г. Санкт-Петербург.....	196
<i>Мотылев Р.В., Дуюков Т.Т.</i> Особенности применения технологии монолитного пенобетона в условиях крайнего севера .....	199
<i>Наурусова А.И., Стрелец К.И.</i> Улучшение микроклимата в здании путём использования вертикального озеленения .....	201
<i>Обвинцева Е.О., Городишенина А.Ю.</i> Теплотехнический анализ конструкции зеленого фасада, устанавливаемой в городе Санкт-Петербург.....	204
<i>Овчинникова В.И., Гузеева А.В., Радаев А.Е.</i> Обоснование характеристик технологического процесса строительства на основе квадратичной оптимизации .....	206
<i>Оскина Е.А., Яваров А.В.</i> Эффективный метод закрепления грунтов в условиях Крайнего Севера.....	209
<i>Панченко А.С., Гогина В.А., Птухина И.С.</i> Оценка рационального вложения денежных средств в инвестиционно-строительный проект .....	211
<i>Панченко А.С.</i> Комплексная оценка критериев надежности организации методом приведения их к взаимосвязанной системе .....	214
<i>Пискун А.С., Астафьева Н.С.</i> Применение классификаторов строительной информации в проектировании фармацевтических заводов .....	217
<i>Поветьев Ф.С., Птухина И.С.</i> Анализ экономической эффективности мер по улучшению условий труда в строительной отрасли .....	219
<i>Полюх А.А., Талипова Л.В.</i> Применение инверсионной кровельной системы в Санкт-Петербурге .....	222
<i>Ринейская А.А., Колосов Е.С.</i> Определение оптимального способа прокладки магистральных нефтепроводов с точки зрения температурных взаимодействий с мёрзлыми грунтами основания.....	225
<i>Ринейская А.А., Колосова Н.Б.</i> Влияние восстановления мохового слоя при подземном способе установки газо- и нефтепроводов в условиях вечной мерзлоты.....	228
<i>Рожина М.Д., Сафошкин М.А., Бардина Г.А.</i> Эффективность программ поддержки инвесторов по сохранению ОКН в России .....	231
<i>Саматова В.М., Гамаюнова О.С.</i> Энергоэффективность высотного бизнес-центра с применением технологии «зеленая кровля».....	234
<i>Семенов М.А., Солдатенко Т.Н.</i> Выбор оптимальной системы медиафасада высотного здания .....	236
<i>Сиротина А.Д., Заводнова Е.Б.</i> Оценка критериев оптимизации вариантного проектирования календарного плана .....	238
<i>Степанов А.А., Городишенина А.Ю., Заводнова Е.Б.</i> Применение фотоэлектрических фасадных систем в высотном строительстве .....	241

<i>Тарханова С.А., Солдатенко Т.Н.</i> Расчет основных показателей экономической эффективности строительства бизнес-центра .....	244
<i>Фомин Н.В., Колосова Н.Б.</i> Определение оптимальных способов механизации при устройстве модульных фасадов высотных зданий .....	246
<i>Черепанов Ю.В., Жукова А.А., Андреева Д.С.</i> Выбор оптимальной технологии производства smart-остекление для высотных зданий гостиниц в городе Санкт-Петербург .....	249
<i>Хасанова Э.Р., Мухина А.В., Стрелец К.И.</i> Количественная оценка выбросов парниковых газов при применении сборных элементов в строительстве .....	252
<i>Черенева А.А., Радаев А.Е.</i> Оптимизационная модель обоснования характеристик организационно-технологических решений для снижения влияния рисков на результаты реализации строительства .....	255
<i>Черных А.А., Терех М.Д.</i> Картирование потока создания ценности для совершенствования управления строительным производством .....	258
<i>Черных А.А., Терех М.Д.</i> Инструменты бережливого производства в строительстве .....	260
<i>Шамелашивили Н.А., Птухина И.С.</i> Эффективность управленческих решений строительства логистических объектов .....	264
<i>Шклярова А.С., Солдатенко Т.Н.</i> Организация офисного пространства .....	266
<i>Шуришин Е.А., Беляева С.В.</i> Методы уменьшения газовых выбросов при производстве керамики .....	270
<i>Щукин А.Ю.</i> Сравнительный анализ битумных мембран, рулонных и обмазочных гидроизоляций .....	272
<b>Секция «Проектирование и расчет строительных конструкций и оснований» .....</b>	<b>275</b>
<i>Дмитриева С.А., Кулибаба А.В., Корсун В.И.</i> Температурные усилия в железобетонных оболочках сооружений в условиях неравномерного нагрева различной длительности .....	275
<i>Яваров А.В., Шашкин К.Г., Новиков А.Ю., Шаповалова С.Н.</i> Определение коэффициентов несущей способности основания с использованием предельного анализа .....	278
<i>Школяр Ф.С., Тяпкина П.А.</i> Сравнение методов расчета осадки свайного фундамента .....	281
<i>Семенов К.В., Тяпкина П.А., Лебедева И.А.</i> Обеспечение термической трещиностойкости массивной бетонной плиты в зимних условиях .....	284
<i>Федорова А.А., Цыцыкова А.Б., Пестряков И.И., Ольшевский В.Я.</i> Использование метода экспресс оценки для новых звукоизолирующих конструкций .....	287
<i>Бондарь В.Т., Назмеева Т.В., Рыбаков В.А.</i> Напряженно-деформированное состояние стойки из спаренных вложенных друг в друга профилей .....	289
<i>Nepashev V.S., Mwila L.K.</i> Buckling of a Hinged Beam Bended by Following Potential Moments in Exact and Strong Linearized Formulation .....	292
<i>Страхов Д.А., Гизатуллина Д.З.</i> Эффективность применения высокопрочного бетона в изгибаемых элементах .....	295
<i>Соколов Н.Н., Дьяков С.Ф.</i> Влияние различных жесткостей соединений перекрестноклееных панелей в многоэтажном здании на распределение внутренних усилий .....	298
<i>Косачёва С., Недвига Е.С.</i> Каркасно-ствольная система как наиболее эффективная среди двухкомпонентных ствольных систем .....	300
<i>Ибрагимов Т.Р., Багаутдинов Р.И., Лалин В.В.</i> Оптимизация стержневых конструкций с варьированием жесткостей элементов и соединений .....	303
<i>Лалин В.В., Рыбаков В.А., Сабуров Д.А., Печерских М.Н.</i> Учет инерции вращения в расчетах собственных частот балок .....	305
<i>Лебедева А.А., Лалин В.В.</i> Взаимосвязь равнопрочных пролетных и пролетно-консольных стержневых систем и объемно-планировочных решений .....	308
<i>Шакирова Р.М., Лалин В.В.</i> Управление объемно-планировочными решениями через предельное состояние равнопрочных пролетных плит с консолями .....	310

<i>Алексеев Д.П.</i> Сравнительный анализ физико-механических характеристик стали RW 420 и других марок .....	312
<i>Смирный В.Д.</i> Сравнение металлоемкости стальных пространственных сетчатых покрытий .....	313
<i>Мулюкова А.Ф., Школяр Ф.С.</i> Оптимизация проектного решения конструкции большепролетного купола .....	316
<i>Кулигин Д.Д., Школяр Ф.С.</i> Определение нормативного значения ветрового давления для различных периодов повторяемости без дополнительных статистических данных .....	319
<i>Дагаев В.А., Школяр Ф.С.</i> Построение конечно-элементной схемы вантового покрытия двойкой кривизны с помощью GRASSHOPPER .....	322
<i>Шевчук О.В.</i> Оценка влияния учета генетической, конструктивной и физической нелинейностей на напряжённо-деформированное состояние плоской рамы .....	325
<i>Яваров А.В., Румянцев А.Е., Головченко Ю.Ю., Трофимов А.В., Морозов Н.В.</i> Новая усиленная конструкция горизонтальной переемычки рудоспуска .....	328
<i>Галямичев А.В., Гроссман А.М.</i> Потеря местной устойчивости сечения светопрозрачной алюминиевой конструкции .....	331
<i>Гусев К.В., Галямичев А.В., Зданчук Е.В.</i> Сравнение ветровых воздействий на фасадное остекление на основании математического моделирования и нормативных требований .....	334
<i>Галямичев А.В., Лысенко Д.А.</i> Экспериментальное исследование элементов облицовки фасада натуральным камнем .....	337
<i>Москалёва А.А., Зимин С.С.</i> Сравнение методов расчета каркасного железобетонного здания на прогрессирующее обрушение .....	339
<i>Поваляев И.И., Зимин С.С.</i> Влияние коэффициента пустотности на несущую способность трубобетонных конструкций с двойной оболочкой .....	342
<i>Гапоненко Б.О., Зимин С.С.</i> Подбор оптимальной конструкции аутриггерной системы для защиты высотного здания от прогрессирующего обрушения .....	345
<i>Чуднова Е.П., Абицев Е.Л.</i> Результат расчета деревянных балок с учетом совместной работы устроенной по ним железобетонной плиты .....	348
<i>Abioye A.H., Strelets K.I., Zimin S.S.</i> Design of High-Rise Buildings Using the Outrigger System of Design .....	351
<i>Abioye A.H.</i> Effects of Wind Actions on Civil Engineering Structures .....	353
<i>Юйвей Цю, Султанов Ш., Корсун В.И.</i> Определение звукоизоляционных характеристик материалов для межкомнатных перегородок .....	356
<b>Секция «Цифровое строительство зданий и сооружений» .....</b>	<b>359</b>
<i>Беляева Л.О., Гравит М.В.</i> Огнестойкость перекрытия с использованием системы огнестойкого подвесного потолка .....	359
<i>Богданов Д.В., Мишакова А.В.</i> Обзор и оценка современных программных комплексов для моделирования в сфере строительства .....	362
<i>Борисова М.Д., Поповцев В.Ф., Астафьева Н.С.</i> Строительный контроль с использованием технологий информационного моделирования .....	364
<i>Васильева М.В., Гаевская З.А., Шавва А.А.</i> Сравнение и выбор оптимальных фасадных решений для здания апартаментов высотой 125 м в городе Санкт-Петербург .....	367
<i>Виноградов В.Б., Занина А.Д.</i> Создание оптимальной планировки офиса с помощью концепции генеративного дизайна .....	369
<i>Глебова Е.А., Талипова Л.В., Петроченко М.В.</i> Анализ процесса редевелопмента в Санкт-Петербурге .....	372
<i>Груздева А.И., Петроченко М.В.</i> Анализ выбросов углекислого газа в фасадных конструкциях с использованием BIM-технологий .....	374
<i>Демидова Ю.А., Кротов О.М.</i> Оценка эффективности автоматизированной	



информационной системы комитета по строительству .....	377
<i>Донова Д.И., Терех М.Д.</i> Ключевые показатели и методы оценки качества зеленой инфраструктуры городов России .....	379
<i>Дровалева Е.А., Радаев А.Е.</i> Обоснование характеристик процесса материально-технического снабжения объектов строительства с использованием метода кусочно-линейной аппроксимации.....	382
<i>Жунусов М.М., Мишакова А.В.</i> Применение цифровых технологий для контроля качества и безопасности при возведении объектов капитального строительства .....	385
<i>Зуева А.М., Астафьева Н.С.</i> Анализ внедрения BIM-технологий в строительные организации .....	388
<i>Каримова А.А., Терех М.Д.</i> Оптимизационная модель обоснования уровня тепловой защиты зданий.....	391
<i>Птухина И.С., Шавва А.А., Князева А.С.</i> Моделирование ветрового воздействия с определением комфортной среды .....	393
<i>Кудрявцев В.С., Гравит М.В.</i> Сравнение предела огнестойкости железобетонной конструкции для стандартного и реального температурного режима .....	396
<i>Лемешко Р.А., Птухина И.С.</i> Процедура создания сводной модели проекта в рамках автоматизации процесса проектирования в среде BIM.....	399
<i>Лемешко Р.А., Птухина И.С.</i> Применение надстройки «Dynamo» для автоматизированного задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта в программе «Autodesk Revit» .....	401
<i>Медведева С.М., Петроченко М.В.</i> Оценка выбросов углекислого газа с использованием технологий информационного моделирования (BIM).....	403
<i>Михайловская Л.А., Гаевская З.А.</i> Оценка возможностей применения облачного сервиса Spacemaker Autodesk на ранней стадии проектирования зданий.....	406
<i>Морозова Е.В., Талипова Л.В.</i> Выбор программных комплексов для акустического моделирования конференц-залов .....	409
<i>Морозова Д.Г., Бородинец А.</i> 3D моделирование для определения оптимальных решений по производству возобновляемой энергии .....	412
<i>Морозова Д.Г., Бородинец А.</i> Влияние наружных конструкций остекления и ориентация на энергопотребление здания.....	415
<i>Мохирева А.О., Недвига П.Н., Иванова Е.И.</i> Перевод нормативно-технической документации раздела «Архитектурные решения» в машиночитаемое описание.....	418
<i>Муравьева М.Д., Короткова А.С.</i> Создание приложения с использованием иммерсивных технологий для эксплуатации зданий .....	420
<i>Мясникова Е.П.</i> Возможности применения цифровых технологий в индустриальном строительстве .....	423
<i>Нахимовский А.И., Гравит М.В.</i> Расчет пределов огнестойкости плиты перекрытия пожарного отсека, разделяющей объема высотного здания и встроенной подземной автостоянки.....	425
<i>Астафьева Н.С., Никашина А.С., Федухина Н.В.</i> Изучение интероперабельности программных комплексов для BIM-проектирования железобетонных конструкций .....	428
<i>Николаева Ю.К., Петроченко М.В.</i> Цифровые технологии для оценки качества проектной документации .....	431
<i>Оминин С.В., Олехнович Я.А.</i> Сравнение способов получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических .....	433
<i>Оминин С.В., Олехнович Я.А.</i> Влияние скорости полета БПЛА и качества снимков на время работы при фотограмметрии существующего здания .....	436

<i>Опанасенко И.А., Радаев А.Е.</i> Обоснование характеристик технологического процесса строительства при параллельно-поточном методе организации работ в условиях временных ограничений .....	438
<i>Павлова Н.Ю., Радаев А.Е.</i> Обоснование характеристик парка строительных машин с использованием средств стохастического программирования.....	440
<i>Попова У.С., Терех М.Д.</i> Пути развития кастомизации жилья на Российском рынке недвижимости.....	443
<i>Садкова Ю.Д., Петроченко М.В.</i> Оценка качества календарного плана строительства .....	446
<i>Салосин А.С., Кукина А.А.</i> Создание прототипа VR-тренажера на примере проекта котельной.....	448
<i>Слизова С.А., Кукина А.А.</i> Методы оптимизации временного ресурса при разработке раздела «Архитектурные решения» на основе программного обеспечения «Autodesk Revit» .....	451
<i>Султанов Ш., Кукина А.А.</i> Оптимизация экспорта пользовательских параметров инфраструктурной BIM-модели в IFC формат .....	454
<i>Ольшевский А.П., Тушкова О.К., Заборова Д.Д., Стрелец К.И.</i> Применение метода Фангера для оценки микроклимата аудиторий политехнического университета.....	456
<i>Чумаков И.В., Занина А.Д.</i> Автоматизированный Расчёт инсоляции в программном комплексе Rhinoceros.....	459
<i>Шабунина Д.Е., Гравит М.В.</i> Прочностные характеристики стальных конструкций морских сооружений в условиях огневого воздействия .....	462
<i>Шерстюк В.В., Войтенко М.М., Талипова Л.В.</i> Совместная работа Autodesk Revit и Rhinoceros на примере моделирования фасадных конструкций .....	465
<i>Шестаков Д.А., Савчиков А.В., Занина А.Д.</i> Применение технологий параметрического моделирования при разработке солнцезащиты фасадов зданий .....	468
<i>Савчиков А.В., Шестаков Д.А., Занина А.Д.</i> Определение функционально-планировочных решений встроенного фитнес-центра .....	471

# НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов  
Всероссийской конференции

4–10 апреля 2022 года

Часть 2

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

---

Подписано в печать 27.04.2022. Формат 60×84/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 30,25. Тираж 52. Заказ 2031.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета,  
предоставленного организационным комитетом конференции,  
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.  
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.