ПОЛИТЕХ
Инженерно-строительный институт

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов Всероссийской конференции 26–30 апреля 2021 года

Часть 2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов
Всероссийской конференции

26–30 апреля 2021 года

Часть 2

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2021

УДК 69:624:625:626:627
ББК 38
Н42

Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции, 26–30 апреля 2021 г. В 3 ч. Ч. 2. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 502 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Петра Великого, 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, учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Редакционная коллегия
Инженерно-строительного института СПбПУ:

Г. Л. Козинец (и. о. директора 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 978-5-7422-7298-4 (ч. 2)
ISBN 978-5-7422-7290-8

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021

ВЫСШАЯ ШКОЛА
ПРОМЫШЛЕННО-ГРАЖДАНСКОГО И ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

СЕКЦИЯ «ЦИФРОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 69.07

А.Х. Наджмудинов, С.С. Зимин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КУПОЛОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Целью данного исследования является оценка расчетными методами влияния температурно-климатических, снеговых, ветровых воздействий, а также собственный вес и вес от покрытия на характеристики НДС элементов сетчатых геодезических куполов и технико-экономическая обоснования применения этих куполов в условиях Крайнего Севера.

Территория Российской Федерации отличается большим разнообразием климатических условий для строительства, в том числе наиболее сложными, характерными для районов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Особенностью климата Крайнего Севера является его резкая континентальность, отличающаяся продолжительным зимним и коротким летним периодами [1].

На Крайнем Севере есть несколько городов, а население живет в общинах, поэтому он является самым малонаселенным регионом. Для того чтобы жители чувствовали перспективы экономического развития, необходимо осуществлять строительство как жилых, так социальных, культурных и административных объектов.

Для Арктической зоны характерны экстремальные климатические условия: отрицательная среднегодовая температура, полярные ночи, сильные ветры и метели [2]. Конструкция здания должна быть без температурных мостиков, через которые тепло мгновенно выходит из помещения.

Одним из решений выше обозначенных проблем в жилищном строительстве является геодезический купол (рис. 1), который имеет ряд преимуществ:

1. Купол является наиболее эффективной формой здания при ветровых и снеговых нагрузках, что было доказано во время смерчей ураганов;
2. Купол имеет наибольший объём при наименьшей площади поверхности;
3. Минимальны материалоемкость, трудоемкость и сроки возведения купола;
4. Меньше тепла поглощается летом, соответственно, снижаются (до 40%) расходы на обогрев и кондиционирование. А также через маленькую площадь поверхности проникает меньше звуков, что делает жизнь под куполом комфортнее;
5. Купольные конструкции намного легче, чем обычные прямоугольные здания, поэтому для них не нужен сложный фундамент.

Но на ровне с плюсами геодезических куполов также имеются и минусы данных построек:

1. Сложность расчетов. Геодезический купол нельзя чертить и рассчитывать только в двух плоскостях. Необходимо иметь хорошее пространственное воображение и неплохие познания в программах 3D-графики.
2. Это достаточно новый способ возведения зданий, поэтому нюансы и тонкости сооружения купольных конструкций не описаны в классической литературе по строительству и с ними не сталкиваются опытные строители в повседневной практике.

В данном исследовании рассматривалась геодезический купол с разными жесткостными характеристиками из таких материалов как, сталь, алюминий и древесина.

В работе были рассмотрены два варианта расчета:

1 Вариант: конструкция рассматривается в режиме эксплуатации, расчет производится по 1 и 2 группе предельных состояний, на воздействии постоянных, снеговых и ветровых нагрузок;

2 Вариант: конструкция рассматривается в режиме эксплуатации, расчет производится по 1 и 2 группе предельных состояний, на воздействии положительных и отрицательных температурно-климатических нагрузок.

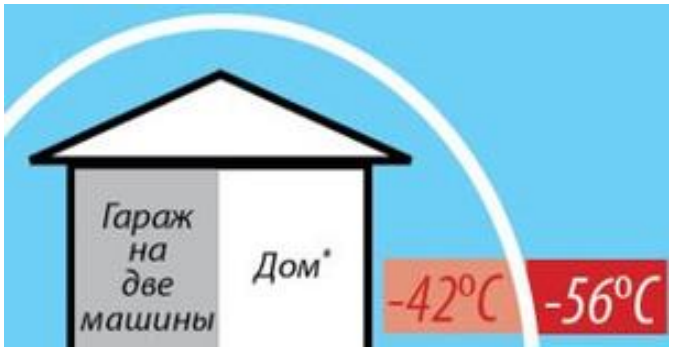


Рис. 1

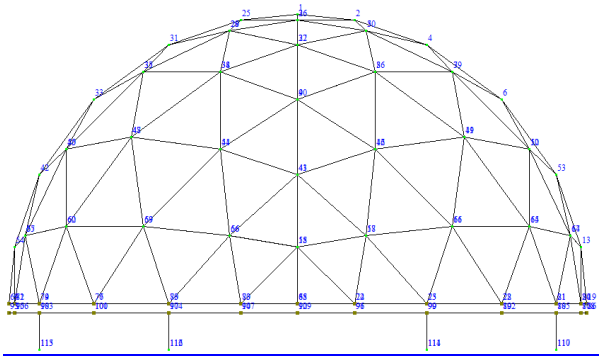


Рис. 2

Нормативные и расчетные значение снеговых, ветровых и температурно-климатических воздействий определено по [3] п.10, п.11 и п.13.

В качестве расчетной модели рассматривался пространственная стержневая модель с шарнирным соединением элементов. Купол – сетчатый геодезический, с частотой разбивки 6V (V-это частота триангуляции купола т.е. высота купола разбивается на 6 рядов), диаметр – 20 м, стрела подъема – 10 м. Разбивку сетки, основанную на фигуре – икосаэдр (см. рис.2.).

Для достижения данной цели в роли основного метода в данном исследовании было принято метод компьютерное моделирование конструкций. Расчет было выполнено в программный комплекс (ПК) ЛИРА-САПР, далее было произведено сравнительный анализ полученных результатов при двух варианта расчета (табл. 1).

Таблица 1

Материал	Варианты расчета	Анализ НДС	
		Перемещения по *Z*, мм	Усилия *N*, т
1. Сталь	Вариант 1	14,6	3,5
	Вариант 2	3,2	2,4
2. Алюминий	Вариант 1	19,6	3,7
	Вариант 2	6,4	2,01
3. Древесина	Вариант 1	3,7	4,1
	Вариант 2	0,9	2,6

По результатам расчета 1-го и 2-го варианта для элементов геодезического купола исходя из наиболее нагруженных элементов, было подобрано несколько разных сечений [4-6]. В окончательном варианте чтобы унифицировать все элементы выбрано только два сечения. А также была определена общая стоимость конструкций купола (табл. 2).

Таблица 2

№ п/п	Материал	Сечения элемента, мм	Общая стоимость в руб.
Элементы опорного кольца			
1	Сталь	Профиль прямоугольный гнутый замкнутый сварной 80×70×3 мм	7741,80
Остальные элементы			
2	Сталь	Профиль прямоугольный гнутый замкнутый сварной 80×60×2 мм	50609,96
		Итого:	58351,76
Элементы опорного кольца			
3	Алюминий	Профили прессованные прямоугольные полосообразного сечения b = 30 мм; h = 20 мм	3878,72
Остальные элементы			
4	Алюминий	Профили прессованные прямоугольные полосообразного сечения b = 30 мм; h = 20 мм	39940,4
		Итого:	43819,12
Элементы опорного кольца			
5	Древесина	Клееной древесины, состоящими из 6 досок сечением 26×110 мм	2392,92
Остальные элементы			
6	Древесина	Клееной древесины, состоящими из 4 досок сечением 26×110 мм	16523,73
		Итого:	18916,65

По результатам расчета и подбора сечений элементов конструкций геодезического купола с разными жесткостными характеристиками из таких материалов как, сталь, алюминий и древесина можно сделать следующие *выводы*:

1. Большие влияние на геодезические купола оказывают температурно-климатические воздействия.

2. Результаты расчетов показывают, что в первом варианте расчета вклад в напряженно-деформированное состояние элементов конструкций купола составляет: 20 % от собственный вес и вес от покрытия, 39,1 % от снеговых и 40,9 % от ветровых нагрузок. А на втором варианте расчета вклад в напряженно-деформированное состояние элементов конструкций купола составляет: 19,6 % от средняя температура в теплое время; 34 % от средняя температура в холодное время; 5,7 % от перепада температуры в теплое время и 40,7 % от перепада температуры в холодное время года.

3. По результатам статического и технико-экономического расчета сетчатого геодезического купола самым эффективным и экономичным для условия Крайнего Севера является деревянные купола, так как показывали вышеприведенные расчеты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Матвеева Н.А., Корсун В.И., Данилов Н.Д., Федотов П.А. Влияние температурных климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние наружных стен зданий в условиях Якутии. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. №3 (131) С. 30–35.
2. Клименко М.Ю., Царитова Н.Г., Чернушкина С.А. Перспективы использования геодезических куполов в условиях Арктики // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 61-7. С. 54-58.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
4. ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций.
5. ГОСТ 13616-97. Профили прессованные прямоугольные полосообразного сечения из алюминия, алюминиевых и магниевых сплавов.
6. ГОСТ 24454-80. Пиломатериалы хвойных пород.

УДК 69.003

В.А. Алиулова, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Введение. Понятие экономической эффективности проектной документации повторного использования напрямую связано с её качеством. На сегодняшний день экономически эффективными признаются проекты, в которых предусмотрены технические решения наиболее выигрышные в части энергоэффективности, по функциональным, техническим и экономическим показателям, позволяющие рационально использовать капитальные вложения, широко применять прогрессивные методы строительства [1, 3].

Критерии экономической эффективности, приведенные в Постановлении Правительства Российской Федерации от 12 ноября 2016 г. № 1159 «О критериях экономической эффективности проектной документации», являются достаточно субъективными и не имеют качественных и количественных характеристик [2]. Необходимо введение системы оценки качества проектной документации, которая позволит принимать решение о признании документации экономически эффективной документацией повторного использования [4]. Таким образом станет возможным выбор проектов для реализации их в качестве типовых с учетом комплексного сравнительного анализа различных проектных решений.

Целью данной статьи является представление системы оценки качества проектной документации повторного использования в графическом виде.

В качестве примера принимается проектная документация на строительство такого объекта капитального строительства, как школа. Для оценки экономической эффективности проекта выделяются три группы показателей качества: экономические, эксплуатационные и социальные (отличаются в зависимости от назначения объекта капитального строительства).

Эти группы располагаются в порядке ранжирования и имеют различные весовые коэффициенты, которые определяют степень влияния показателей качества на качество всей документации. Внутри каждой группы есть ряд критериев, которые будут оцениваться экспертами. Данные критерии также имеют различные весовые показатели, определенные методом экспертных оценок [5].

Показатель качества разработанной проектной документации Q вычисляется по формуле (1):

$$Q = \sqrt{\sum_{i=1}^{p} K_i \cdot A_i^2}\ ,\ i = 1,2,\ldots,p; \qquad (1)$$

где A_i – экспертная оценка в баллах по совокупности показателей качества i; p – количество групп, включающих в себя критерии качества; K_i – весовой коэффициент, определяющий степень влияния показателя качества на качество всей документации, значение определяется методом ранжирования ($K_1 = 0{,}5$, $K_2 = 0{,}3$, $K_3 = 0{,}2$).

Экспертная оценка A каждой группы показателей определяется по формуле (2):

$$A_i = \sqrt{\sum_{n=1}^{m} k_{in} \cdot a_{in}^2}\ ,\ n = 1,2,\ldots,m; \qquad (2)$$

где a_{in} – экспертная оценка в баллах в группе показателей i по критерию n $(0 \le a \le 5)$; m – количество критериев качества в группе показателей i; k_{in} – весовой коэффициент, определяющий степень влияния критерия качества n на экспертную оценку группы показателей.

Оцениваемые критерии качества с полученными в ходе анкетирования весовыми коэффициентами и возможными оценками экспертов по каждому из критериев приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пример возможной экспертной оценки качества проектных решений

Критерий качества	Оценка эксперта	Весовой коэффициент	Экспертная оценка группы показателей
Экономические показатели			
Стоимость строительства	$a_{11}=4$	$k_{11}=0,19$	$A_1=4,13$
Стоимость проектных работ	$a_{12}=3$	$k_{12}=0,15$	
Стоимость эксплуатации	$a_{13}=3$	$k_{13}=0,15$	
Продолжительность строительства	$a_{14}=5$	$k_{14}=0,19$	
Трудозатраты при строительстве	$a_{15}=5$	$k_{15}=0,16$	
Материалоемкость строительства	$a_{16}=4$	$k_{16}=0,16$	
Эксплуатационные показатели			
Расчетный срок эксплуатации здания	$a_{21}=4$	$k_{21}=0,21$	$A_2=4,20$
Площадь, приходящаяся на одного учащегося	$a_{22}=2$	$k_{22}=0,13$	
Энергоэффективность здания	$a_{23}=3$	$k_{23}=0,17$	
Конфигурация здания, которая позволяет быстро и безопасно его покинуть	$a_{24}=5$	$k_{24}=0,24$	
Применяемые в проекте материалы	$a_{25}=5$	$k_{25}=0,25$	
Социальные показатели			
Создание новых учебных мест	$a_{31}=5$	$k_{31}=0,26$	$A_3=3,85$
Создание новых рабочих мест	$a_{32}=5$	$k_{32}=0,17$	
Создание «доступной среды» для всех категорий граждан	$a_{33}=3$	$k_{33}=0,19$	
Благоустройство прилегающей территории	$a_{34}=3$	$k_{34}=0,20$	
Эргономика пространства	$a_{35}=2$	$k_{35}=0,18$	

Для того, чтобы наглядно оценить возможность признания документации экономически эффективной документацией повторного использования построим круговые диаграммы по данным группам показателей качества.

Каждая группа показателей на диаграмме обозначается в виде кругового сектора, где радиус сектора r_i определяется, как отношение экспертной оценки группы показателей к её максимальному значению по формуле (3), а центральный угол для *i*-ой группы показателей φ_i равен её весовому коэффициенту, выраженному в градусах (формула (4)). Относительный показатель качества проектной документации $Q_{отн}$ с геометрической точки зрения находится как радиус круга, площадь которого равна сумме площадей секторов диаграммы. Арифметически он вычисляется как средневзвешенное значение по формуле (5).

$$r_i = \frac{A_i}{A_{\max}},\ i=1,2,\ldots,p; \tag{3}$$

$$\varphi_i = 360^\circ \cdot K_i,\ i=1,2,\ldots,p; \tag{4}$$

$$Q_{отн} = \sqrt{\sum_{i=1}^{p} K_i \cdot r_i^2},\ i=1,2,\ldots,p; \tag{5}$$

В результате построений получаем диаграмму, изображенную на рисунке 1. Итоговый показатель качества показан черным цветом.

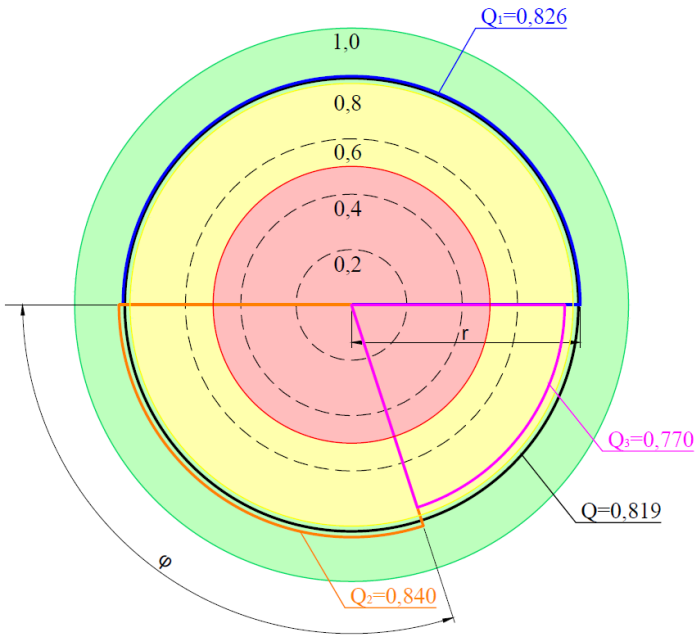


Рис. 1. Графическое представление уровня качества проектной документации

Выводы. В работе предложен подход к оценке экономической эффективности проектной документации посредством определения уровня её качества. Введение качественных и количественных критериев качества позволяют дать объективную комплексную оценку, а построение круговых диаграмм дает возможность получить наглядное представление об уровне качества проекта. На диаграмме цветом выделены 3 зоны. Попадание итогового показателя качества в красную зону ($Q_{отн} < 0,5$) говорит о том, что данный проект отклоняется, и документация не признается экономически эффективной, желтая зона ($0,5 \le Q_{отн} < 0,8$) дает возможность отправить проект на доработку, и если показатель качества попадает в зеленую зону ($Q_{отн} \ge 0,8$), то проект получает статус проекта повторного использования, а проектная документация на него признается экономически эффективной.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Башкирова Е.А., Кожевников И.В. Проблемы и перспективы применения экономически эффективной проектной документации в архитектурно-строительном проектировании // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. 2019. С. 578-583.
2. Васильева А.А. Особенности применения проектной документации повторного использования // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы X Международной научно-практической конференции. 2020. С. 645-648.
3. Познахирко Т.Ю., Топчий Д. В. Особенности внедрения BIM в процесс разработки проектной документации // Строительное производство. 2020. №1. С. 69–72.
4. Жалнина П.С. Прошлое и будущее типового проектирования // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2018. №3. С. 31-37.
5. Тухватуллин Р.Р. Методика расчета экономической эффективности внедрения методов автоматизированного проектирования типовых проектных решений // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2014. №1. С. 54-56.

УДК 62-529

К.В. Аушева, Э.А. Рубанова, А.М. Горшков, А.Ш. Спицкая, П.Д. Киселев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Актуальность. На сегодняшний день одной из ключевых тенденций нефтегазовой отрасли является процесс цифровизации производства [1]. Этот вектор определяет для компаний потребность во внедрении инновационных технологий, регулирующих экономическое, социальное и экологическое воздействия от производства.

В связи с этим возникает потребность в применении технологий, в совокупности обеспечивающих сбор информации для освоения арктических пространств и ресурсов, охрану объекта, а также безопасность для окружающей среды и конфиденциальность рабочего процесса.

Цель работы: Определение модификации беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для развития процессов цифровизации производства сжиженного природного газа (СПГ) в арктических условиях.

Задачи работы:

1. Подобрать БПЛА, обеспечивающий выполнение следующих работ:
   - поиск и изучение арктических ресурсов;
   - идентификация объектов, находящихся в Северном Ледовитом океане (СЛО);
   - контроль за состоянием трубопроводов;
   - мониторинг концентрации компонентов воздуха в районе производства.
2. Определить недостающий инструмент выбранного устройства для осуществления установленных работ.

Обзор научно-исследовательских работ в области цифровизации нефтегазодобывающей промышленности позволил выявить вектор развития применения БПЛА для СПГ производства.

Точность координат и снимков, получаемых с помощью БПЛА, позволяет построить достоверную пространственную геологическую модель [2]. Модель содержит всю необходимую информацию для освоения найденных ресурсов: стратиграфические горизонты, осадочные структуры, клиноформы, вариации мощности, ориентацию и расстояние трещин.

С помощью мультиспектральной камеры выполняется идентификация объектов в режиме реального времени, включая определение их точных координат и передачу данных на наземную станцию управления (НСУ) [3].

Транспортные средства и тяжелая техника представляют угрозу для нефтегазовой трубопроводной сети. Внештатные ситуации на линейных объектах нефтяной отрасли могут нанести серьезный ущерб экономике из-за потерь продукта и нарушения непрерывного процесса производства в смежных отраслях. Применение БПЛА обеспечивает надежность работы систем за счет оперативного получения информации о состоянии магистральных газопроводов и территории вдоль них.

Непредвиденные утечки газа и увеличение углеродного следа повышают концентрацию опасных и вредных компонентов воздуха [4]. Применение БПЛА для предотвращения чрезвычайной ситуации вследствие нарушения герметичности трубопроводов более безопасно в сравнении с визуальным обследованием. Использование БПЛА на аккумуляторных батареях гарантирует нулевой углеродный след.

Отобраны четыре модели устройств, применяемых на сегодняшний день в арктических условиях, для определения БПЛА, способного осуществить большинство поставленных задач.

Таблица 1 – Технические характеристики сравниваемых БПЛА

Наименование модели	Характеристики				
	Температура, °С	Максимальное время полета, ч	Скорость, км/ч	Высота, м	Дальность, км
Supercam X6M2	-40 ...+ 45	1,0	0 ÷ 60	50 ÷ 500	до 10
ПП-50	-40 ...+ 45	8,0	65 ÷ 120	100 ÷ 5000	до 100
ZALA 421-16E	-55 ...+ 40	10,5	65 ÷ 110	100 ÷ 5000	до 100
Supercam S350	–40 ...+ 40	4,5	65 ÷ 120	150 ÷ 5000	240

Таблица 2 – Функции, осуществляемые сравниваемыми БПЛА

Задача	Supercam X6M2	ПП-50	ZALA 421-16E	Supercam S350
Поиск и изучение арктических ресурсов	✓			✓
Идентификация объектов	✓			✓
Контроль состояния трубопроводов		✓	✓	
Мониторинг концентрации компонентов воздуха		✓	✓	✓

Согласно проведенному анализу, модель Supercam S350 обладает более высокими значениями технических параметров и обтекаемой формой, улучшающей его аэродинамические характеристики.

Supercam S350 обладает магнитометром для геологоразведки, лазерным газоанализатором, позволяющим осуществить мониторинг концентрации компонентов воздуха в районе производства, а также лазерным сканером и мультиспектральной камерой для идентификации объектов в СЛО. Данная модель является оптимальной.

Таблица 3 – Потенциальные риски внедряемой технологии

	Риски	Нивелирование		Риски	Нивелирование
Экономические	Операционный риск	Детальная проработка стратегии управления активами и расчетов потенциальных запасов	Технологические	Погрешности обработки данных, полученных с БПЛА	Разработка и усовершенствование программного обеспечения
	Инвестиционный риск	Объективная оценка технического задания		Сигнальные помехи	Установка спец. оборудования для расширения спектра передаваемого сигнала
	Повышение курса валют, удорожание БПЛА и комплектующих частей	Обращение к отечественным производителям		Сбои в работе оборудования	Своевременное проведение диагностики
Социальные	Отсутствие высококвалифицированного персонала	Проведение дополнительного обучения персонала		Аварии БПЛА из-за внешних воздействий	Вероятность крайне мала
	Ограничение полетов беспилотников в воздушном пространстве	Соответствие законодательству, регистрация и сертификация имеющихся БПЛА	Экологические	Утечка топлива	Проведение диагностики и своевременного ремонта

Для обеспечения контроля за состоянием трубопроводов устройство дополнительно снабжается тепловым инфракрасным датчиком (TIR). Датчик позволяет своевременно обнаруживать изменение температуры, включая обнаружение и мониторинг утечек в трубопроводах [5]. БПЛА в объединении с TIR-датчиком может работать в дневное и ночное время, независимо от влияния атмосферных явлений: облаков, дымки и дыма.

Интеграция TIR-датчика и Supercam S350 в результате дает модификацию, удовлетворяющую всем поставленным задачам.

В рамках исследования по обоснованию предлагаемого решения был проведен PEST-анализ для оценки рисков внедряемой технологии (табл. 3) [6].

Полученная модификация БПЛА позволяет осуществить геологоразведку в более сжатые сроки, что способствует повышению производительности.

Отслеживание точных координат объектов в реальном времени гарантирует конфиденциальность процесса и защиту объектов, находящихся в СЛО.

Применение БПЛА для мониторинга магистральных газопроводов обеспечивает экономическую эффективность СПГ производства и снижение экологических рисков благодаря мониторингу концентрации компонентов воздуха.

Модификация устройства за счет интеграции TIR-датчика и Supercam S350 способствует увеличению областей применения БПЛА в арктических условиях. Возможность осуществления установленных в процессе исследовании работ существенно влияет на развитие процессов цифровизации СПГ производства в арктических условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Линник Ю.Н., Кирюхин М.А. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Вестник университета. 2019. №7. С. 37–40.
2. Ознакомец В.В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Науки и технологии железных дорог. 2018. № 1 (5). С. 43–53.
3. Ознакомец В.В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. № 1 (30). С. 83–91.
4. Айроян З.А., Коркишко О.А., Сухарев Г.В. Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Инженерный вестник Дона. 2016. №4 (43). С. 179.
5. Wanasinghe Thumeera R. Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges // IEEE access.2020.V.8, p.166980-166997 (DOI: 50.1109/ACCESS.2020.3020593).
6. Tatum M., Liu J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction // Procedia Engineering. 2017. V.196, p.167-175 (DOI:10.1016/j.proeng.2017.07.187).

УДК 725.381.3

А.В. Бабушкина, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРКИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ведение. Выбор оптимального проектного решения паркинга должен удовлетворять требованиям, зачастую противоречащим друг другу: градостроительным, эксплуатационным, транспортным, санитарно-гигиеническим, экономическим, требованиям безопасности [1]. Выбор эффективного размещения парковочных мест на предоставленной площади паркинга с учетом требований по техническому заданию представляет собой сравнение различных вариантов объемно-планировочных решений [1, 2]. Получение количественных характеристик для сравнения методом прямого проектирования каждого возможного варианта размещения машино-мест является трудоемким процессом. Поэтому следует обозначить путь

для усовершенствования выбора размещения парковочных мест при помощи использования методов многокритериальной оптимизации.

Целью работы является повышение эффективности проектирования паркинга путем создания оптимизационной модели вариантного проектирования с применением линейного программирования.

Для применения метода математического моделирования процесс размещения машино-мест на предоставленной площади паркинга по требованиям нормативных документов и технического задания рассматривается в виде последовательных подпроцессов:

1. Выбор оптимального состава машино-мест на заданной площади паркинга;
2. Определение возможных вариантов расстановки выбранного состава машино-мест;
3. Анализ вариантов расстановки выбранного состава машино-мест и определение оптимального по заданный критериям.

Мерой оптимальности проектного решения расстановки машино-мест принимается наибольшая плотность заполнения паркинга *P*, которая определяется как отношение площади машино-мест к предоставленной площади паркинга [3, 4]:

$$P = \frac{S_{\text{м/м}}}{S}.$$

В ходе исследования математически доказано обеспечение наибольшей плотности заполнения предоставленной площади при расстановке машино-мест под углом 90°.

Подпроцесс № 1 представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, условие которой формируется следующим образом:

В паркинге предусматриваются машино-места с габаритами 5,3×2,5 м (Стандарт) и машино-места с учетом минимально допустимых зазоров безопасности с габаритами 6,0×3,6 м (для МГН). В целом требуется обеспечить не менее 50 машино-мест. Количество машино-мест для МГН должно составлять не менее 10 % от общего числа, но не менее одного машино-места [5]. При этом принят открытый надземный паркинг, площадь которого не должна превышать 2400 м^2, а на внутригаражные проезды (не занимаемая машинами площадь) отведено 80 % от общей площади машино-мест. Необходимо определить количество машино-мест каждого типа, при котором обеспечивается максимальное количество машино-мест и минимальная площадь паркинга.

Для формирование математического описания задачи вводятся неизвестные переменные и расчетные характеристики:

x_1 – количество машино-мест типа Стандарт, шт.;

x_2 – количество машино-мест для МГН, шт.;

5,3×2,5 = 13,25 м^2 – площадь машино-мест типа Стандарт, м^2;

6,0×3,6 = 21,6 м^2 – площадь машино-мест для МГН, м^2;

$13{,}25x_1 + 21{,}6x_2$ – площадь, занимая машино-местами, м^2;

$0{,}8(13{,}25x_1 + 21{,}6x_2)$ – площадь, занимая внутригаражными проездами, м^2;

$1{,}8(13{,}25x_1 + 21{,}6x_2)$ – площадь, занимая паркингом, м^2;

$x_2 \geq (x_1 + x_2)0{,}1$ – соотношение типов машино-мест, преобразовано к $x_1 - 9x_2 \leq 0$.

Оптимизационная модель для исходной постановки задачи обеспечивает стремление к максимальному количеству машино-мест и минимальной площади паркинга:

цель 1: $x_1 + x_2 \rightarrow \max$;

цель 2: $1{,}8(13{,}25x_1 + 21{,}6x_2) \rightarrow \min$;

при ограничениях:

$x_1 + x_2 \geq 50$ – количество машино-мест более 50;

$x_1 - 9x_2 \leq 0$ – количество машино-мест для МГН не менее 10% от общего количества;

$x_2 \geq 1$ – количество машино-мест для МГН не менее 1;

$1{,}8(13{,}25x_1 + 21{,}6x_2) \leq 2400$ – занимаемая площадь менее 2400 м^2;

$x_1,\ x_2 \geq 0$, $x_1,\ x_2 \in Z$ – количество машино-мест неотрицательное, целое число.

Задача относится к области линейного программирования, т.к. все отношения полностью описаны линейными функциями [6]. В основе решения задачи лежит применяемый к линейным моделям метод целевого программирования с введением упорядоченности критериев (целей) по иерархии важности. Исходная задача решается путем последовательного решения ряда задач с одной целевой функцией таким образом, что решение задачи с менее важной целью не может ухудшить оптимального значения целевой функции с более высоким приоритетом [7].

В рамках подпроцесса № 2 определяются варианты расстановки выбранного количества и состава машино-мест на исходной площади паркинга с выделением численных характеристик каждого варианта методом перебора. На заключительном этапе (подпроцесс № 3) производится выбор оптимального из вариантов расстановки машино-мест путем решения задачи оптимизации. В качестве критериев могут быть приняты численные характеристики, определенные на предыдущих этапах, либо иные показатели, введенные лицом, принимающим решения, для анализа вариантов расстановки машино-мест паркинга.

В задаче выбора оптимального состава машино-мест на заданной площади паркинга (подпроцесс № 1) из двух частных целевых функций наивысший приоритет принимается для цели 1. Рассмотрено решение многокритериальной задачи выбора оптимального состава машино-мест на заданной площади паркинга (рис. 1), которое включает в себя 3 этапа:

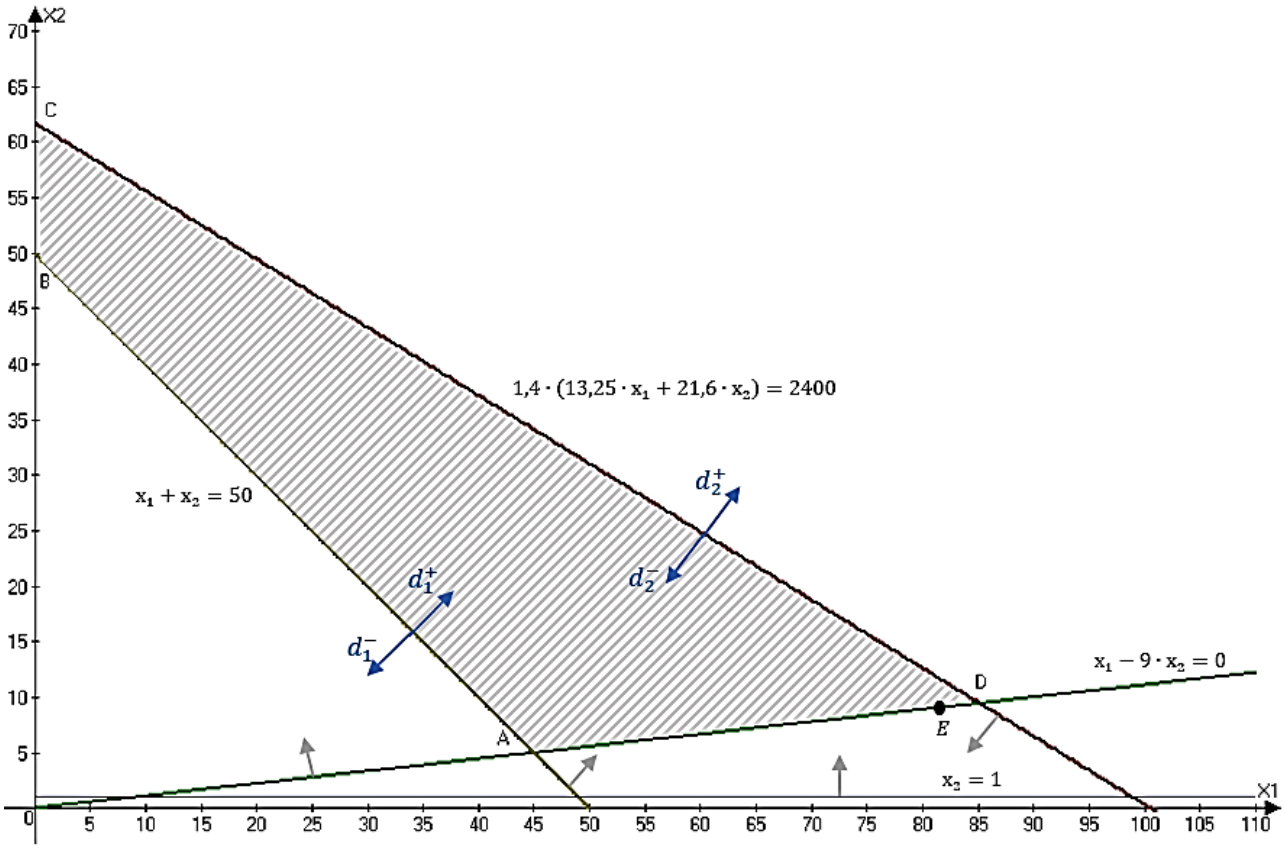


Рис. 1. Отображение оптимального решения (т. *E*) на множестве допустимых значений *ABCD* соотношения между машино-местами Стандарт x_1 и машино-местами для МГН x_2

1) строится множество допустимых решений задачи (четырехугольник *ABCD*, рис.1) по ограничениям оптимизационной модели;

2) решается задача нахождения максимума отклонения для цели 1 на множестве допустимых решений $d_1^+ \rightarrow$ max, которое 1 достигается в точке с координатами $x_1 = 81$, $x_2 = 9$, при max $d_1^+ = 90 - 50 = 40$ шт.

3) решается задача нахождения максимума отклонения от цели 2 на множестве допустимых решений $d_2^- \rightarrow \max$, при $d_1^+ = 40$.

Получено решение $\max d_1^+ = 40$ шт., $\max d_2^- = 2400 - 1{,}8 \cdot (13{,}25 \cdot 81 + 21{,}6 \cdot 9) = 118{,}2$ м^2, которое достигается в точке E (81; 9).

Определенная зависимость между типами машино-мест имеет практическое применение для ряда задач при проектировании паркинга:

- установление физической возможности организации требуемого количества машино-мест на предоставленной площади паркинга;
- определение оптимального количества и состава машино-мест на предоставленной площади паркинга с учетом требований к минимальному количеству машино-мест для МГН.
- отслеживание изменения множества допустимых решений и оптимального решения при изменении требований технического задания (минимальное количество мест, предоставленная площадь для паркинга) и нормативных документов (минимальное количество машино-мест для МГН, соотношение между стандартными и машино-местами для МГН).

Выводы. В ходе работы проектирование паркинга проанализировано с учетом применения линейного программирования и оптимизационного подхода, которые позволяют выделить допустимое множество решений, получить соотношение между двумя требуемыми по нормативным документам типами машино-мест и определить оптимальное решение в соответствии с исходными условиями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Давыдов А.А., Черныш А.С. Россия Организация парковочных мест на территории сложившейся городской застройки, Международный студенческий строительный форум, 2019. С. 39-43.
2. Дуванова И.А., Симанкина Т.Л. Оптимизация организации парковочного пространства в условиях жилой застройки, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2 (41), 2016. С. 108-117
3. Wise I. & Trim R. Optimisation of Car Park Designs, ARUP (Бристоль, UK), 2013.
4. Горильченко М.А. Сравнительный анализ современных систем механизированной парковки автомобилей, Механизация строительства № 7 (829), 2013. С. 35-38
5. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
6. Klemm C., Vennemann P. Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts: A review of existing methods and approaches. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021. Vol. 135. (110206).
7. Kellegöz T. Balancing Lexicographic Multi-Objective Assembly Lines with Multi-Manned Stations, Mathematical Problems in Engineering, 2016, 1-20.

УДК 725.381.3

А.В. Бабушкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА РАССТАНОВКИ МАШИНО-МЕСТ ДЛЯ ПАРКИНГА

Введение. Выделение земельных участков для парковочных мест в настоящее время стало неотъемлемой частью территориального планирования и градостроительства. Недостаток свободных территорий для хранения автотранспорта приводит к поискам новых решений, нацеленных на увеличение эффективности организации и функционирования автомобильных стоянок. Выбор эффективного размещения парковочных мест на предоставленной площади паркинга с учетом требований по техническому заданию представляет собой сравнение различных вариантов объемно-планировочных решений [1].

Пособие к ТСН 21-301-96 «Стоянки легковых автомобилей» выделяет основные виды конфигурации парковочных мест в пространстве автостоянок, к ним относятся варианты расстановки под углом 90°, 60° и 45° к внутригаражному проезду [2]. Изменение угла расстановки машино-мест влияет на вместимость паркинга и на расстановку автотранспорта, а, следовательно, на эффективность использования площади.

Целью данной статьи является определение математического обоснования для выбора угла расстановки машино-мест на неограниченной площади паркинга.

Мерой оптимальности проектного решения расстановки машино-мест принимается наибольшая плотность заполнения паркинга (*P,* формула (1)), которая определяется как отношение площади машино-мест к предоставленной площади паркинга [3-5]:

$$P = \frac{S_{\text{м/м}}}{S}. \quad (1)$$

При рассмотрении одного бесконечного ряда машино-мест (рис.1), получена зависимость (2) для значения плотности одного модуля P_1, состоящего из одного машино-места площадью S_1 и прилегающего к нему проезда.

$$P_1 = \frac{S_1}{S_{ABCD}} = \frac{ba}{hacsc\beta} = \frac{b}{h}\sin\beta. \quad (2)$$

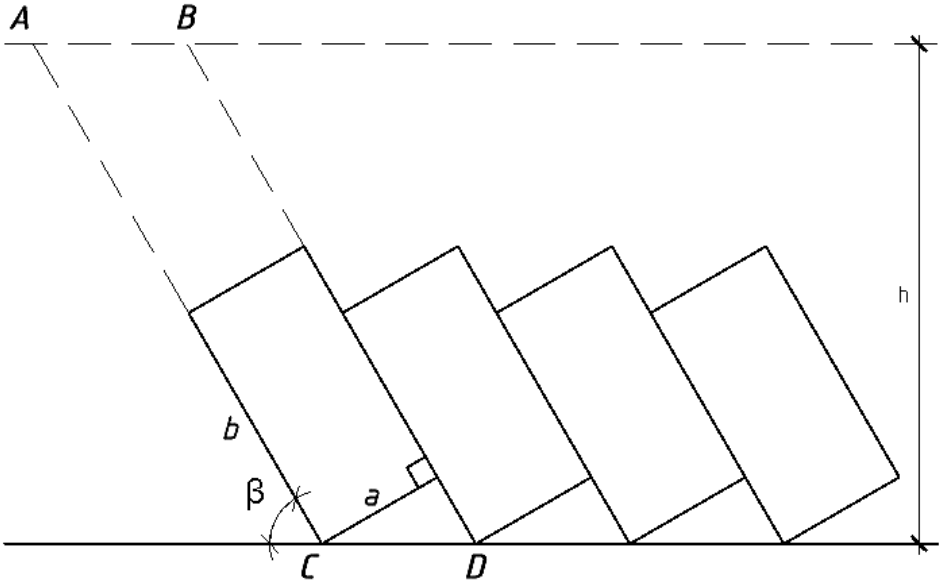


Рис. 1. Определение плотности заполнение P_1 для одного машино-места S_1

Полученная зависимость (2) выражается через прямую тригонометрическую функцию синуса. Соответственно, максимальное значение плотности заполнения P_1 достигается при максимальном значении синуса угла β, которому соответствует угол $\frac{\pi}{2}$.

$$-1 \le \sin\beta \le 1;$$

$$P_1 = \max \text{при } \sin\beta = 1, \beta = \frac{\pi}{2}.$$

Аналогично для более сложной конфигурации машино-мест (рис. 2), получена зависимость (3), которая также выражается через функцию синуса. Для проезда принимается значение *d* в соответствии с численными характеристиками движения и моделей автомобилей в паркинге.

$$P = \frac{2ba}{(d + 2b\sin\beta)acsc\beta} = \frac{2b}{d + 2b\sin\beta}\sin\beta; \quad (3)$$

$$P = \max \text{при } \sin\beta = 1, \beta = \frac{\pi}{2}.$$

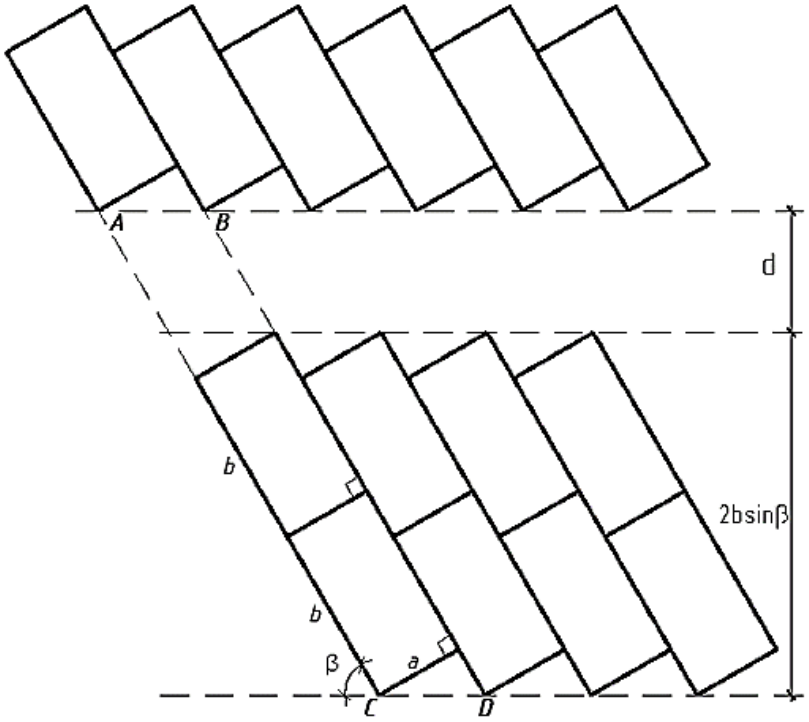


Рис. 2. Определение плотности заполнение P

Подставляя габариты стандартного машино-места 2,5×5,3 м, получаем зависимость плотности заполнения P от угла β по формуле (4) и графику на рис. 3, максимальное значение которого соответствует углу $\frac{\pi}{2}$. Для проезда принято значение 6,1 м в соответствии с [2] как максимальное из рекомендуемых значений для различного угла расстановки автомобилей при манежном хранении.

$$P = \frac{2 \cdot 5{,}3}{6{,}1 + 2 \cdot 5{,}3 \cdot \sin\beta} \sin\beta. \qquad (4)$$

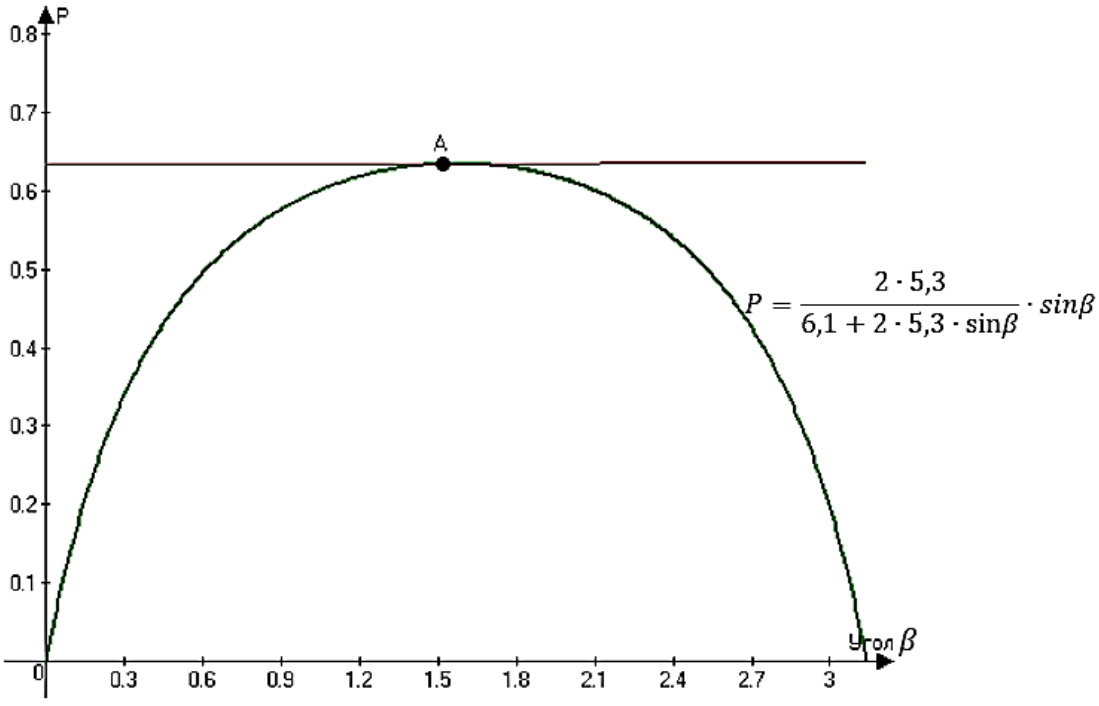


Рис. 3. Зависимость плотности P от угла расположения машино-мест β

Достижение максимальной плотности в т. *A* (рис. 3) подтверждается равенством нулю производной функции (4) при значении аргумента $\frac{\pi}{2}$, которая определяет тангенс угла наклона касательной, проведённой к графику в т. *A* ($\frac{\pi}{2}$; 0,635):

$$P' = \left(\frac{10,6}{6,1+10,6\cdot\sin\beta} sin\beta\right)' = 10,6 \cdot \frac{\cos\beta}{10,6\cdot\sin\beta+6,1} - 112,36\sin\beta \frac{cos\beta}{(10,6\cdot\sin\beta+6,1)^2} = 0.$$

$$P = \frac{2 \cdot 5,3}{6,1 + 2 \cdot 5,3 \cdot \sin\frac{\pi}{2}} sin\frac{\pi}{2} = 0,635.$$

Выводы. Таким образом, расстановка машино-мест под углом 90° ($\frac{\pi}{2}$) обеспечивает наибольшую плотность заполнения предоставленной площади, а следовательно, является оптимальным вариантом решения для безграничной площади паркинга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дуванова И.А., Симанкина Т.Л., Оптимизация организации парковочного пространства в условиях жилой застройки // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2 (41). 2016. С. 108-117
2. Пособие к ТСН 21-301-96 (МГСН 5.01-94*). Стоянки легковых автомобилей.
3. Wise I.& Trim R., Optimisation of Car Park Designs, ARUP (Бристоль, UK), 2013.
4. Горильченко М.А. Сравнительный анализ современных систем механизированной парковки автомобилей, Механизация строительства № 7 (829), 2013. С. 35-38
5. Шинкаренко Т.В. Компьютеризированная подсистема оптимизации работы автоматизированного многоярусного паркинга, сборник статей Мир компьютерных технологий, Севастополь, 02–05 апреля, 2019. С. 125-130

УДК 004.94

М.М. Белоногова, А.А. Кукина, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТА

Целью работы является обоснование возможности и необходимости использования информационной модели здания как инструмента для оценки качества проекта. На сегодняшний день проверка проектов как в проектных институтах, так и в экспертизах, в большинстве случаев проводится по 2D чертежам, в то время как законченный проект любого строительного объекта – это огромный массив данных, который требует тщательного анализа. Даже при таком подходе объем отрицательных заключений по итогам проверки Главгосэкспертизы в 2020 году составил 11% [1]. Согласно постановлению Правительства от 5 марта 2021 года № 331, с января 2022 года формирование и ведение информационной модели становится обязательным для всех объектов, финансируемых за счет бюджетных средств [2].

На сегодняшний день хорошо изучена, широко известна и активно применяется проверка модели на различные виды коллизий, позволяющая избежать обнаружить пересечения геометрических элементов на стадии проектирования. Необходимость такой проверки понятна большей части участников процессов проектирования и строительства, существуют разнообразные инструменты, доступные как внутри самих программ для проектирования (таких как Autodesk Revit, Bentley Systems Microstation и других), так и специализированных программах для просмотра и анализа модели (таких как Solibri или Autodesk Navisworks).Единственной преградой, стоящей на пути к анализу коллизий остается создание интегрированной модели, включающей в себя все разделы и своевременная актуализация такой модели, а также составление и актуализация матрицы коллизий.

Однако информационная модель здания – это не только 3D модель, но и хорошо скоординированная, согласованная и взаимосвязанная, поддающаяся расчётам и анализу, имеющая геометрическую привязку, пригодная к компьютерному использованию, допускающая необходимые обновления числовая информация о проектируемом или уже существующем объекте [3].

Таким образом, модель – это набор машиночитаемых данных, в международной практике способы использования этих данных называются BIM-сценарии (BIM-uses). В соответствии с [4], существуют несколько основных сценариев использования информационной модели. В контексте данной работы особенно интересны сценарии раздела “Analyze” (Анализ) – то есть изучение объекта с целью лучше его понять. В этот раздел входят следующие сценарии:

– “Coordinate” (Координация) – обеспечение эффективности взаимодействия элементов модели;
– “Forecast” (Прогноз) – предположение дальнейшего взаимодействия модели и элементов модели;
– “Validate” (Обоснование) – проверка или подтверждение точности информации в модели, а также того, что эта информация логична и необходима.

Согласно этой классификации, анализ элементов модели позволяет лучше понять их устройство, обеспечить эффективность взаимоотношений элементов модели, спрогнозировать будущие эксплуатационные характеристики объекта и элементов модели, а также проверить или доказать точность и правильность информации об объекте. Таким образом, оценка качества становится одной из важной составляющих полноценной информационной модели.

Возможные выгоды от проверки:

– повышение качества выпускаемой модели;
– экспертный контроль (аналог проверки документации, но более автоматизированный);
– возможность получать корректные объемы;
– возможность применять модель при монтаже.

Необходимая и достаточная насыщенность информационной модели здания может позволить проводить многочисленные анализы проекта, требуемые Постановлением Правительства №87, такие как анализ архитектурных решений, анализ технологических решений и сетей, анализ пожарной безопасности и др. Таким образом, появится возможность контролировать не только коллизии, но и качество принятых проектных решений. В настоящее время уже известны случаи эффективного использования этого аспекта технологии BIM как в гражданском [5], так и в промышленном строительстве [6]. Тем не менее, техническая возможность передачи правил оценки проектных решений из человекочитаемых в машиночитаемые данные пока полностью не обеспечена. Работа в этом направлении ведется как зарубежными, так и российскими учеными [7].

Так или иначе, полноценная проверка информационной модели возможна только при достаточно развитой технологии BIM. В соответствии с [8], для определения уровня внедрения технологий информационного моделирования в организации используется инструмент «Карта уровней зрелости BIM Бью-Ричардса». Уровень BIM 3 (BIM Level 3) – уровень зрелости, на котором на котором обмен информацией об объектах капитального строительства и недвижимости на всех стадиях жизненного цикла осуществляется всеми участниками BIM-проекта, а все работы проводятся посредством использования единой информационной модели [8] может позволить наиболее полную оценку качества проекта, но пока вряд ли достигнут большинством проектных институтов.

Выводы:

– Информационная модель включает в себя геометрическую и информационную составляющие, и обе части нуждаются в проверке;

- Проверка геометрической составляющей хорошо изучена и широко применяется в проектировании;
- Проверка информационной составляющей изучена недостаточно, но развитие этого направления может значительно улучшить качество выпускаемых проектов;
- Для проведения полноценной оценки качества проекта с использованием информационной модели необходимо перейти на следующий уровень использования технологии BIM;
- Оценка качества проекта – это актуальная задача в строительстве, а использование информационной модели может существенно увеличить эффективность такой проверки;
- Качественными показателями качества проекта в информационной модели могут служить корректно заполненные атрибуты (то есть имеющие актуальные и достоверные значения), верное распределение элементов по классификатору, отсутствие мягких и жестких коллизий, соответствие информационной модели нормативной документации и техническому заданию, а также общее повышение эффективности процесса проектирования, что скажется на прохождении экспертизы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Статистика по годам. 2021URL: https://gge.ru/analytics/statistika-po-godam/.
2. Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331 "Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за экс. 2021. Pp. 2021. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026.
3. Талапов, В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий2011. 394 p. ISBN:78-5-94074-692-8.
4. Kreider, R.G., Messner, J.I. The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses. The Pennsylvania State University. 2013. (September). Pp. 0–22. URL: http://bim.psu.edu/Uses/the_uses_of_BIM.pdf.
5. Крупнейший российский застройщик рассказал о « секретном проекте » по созданию « виртуального прораба ». 2019URL: https://www.forbes.ru/newsroom/biznes/387065-krupneyshiy-rossiyskiy-zastroyshchik-rasskazal-o-sekretnom-proekte-po.
6. Доробин, Д., Сукачев, К. Применение 3D/4D/5D-моделирования в строительстве. «BIM-система НЛМК». 2019URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20781.
7. Макиша, Е.В. Верификация информационных моделей строительных объектов на основе языка моделирования правил. 2019.
8. ГОСТ Р 10.0.00– 2018. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений Основные положения. Общие требования к технологии информационного моделирования. 2018URL: http://nghp-sro.ru/files/news/news358/Appendix 1.pdf.

УДК 004.94

Л.А. Горбулин, М.В. Петроченко, А.А. Кукина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ФОРМАТА IFC ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Введение. При BIM-проектировании сложных промышленных объектов с использованием различных САПР-систем существует проблема координации смежных разделов проекта между собой. Одним из вариантов решения является применение стратегии OpenBIM и универсального формата данных IFC.

Цель работы. Анализ использования стратегии OpenBIM при проектировании сложных промышленных объектов с применением различных САПР-систем.

В настоящее время информационное моделирование является ключевым звеном в разработке проектов при строительстве зданий и сооружений. Основной целью использования

технологии информационного моделирования является воплощение числовой информации в удобном для восприятия и анализа виде. Исходные данные в готовой модели координируются, согласуются и связываются между собой. Каждая цифра имеет конкретную физическую привязку, поддающуюся анализу и расчету. Упрощается порядок внесения корректировок, обновления. Качественная визуализация проектных решений позволяет еще до начала строительства составить более полное представление об объекте стройки.

Для проектирования сложных промышленных объектов с применением различных САПР-систем необходима работа проектировщиков в единой информационной модели.

Для решения проблемы совместимости между приложениями и исключения искажения данных и/или информации участники альянса buildingSMART была разработана стратегия OpenBIM, которая предоставляет следующие преимущества:

- в каждом проекте САПР-менеджеры могут использовать индивидуальный набор инструментов, который состоит из наилучших в своей области решений и оптимально решает поставленные проектные задачи;
- менеджеры проектов осуществляют полный контроль над составными частями проекта (в том числе и над обновлением независимого друг от друга программного обеспечения) без потери сроков проектирования;
- использование набора решений сокращает риск потери данных, в отличие от работы с единой BIM-моделью (которая объединяет несколько специальностей, но результаты хранит в одном файле);
- менеджеры проектов могут отказаться от сложной настройки универсального BIM-файла, заточенного под все виды специальностей, а использовать отдельные модели, созданные в независимых программах и связанные между собой;
- как результат, проектировщики получают понятную BIM, выстроенную на открытых стандартах, что позволяет использовать данные на всем жизненном цикле здания: от строительства до реконструкции или разрушения.

Стратегия OpenBIM универсальна и предназначена не только для разработчиков программного обеспечения. Она ориентирована на любых специалистов, работающих на рынке архитектурно-строительного проектирования и выстраивающих концепцию BIM [1].

На данный момент главным достижением альянса buildingSMART, является разработка открытого формата данных IFC предназначение которого – быть универсальным средством обмена данными между информационными моделями, созданными в программах разных производителей [3].

Формат данных с открытой спецификацией IFC представляет собой открытый международный формат для информационной модели данных объектов строительства (BIM), предназначенных для обмена и совместного использования в программных приложениях, применяемых участниками отрасли строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Этот стандарт содержит определения для данных объектов строительства на протяжении всего их жизненного цикла. Консорциум buildingSMART метафорически описывает IFC как замороженную копию реального объекта, как PDF файл к BIM модели: он статичный и не предполагает изменений.

Главной целью обращения к IFC файлам является контроль: формат позволяет контролировать потоки информации, сроки работ и денежные средства. Контроль оказывается максимально упрощен благодаря структуре и опыту, заложенному в него международными девелоперами.

Второй важнейшей функцией IFC является создание независимой настраиваемой САПР-среды на объекте, объединившем большое количество подрядчиков. Подрядчики могут использовать в своей работе различные САПР-системы, САПР-независимые среды, собственные ERP-системы, в результате чего данные генерируются в многочисленных

неинтероперабельных форматах. И для эффективного взаимодействия и контроля над расходами, сроками и информацией оказывается необходим унифицированный формат [2].

Следующим преимуществом IFC становится обмен опытом. Разработчики всевозможных приложений предлагают пользователям шаблоны, тем самым, повышая привлекательность продукта. IFC не стал исключением: хранилище данных и его структура – это и есть та самая квинтэссенция пользовательского опыта. Обращение к IFC классам откроет пользователю доступ к международному опыту, заключенному в стандартах ISO, без необходимости обращаться к первоисточнику стандартов. Таким образом, IFC – это уже собранный полноценный продукт для работы с проектом, позволяющий прогнозировать жизненный цикл объекта того или иного характера [4].

Ключевым оказывается использование IFC как инструмента для фиксации авторских прав и ответственности. Передача информации от одного исполнителя другому включает лишь те данные, которые требуются на следующем этапе, в то время как данные предыдущего этапа остаются у непосредственных разработчиков. Эта функция критически важна на крупных международных объектах.

Главными сферами применения IFC формата являются сложные международные проекты, в свете этого меняется отношение к самому формату, некоторым возможным ошибкам, связанным с импортом или экспортом, к деталям, связанным с настройкой таблиц внутри САПР-систем. Сложные и масштабные проекты, требуют построения сложной структуры обмена данными и тонкой настройки информационных потоков. В этом случае именно IFC послужит инструментом, позволяющим интегрировать системы между собой и осуществлять эффективный обмен информацией и контроль за сроками и затратами.

К IFC обращаются в проектах с государственным участием. Проприетарные форматы подразумевают авторское право на изменения и недоступны для тех, кто не купил лицензию, а значит, не могут использоваться государственными структурами с целью обмена данными. В проектах с государственным участием мы неизбежно обращаемся к открытым форматам, это справедливо и для прохождения экспертизы модели.

Важно помнить, что экспертиза не может вносить изменения в проект, а форматы с открытой спецификацией являются статичными и не предполагают внесения изменений в содержимое файла. Ответственность, которая вложена в проектное решение и передана экспертам для оценки, имеет огромное значение, у эксперта не должно быть возможности изменять проектное решение; его задача – уведомить проектировщика (на котором лежит ответственность) о необходимости такого изменения [2].

В то же время стоит отметить, что стандарт IFC предназначен для использования не проектировщиками, архитекторами, строителями или специалистами эксплуатирующих организаций, а разработчиками программных приложений и разного рода информационных систем. Проектировщики и архитекторы применяют стандарт IFC только через интерфейс конкретного программного продукта для передачи информации и из одной автоматизированной системы в другую и в настоящее время использование стандарта IFC не гарантирует, что передача геометрической и пространственной информации не будет выполнена без ошибок.

Проблема передачи данных через формат IFC связана с качеством реализации программ-трансляторов из проприетарных форматов, которые разрабатывают производители программных средств [5].

Выводы. На сегодняшний день формат IFC подходит для обмена информацией между смежными разделами, участвующими в разработке проекта, обмена заданиями на проектирование и проверке качества информационной модели, следовательно, является наиболее приоритетным решением при проектировании сложных промышленных объектов с использованием различных САПР-систем.

Концепция OpenBIM и универсальный формат данных IFC в значительной мере определяет направление развития как самой технологии BIM, так и программного обеспечения для целей информационного моделирования зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Концепция OpenBIM: понятие, принципы реализации, некоторые выводы http://www.nanocad.ru/information/articles/2994823/.
2. Формат IFC как инструмент контроля: целеполагание, устройство, интероперабельность. https://bimlib.pro/articles/format-ifc-kak-instrument-kontrolya-celepolaganie-ustrojstvo-interoperabelnost-564
3. Организация buildingsMART и два подхода к внедрению BIM. https://sapr.ru/article/25189
4. Industry Foundation Classes (IFC). https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc
5. Жук Ю.Н., Ананьев А.В., Волков Б.В., Сыромятников Ю.А., Позняк Е.В. Обеспечение интероперабельности при информационном моделировании объектов строительства: методическое пособие. – Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки объектов в строительстве», 2007. – 46-50 с

УДК 699.814

И.И. Дмитриев, М.А. Шахова, М.В. Гравит
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для определения предела огнестойкости строительных конструкций в России могут применяться экспериментальные и расчётно-аналитические подходы согласно ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость». Рекомендованные расчетные методики определения огнестойкости конструкций из железобетона включают в себя анализ результатов статического и теплотехнического расчетов. Алгоритм подробно изложен в актуальном своде правил СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности». Стоит отметить, что алгоритмы расчета хорошо описывают стандартные решения плитных и стержневых конструкций, однако не позволяют достоверно оценить предел огнестойкости при расчете различных конструкций нестандартных конфигураций, особенно с учетом огнезащиты конструктивными материалами или вспучивающимися составами.

Помимо основного прочностного расчета, для железобетонных конструкций определяется предел огнестойкости – предельное время высокотемпературного воздействия на конструкцию, по истечении которого у элемента наблюдается хотя бы один из признаков предельного состояния. Для железобетонных плит предельными состояниями при испытании на огнестойкость являются: потеря несущей способности *R* вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций; потеря целостности *E*; потеря теплоизолирующей способности *I*. На практике предел огнестойкости определяется трудоемкими и дорогими огневыми испытаниями. Для сокращения экономических затрат, перед натурными испытаниями рекомендуется применять методы математического и компьютерного моделирования [1].

В европейской системе регулирования пожарной безопасности помимо предписывающего принципа нормирования строительных конструкций и материалов используется расчетно-ориентированный подход, позволяющий значительно уменьшить финансовые затраты на проведение дорогостоящих экспериментов. В российском нормативном поле такие методики либо отсутствуют, либо значительно упрощены. Метод расчета строительных конструкций до потери ими несущей способности под огневым воздействием и постоянной рабочей нагрузке основан на обычных формулах строительной

механики с заменой значения прочностных характеристик при нормальной температуре на их величины при повышенных температурах.

Развитие вычислительной техники в последние годы привело к возможности широкого использования численных методов определения напряжений и деформаций в элементах строительных конструкций. Среди таких методов наибольшее практическое значение имеет метод конечных элементов (МКЭ) [2].

Возможность использования современных программных комплексов, основанных на этом методе, делает возможным уточнение экспериментальных зависимостей и вычислительных методов. В частности, конечно-элементный анализ позволяет упростить решение теплотехнической задачи расчета предела огнестойкости и оценить распределение температуры по рассматриваемому сечению конструкции. Такой подход обеспечивает надежную предварительную оценку огнестойкости конструкции и экономит затраты на огневые испытания.

В настоящее время моделирование теплофизических процессов в строительных конструкциях обычно осуществляется в программных пакетах Ansys (США) и Abaqus (США), которые считаются наиболее подходящими программами для решения задач механики жидкости и газа, теплообмена и теплопроводности, в том числе огнестойкости [3]. В рамках данной статьи рассматривается возможность использования программного комплекса SOFiSTiK (Германия) для анализа распределения температурных полей для различных строительных конструкций [4-5].

В ПК «Sofistik» достаточно просто и быстро рассчитать предел огнестойкости в специальном модуле Hydra, позволяющим задавать различные режимы пожара, огнезащиту, нагрузки, армирование и граничные условия для рассматриваемой конструкции. Расчет огнестойкости с помощью модуля Hydra можно выполнить только для отдельных элементов. На практике в качестве препроцессора для Sofistik используется Revit с готовой 3D-моделью. Для экспорта необходимо задать нагрузки, граничные условия, сечения и материалы элементов конструкций и задать все необходимые настройки по экспорту (конечно-элементную сетку, размер конечных элементов, информацию о необходимых расчетах).

Однако, полученные таким образом результаты еще подлежат проверке и верификации, поскольку данная возможность введена совсем недавно, и у проектировщиков еще нет какого-либо опыта её использования [6].

Далее представлены результаты теплотехнического расчета, выполненные в ПК Sofistik для нагрева железобетонной плиты. На рисунках 1-2 – пустотная железобетонная плита толщиной 200 мм с защитным слоем бетона В15 – 25 мм. Температура в арматуре на 60 минуте не превышает критической для стали А800 – 500°.

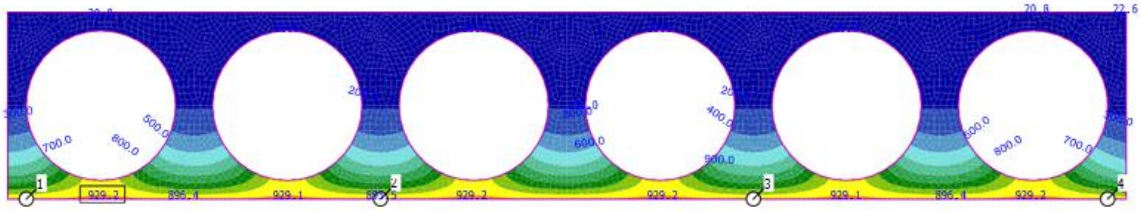


Рис. 1. Температурные поля в сечении железобетонной плиты толщиной 200 мм при одностороннем нагреве на 60 минуте

						max[cm2]					
1	2	58.00	7.00	468.35		1.54		0	14		
2	2	20.00	7.00	450.67		1.13		0	12		
3	2	-20.00	7.00	450.67		1.13		0	12		
4	2	-58.00	7.00	435.45		1.54		0	14		

Рис. 2. Температура в арматуре железобетонной плиты толщиной 200 мм на 60 минуте

На рисунках 3-4 – пустотная железобетонная плита толщиной 260 мм с защитным слоем бетона В15 – 30 мм. Температура в арматуре на 60 минуте не превышает критической.

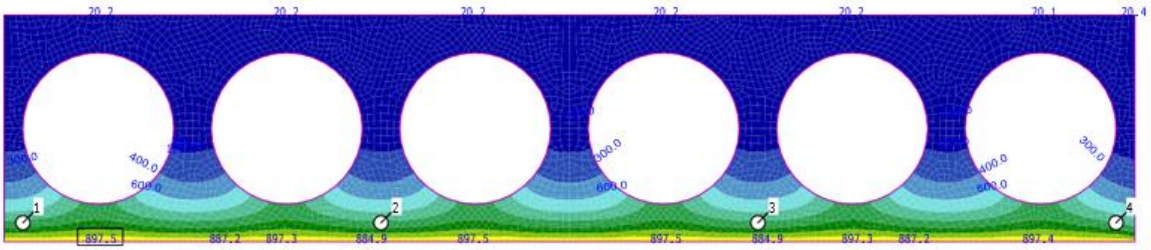


Рис. 3. Температурные поля в сечении железобетонной плиты толщиной 260 мм при одностороннем нагреве на 60 минуте.

ID	Mat	y[cm]	z[cm]	T[°C]	σ[MPa]	As/As-max[cm2]	Слой	D	a[cm]	Ar[m2]
1	2	58.00	9.00	421.58		1.54	0	14		
2	2	20.00	9.00	414.32		1.13	0	12		
3	2	-20.00	9.00	414.32		1.13	0	12		
4	2	-58.00	9.00	394.44		1.54	0	14		

Рис. 4. Температура в арматуре железобетонной плиты толщиной 260 мм на 60 минуте

На рисунках 5-6 – монолитная железобетонная плита толщиной 200 мм с защитным слоем бетона В15 – 25 мм. Температура в арматуре на 60 минуте не превышает критической.

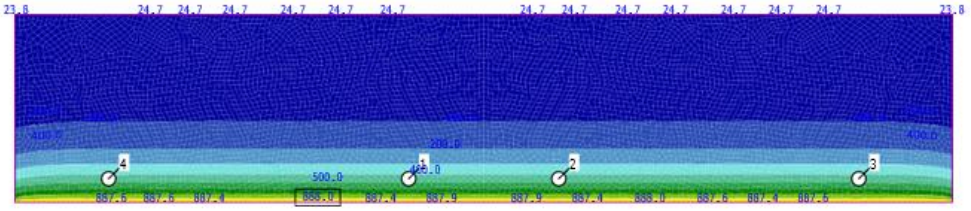


Рис. 5. Температурные поля в сечении монолитной железобетонной плиты толщиной 200 мм при одностороннем нагреве на 60 минуте

ID	Mat	y[cm]	z[cm]	T[°C]	σ[MPa]	As/As-max[cm2]	Слой	D	a[cm]	Ar[m2]
1	2	8.00	7.50	450.06		1.54	0	14		
2	2	-8.00	7.50	450.06		1.54	0	14		
3	2	-40.00	7.50	450.35		1.13	0	12		
4	2	40.00	7.50	450.35		1.13	0	12		

Рис. 6. Температура в арматуре монолитной железобетонной плиты толщиной 200 мм на 60 минуте

Полученный результаты показали хорошую корреляцию с данными, изложенными в нормативном документе. Цифровое моделирование железобетонных конструкций позволяет решить насущный вопрос нормирования изделий нестандартной формы, а также существенно сократить экономические затраты на огневые испытания. На данном этапе развития права в области регулирования, цифровое моделирование не может служить заменой огневым испытаниям, однако способно служить основой для составления программы испытаний и являться дополнительным аргументом при прохождении экспертизы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гравит М. В., Дмитриев И. И., Шахова М. А. Программные комплексы для расчета огнестойкости конструкций // Международная научно-техническая конференция «Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация», 2019.

2. Давыдкин Н.Ф., Страхов В.Л., Каледин В.О. Метод конечных элементов в расчетах огнестойкости неоднородных конструкций сложной структуры и формы // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. 1996. № 3, 4.
3. Heinisuo, M., Jokinen, T. Tubular composite columns in a non-symmetrical fire. Mag. Civ. Eng. 5(49), 107–120, 2014.
4. Gravit M., Dmitriev I., Lazarev Yu. Validation of the temperature gradient simulation in steel structures in Sofistik // International Scientific Conference EMMFT 2018 (pp.929-938)/
5. Dmitriev I., Lyulikov V.,Bazhenova O., Bayanov D. Calculation of fire resistance of building structures in software packages // E3S Web of Conferences 91, 02007 (2019)
6. 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; Volume 89 Article No 9001

УДК 69.001.5

Е.С. Недвига, Д.С. Дронов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗДАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШКОЛЫ

Цель работы – обеспечение эффективной образовательной среды в общеобразовательном учреждении за счет применения комплекса инженерных решений по интеллектуальной систематизации здания.

В последние годы в России, согласно статистике, растет число школьников. В связи с этим возникает необходимость обновлении инфраструктуры общеобразовательных учреждений [1].

Одним из перспективных направлений в развитии качества школьного образования является создание комфортной учебной среды, в том числе за счет системы интеллектуального здания, обладающего всем необходимым функционалом для благоприятного и безопасного пребывания в образовательном учреждении.

Точное определение интеллектуального здания на сегодняшний день до сих пор не сформулировано, поэтому основываясь на экспертные мнения, остановимся на следующем: здание, в котором внутренние инженерные системы объединены в совместно работающий комплекс и грамотно взаимно организованы ещё на этапе проектирования, имеет право называться интеллектуальным.

Для достижения поставленной цели-выполнены следующие задачи:

- произведена оценка современных тенденций развития образовательной среды;
- подготовлен обзор инженерных решений интеллектуализации здания, соответствующих высокому уровню строительной индустрии;
- подобран актуальный комплекс инженерных решений систем интеллектуального здания общеобразовательного учреждения.

Школьное образование сегодня призвано обеспечить обучающихся как фундаментальными знаниями классической учебной программы, так и гибкими навыками, в том числе эффективной коммуникации, креативности, командный работы. Учебная среда может позволить обучающимся реализовать личный потенциал, что в свою очередь зависит от следующих факторов: наличия многофункциональных и гибких пространств, информационного наполнения процесса обучения, наличия современного учебного оборудования, применения интерактивного обучения. Для нового поколения образование должно соответствовать индивидуальному подходу к школьнику, чтобы направить его к

творческим достижениям и формированию компетенций. При этом безопасность учащихся в учебном заведении остается приоритетом

Совместно с развитием образовательного процесса движется и направление проектирования зданий, обеспечивающих комфортные условия организации интерактивной обучающей среды.

Интерактивная среда школы включает в себя возможность обучающегося «вступать в диалог» со средой и менять её характеристики, позволяет вовлекать участников образования в динамические процессы, осуществляемые в здании школы, в т.ч. изменения температурных характеристик помещений в присутствии людей в помещении, использование световых режимов, открытие или закрытие жалюзи в кабинетах, трансформация учебных помещений с помощью раздвижных перегородок, взаимодействие с интерактивными досками и различными электронными стендами, персональными компьютерами и выставками, предназначенными для проведения образовательной деятельности.



Рис. 1

Примером использования интерактивных и информационных технологий является Московская Электронная Школа: демонстрационные панели (рис. 1) и ультракороткие интерактивные проекторы позволяют эффективно вовлекать обучающихся в образовательный процесс посредством взаимодействия с учебным материалом.

Совокупность инженерных решений позволяет предусмотреть ряд важнейших аспектов эксплуатации здания, (таких как установление уровня безопасности, безаварийная работа инженерных систем и др.) улучшить качество получаемого образования, позволить всем обучающимся и преподавателям полностью погрузиться в образовательный процесс для достижения результатов.

Организация безопасности пребывания людей в здании школы достигается разработкой системы охранного видеонаблюдения (СВН), сеть проводного радиовещания (РФ), системы охранной и тревожной организации (ОС), система обнаружения присутствия (СОП), система обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией, система контроля и управления доступом (СКУД).

Подход в управлении во многом зависит от выбранного протокола для обмена с главным сервером системы интеллектуального здания. Им может быть и Web браузер, получающий запросы по HTTP-протоколу, и мобильное приложение, созданное на языках высокого уровня под определенную операционную систему, которое устанавливается на мобильное устройство пользователя и выполняющий обмен командами и сервисными уведомлениями через TCP/IP соединения или же SMS-сообщений [2].

Структурированная кабельная система (СКС) позволяет строить системы управления зданиями по «свободной» топологии, что соответствует структуре комплексных систем интеллектуального здания. СКС осуществляет внутреннюю информационную связь при эксплуатации компьютерной и телефонной сетей на основе технологий и оборудования, отвечающих современным требованиям международного стандарта ISO/IEC 11801. Во всех помещениях проектируемой школы обеспечивается стабильная беспроводная сеть передачи данных бесшовной сети WiFi. Все оборудование, находящееся в школе и предназначенное для учебных целей, подключается к сети, передает информацию на центральный сервер, что в свою очередь позволяет отслеживать состояние оборудования, время использования, позволяет

своевременно обнаружить неисправность учителем, поскольку он может в режиме онлайн следить за состоянием оборудования, находящемся непосредственно в использовании в классе.

Система управления умным классом в автоматическом режиме фиксирует присутствующих учеников, помогать в планировании этапов урока, открывать нужные ресурсы на электронных устройствах учеников (компьютеры, планшеты), в автоматическом режиме вести рассылку электронных материалов по итогам урока (домашние задания, материалы для дополнительного изучения) и др. [3].

Освещение – важный параметр, влияющий на качество среды, создающий условия для образовательного процесса. Система освещения проектируется в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, функционального назначения помещения в целом и каждой зоны внутри помещения. Используются энергосберегающие светильники, учитываются управление освещенностью, температурой света, закладываются разные сценарии освещения, устанавливаются датчики, реагирующие на присутствие людей для энергосбережения. Описанные мероприятия в совокупности являются воплощением раздела проектной документации автоматизированной системы управления освещением (АСУО)

Ожидается, что из-за увеличения количества населения и экономического роста в целом мировой спрос на энергию в ближайшие годы значительно возрастет. Большая часть спроса на энергию исходит от использования энергии в зданиях [4]. Энергоэффективность достигается соблюдением требуемых условий эксплуатации школьного здания при рациональном использовании энергетических ресурсов путем применения принципов, регламентированных нормативными требованиями и современной практикой.

Создание и поддержание оптимальных условий микроклимата достигается путем автоматизации отопления и вентиляции (АОВ), системы дистанционного управления режимами микроклимата и освещения с возможностью регулирования параметров их работы чрез специализированное программное обеспечение, в том числе с использованием мобильных устройств и системы онлайн-мониторинга инженерных систем с целью информирования об отклонении от контрольных параметров и удаленного управления оборудованием для корректировки параметров и возвращению к нормальным показателям. Применение методов автоматизации позволяет сократить показатель энергопотребления на 30% [5].

Таким образом, в данной работе собраны общие тенденции развития системы образования, ориентируясь на которые подобраны подходы и технологии интеллектуализации здания при проектировании. Подход к реализации интеллектуального здания актуален не только для индивидуального и коммерческого строительства, но и для социальных объектов, в т.ч. для здания школы. Среда, реализуемая в здании, способствует развитию обучающихся, их комфортному пребыванию в школе, а также позволяет соблюсти меры безопасности и снизить энергопотребление здания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мартыненко Е.А. Современные тенденции в проектировании школьных зданий, научные исследования в области технических и технологических систем, Сборник статей Международной научно-практической конференции15 января 2018 г., Казань, НИЦ АЭТЕРНА, стр. 167-170;
2. Денисов А.Н. Интеллектуальное управление зданиями: использование комплексных систем. Наука и образование: новое время. 2017. № 3 (20). С. 135-138;
3. Гальчук А.А. Интернет вещей и современная школа: концепция умного класса в аспекте развития образовательной среды/ Научный руководитель. 2016. № 6 (18). С. 47-52.
4. Морозова Д.Г., Гамаюнова О.С. Экономическая эффективность системы "Умный дом", Неделя Науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием, ВСВ. В 3 ч. 2019, С. 15-18;
5. Карпенко А.В., Управление микроклиматом в интеллектуальном здании, Инновации и перспективы современной науки. Физико-математические науки. Технические науки, Материалы конференции. 2018, С. 93-96.

УДК 69.055

Ю.В. Елесина, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА С УЧЕТОМ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ

Стройгенплан (СГП) – один из основных документов проектов организации строительства и производства работ; СГП регламентирует организацию труда на строительной площадке и объёмы временного строительства. При разработке СГП рассчитываются и размещаются все элементы временной строительной инфраструктуры: грузопотоки материалов, изделий и конструкций с выбором и обоснованием параметров горизонтального транспорта; грузопотоки вертикального транспорта с размещением и привязкой к объекту кранов, подъемников, лифтов; склады и площадки для резервного складирования материалов и изделий; дороги, сети энергоснабжения, водоснабжения, канализации, теплоснабжения и связи [1].

При разработке СГП все объекты строительной площадки располагают определенным образом в соответствии с требованиями. Расположение объектов напрямую связано с безопасностью стройплощадки. В работах российских ученых [2, 3] рассмотрен вопрос причин возникновения несчастных случаев на стройке, а также причин возникновения пожаров. В статье «Анализ производственного травматизма, его причин путей повышения безопасности работ в строительной отрасли» [4] проведен анализ несчастных случаев на стройплощадке. Анализ показал, что 16% от всех пострадавших – это работники, которые в момент травмы не выполняли никакой работы, но находились на стройплощадке. Другими причинами возникновения несчастных случаев являются: дорожно-транспортные происшествия, падение предметов и материалов, воздействие движущихся, разлетающихся предметов и пожары. Пожары, как правило, возникают из-за неправильного размещения материалов и электротехники [3]. Данные происшествия являются следствиями неправильного размещения объектов на стройплощадке.

В России широко применяются BIM-технологии для получения экономической выгоды: устранение простоев, отслеживание графика выполнения работ и выбор техники. Для строительства безопасной стройплощадки BIM-технологии не применяются. Размещение объектов для создания безопасной стройплощадки – сложная проблема, и исследователи пытались решить ее, используя различные методы [5]. Проектировщику сложно уследить за множеством требований, поэтому для достижения цели было предложено автоматизировать процесс размещения объектов.

Выделим основные критерии безопасности, связанные с размещением объектов на строительной площадке:

1. Опасные зоны кранов и других механизмов. Опасные зоны – опасные для людей зоны, в которых постоянно действуют или потенциально могут действовать опасные факторы, связанные или не связанные с характером выполняемых работ [6]. Опасные зоны необходимо наносить на стройгенплан, учитывать расположение других объектов относительно опасных зон.

2. Безопасное перемещение грузов, конструкций и людей в пределах строительной площадки. На СГП должны быть обозначены пути передвижения рабочих и машин на стройплощадке, чтобы не допустить их пересечение. Например, пересечения зон работы машин, их проезд через коммуникации и т.д.

3. Организация безопасного складирования конструкций, изделий и материалов на строительной площадке. На стройплощадке необходимо учитывать расстояние между

складами, размеры складов для правильного хранения материалов, удаленность складов с опасными материалами.

4. Электробезопасность. В электротехнической части стройгенплана, которая должна соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок [7], должны быть отражены схемы временного электроснабжения, выбор марок и сечений проводов, места расположения и типы вводных и распределительных устройств, типы аппаратов защиты, выбор типов светильников, места расположения и т.д.

5. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов. При выполнении работ с использованием грузоподъемных кранов и других машин на стройгенплане должны быть предусмотрены пути их перемещения, места их установки, безопасные расстояния до электросетей, а также безопасные расстояния приближения к существующим зданиям и складам строительных конструкций и материалов, обеспечение безопасной совместной работы нескольких кранов на строительной площадке.

6. Общеплощадочные вопросы производственной санитарии и гигиены труда. Требования к санитарно-гигиенической безопасности в строительстве изложены в СанПиН 2.2.3.1384-03 Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ [8]. Особенное внимание уделяется требованиям к расположению санитарно-бытовых помещений, расположение пунктов питания, питьевых установок и др.

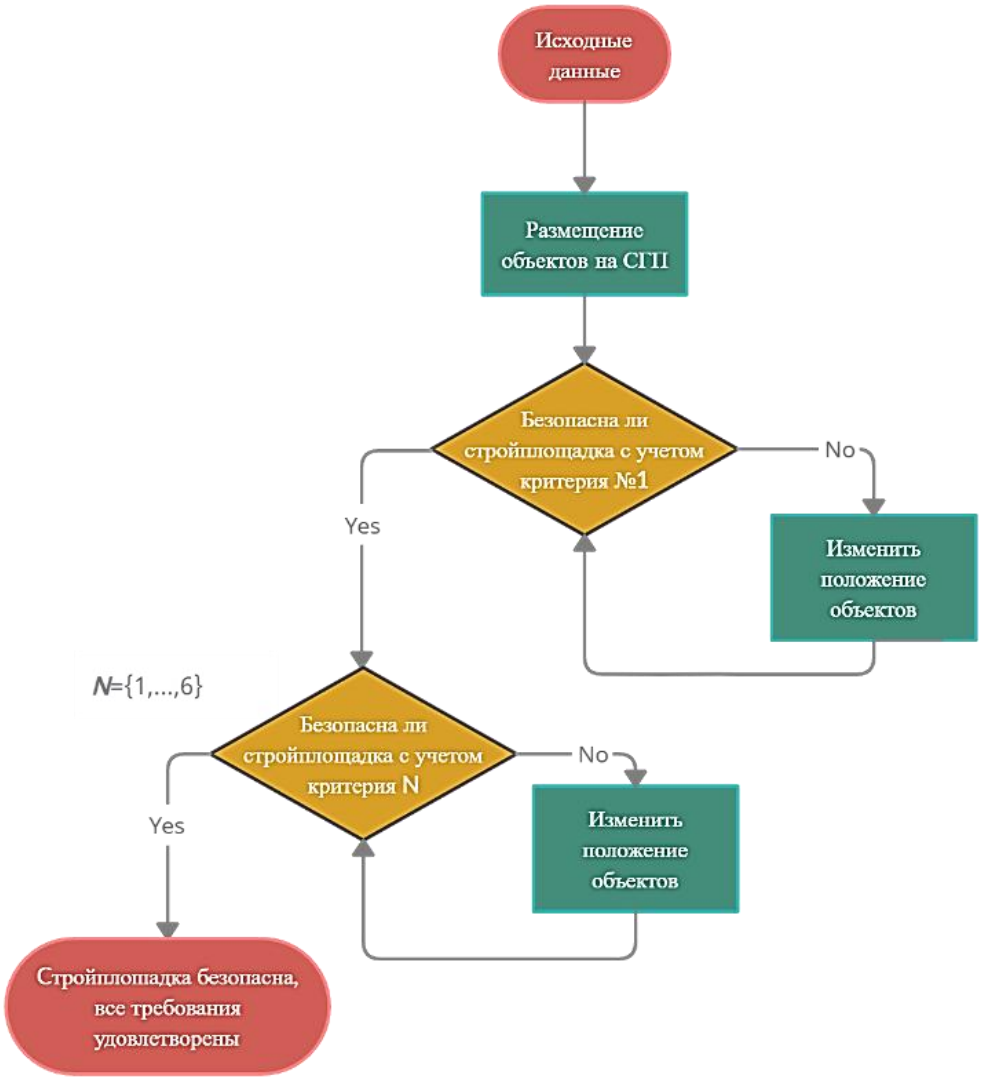


Рис. 1

Предлагаемая концепция автоматизации планировки СГП рекомендуется для внедрения в ПО для BIM-моделирования.

Для того, чтобы понять безопасна ли стройплощадка или нет, предлагается выполнить следующие шаги. Определить значения исходных данных для СГП:

- общее число работающих;
- число кадров в наиболее загруженную смену;
- потребность в электроэнергии, воде на различные нужды, сжатом воздухе;
- требуемые площади для административных и бытовых зданий;
- требуемые площади складов.

Эти данные необходимо задавать пользователю самостоятельно.

Далее необходимо задать минимальное и максимальное допустимое значение каждому параметру, отображаемому на СГП (расстояния между объектами, длина здания, ширина здания и др.), например, расстояние между складами и дорогой. Предполагается, что ПО расположит объекты на стройплощадке с учетом требований. Для этого предлагается использовать алгоритм, представленный на рис. 1.

Таким образом, основная причина возникновения несчастных случаев на стройплощадки – неправильное размещение объектов.

В работе выявлены критерии безопасности, связанные с расположением объектов на стройплощадке, а также предложен способ по повышению безопасности стройплощадки. Применение автоматизированного способа размещение объектов на стройплощадке исключит допуск ошибок (за счет уменьшения влияния человеческого фактора) при проектировании СГП, позволит соблюсти все требования безопасности к строительной площадке.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ходжаев В.В., Фадин Д.А., Шкарупа А.Н., Чилингарян М.А. Использование стройгенплана как основного инструмента возведения зданий // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: CXXXVIII междунар. науч.-практич. конф. М.: МГСУ, 2019. С. 182-186.

2. Гаврилов И.В., Изотов Н.Д., Попова М.Ю., Работягов Д.Б. Анализ причин возникновения несчастных случаев на строительной площадке и меры по предупреждению травматизма // Вестник научных конференции. 2015. С. 20-23.

3. Подскребышева И.А., Плотникова Г.В. Анализ причин возникновения пожаров на объектах строительства // Актуальные вопросы инженерно-технических экспертиз. 2018. С. 95-99.

4. Маркова О.Д., Ибраева Е.А. Анализ производственного травматизма, его причин и путей повышений безопасности работ в строительной отрасли // Образование. Наука. Производство. 2017. С. 318-322.

5. Kim K., Cho Y., Kim Kinam. BIM-Driven Automated Decision Support System for Safety Planning of Temporary Structures // Journal of Construction Engineering and Management. 2018. №144. P. 8.

6. Ройтман В.М., Умнякова Н.П., Чернышева О.И. Безопасность труда на объектах городского строительства и хозяйства при использовании кранов и подъемников // Учебно-методическое, практическое и справочное пособие. 2005.

7. Правила устройства электроустановок. 6 издание. URL: https://gosthelp.ru/text/PUEPravilaustrojstvaelekt3.html (дата обращения: 23.01.2021)

8. СанПиН 2.2.3.1384-03 Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ. URL: http://docs.cntd.ru/document/901865872 (дата обращения: 23.01.2021)

УДК 711.00

А.И. Забирова, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА A*

Цель работы – провести автоматизированный процесс сбора данных территории Васильевского района Санкт-Петербурга для определения оптимального маршрута общественного транспорта с использованием алгоритма A*.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ городского пространства в программном комплексе Rhinoceros с использованием плагинов Grasshopper, Human, Heron.

На первом этапе было построено городское окружение части территории Васильевского острова города Санкт-Петербург (рис. 1). Городское окружение представляет собой пространство в определенных административных границах и совокупность застройки этого пространства зданиями и сооружениями.

Вторым этапом было определено «место притяжения» – пространство, которое создается для обслуживания интересов небольших групп пользователей. Для данного исследования выбрано пространство Севкабель порт, который находится на территории Васильевского острова.



Рис. 1. Территория исследования



Рис. 2. Точки притяжения – университеты

Ориентиром для развития проекта Севкабель Порт послужил успешный опыт европейского освоения бывших промышленных зон в Хельсинки, Амстердаме, Стокгольме, Лондоне, Барселоне, где на месте верфей, фабрик и складов открылись современные городские пространства, которые гармонично сочетают исторический, архитектурный и социальный контекст, а также деловую активность [1]. Для реализации проекта был выбран адаптивный метод развития, когда работа пространства запускается этапами до полного обустройства территории. Что означает, что проект развивается до сих пор.

На третьем этапе определены здания, «точки притяжения», от которых будет проложен кратчайший путь до предполагаемого места притяжения. На территории исследования расположено 27 корпусов высших образовательных учреждений, среди них корпуса СПбГУ, ИТМО и СПГУ. На рисунке 2 отмечены расположения зданий университетов.

Маршрут общественного транспорта будет эффективен и полезен, если точки притяжения, которые он обслуживает, будут располагаться вдоль линии, воспринимаемой пассажирами, как прямой маршрут между любыми двумя из этих точек [2].

Расположение точек притяжения вдоль прямой линии позволяет создать эффективный и полезный маршрут. Точки притяжения, расположенные в «транспортных тупиках» снижают эффективность и полезность общественного транспорта (рис. 3).



Рис. 3. Сравнение движения транспорта

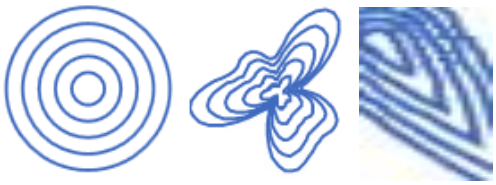


Рис. 4. Алгоритмы: поиск в ширину, алгоритм Дейкстры, A*

На четвертом этапе были вычислены кратчайшие пути от университетов до Севкабель порта, с помощью связки программ Rhinoceros и Grasshopper. Вычисление основано на алгоритме, работающем с графами. Алгоритмы, которые применимы в данном вычислении: поиск в ширину, алгоритм Дейкстры [3], A* (рис. 4).

Поиск в ширину выполняет исследование равномерно во всех направлениях. Этот алгоритм позволяет не только осуществлять поиск пути, но и производить генерацию карт, поиска путей течения, карт расстояний и других типов анализа карт.

Алгоритм Дейкстры (поиск с равномерной стоимостью) позволяет задавать приоритеты исследования путей. Вместо равномерного исследования всех возможных путей он отдаёт предпочтение путям с низкой стоимостью. Существует возможность задать уменьшенные затраты, чтобы алгоритм двигался по дорогам, повышенную стоимость, чтобы избегать препятствия.

A* – это модификация алгоритма Дейкстры, оптимизированная для единственной конечной точки. Алгоритм Дейкстры может находить пути ко всем точкам, A* находит путь к одной точке. Он отдаёт приоритет путям, которые ведут ближе к цели.

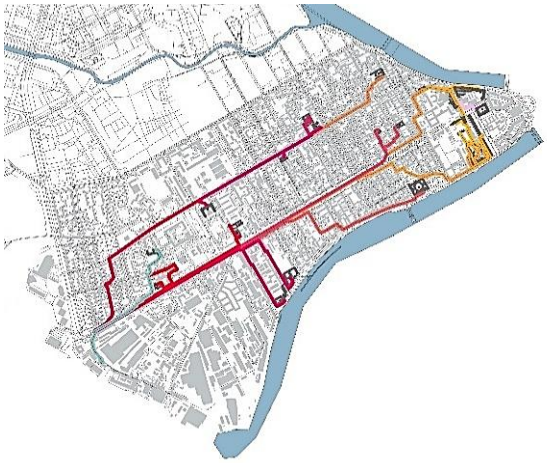


Рис. 5. Схема кратчайших путей

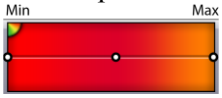


Рис. 6. Цветовая диаграмма



Рис. 7. Созданный маршрут общественного транспорта

Для исследования был использован алгоритм A*. Для алгоритма поиска оптимальных путей сообщаются входные данные: n – количество возможных местоположений, задано, как целое число; описание каждого местоположения, состоящее из названия и координат в трехмерном пространстве (*x, y, z*); квадратная матрица размера n x n, в которой элемент с индексами (*i, j*) означает возможность прямого перемещения из местоположения *i* в местоположение *j* [4-5].

На рис. 5 обозначены кратчайшие пути от университетов до Севкабель порта. Цвета обозначают удаленность от точки до объекта, расшифровка указана на рис. 6.

На основе анализа полученных результатов определен оптимальный маршрут для общественного транспорта, который представлен на рис. 7. Данный маршрут проходит по Среднему проспекту В.О., ул. Шевченко, Большому проспекту В.О., Кожевенной линии, Косой линии, наб. Макарова. Маршрут покрывает ближайшие корпуса университетов, тем самым общественный транспорт становится доступным для студентов и жителей данного района.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Севкабель порт – Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: https://sevcableport.ru/ru – (Дата обращения: 17.03.2021).
2. Как создать эффективный и полезный маршрут общественного транспорта [Электронный ресурс]. URL: http://www.livestreets.ru/2019/05/kak-sozdat-effectivniy-i-polezniy-marshrut/ – (Дата обращения: 18.03.2021).
3. Мутавалиев Ш.Т., Земенков Ю.Д., Мирбобоев Ш.Ж. Реализация алгоритма Дейкстры и определения кратчайшего пути между вершины графа // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 томах, Тюмень, 14–15 декабря 2015 года – С. 81-85.
4. Грос С.А., Онуфриева Т.А. Разработка подсистемы оптимизации маршрутов движения транспорта// Электромагнитные волны и электронные системы. – 2019. – Т. 24. – № 7. – С. 38-42. – DOI 10.18127//j15604128-201907-06.
5. Rakhmatullina A.R., Korobeynikova E.V. Trends in urban public transport // International Journal of Advanced Studies. – 2020. – Vol. 10. – No 3. – P. 123-131. – DOI 10.12731/2227-930X-2020-3-123-131

УДК 69.003.13

О.Р. Задорин, З.А. Гаевская
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЗДАНИЯ В ПЛАНЕ НА ВЕЛИЧИНУ ЭНЕРГО- И МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Проблема энергосбережения с каждым годом набирает актуальность. Даже при учете роста разработок, направленных на более экономичное и ответственное использование сырья, все больше и больше разрабатывается методов, целью которых выступает повышение эффективности разработки оставшихся гораздо менее насыщенных ресурсов [1].

Область строительства является одной из наиболее энергозатратных, так как напрямую связана с бытом и жизнью человека. Энергоэффективное строительство уже развивается во многих странах и имеет свою нормативно-правовую базу.

Конструктивные решения по увеличению энергоэффективности закладываются на этапе проектирования здания. Многие из них, такие как выбор материала стен, тип устанавливаемых стеклопакетов, качество монтажа ограждающих конструкций, устройство современных энергоэффективных инженерных систем и другие, являются материально затратными и, порой, не оказывают существенного влияния на снижение энергозатрат.

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания можно оптимизировать за счет выбора при проектировании формы и ориентации здания [2]. Характер

оптимизации направлен на уменьшение площади наружных ограждающих конструкций с целью снижения тепловых потерь через них [3]. Следовательно, самые уязвимые части здания – это стены, крыша и пол [4]. Затраты на реализацию данного преобразования минимальны, так как анализ и решение принимаются на стадии проекта.

В ходе изучения научной литературы были выявлены исследования, в которых проводилось сравнение различных форм здания с точки зрения материальных затрат. Но в [5] были сравнены 3 простые формы – квадрат, прямоугольник и окружность, а в качестве оцениваемой системы отопления принималось отопление газом. В связи с этим было принято решение в данной статье произвести оценку дополнительных форм, таких как правильный шестиугольник, восьмиугольник и эллипс. В качестве отопления принимается водяное отопление, наиболее распространенное в жилых многоквартирных домах. Расчет затрат будет производиться на основе актуальных цен на отопления для г. Санкт-Петербург на 2021 г.

Цель работы – произвести технико-экономический анализ различных конструктивных форм здания с целью выявить наиболее энергоэффективное. Сравнение производится на основании материальных затрат.

Исходя из поставленной цели были выявлены следующие задачи:

– Рассмотреть различные варианты планировки здания (все остальные показатели, такие как высота стен, функциональное назначение, климатические параметры и др., будут идентичны);
– Выявить зависимость между формой здания в плане и величиной материальных затрат;
– На основании полученных результатов выбрать оптимальную форму здания (критерий оптимальности – величина материальных затрат).

Для сравнения определим следующие параметры – высота стены 3 м, площадь помещения 200 м^2. Материал стены для сравнения роли не играет, но необходим для проведения расчетов, поэтому условно примем газобетонные блоки толщиной 400 мм. Полученные помещения с указанием площади, названия фигуры и основным размером показаны на рис. 1.

Для расчета примем температуру внутреннего воздуха $t_{int} = 20℃$, а внешнего $t_{ext} = -24℃$. Материальные затраты на отопление вычисляются на основе тарифа ЖКХ на отопление на момент 03.2021 – 1818,29 руб./Гкал.

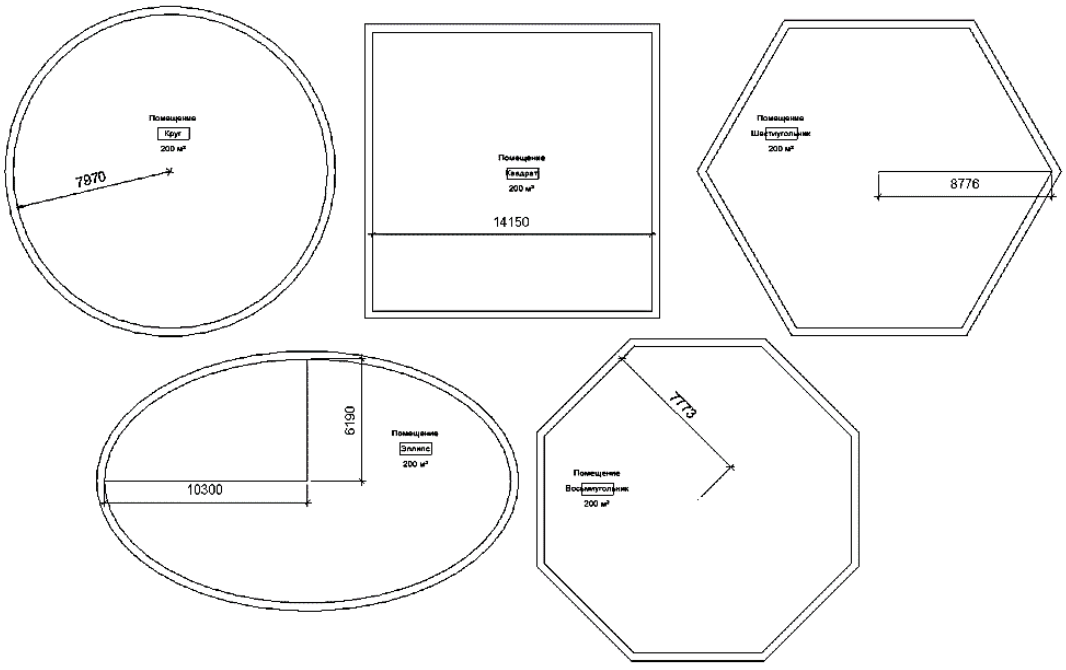


Рис. 1. Вариации планировки помещения

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Окружность	Квадрат	Эллипс	Шести-угольник	Восьми-угольник
Длина ограждающих конструкций, м	51,34	58,2	53,85	57,73	54,17
Площадь ограждающих конструкций, $м^2$	154,02	174,6	161,55	173,19	162,51
Величина теплопотерь, Вт	1,89	2,152	1,99	2,14	2,003
Величина теплопотерь, Гкал/год	14,29	16,21	14,99	16,078	15,09
Величина затрат за 1 год, руб.	25998,61	29472,45	27269,61	29234,45	27431,66
Превышение над наименьшей стоимостью, руб.	0	3473,84	1271,00	3235,84	1433,05

По результатам, занесенным в таблицу, можно сделать следующие *выводы*:

- наименее «затратная» планировка здания в плане – окружность; ближайшая по стоимости форма – эллипс, но переплата составляет 1271 руб./год;
- самая «затратная» планировка здания в плане – квадрат. Данный результат был очевиден, так как квадрат обладает наибольшей длиной ограждающих конструкций при других равных параметрах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мижарев Р.С., Черемисин А.В. Методы повышения энергоэффективности в малоэтажном строительстве на примере технологии «Пассивный дом» // Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого;
2. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Теплоэнергетические нормативы для теплозащиты зданий // АВОК №4'2001;
3. Гиясова И.В. Пути повышения энергоэффективности современных зданий городского // Инженерный вестник Дона, №3 (2020);
4. Волков А.А., Гиясов Б.И., Челышков П.Д., Седов А.В., Стригин Б.С. Оптимизация архитектуры и инженерного обеспечения современных зданий в целях повышения их энергоэффективности // Научно-технический вестник Поволжья №6, Казань, 2014. С.111-113;
5. Ким Д.А., Гиясов Т.Б. Влияние объемно-планировочного решения здания на показатели энергоэффективности // Национальный исследовательский московский государственный строительный университет НИУ МГСУ, Москва.

УДК 69.001.5

Ф.С. Школяр, О.М. Кротов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЕЧАТАННЫХ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ПРИНТЕРЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы – сравнение прочности на сжатие монолитных и напечатанных на строительном принтере конструктивных элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка модели для печати в программных комплексах AutoCAD, SheetCAM, Mach3;
2. Печать конструктивных элементов на строительном принтере «АМТ» S-6044;
3. Испытание образцов на прессе Гагарина;
4. Сравнение прочности на сжатие монолитных и напечатанных на строительном принтере конструктивных элементов.

Первый этап работы заключался в выборе формы образцов для испытаний. Поскольку цель работы заключается в сравнении прочностных характеристик, то размеры образцов

унифицированы. Слои расположены в двух направлениях – продольном и поперечном. После печати образца были выровнены до одинаковых размеров.

В качестве материала для печати образцов использовалась готовая смесь с добавлением фиброволокн, которые повышают прочностные характеристики смеси и придают ей характеристики, необходимые для строительной печати, такие как быстрое набирание прочности, мгновенное сохранение формы, адаптивность смеси к печати и другие [1].

Печать производилась на строительном принтере портального типа «АМТ» S-6044.



Рис. 1. Напечатанные элементы

Результаты испытаний на сжатие представлены в виде графика зависимости промежутка времени между замесом и началом печати (условимся обозначать «время задержки» от английского «delay time») для 3 различных положений (направлений) приложения нагрузок (рис. 2) от прочности на сжатие (рис. 3). Как видно из схемы, наблюдалось анизотропное явление в прочности на сжатие печатного бетона в зависимости от ориентации нагрузки относительно слоев.

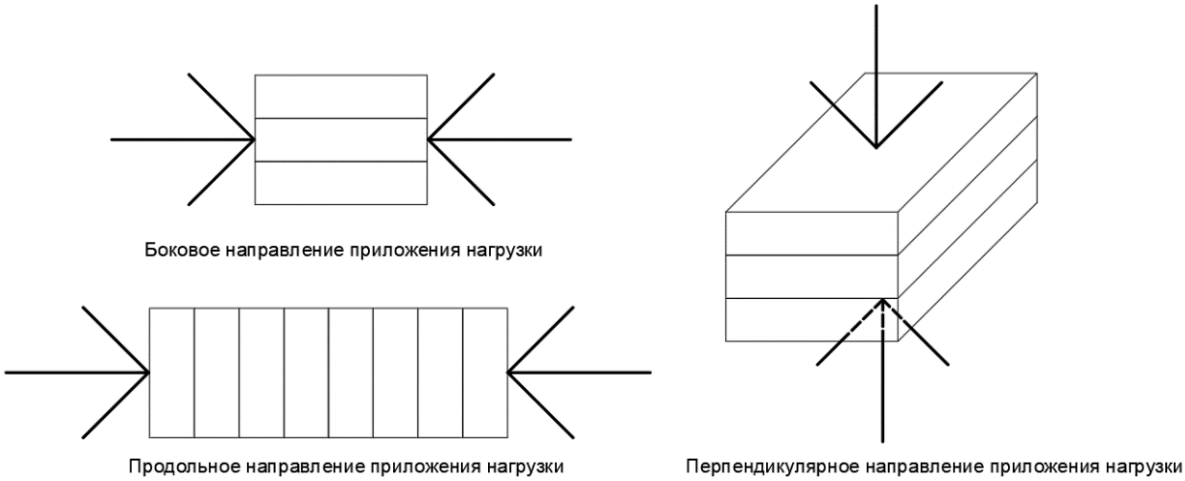


Рис. 2. Направления приложения нагрузок

Различия могли быть связаны с геометрией, размером и качеством поверхности. Это может быть причиной высокой вариабельности, наблюдаемой в результатах. В этом исследовании для испытаний как на сжатие, так и на изгиб поверхности печатных образцов, нагруженных в разных направлениях, были отшлифованы, чтобы иметь гладкую и плоскую поверхность во время испытаний. Поэтому влияние качества поверхности было смягчено. Как видно из рис. 2, средняя прочность на сжатие образцов, испытанных в поперечном направлении, была ниже, чем у образцов, испытанных в продольном и перпендикулярном направлениях. Данная закономерность верна независимо от времени задержки. Аналогичная картина была отмечена в работе [2]. Самая высокая средняя прочность на сжатие была для продольного направления приложения нагрузки. Вероятно, это связано с высоким давлением, оказываемым на материал в этом направлении в процессе экструзии [3]. Наименьшая средняя прочность на сжатие была последовательно найдена для бокового направления. Боковое направление имеет наименьшее давление в процессе схватывания.

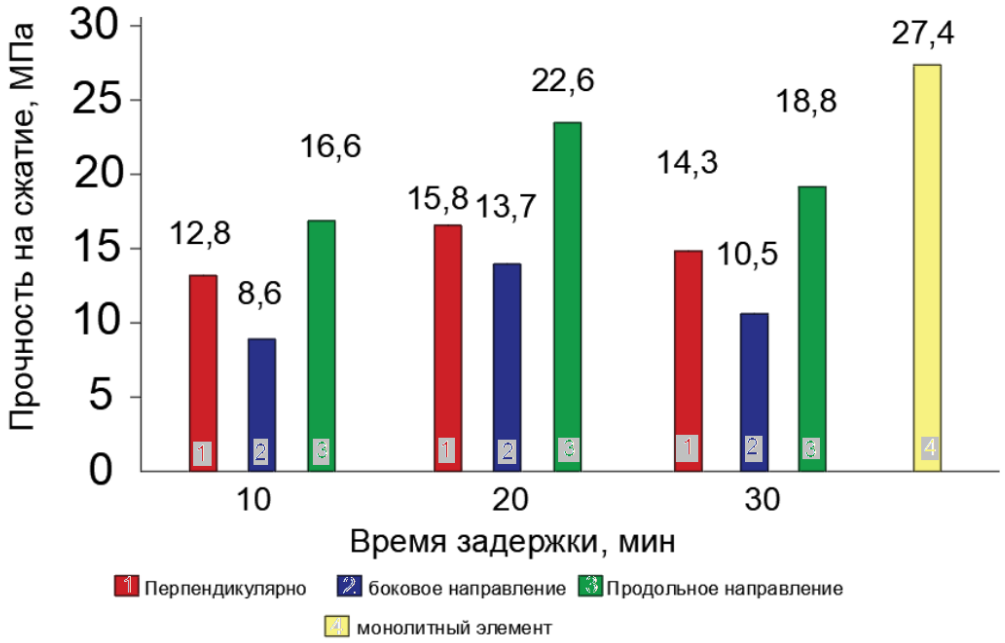


Рис. 3. Результаты испытаний

Без какой-либо формы или опалубки, препятствующей боковому потоку и оседанию материала, свежий бетон свободно оседает и расширяется, вызывая слабость в этом направлении [4]. Установлено, что перпендикулярное направление имеет среднюю прочность между продольным (направление экструзии) и боковым направление (свободное для расширения и оседания), так как существует некоторый уровень давления в перпендикулярном направлении во время процесса схватывания из-за собственного веса бетона [5]. Что касается влияния времени задержки на прочность на сжатие печатного бетона, то, как видно из рис. 2, средняя прочность на сжатие образцов, напечатанных с 20-минутной задержкой, была выше, чем у образцов, напечатанных с 10-и 30-минутной задержкой во всех трех направлениях приложения нагрузки. Дальнейшие исследования необходимы, чтобы понять это последовательно выраженное поведение бетона при печати.

По результатам исследований можно сделать вывод, что время набирания прочности смеси после замеса существенно влияет на прочность конструкции и может позволить приблизить прочность послойного элемента к монолитному, что позволит сделать строительную печать выгоднее, чем традиционное строительство.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Вай Ту Чек. Влияние межслойного среза и напряжения сдвига на межслойную прочность 3D печатной цементной пасты. Статья. Additive Manufacturing, 2020 г. 43 с.
2. 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.
3. Кротов О.М., Беляева С.В., Громыко П.А., и др. Теплопроводность геополимерного бетона с различными типами заполнителя. Цифровые технологии и инновационные материалы в дорожном и мостовом строительстве. DigTechIMC-2020. С. 1-9.
4. 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
5. Лазарев Ю.Г, Беляева С.В., Петроченко М.В., Кротов О.М. 3D экологически чистая бетонная печатная модель подготовки. XIII Международная НПК «Состояние и перспективы развития АПК». INTERAGROMASH 2020. 175. 2020. С. 1-7.

УДК 658.5

А.Н. Макаренко, М.Д. Муравьева, А.И. Рябов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CONNECTED BIM, IIOT И BLOCKCHAIN ДЛЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Введение. Информационное моделирование зданий (BIM), Промышленный Интернет Вещей (IIoT) и Blockchain (блокчейн), вызвали многообещающую эволюцию в строительстве.

Промышленный интернет вещей – это система, состоящая из подключенного к интернету оборудования и платформ расширенной аналитики, которые выполняют обработку данных, получаемых от подключенных устройств.

Connected BIM – технология, которая помогает отслеживать заданные параметры в период эксплуатации здания. При помощи совместной работы датчиков, IIoT и BIM она собирает и анализирует данные с инженерных систем здания, формируя комплексный показатель нормального режима работы.

Актуальность. В нынешних реалиях у строительных организаций появилась потребность дистанционно отслеживать состояние объектов возведения и строительных конструкций в реальном времени [1-3]. Сбор, систематизация, безопасная обработка, анализ и хранение больших объемов информации – это необходимость. Цифровые сервисы способны удовлетворить требования застройщиков, подрядчиков и инвесторов, обеспечить комфортную работу в условиях продолжительных строительных циклов. Большое внимание уделяется созданию и развитию программных комплексов и систем, которые могут контролировать расход потребления ресурсов и оптимизировать их [4-7].

Цель исследования: оценка возможности отслеживания состояния строительных конструкций с применением совместной работы BIM, IIoT и Blockchain, объединённых в технологию BIB.

Метод исследования. Рассмотрим технологию Connected BIM, образованную на пересечении BIM и промышленного интернета вещей (IIoT), реализованную путем развертывания сети 5G с использованием Blockchain (блокчейн) для безопасного хранения данных.

Технология Connected BIM при помощи IIoT позволяет осуществлять непрерывный контроль состояния инженерных систем зданий в автономном режиме в реальном времени для раннего обнаружения отклонений от проекта и предотвращения ошибок при возведении.

Технология BIB позволяет статистически анализировать статус объектов или их компонентов, составлять графики, планы реализации и инвестиций. При просмотре моделей можно визуализировать и контролировать ход строительства, узнать о состоянии каждой фазы цикла.

Авторы предлагают следующую технологическую последовательность работы BIB (рис. 1):

1. Монтаж датчиков, сопутствующего оборудования и развертывание сети 5G;
2. Сбор температурных, прочностных, динамических и других данных, необходимых в рамках конкретного проекта, со строительных конструкций и передача их на серверы с помощью Connected BIM посредством сети;
3. Обработка и анализ данных, выдача результатов пользователю. Интеллектуальные алгоритмы с опцией самообучения позволяют, предотвратить нарушения нормальной работы. Система хранит подробные, информативные BIM модели возводимых объектов на протяжении всего их жизненного цикла;
4. Получение уведомлений об отклонениях от проекта на электронную почту или в мессенджер и просмотр данных на любом устройстве в любое время.

По завершении последовательности подрядчиком осуществляется оперативная ликвидация обнаруженных отклонений непосредственно на объекте строительства. Данные обновляются, процесс мониторинга происходит в течение всего жизненного цикла здания.

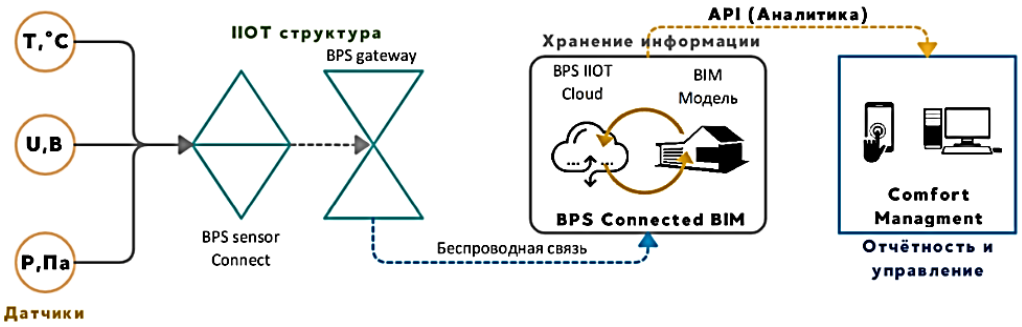


Рис. 1. Схема работы BIB

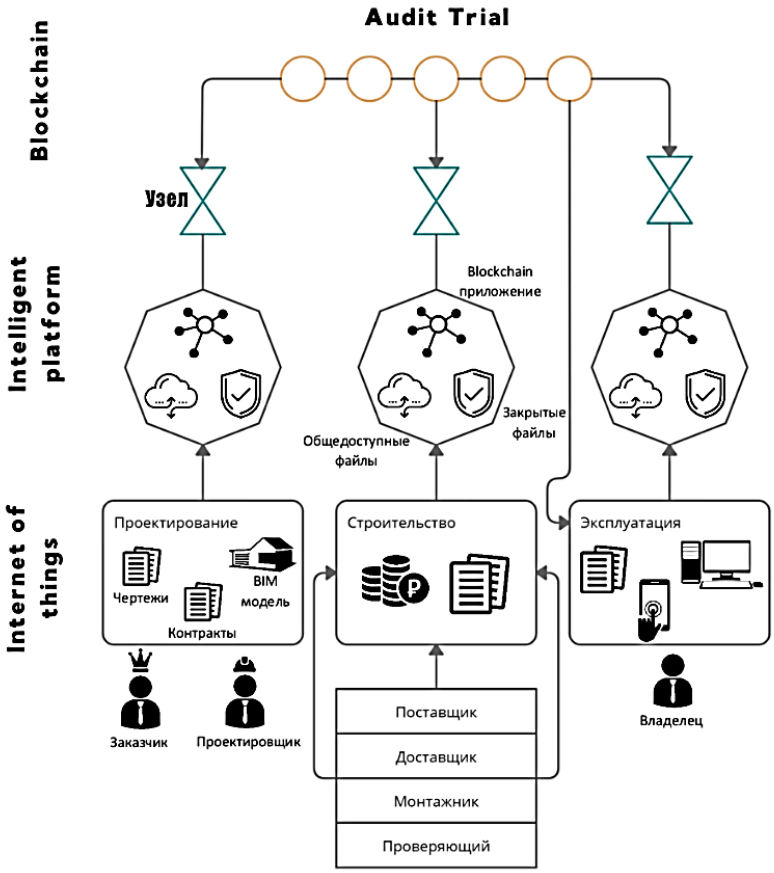


Рис. 2. Структура взаимодействия участников с проектными данными с использованием технологии Блокчейн

Поскольку денежные потоки и обмен данными обычно имеют место на всех этапах жизни проекта, общепризнано, что измененные в личных целях данные, несогласованные условия их предоставления и непостоянный надзор за ними приведут к неизбежным спорам и судебным искам. Блокчейн позволяет собирать массивные строительные данные и хранить их (рис. 2); другими словами, большие объемы информации могут использоваться отслеживаемым и безопасным способом благодаря высоконадежной базе данных.

Каждая транзакция видна акционерам и доступна для отслеживания. Блокчейн защищен от взлома и несанкционированного доступа, данные неизменны благодаря распределенному реестру и процессу проверки сети. Считается, что проекты могут выиграть при использовании такого прозрачного подхода, а стороны смогут получить компенсацию в случае неординарных ситуаций.

Результаты. В процессе исследования технологии были определены ключевые особенности, положительно влияющие на проектирование, строительство и эксплуатацию зданий. В таблице 1 представлены преимущества внедрения технологии BIB.

Таблица 1 – Преимущества использования BIB

Экономические выгоды	Экологические выгоды	Социальные выгоды
Прогноз изменений напряженно-деформированного состояния строительных конструкций во времени	Мониторинг поведения строительных конструкций в реальном времени позволит предотвратить катастрофы техногенного характера	Совместная работа людей, не имеющих непосредственное отношение к проектированию, специалистов смежных отраслей, в том числе инвесторов
Сокращение затрат и сроков строительства	Технология не требует специальной тяжёлой техники для обслуживания и установки	Увеличение числа женского персонала в связи сокращением рисков от воздействия опасных производственных факторов (химических, травматических и географических)
Целостность передачи данных и их сохранность	Предотвращение катастроф при помощи прогнозирования	Уменьшение трудоемкости за счет использования облачных технологий
Оптимизация календарного плана		Дистанционная работа

Выводы. Отслеживание состояния строительных конструкций с применением объединенной технологии BIM, IIoT и Blockchain (BIB) не только возможно, но и чрезвычайно выгодно. В дополнение к отслеживанию состояния объектов в реальном времени, BIB способна прогнозировать их поведение за счёт формирования статистики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bahga A., Madisetti V. K. Blockchain Platform for Industrial Internet of Things // Journal of Software Engineering and Applications. 2016. No. 10 (09). Pp. 533–546. DOI: 10.4236/jsea.2016.910036

2. Boyes H. Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework // Computers in Industry. 2018. No. 101. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015

3. Li C. Z. Chen Z., Xue F., et al. A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction // Journal of Cleaner Production. 2021. No. 286. Pp. 125391.

4. Chandola, V., Banerjee, A., Kumar, V. Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys. 2009. No. 41 (3). DOI: 10.1145/1541880.1541882

5. Wu Y.J., Xu N. BIM information collaborative framework based on supply chain management, ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology, 2014, Pp. 199–204. DOI: 10.1061/9780784413777.024

6. Salman A., Asce A. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering. 2011. No.11(3). Pp.241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

7. Namburu, S.M., Azam, M.S., Luo, J., et al. Data-driven modeling, fault diagnosis and optimal sensor selection for HVAC chillers. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2007. No. 4 (3), Pp. 469–473.

УДК 69.003.13

Д.Е. Монастырева, Н.С. Астафьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ХРАНИЛИЩА ESTORAGE ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ BIM-МОДЕЛИ В ПРОЦЕССЕ ИНВЕСТИЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Цель работы – повышение уровня контроля инвестиций в строительство на основе параметрической информационной модели посредством защиты данных. На сегодняшний день сфера информационных технологий активно развивается в области строительства и проектирования. Согласно поручению президента РФ от Пр-1235 от 19 июля 2018 года [1] правительству необходимо обеспечить переход отечественных предприятий на использование BIM-технологий. BIM-модель зданий и сооружений аккумулирует в себе информацию об объекте строительства, объем которой постепенно нарастает в процессе проектирования. Такой информацией являются объемы элементов, их материалы, характеристики, а также такие параметры, как дата монтажа и единичные расценки. В своей работе Л. Ксу, Л. Ма и Л. Динг [2] описывают широкое применение содержащейся в BIM-модели информации в жизненном цикле здания. Однако некоторые данные, такие как расценки работ, зачастую должны быть конфиденциальны и скрыты от подрядчиков, которые работают с данной моделью, или сотрудников, которые имеют доступ к модели и могут допустить изменение занесенных к нее данных. При использовании BIM-модели для проведения инвестиционного контроля строительства из нее необходимо выгружать такие данные как наименование и объем работ, статус, а также их стоимость и дата выполнения. Чтобы эффективно и безопасно использовать информационную модель, необходимо разработать инструмент, который позволял бы оперировать доступом к данным, правами их редактирования и просмотра.

Таким образом, задачами работы являются анализ научно-технической и нормативной литературы по данной тематике с целью представления современного состояния знаний по вопросам информационного моделирования и инвестиционного контроля крупных объектов, а также разработка методики управления инвестициями в строительство и их контроля с применением интерфейса Revit, а также Revit API.

Для достижения поставленной цели был предложено использовать метод расширяемого хранилища или Extensible storage как способ программного хранения произвольных вспомогательных данных в документе [3]. В качестве защищаемых данных принимается стоимость элемента, которая поэлементно заносится в модель. Поскольку стандартный интерфейс Revit не позволяет наложить ограничения на просмотр и запись информации, необходимо применение Revit API, то есть создание внешних надстроек с помощью программирования [4-5]. На рисунке 1 представлена реализация надстройки, позволяющая безопасно хранить данные о стоимости элемента в информационной модели. Чтобы произвести чтение и запись стоимости элемента необходимо ввести пароль.

На первом этапе разработки был написан программный код, который использует внешнее хранилище данных как инструмент хранения стоимостей элементов для их последующего использования в актах КС и ведомости объемов работ. На последующих этапах данные из модели выгружаются в Excel и позволяют вычислить объемы элементов и суммарную стоимость работ за пару кликов. Результатом является готовая надстройка для Revit, позволяющая ограничивать или закрывать доступ к любым конфиденциальным данным, заносимым в модель. Автоматизация позволила не только непрерывно контролировать инвестиции в строительство, управлять денежными ресурсами, а также прогнозировать необходимое их наличие для успешного следующего закрытия отчетного периода. Другими словами, инвестор заранее знает, сколько денежных средств ему необходимо иметь в следующем месяце фактически.

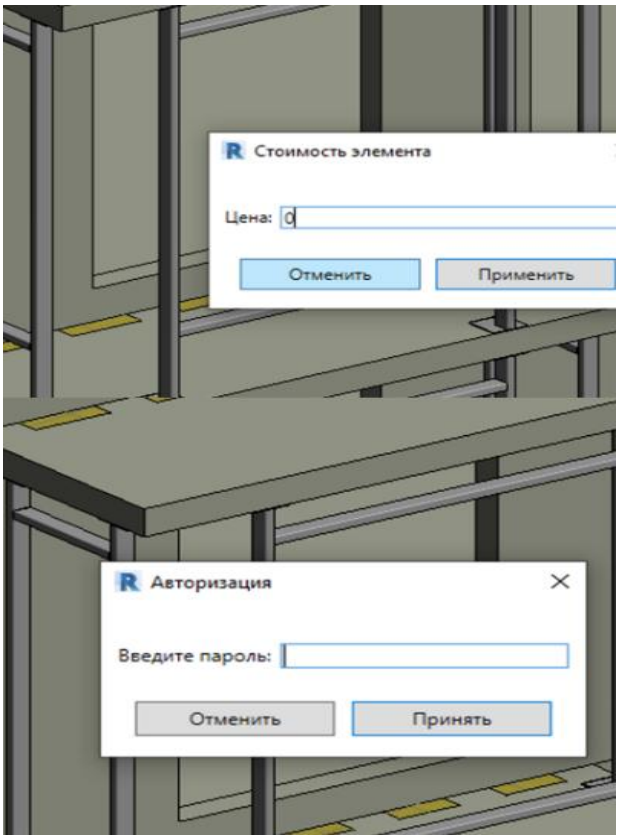


Рис. 1

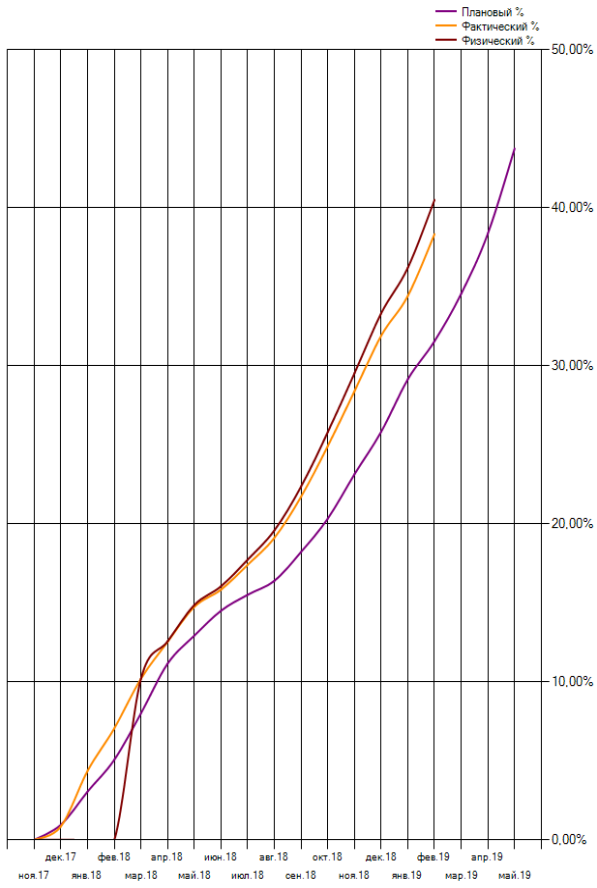


Рис. 2

На рисунке 2 показано отклонение дельты по расходованию денежных средств от планового периода. График построен с использованием данных, которые были внесены согласно информации от Генерального подрядчика – плановые денежные средства, которые уже определены на старте проекта в рамках конкурса и данные, которые показывают фактический расход денег в реальном времени. Помимо этого, в график добавлена физическая реализация (монтаж), которая показывает соосность расходования денежных средств и процент физической готовности объекта. Смонтированные элементы могут быть как приняты, так и не приняты (в этом случае линия физической готовности выше фактического расхода средств), то есть они уже физически существуют, однако деньги за них еще не получены Генеральным подрядчиком. В начале графика расход превышает процент монтажа: это означает, что деньги уже реализуются (на подготовительные работы, ограждение котлована и т.д.), но физически здания еще нет.

Преимущества использования Estorage в BIM-модели для инвестиционного контроля:

- Снижение рисков финансовых потерь от недостоверности информации об актируемых объемах выполненных работ;
- Увеличение скорости подготовки актов выполненных работ и отчетов инвестиционного контроля строительства;
- Получение достоверной информации об изменениях, вносимых в BIM модели и проектную документацию;
- Оценка стоимости проекта на каждом этапе;
- Детализация калькуляции до конечного конструктивного элемента BIM модели;
- Повышение скорости формирования оценки стоимости строительства;
- Снижение влияния человеческого фактора.

Такая автоматизация позволяет:

- Заключать контракт на твёрдую цену – минимизация рисков по дополнительным работам;
- Строить точный финансовый прогноз и план/факт сравнение;
- В ежемесячном отчёте наглядно видеть ход опережения или отставания строительства (на основании физических объемов и освоения финансовых средств).

Таким образом, в работе была предложена методика инвестиционного контроля с защищёнными данными, разработана надстройка для Revit, позволяющая защищать атрибутивные данные элементов от случайных ошибок и сохранить их конфиденциальность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Поручение президента Российской Федерации Пр-1235 – 2018 [Электронный документ] // (https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293736/4293736149.htm). Проверено 05.14.2021
2. Xu L., Ma L., Ding L. A Framework for BIM-enabled Life-cycle Information Management of Construction Project International Journal of Advanced Robotic Systems, Pages 13-15, 2014.
3. Shafiro B. Extensible Storage – 2014 [Электронный документ]. – Autodesk Revit DevCamp (https://www.autodesk.ru/autodesk-developer-network/api-trainings/revit-devcamp). Проверено 04.04.2021.
4. Does command that implements IExternalDBApplication need working instance of Revit application? – 2019 [Электронный документ]. – Autodesk (https://stackoverflow.com/questions/58817624/does-command-that-implements-iexternaldbapplication-need-working-instance-of-rev). Проверено 15.12.2019.
5. Burns, B. Designing Distributed Systems. // O'Reilly Media, 2018 – Pages 55-57.

УДК 624.13

К.В. Муратова[1], К.И. Стрелец[1], F. Tschuchnigg[2], I. Marzouk[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
[2]Graz University of Technology

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ГРУНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOILTEST

Введение. В настоящее время в геотехнической практике широко используются численные методы расчетов, которые реализованы в большом количестве программных комплексов, и определение исходных параметров грунта очень важно для отражения реальной работы фундамента геотехнических сооружений в программном комплексе [1]. Вследствие этого возникает необходимость в оптимизации, целью которой является проверка сходимости реальных лабораторных данных и численной модели и, при необходимости, поиск параметров, которые лучше отражают реальную работу грунта. Оптимизацию параметров почвы можно выполнить в программе «SoilTest», включенной в пакет программного обеспечения PLAXIS. Процесс оптимизации основан на алгоритме «роя частиц» [2]. Однако процесс оптимизации в программе основан на математическом подходе, который может привести к результатам, которые математически достоверны, но не отражают реальность. Таким образом, следует изучить ограничения программы SoilTest и разработать четкий алгоритм, позволяющий избежать неопределенностей.

Методы. Оптимизация проводилась в программе SoilTest с использованием модели Hardening Soil (HS-модель) – наиболее часто используемой модели в настоящее время. В этой модели общие деформации рассчитываются с использованием жесткости, зависящей от напряжения, которое различается для первоначального нагружения и для разгрузки/повторном нагружении [3]. Параметры HS-модели описаны в таблице 1. Последний столбец таблицы указывает, участвовал ли соответствующий параметр в процессе оптимизации.

Таблица 1 – Параметры модели Hardening Soil

Параметр	Единицы измерения	Определение	Оптимизация
E_{50}^{ref}	кПа	Секущий модуль жесткости при стандартном дренированном испытании грунта на трехосное сжатие	да
E_{oed}^{ref}	кПа	Касательный модуль жесткости при первичном нагружении в одометре	да
E_{ur}^{ref}	кПа	Жесткость при разгрузке/повторном нагружении	да
v_{ur}	-	Коэффициент Пуассона при разгрузке/повторном нагружении	нет
c'	кПа	(Эффективное) сцепление	нет
ϕ'	°	(Эффективный) угол внутреннего трения	да
ψ	°	Угол дилатансии	нет
m	-	Показатель степени для зависимости жесткости от уровня напряжений	да
K_0^{NC}	-	Величина K_0 для нормального уплотнения	да

Процесс оптимизации производился по следующим шагам:

1. Были выбраны два исходных набора данных по материалам, эти параметры используются в качестве эталона;
2. Моделирование трехосных и одометрических тестов и сохранение результатов в виде «лабораторных результатов», эти данные становятся «целью оптимизации» (“optimization target”);
3. Рандомизация исходных результатов и использование их в качестве параметров, которые следует оптимизировать – повторный запуск тестов, чтобы получить «начальная симуляция» (“reference simulation”);
4. Оптимизация параметров в различных комбинациях
$$(E_{50}^{ref} + E_{oed}^{ref} + E_{ur}^{ref}; E_{50}^{ref} + E_{oed}^{ref} + E_{ur}^{ref} + m;$$
$$\phi'; \phi' + K_0^{NC}; E_{50}^{ref} + E_{oed}^{ref} + E_{ur}^{ref} + \phi'; E_{50}^{ref} + E_{oed}^{ref} + E_{ur}^{ref} + m + K_0^{NC};$$ все параметры)
с использованием трех режимов интенсивности поиска (intensity of search) – “coarse and quick”, “moderate”, “thorough”. Также исследовались комбинации результатов различных лабораторных испытаний: трехосных (рис. 1) и одометрических (рис. 2) отдельно и одновременно;
5. Анализ результатов.

Результаты. Физически ϕ' и E_{50}^{ref} могут быть определены из результатов трехосных испытаний, E_{oed}^{ref} из одометрических; m из одометрических или минимум двух трехосных; E_{ur}^{ref} на основе кривых разгрузки/повторного нагружения в трехосных или одометрических испытаниях; K_0^{NC} с помощью оборудования для трехосных или одометрических испытаний, но с дополнительными настройками – должны быть определены оба параметра σ_1 и σ_3. Но в данном исследовании было изучено, как SoilTest ведет себя в случае недостатка данных для определения E_{ur}^{ref} и K_0^{NC}.

Анализ результатов показал, что оптимизация в SoilTest работает корректно только в случае, когда в ее распоряжении находится достаточное количество данных для однозначного определения параметров.

На основе проанализированных данных можно дать следующие рекомендации:

1. Параметры ϕ' и E_{50}^{ref} взаимосвязаны, поэтому не рекомендуется оптимизировать E_{50}^{ref} отдельно от ϕ', когда какой-либо из этих параметров не определен. Такой подход приводит к значительной потере точности. Но допускается оптимизация ϕ' отдельно от E_{50}^{ref} (в случае оптимизации ϕ' совместно с K_0^{NC}), но это приводит к незначительной потере точности

(примерно 5%). Когда возникает потребность в определении обоих параметров ϕ' и E_{50}^{ref}, рекомендуется следовать данному алгоритму для достижения максимальной точности:

1.1. Оптимизируйте все параметры (см. табл. 1), используя результаты трехосных испытаний в режиме “thorough” для определения ϕ' и E_{50}^{ref} (такой подход позволяет добиться максимальной точности в определении ϕ')

2.1. Для получения более точных результатов для параметра E_{50}^{ref} повторите оптимизацию с аналогичными настройками, но с закрепленным значением ϕ', полученном в пункте a.

Если значение ϕ' изначально известно следуйте только пункту *b*.

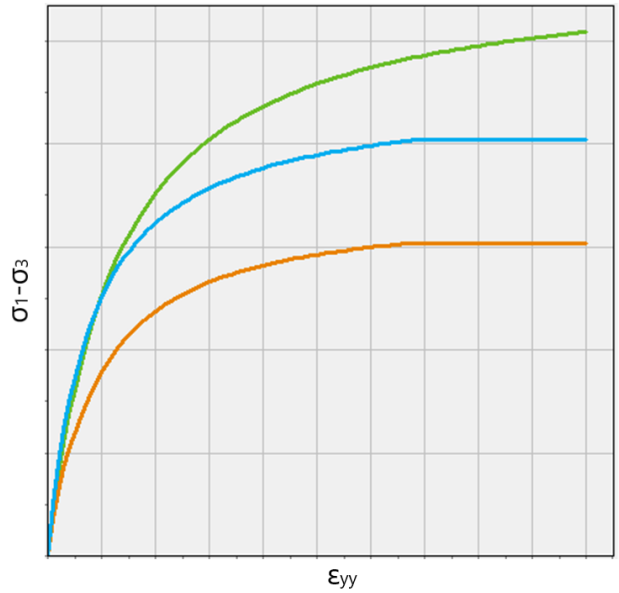


Рис. 1. Пример оптимизации с использованием трехосных испытаний

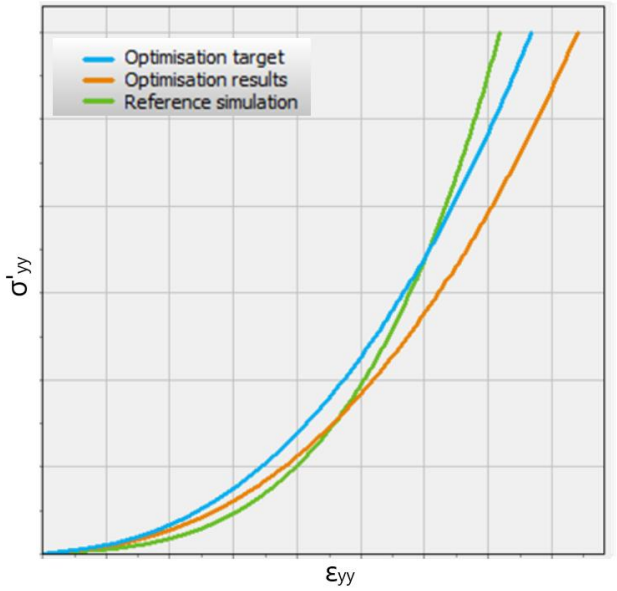


Рис. 2. Пример оптимизации с использованием одометрических испытаний

2. Оптимизация параметров жёсткости $E_{50}^{ref}, E_{oed}^{ref}, E_{oed}^{ref}$ совместно с m и всех параметров вместе, используя результаты одометрических испытаний в режиме “thorough” показала высокую точность в определении E_{oed}^{ref} и m. Для получения более точных результатов для параметра *m* следуйте пункту a параграфа 1 для определения ϕ' и затем оптимизируйте все параметры, используя результаты одометрических испытаний в режиме “thorough”, но с закрепленным значением ϕ', полученном в предыдущем шаге.

   Оптимизация параметра E_{oed}^{ref} отдельно от m приводит к снижению точности.

3. В ситуации, когда для определения E_{ur}^{ref} *and* K_0^{NC} недостаточно данных, программа не может определить эти параметры. Программа не использует известные корреляции между E_{ur}^{ref}, K_0^{NC} и остальными параметрами. В таком случае рекомендуется использовать аналитические зависимости – $K_0^{NC} = 1 - sin\phi'$ и $E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$ для введения этих параметров вручную.

Выводы. Оптимизация параметров в программном комплексе SoilTest показала хорошую сходимость с результатами лабораторных натурных испытаний. Использование режима в процессе оптимизации показало большую точность, чем использование режимов “coarse and quick” и “moderate”. Определение параметров на основе результатов трехосных и одометрических испытаний отдельно, показало большую точность, чем при попытке определения параметров при загрузке обоих тестов одновременно. Параметр ϕ' влияет на результаты оптимизации всех параметров, и поэтому рекомендуется оптимизировать его в первую очередь.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Ter-Martirosyan A., Sidorov V., Ermoshina L. Features of optimization of model parameters for solving geotechnical problems // MATEC Web of Conferences., 2018.
2. Brinkgreve R., Vermeer P. A. PLAXIS 2D Reference manual CONNECT EDITION V20 // Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands., 2019.
3. Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. The hardening soil model: Formulation and verification // Beyond 2000 in computational geotechnics. Ten Years of PLAXIS International. Proceedings of the international symposium, Amsterdam, March 1999., 1999.
4. Yin Z.Y. и др. Optimization techniques for identifying soil parameters in geotechnical engineering: Comparative study and enhancement // Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. 2018.
5. Мельников Р. В, Сагитова Р. Х.. Калибровка параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний в программе SoilTest // Академический вестник УралНИИпроект РААСН 2016.

УДК 693.98

Ю.К. Николаева, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ЦВЕТОВ И ЯРКОСТИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА МЕДИА-ФАСАДА В БИЗНЕС-ЦЕНТРЕ

В настоящее время жизнь человека тесно связана с современными технологиями. Одним из трендов современной архитектуры стала игра со светом. Медиа- и цифровые технологии становятся неотъемлемой частью развивающегося городского пространства. Все больше домов и небоскребов во многих странах мира превращаются в источники визуальной информации.

Медиафасад – это светодиодный, гибкий и динамичный видеоэкран, который устанавливается, как правило, на наружной поверхности здания. Он представляет собой сложную светодинамическую систему, интегрируемую в городскую среду (здания, уличную инфраструктуру и т.п.). Основные детали конструкции медиафасада – это точечные светодиодные источники света, пиксели.

Цель работы – проанализировать влияния различных цветов и яркости медиа-фасада на психологическое и эмоциональное состояние людей.

На первом этапе исследовалось влияние шага пикселя, диапазона яркости и градация яркости на восприятие картинки. Для медиа-фасадов шаг пикселя варьируется от 15 до 31 мм. Чем меньше шаг, тем качественнее изображение, при этом слишком маленький шаг также не воспринимается человеческим взглядом. Яркость полученного экрана зависит от количества на метр площади и определяется маркой и типом применяемых светодиодов. Для уличных медиа-фасадов данный параметр не должен быть ниже 6000 кд/м^2, так как при дневном освещении изображения может быть не видно, оптимальное значение для лучшего восприятия – 8000-10000 кд/м^2 [1]. Также важным показателем является – градация яркости. Чем он выше, тем лучше человеческий глаз считывает изображение. Самой оптимизированной величиной для медиа-фасадов считается величина равная 281,5 трлн. [2]. Устраивать медиа-фасад нужно так, чтобы центральная точка экрана находилась в таком месте, где аудитория с легкостью и четкостью могла рассмотреть транслируемое изображение и текст. Для медиа-фасадов нормативный угол обзора по вертикали/горизонтали – 120/120° [3].

На втором этапе исследования изучено непосредственно влияние различных цветов на людей. Цвет оказывает прямое воздействие на деятельность человека, на работу центральной нервной системы (далее ЦНС), а также вегетативную нервную систему (далее ВНС). Цвета необходимы для поддержания ЦНС в тонусе. Известны случаи недостатка цвета, когда при бедности цветов находящегося вокруг вида и обстановки возникали признаки астенизации

(болезнь, при которой у пациентов отмечают слабость, повышенную утомляемость, плохую переносимость нагрузок). У детей, которые большой промежуток времени проживали в условиях «цветового голодания», отмечались задержки в развитии, как в интеллектуальном, так и физическом [4]. В исследовании И.В. Годнева [5] показано, что на солнце обостряются различные чувства, такие как осязание, обоняние и вкус. Переход от недостатка света к его достатку приводит к уменьшению частоты пульса и увеличению кровяного давления. В работе Тарасовой Т.Ю. [6] цветовое влияние приводит к переменам тонуса ВНС, что оказывает воздействие на цветовое зрение.

На третьем этапе определены оптимальные цвета для использования на медиа-фасадах (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика цветов

Цвет	Характеристика
Красный	Лучше всего использовать с утра и до обеда, так как оттенки данного цвета помогают людям взбодриться. Переизбыток – приводит к вспыльчивости. Рекомендуется кратковременное использование. На протяжении 10-15 минут. Яркий красный подходит для солнечных и праздничных дней, а нейтральный для остальных.
Желтый	Лучше всего использовать с утра и до обеда, так как оттенки данного цвета активизируют мыслительную деятельность.
Оранжевый	Лучше всего использовать в первой половине дня, так как данный цвет помогает сконцентрироваться и улучшает работу головного мозга. Заряжает энергией и настроением на весь день. Любые оттенки этого цвета можно использовать как в праздничные, так и обычные дни.
Зеленый	Лучшее время для использования данного цвета – вечернее и ночное. Данный цвет обладает успокаивающим действием и снимает стресс. Рекомендуется время использования не более 1 часа, так как при длительном воздействии оттенки данного цвета приводят к упадку сил.
Синий	Лучшее время для использования данного цвета – вечернее и ночное, так как он действует аналогично успокаивающим средствам – седативно. Уменьшает раздражительность. При длительном использовании успокаивающее действие переходит в депрессию. Рекомендуемое время использования не больше 1-2 часов
Зеленый	Данный цвет можно использовать, как в утренние, так и вечерние часы, так как он улучшает работу сердца. Использовать рекомендуется не более 30 минут, так как при длительном воздействии утомляет.

Таким образом, для более комфортного восприятия медиа-фасадов в городе Санкт-Петербург будет рационально использовать все выше перечисленные цвета, так же обязательно чередование этих цветов во избежание перенасыщения. В ночное время суток лучше всего использовать зелёный, синий и фиолетовый, для уменьшения рисков раздражения людей, которые будут жить вблизи бизнес-центра. Более яркие оттенки всех цветов можно использовать в различные праздничные дни, а также в солнечные дни.

Таблица 2 – Характеристики медиа-фасада

Диапазон яркости, кд/м^2	Шаг пикселя, мм	Градация яркости, трлн	Угол обзора, градусы
8000-10000	20	282	120

По результатам исследования, можно выделить характеристики, которых необходимо придерживаться при проектировании медиа-фасада (таблица 2).

ЛИТЕРАТУРА:
1. Официальный сайт компании «Правильный свет». Режим доступа: http://finelight.ru (дата обращения 21.03.21г.).
2. Толкачева К.П., Шендель К.В. Применение лазерных технологий для проектирования архитектурного освещения // Современные техника и технологии. Сборник трудов XVII Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, ТПУ, 18 – 22 апреля 2016. – Томск: Изд. ТПУ. – Т. 3. – С. 281 – 282..
3. Официальный сайт компании «SVETOPROEKT». [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://svetoproekt.ru/arkhitekturnoe – osveshchenie (дата обращения 21.03.21г.).
4. Базыма Б.А. Психология цвета: Теория и практика // Цвет и Психика – 2005 г. – Изд: Речь – С. 24-28
5. Годнев И.В. К учению о влиянии солнечного света на людей и животных – 2006 г. – Казань: Изд. КГУ – С. 110-115
6. Тарасова Т.Ю. Мой цвет: Цветотерапия – 2005 г. – СПб: Изд. БХВ-Петербург – С. 10-17

УДК 69.003.12

В.А. Овсянникова, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ УТЕПЛЕНИЯ КРОВЛИ

Введение. В настоящее время многие общественные здания имеют важное значение для города, нередко становясь его визитной карточкой. Такие проекты создаются известными архитекторами мира, поэтому масштабны и амбициозны не только с точки зрения архитектуры, но и конструкций. Общественные здания включают в себя такие помещения, для которых необходимо создание свободного пространства, перекрываемого конструкциями большого пролёта. При их проектировании необходимо учитывать не только расчётные характеристики, но также и сметную стоимость таких решений [1, 2].

В данной статье проведён пример технико-экономического анализа трёх вариантов утепления кровли общественного здания с точки зрения сметной и приведённой стоимостей, а также веса конструкции.

Цель и задачи. Целью работы является подбор оптимального варианта утепления конструкции кровли общественного здания. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1) рассмотреть варианты утеплителей и описать основные их характеристики;
2) рассчитать необходимую толщину утеплителя по методике, описанной в СП 54.13330.2016;
3) рассчитать технико-экономических показателей для трёх вариантов утепления;
4) сравнить полученные при расчёте варианты и выбрать наиболее оптимальный.

Основная часть. В данной работе рассматривались такие теплоизоляционные материалы, как:

1. Плиты из пенополиуретана SPU R марки «SPU-INSULATION» [3];
2. Плиты из минеральной ваты URSA GEO [4];
3. Экструдированный пенополистирол ПЕНОПЛЭКС [4].

Основные их характеристики указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м^3	Теплопроводность при условиях эксплуатации Б, Вт/(м·°С)	Стоимость 1 м^2, руб.
Плиты SPU R	40	0,023	2351,70
Плиты URSA GEO	115	0,045	160
Пенополистирол ПЕНОПЛЭКС	40	0,032	324

Конструкция кровли, для которой выполняется расчёт, представлена на рис. 1.

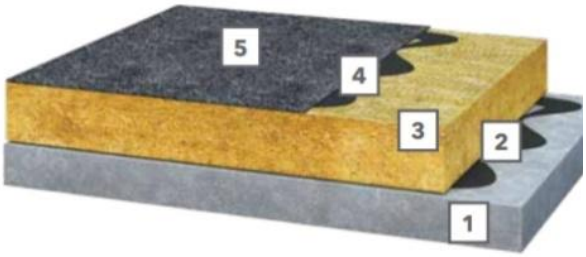


Рис. 1. Конструкция кровли

1. Железобетонное перекрытие (ρ = 2500 кг/м^3), толщина δ_1 = 0,25 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б1}$ = 2,04 Вт/(м°С).
2. Пароизоляция наплавляемая, толщина δ_2 = 0,005 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}$ = 0,17 Вт/(м°С).
3. Теплоизоляционный материал.
4. Гидроизоляция битумная, толщина δ_6 = 0,005м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б6}$ = 0,17 Вт/(м°С).
5. Битумно-полимерный рулонный материал ИКОПАЛ (ρ = 600 кг/м^3), толщина δ_8 = 0,02 м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б8}$ = 0,17 Вт/(м°С).

Общественное здание расположено в г. Санкт-Петербурге, поэтому расчётные климатические и теплоэнергетические параметры здания приняты согласно РМД 23-16-2019.

Расчёт толщины теплоизоляционного материала выполнен по методике, описанной в СП 54.13330.2016:

$$\delta_{из} = \left(\frac{R_0^{тр}}{r} - \frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н}\right)\lambda_{из},$$

где $R_0^{тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций ($R_0^{тр} = 3{,}24$ м$^2 \cdot$°С/Вт); r – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений по таблице 6 СП 23-101-2004 ($r = 0{,}85$); $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м$^2\cdot$°С), принимаемый по СП 50.13330.2012 ($\alpha_{вн} = 8{,}7$ Вт/(м$^2 \cdot$°С)); $\alpha_н$ – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м$^2\cdot$°С), принимаемый по СП 50.13330.2012 ($\alpha_{вн} = 23$ Вт/(м$^2 \cdot$°С)); δ_i – толщина i-го слоя конструкции, м; λ_i – теплопроводность i-го слоя конструкции, Вт/(м·°С); $\lambda_{из}$ – теплопроводность изоляционного слоя конструкции, Вт/(м·°С).

Технико-экономические показатели рассчитывались по методике, указанной в [5] и на основании сборников ГЭСН. Основными показателями, определяющими выбор варианта, являются сметная стоимость и приведенные затраты. Результаты расчёта толщин теплоизоляционных материалов и технико-экономических показателей сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта толщин утеплителей

Наименование материала	Толщина, мм	Масса 1 м^2, кг	Сметная стоимость, руб.	Приведенная стоимость, руб.
Плиты SPU R	80	3,2	21143,46	21426,78
Плиты URSA GEO	150	17,25	16998,74	17226,52
Пенополистирол ПЕНОПЛЭКС	110	4,4	12789,34	12960,71

Выводы. Наименьшее значение сметной стоимости и приведённой стоимости имеет конструкция с применением пенополистирола ПЕНОПЛЭКС. При этом масса такой конструкции имеет среднее значение, однако незначительно отличающиеся от материала с наименьшей массой – плит из пенополиуретана SPU R марки «SPU-INSULATION».

Таким образом, ограждающая конструкция объекта исследования имеет вид:

1. Железобетонное перекрытие, 250 мм;
2. Пароизоляция наплавляемая, 5 мм;
3. Плиты из пенополиуретана пеноплэкс (ρ = 40 кг/м^3), 80 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_б$ = 0,032 Вт/(м°с).
4. Гидроизоляция битумная, 5 мм;
5. Битумно-полимерный рулонный материал икопал, 5 мм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фомина В.Ф., Сидоров Н.Ф. Конструкции общественных зданий: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 85 с.
2. Маклакова Т.Г., Нанасова С.М., В.Г. Шарапенко, Балакина А.Е. Архитектура: Учебник. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 464 с.
3. АТР-СПУ-02-14 Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий
4. Ярцев В.П., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола) // Кровельные и изоляционные материалы, 2013, №1, с.8-11
5. Панибратов Ю.П., Барановская Н.И., Артамонов А.А. Экономические расчёты в курсовом и дипломном проектировании: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: гос. архит.-строит. ун-т, 2011. – 94 с.

УДК 004.94

А.Ю. Покуль, А.А. Кукина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Цель работы – проанализировать основные проблемы, возникающие при проектировании объектов атомных электростанций (АЭС) с использованием BIM-технологий, и дать рекомендации по их устранению.

Для достижения поставленной цели был проанализирован мировой и отечественный опыт проектирования АЭС. В качестве методов исследования использованы анализ литературы и практические примеры применения BIM-технологий при проектировании АЭС зарубежными и отечественными компаниями.

Потенциальное использование BIM в ядерном секторе варьируется от создания новых объектов до управления станцией на стадии эксплуатации, а также вывода из эксплуатации, управления ядерными отходами и их захоронением. Применение BIM зафиксировано в ключевых для отрасли документах МАГАТЭ, в частности, в «IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.5», а также закреплено во внутреннем стандарте государственной корпорации «Росатом» [1, 2].

В отличие от проектирования других промышленных и, тем более, гражданских объектов, работа над созданием АЭС имеет ряд специфических особенностей. Как следствие, при разработке проектов возникают определенные сложности, некоторые из которых удается решить с помощью внедрения BIM-технологий в процесс проектирования, а некоторые – нет. Для начала стоит обозначить эти особенности:

- Срок службы АЭС составляет шестьдесят лет, а вывод ее из эксплуатации может продолжаться несколько десятилетий [3]. Следовательно, созданная информационная модель должна сопровождать объект на протяжении всего жизненного цикла, включая стадии продления срока службы и вывода из эксплуатации [4].
- Необходимость обеспечить строгое соблюдение требований промышленной, радиационной и экологической безопасности при эксплуатации АЭС на всех этапах ее жизненного цикла [5].
- Огромное количество информации, описывающей конфигурацию станции. На момент пуска атомного энергоблока объем производственно-технологической документации может достигать несколько тысяч томов. Количество объектов на атомной станции измеряется сотнями тысяч единиц, при этом оно возрастает в прямой зависимости от степени зрелости проекта.
- Большое количество организаций, участвующих в создании проектно-конструкторской и технологической документации, несогласованность работы субподрядчиков.
- Непомерно высокая цена ошибок, которые могут возникнуть при проектировании такого сложного и опасного объекта, как АЭС.

Информационные технологии помогают отслеживать коллизии на ранних этапах проектирования, что значительно сокращает трудозатраты и повышает безопасность будущей станции. На сегодняшний день процедура поиска коллизий настолько плотно вошла в трудовую деятельность проектировщиков, что, например, в АО «Атомпроект» существует целый отдел инженеров, специализирующихся на поиске коллизий внутри информационных моделей.

Несмотря на известные преимущества, существует также ряд проблем в применении BIM-технологий при проектировании объектов атомной инфраструктуры:

- Использование множества информационных систем, основанных на различных платформах. Каждая из этих систем содержит свои собственные базы данных, касающиеся конкретной конфигурации и оборудования атомного энергоблока. Для реализации проекта по атомному строительству использовать одно программное обеспечение невозможно, так как у каждого продукта есть своя специализация, и работа над информационной моделью станции включает в себя разработку большого количества разделов документации от технологических схем трубопроводов до разработки архитектурных решений по фасадам зданий. Во время работы в разных информационных системах неизбежны потеря информации, несоответствие атрибутов или координат создаваемых в модели элементов. Для корректной передачи информации между разными программными комплексами необходимы специальные адаптеры для экспорта данных.
- При проектировании АЭС существуют строгие правила защиты технической информации. Например, перед передачей документов иностранному заказчику или размещением их в доступе для осуществления заказчиком контроля за ходом проектирования, необходимо получить заключение о том, что эти документы не содержат коммерческой тайны и не имеют отношения к физической безопасности. Поэтому полная интеграция заказчика в процесс проектирования, как и работа на так называемых открытых платформах, невозможна.
- В связи с выше описанными проблемами при проектировании АЭС применяется специальное программное обеспечение. Так как это оно не имеет широкого распространения на территории Российской Федерации, техническая поддержка со стороны его разработчиков происходит со значительными временными задержками и зачастую невозможна. Между обращением к техническому специалисту и фактическим решением проблемы может пройти несколько месяцев, что в условиях работы по утвержденному на годы вперед календарному плану недопустимо. Помимо этого, ни один из существующих программных комплексов не в состоянии обеспечить выпуск документации по всем нормам и стандартам, существующим в области атомной промышленности. Кроме общих правил оформления и кодирования для

каждого проекта разрабатываются отдельные процедуры, согласованные с заказчиком. Решением этих проблем может стать создание внутри проектных подразделений специальных отделов информационного моделирования, в которых работают специалисты, обладающие нужными компетенциями для осуществления технической поддержки используемого программного обеспечения, а также для обучения инженеров, разрабатывающих информационную модель. Однако, так как программные комплексы, в которых ведется проектирование, широко не распространены, найти специалистов в области их разработки – это следующая сложная задача, с которой сталкиваются организации при внедрении BIM-технологий в проектирование АЭС.

– Следующая проблема – это подбор и обучение сотрудников работе с внедряемыми программными комплексами. В настоящее время в России не составляет труда найти специалистов, владеющих знаниями в области информационного моделирования. Однако, даже им необходимо регулярно проходить обучение по меняющимся нормативам ядерной безопасности. Кроме того, как было сказано выше, используемые программные комплексы имеют специфический подход как к организации процесса проектирования, так и к эргономике рабочего пространства, что делает достаточно высоким порог вхождения для новых специалистов.

Выводы, которые можно сделать из анализа практики проектирования ядерных объектов, таковы: внедрение BIM-технологий внутри компании – процесс сложный, дорогостоящий и неминуемо сопряженный с рядом сложностей. Однако, для их преодоления можно дать следующие рекомендации:

1. Начиная с самых ранних этапов работы над проектом необходимо создавать регламенты по работе с информационной моделью и взаимодействию между заказчиком, проектировщиком, подрядными организациями, органами строительного контроля и надзора. К таким документам относятся Информационные требования заказчика (EIR) и План реализации проекта (BEP). В них должна содержаться актуальная информация, позволяющая избежать ошибок при интеграции разных информационных систем между собой, выборе программного обеспечения, работы с различными форматами, а также при совместной работе с подрядными организациями.

2. Необходимо создавать в проектных подразделениях отделы информационного моделирования, специалисты которых способны разрабатывать и внедрять необходимые технические и интеграционные решения, включая написание собственного программного обеспечения и кода.

3. Необходимо постоянно повышать компетенции специалистов отделов информационного моделирования, а также проводить регулярные обучения проектировщиков, работающих с моделью. Полезной практикой также является создание и актуализация базы знаний внутри проектного института.

Без сомнения, программные продукты, как и переобучение сотрудников, обходится дорого и длится не один месяц. При этом возникает необходимость менять организацию процесса проектирования в целом, ведь необходимо перестраивать не только процесс и программное обеспечение, но и психологию проектировщиков.

Выгоды, которые компании-проектировщики АЭС могут извлечь из применения BIM-подхода, следующие:

- значительное улучшение процессов планирования, проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений;
- сокращение расходов при одновременном сокращении технологических рисков и повышении безопасности;
- снижение затрат на протяжении всего жизненного цикла проекта;
- повышение качества проекта и устранение коллизий до начала строительства;

- уменьшение трудозатрат на проектирование;
- лучший контроль затрат и временных масштабов;
- большая прозрачность и стимулирование совместной работы между проектировщиками и с заказчиком;

Исходя из приведенных аргументов в пользу BIM, можно сделать вывод о том, что все эти показатели через какое-то время восполнятся за счет преимуществ информационного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. IAEA. Construction Technologies for Nuclear Power Plants – IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.5. 2011 г. 207 с.
2. СТО 95 12038-2018 Проектирование АЭС. Информационная модель АЭС. Общие положения.
3. ОАО «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях». Девятая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» тезисы докладов». Москва. 2014 г. 284 с.
4. Engaging with BIM – Nuclear Engineering International. URL: https://www.neimagazine.com/features/featureengaging-with-bim-5672206/ (дата обращения: 10.03.2021)
5. IAEA-TECDOC-1335 Configuration Management in Nuclear Power Plants, Vienna, 2003 г. 82 с.

УДК 69.04

И.А. Савельев, А.В. Яваров
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

На сегодняшний день информационное моделирование в строительстве охватывает почти все разделы: АР, КЖ, КМ, ОВ, ВК и т.д. кроме геологии, которая до сих пор полноценно не интегрирована в общую строительную модель. Даже сейчас геологические данные для строительства представлены преимущественно двухмерными чертежами разрезов и скважин. Единственное направление, где активно применяется геологическое моделирование – это исследование нефтяных и газонефтяных месторождений для обоснования бурения скважин и составления планов разработки месторождений углеводородов, включая оценку экономической эффективности предлагаемых геолого-технологических мероприятий [1].

Цель работы – создание информационной модели на основе геологических данных для дальнейшего использования в проектировании, создании чертежей и расчетах для строительства.

В [2] содержится информация о том, какие характеристики должна иметь информационная модель для строительства: атрибуты, геометрические параметры, графические свойства.

Согласно [3] информационная модель грунта должна иметь следующие признаки:

- выделение в пространстве модели по ключевым физико-механическим показателям расчетных геологических элементов (РГЭ) и других понятных для геотехников форм;
- выделение в пространстве модели по заданным показателям инженерно-геологических элементов (ИГЭ);
- пополнение модели новой информацией с возможностью выбора принципа интеграции данных (по принципу наложения, по принципу внедрения или по другим принципам, обеспечивающим гибкую работу модели).

Инструментарий для создания полноценных моделей грунта на данный момент есть в программных комплексах AUTOCAD, GEO5, LIRA, PLAXIS 3D, MIDAS, в которых можно

создавать объемную геометрию, присваивать ей необходимые свойства и задавать внешний вид. Созданные в данных программных комплексах модели можно использовать в дальнейшем для проектирования, расчетов, создания чертежей и спецификаций.

Для создания модели была выбрана программа Autocad Civil 3D с установленным геотехническим модулем программного комплекса Autodesk. Для обработки модели, присвоения параметров ИГЭ и связи с моделью сооружения – программа Revit. Так как эти программы находятся в одном программном комплексе, их совместное использование упрощает связь между данными моделей.

На этапе создания геометрии будущей модели необходимы данные инженерно-геологических изысканий, в частности, данные по скважинам. После обработки информации в программе Excel и импорта в Civil 3D с помощью геотехнического модуля [4] формируются скважины, представленные объемными телами (рис. 1).

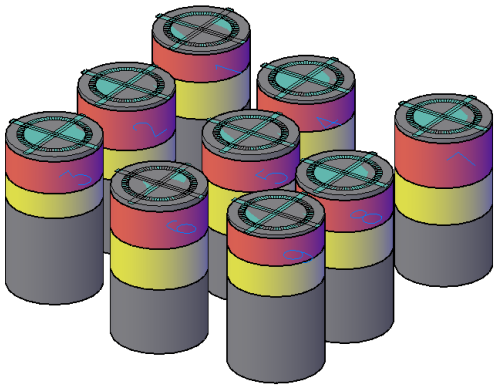


Рис. 1. Геологические скважины в Civil 3D, созданные с помощью Geotechnical Module

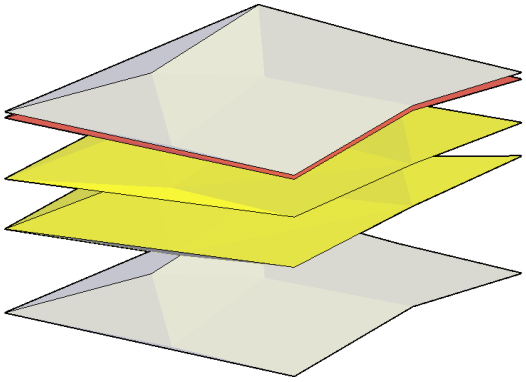


Рис. 2. Поверхности по скважинам в Civil 3D, созданные с помощью Geotechnical Module

Далее, по границам грунтов были построены поверхности слоев (рис. 2) будущих объемных тел (рис. 3). Затем готовая геометрия из Civil 3D импортировалась в среду Revit, где каждому слою были назначены характеристики, задан внешний вид и штриховки для разных уровней детализации. В данной модели для демонстрации указано несколько условных характеристик: номер, название, индекс, удельный вес.

Готовая модель грунта была импортирована в файл с проектом сооружения (для примера – простой железобетонный каркас на столбчатых фундаментах). Геологическая модель в проекте с сооружением представлена на рисунке 4.

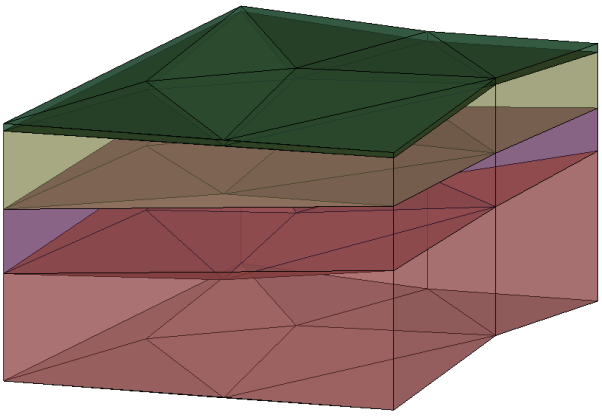


Рис. 3 Объемные тела, созданные в Civil 3D

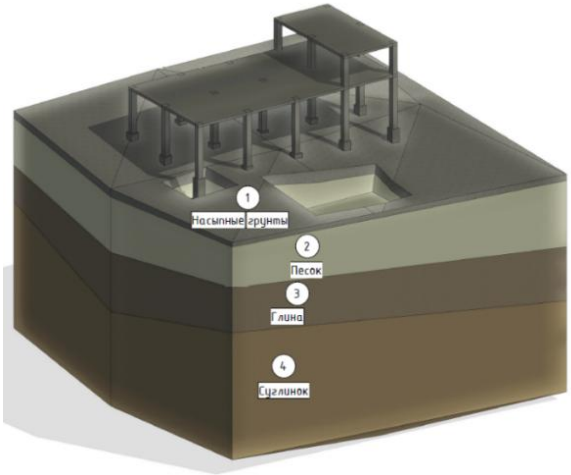


Рис. 4. Модель грунта и сооружение в программе Revit

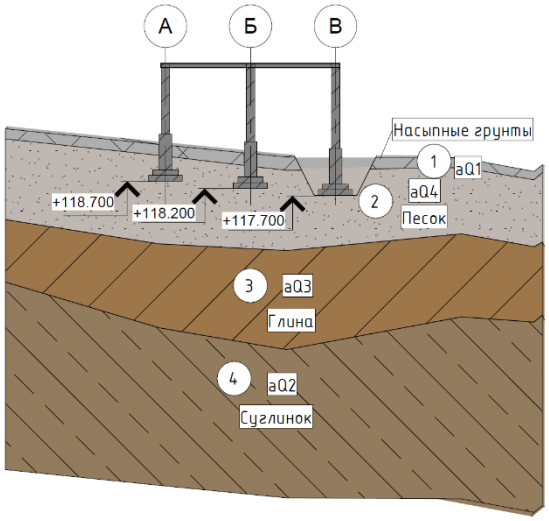


Рис. 5. Пример оформления геологического разреза в Revit

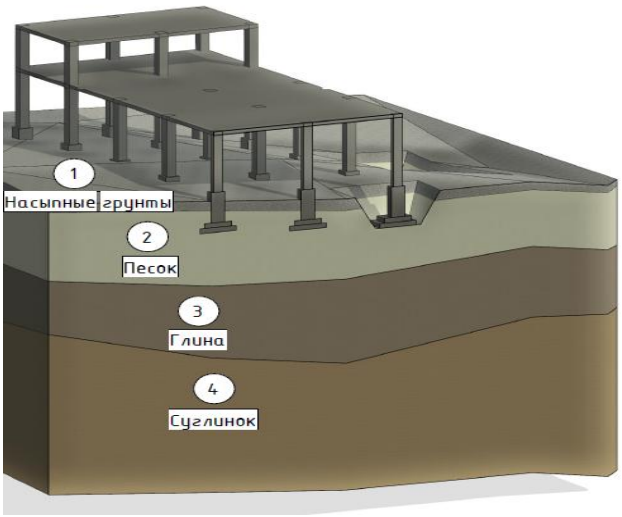


Рис. 6. Трехмерная проекция геологического разреза в Revit

Получившаяся геологическая модель может использоваться для формирования чертежей разрезов. Для каждого ИГЭ можно автоматически поставить специально созданную метку с номером, названием или другим необходимым параметром. Каждый геологический слой на чертеже имеет свою штриховку, цвет и текстуру. Есть возможность автоматически формировать таблицы и спецификации и выводить на лист для печати. Пример разреза и вид этого же разреза в трехмерной проекции представлены на рисунках 5 и 6.

С помощью специально созданных семейств осуществляется вырезание элементов геометрии из модели грунта, тем самым формируются выемки, котлованы, тоннели и т.д. Пример выемки грунта под фундамент и котлован можно видеть на рис 4, 5, 6.

Использование данной модели может повысить удобство и ускорить проектирование и создание чертежей фундаментов и подземных сооружений. Применение модели эффективнее использования двухмерных чертежей, которые обычно предоставляют вместе с результатами инженерно-геологических изысканий. Помимо проектирования и создания чертежей, геологическую модель можно импортировать в программный комплекс для расчета, что удобней, чем создавать геологию внутри расчетной программы с нуля. В статье [5] автор представляет опыт импорта трехмерной модели из программы Civil 3D в геотехническую программу PLAXIS 3D (формат DXF).

Как итог, в ходе работы получен метод формирования объемной геометрии на основе геологических данных и создания на основе этой геометрии полноценной информационной модели. Получившаяся модель пригодна для проектирования, выпуска чертежей и расчетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. ИПЦ «Маска» 2009. С-376.
2. СП 328.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели.
3. Болдырев Г.Г., Дивеев А.А. Трехмерная цифровая модель геологической среды как ключевой элемент BIM-технологии. Независимый электронный журнал «ГеоИнфо» 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.geoinfo.ru/product/samosvat-viktorvadimovich/trekhmernaya-cifrovaya-model-geologicheskoj-sredy-kak-klyuchevoj-ehlement-bim-tekhnologii-42694.shtml. (дата обращения 12.12.2020).

4. Morin G. An Introduction to the Geotechnical Module. Autodesk University. 2016. Pp. 1-27. [Электронный ресурс]. URL: https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Introduction-Geotechnical-Module-2016#handout. (дата обращения 10.03.2021).
5. Куренков А.С. и др. 13.06.2020. Проектирование хранилищ промышленных предприятий с использованием технологий 3D информационного моделирования. Независимый электронный журнал «ГеоИнфо» 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.geoinfo.ru/product/kurenkov-aleksej-sergeevich/ispolzovanie-tekhnologij-3d-informacionnogo-modelirovaniya-pri-proektirovanii-hranilishch-promyshlennyh-predpriyatij-42616.shtml. (дата обращения 12.12.2020).

УДК 691.335

К.А. Самохвалова, В.И. Клещевникова, С.В. Беляева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

В данной работе исследованы свойства рабочей смеси для использования в строительном 3D-принтере с учетом требований технологии 3D-печати и возможности ее применения при отрицательных температурах, а именно регулирование свойств бетона, быстрый набор прочности, морозостойкость, путем замещения цемента шлаком Челябинского МК и добавлением фибры.

Строительная 3D-печать является большим нововведением в строительной отрасли, которое начинает применяться при строительстве зданий. Однако не было уделено внимание разработке строительной смеси, которую можно использовать при отрицательной температуре. Это не позволяет использовать новую технологию зимой или в условиях пониженных температур. Данный вопрос представляет большое интерес, особенно для нашей страны поскольку введение данной технологии приведет к увеличению продолжительности строительного сезона и расширению потенциальной географии применения технологии. Современное производство адаптируются под нововведения и готово предоставить всю необходимую продукцию.

Однако, бетон является очень энергоемким и ресурсозатратным материалом. Кроме значительного потребления воды, производство портландцемента, основной части бетона, является причиной выбросов почти 10% CO_2 во всем мире. «Зеленой» заменой обычному бетону могут стать щелочеактивированные вяжущие. Они обладает множеством преимуществ: высокими показателями огнестойкости, химической стойкости и морозостойкости [1-3]. Одним из важных параметров от которых зависит способность материала противостоять замораживанию, а также оттаиванию, является количество пор в получаемом материале. При отрицательных температурах вода меняет свое агрегатное состояние, превращаясь в лед, увеличивая при этом свой объем примерно на 10%. Это приводит к пониженной адгезии, потери прочности, деформации конструкции, однако благодаря низкой проницаемости, такие бетоны устойчивы в агрессивных средах и при перепадах температур [4-6].

Состав смеси для печати на строительном 3D-принтере должен отвечать особым реологическим свойствам, обусловленным технологическими требованиями: рабочая смесь должна свободно загружаться в экструдер 3D-принтера и выкачиваться из него, а также выдерживать вес последующих слоев, сохраняя нужную форму [3, 4]. Так как традиционное армирование не применимо в случае 3D-печати, решением может стать дисперсное армирование, а именно использование фибры [7-8].

Целью данной работы являлось определение влияние шлака, фибры и противоморозных добавок на механические свойства бетонной смеси в условиях 3D-печати.

Первый этап исследования заключался в изучении возможности частичного замещения портландцемента молотым доменным шлаком. Образцы с содержанием шлака 0%, 30%, 50%, 70%, а также 50% с добавлением химической (противоморозной) добавки в количестве 2,35% были испытаны на прочность в возрасте 28 суток. Были испытаны следующие составы смесей (Ц/ЦШ:Ш/ЦШ:П/ЦШ:Щ/ЦШ:В/ЦШ): 1:0,00:1,64:2,62:0,40 (содержание шлака 0%), 0,70:0,30:1,51:2,71:0,40 (содержание шлака 30%), 0,50:0,50:1,67:2,50:0,40 (содержание шлака 50%), 0,30:0,70:1,33:2,62:0,40 (содержание шлака 70%), 0,50:0,50:0,22:2,38:0,46 (содержание шлака 50% + 2,35% ПМД). Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Замещение портландцемента молотым доменным шлаком

Класс бетона	% замещаемого шлаком ПЦ	Прочность на 28 суток, МПа
В22,5	0	37,0
	30	31,4
	50	29,8
	70	17,7
	50 + 2,35 ПМД	38,5

Результат. Образцы с добавлением шлака в количестве 30% и 50% от вяжущего показали набор прочности в соответствии с нормой. При замещении большего количества портландцемента без специальных добавок бетон не набирал достаточной прочности на 28 сутки. Применение противоморозной добавки позволило увеличит результирующую прочность.

Второй этап исследования заключался в подборе состава по подвижности и испытании смеси на прочность при затворении щелочным раствором (портландцемент, шлак, кварцевый песок, щелочной раствор). Также в состав для изготовления образцов была добавлена полипропиленовая фибра с длиной волокна 12-15 мм. В результате состав смеси следующий: 1:0,2:1,44:0,44 (Ц/Ц:Ш/Ц:П/Ц:В/Ц), Фибра (0,2%Ц), Фибра (0,5% Ц).

Испытание образцов с содержанием фибры 0%, 0,2% и 0,5% на изгиб и сжатие производилось согласно ГОСТ 310.4-81 в возрасте 1,3 и 7 суток. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний на изгиб и сжатие, МПа

Время	1 сутки		3 сутки		7 сутки	
Испытание	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
КО	3,437	22,409	4,675	28,828	5,557	40,435
ПП 0,5%	3,998	23,422	4,743	31,674	5,811	44,035
ПП 0,2%	3,969	23,030	4,817	23,886	5,238	43,556

Условные обозначения: Контрольный образец – КО, с полипропиленовой фиброй 0,5% – ПП 0,5%, с полипропиленовой фиброй 0,2% – ПП 0,2%.

Результат: В результате эксперимента наибольших показателей прочности достиг образец с добавлением 0,5% полипропиленовой фибры. На 7 сутки прочность на изгиб составила 5,811 МПа, на сжатие – 44,035 МПа. Добавление фибры незначительно улучшает прочность бетона, однако она оказывает влияние на общую связность и целостность смеси и бетона, улучшает технологические свойства смеси, делает ее более вязкой, а механические свойства позволяют сохранять форму образца.

Третьим этапом исследования были испытания на морозостойкость. В эксперименте использовался бетон В25 (ПЗ), с замещением молотым доменным шлаком 50% ПЦ, а также с добавлением противоморозной добавки ПМД. Составы (Ц/ЦШ:Ш/ЦШ:П/ЦШ:Щ/ЦШ:В/ЦШ): 0,50:0,50:1,63:2,16:0,37 с добавлением во второй состав 1,6% (7,05 г) противоморозной добавки Криопласт экстра. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний на морозостойкость

		Без добавок			С ПМД Криопласт экстра		
№ образца		1	2	3	4	5	6
Объем образца, $см^3$		1010	1010	1000	1010	1030	1020
Вес образца, г	До испытания	2428	2430	2434	2411	2442	2411
	После испытания	2486	2481	2487	2429	2441	2429
Показатели морозостойкости	ΔV, $см^3$	0,13	0,36	0,36	0,12	-0,19	0,10
	$\Theta_i x10$	0,13	0,36	0,36	0,12	-0,19	0,36
	$\Theta_{ср} x10$	0,3			0,1		
Марка бетона по морозостойкости		300			600		

Результат: В результате исследования было определено значение морозостойкости в соответствии с ГОСТ 26633-91. Испытания, что образцы бетона изготовлено при замене 50% портландцемента молотым шлаком имеют марку по морозостойкости 300, а образцы с применением противоморозной добавки 600. Это дает основание сделать заключение о том, что молотый гранулированный шлак увеличивает плотность смеси, а в следствие повышает морозостойкость.

Выводы:

1. Ввод молотого шлака и химических добавок в бетонную смесь обеспечивает повышение показателей прочности бетона;
2. Доменный шлак увеличивает плотность смеси, а это влияет на улучшение основных свойств бетона, а именно: морозостойкость и долговечность;
3. Применения фибры в составе бетонной смеси положительно влияет на взаимосвязь компонентов смеси, смесь становится более цепкой, в следствие чего повышается прочность бетона;
4. В сравнении с аналогичными активными минеральными добавками стоимость доменного молотого шлака ниже, чем у других, это снизить себестоимость строительства в целом;
5. Применение шлака позволит задействовать большие объемы отходов металлургического производства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дудников А.Г., Дудникова М.С., Реджани А. Геополимерный бетон и его применение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. №1-2 (228-229). С. 38-45.
2. Singh N.B., Middendorf B. Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview // Construction and Building Materials. 2020. №237. С. 117455.
3. Habert G., D'Espinose De Lacaillerie J.B., Roussel N. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: Reviewing current research trends. // Journal of Cleaner Production. 2011. №19. С. 1229-1238.
4. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Развитие и перспективные возможности получения и применения активированных щелочами гидравлических вяжущих и материалов на их основе // Вестник волжского регионального отделения Российской Академии архитектуры и строительных наук. 2011. №14. С. 151-167.
5. Kleshchevnikova V., Belyaeva S., Baranov A. (2021) Optimization of Mix Designs and Experimental Study of the Properties of Concrete Mix for 3D Printing. In: Vatin N., Borodinecs A., Teltayev B. (eds) Proceedings of EECE 2020. EECE 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 150. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72404-7_1
6. Davidovits, J. Geopolymers: Ceramic-Like Inorganic Polymers // Journal of Ceramic Science and Technology. 2017. №8(3). С. 335-350.
7. Belyaeva S., Nikonova O., Volkova Y. and Panfilov A. E3S Web Conf., 157 (2020) 06029 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706029
8. Клещевникова В.И., Логвинова А.С., Беляева С.В. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона. АльфаБилд. 2019. № 1. – С. 55–74

УДК 691.335

К.А. Самохвалова, Д.В. Рогозинникова, С.В. Беляева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СМЕСИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЕЧАТИ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Цель работы. Определение основных компонентов строительной смеси для строительной печати в условиях пониженных температур

Задачи:

1. Анализ существующих составов смесей для строительной печати;
2. Изучение составов смесей для строительной печати.

В настоящее время бетон является одним из самых применимых материалов в строительстве, с течением времени на рынке появляются все новые бетонные смеси, то есть темпы развития бетонов не снижаются, а наоборот увеличиваются. Современное производство адаптируются под нововведения и готово предоставить всю необходимую продукцию. Одним из новых направлений в производстве бетонных смесей является создание смесей для строительной печати или печати на 3D-принтере. Аддитивные технологии активно развиваются в строительной отрасли благодаря универсальности их принципов. Внедрение данной технологии в строительную отрасль дает большое количество преимуществ, таких как: минимальная численность персонала; как следствие снижение риска получения производственных травм; минимальное количество строительных отходов, следовательно, строительная экология растет, так как нагрузка на окружающую среду минимальна; увеличивает архитектурные очертания конструкций; высокая скорость и как следствие уменьшение сроков строительства; отсутствие опалубочных работ.

Для успешного применения аддитивных технологий в строительной отрасли требуется специализированное программное обеспечение, а также рецептура строительной смеси, которая соответствует всем нормам и требованиям. В части создания рецептур для строительной печати наблюдается большой пробел. Так как при 3D-печати не используется никакая опалубка, то традиционный бетон нельзя использовать. Для достижения минимальной деформации или её отсутствия в слоях должна достигаться нулевая осадка, однако сам бетон должен беспрепятственно перекачиваться насосом [1].

При создании подобных бетонных смесей особое внимание уделяется их гранулометрическому составу. Для разработки смеси пригодной для печати на 3D-принтере были проанализированы несколько составов смесей, имеющих различный состав. Характерным отличим бетонных смесей нового поколения является большое содержание порошкообразных материалов, производных от плотных горных пород и тонкозернистых природных или перемолотых песков фракций 0-0,5 мм. На первом этапе исследования были рассмотрены несколько смесей, где в качестве заполнителя использовались известняк, речной песок или смесь речного песка с известняком.

На рис. 1, 2 показаны составы смесей в процентном соотношении составных веществ, также видно, что составы смесей отличаются не только количеством воды, но и крупностью заполнителя и количеством вяжущего.

Как видно из представленной диаграммы, в качестве заполнителя для приготовленных смесей использовался речной песок. Смесь с мелким заполнителем без крупных включений позволяет достичь нужной формоустойчивости смеси, а также облегчить работу экструдера [3]. Также на формоустойчивость смеси влияет количество воды. С учетом особенностей новой технологии для повышения пластической прочности, адгезии и ускорения раннего структурообразования такие бетонные смеси должны быть модифицированы специальными добавками.

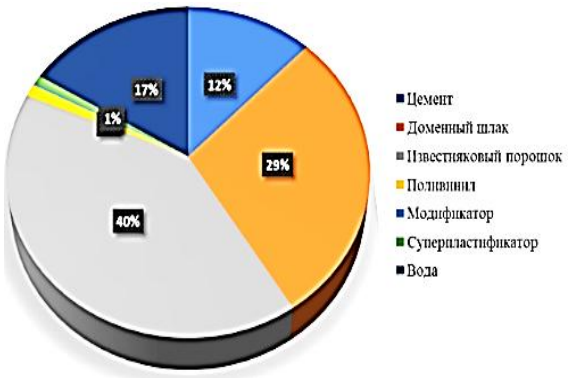


Рис. 1. Состав смеси №1

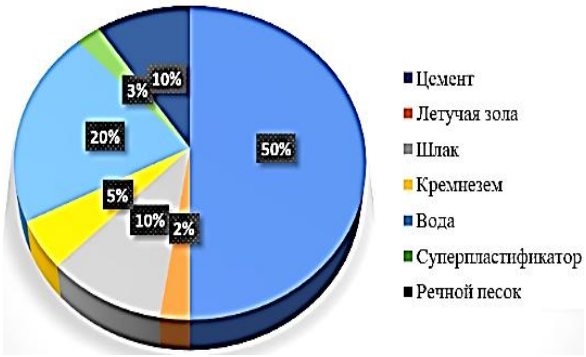


Рис. 2. Состав смеси №2

Для того чтобы обеспечить эффективность процесса трехмерной печати нужно соблюсти несколько условий. Во-первых, сцепление между первым и последующим слоем уменьшается с течением времени. Во-вторых, строительная смесь должна набрать определенную прочность для того, чтобы выдержать следующий слой не подвергаясь деформации. Обеспечение начальной прочности для ранее напечатанных слоев замедляет возведение самого объекта. Таким образом, заложенное время между двумя укладываемыми слоями должно быть таким чтобы обеспечить необходимую прочность на сжатие смеси и сцеплениями между соседними слоями в ранние сроки твердения [4]. Для предотвращения деформаций конструкции здания или сооружения в строительстве применяется армирование, однако применение армирования в строительной печати вызывает некоторые сложности, поэтому гораздо выгоднее использовать фиброармирование. В качестве фиброармирования может выступать полипропилен, базальт, сталь, а также стекловолокно. Для уменьшения теплопроводности бетона требуется применение наполнителей (керамзит, пенополистерол, вермикулит и т.д). Стоит отметить, что время от начала приготовление смеси до ее укладки должно составлять не более часа. Формование изделия происходит путем экструзии смеси из головки 3D-принтера. Приготовленные образцы оставляют до конца схватывания смеси и оставляют на определенное время для набора прочности, прочность образцов должна быть такой чтобы можно было транспортировать образец. Чтобы подобрать правильный состав смеси для строительной печати на основе цемента, которая сможет использоваться при отрицательных температурах, нужно проанализировать состав бетона и выявить параметры, влияющие на его морозостойкость. Для строительства в регионах с холодным климатом подходит бетон с морозостойкостью F150-F300, класс бетона может варьироваться от B22.5-B35, а водонепроницаемость от W6-W14 соответственно.

Одним из важных параметров от которых зависит способность материала противостоять замораживанию, а также оттаиванию, является количество пор в получаемом материале. При отрицательных температурах вода меняет свое агрегатное состояние, превращаясь в лед, увеличивая при этом свой объем примерно на 10%. Это приводит к пониженной адгезии, потери прочности, деформации конструкции [5]. На втором этапе исследования были проанализированы различные способы повышения морозостойкости, самым распространенным является добавление суперпластификатора в бетонную смесь, это приводит к увеличению плотности, водонепроницаемости, а, следовательно, повышает морозостойкость.

Рассмотрим смесь, содержащую суперпластификатор, полный состав смесей описан на рис. 3. В данном эксперименте варьировалось содержание полиэтиленового волокна, а также гидроксипропилметилцеллюлозы и аттапульгитовой наноглины. На рис. 3 показано содержание компонентов смеси в процентом соотношении. Как видно из представленной диаграммы, в качестве дополнительного вяжущего для приготовленных смесей использовалось полиэтиленовое волокно.

Смесь с наибольшим количеством полиэтиленового волокна показала наилучшие результаты при нахождении осадок слоев, и показала наилучший показатель морозостойкости [3], отсюда можно сделать вывод, что при разработке состава смеси для печати на 3D-принтере, обязательным является компонент, играющий роль дополнительного вяжущего. Присутствие противоморозных добавок обеспечивает сохранение жидкой фазы при отрицательной температуре до тех пор, пока не будет набрана критическая прочность.

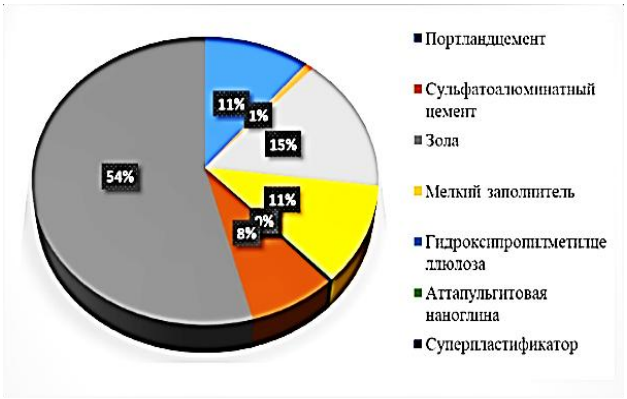


Рис. 3. Состав смеси №3

Также можно использовать противоморозные добавки с различными пластификаторами это позволит уменьшить расход воды при сохранении подвижности смеси. Наиболее применяемыми противоморозными добавками являются: хлористый натрий (применяется вместе с портландцементом, влияет на время загустения смеси, но плохо работает вместе с арматурой), формиат натрия (применяется только совместно с пластификаторами, иначе может образовывать пустоты),нитрит натрия (позволяет работать со смесью при температуре -14,5 °С, не предназначен для работы с глиноземистыми цементами), поташ (позволяет работать с раствором при температуре -30 °С, ускоряет процесс затвердевания бетона, не влияет на появление коррозии в металлических конструкциях. Необходимо учитывать при применении противоморозных добавок, что их работа заключается в том, чтобы смесь смогла достигнуть критической прочности за короткий промежуток времени и при этом бы не наблюдалось образование высолов.

Вывод. В ходе проектирования состава смеси в качестве компонента по замещению цемента хорошо показал себя доменный шлак, при его добавлении количество цемента можно снизить до 12% от массы состава смеси, а также следует отметить что применение шлака в составе смеси благоприятно для окружающей среды, так как шлак является отходом от металлургического производства. В качестве заполнителя принято решение использовать песок разных фракций, 0,125-0,5 см в диаметре, и известняковый порошок, масса песка и известнякового порошка в смеси не должна превышать 65% от общей массы, позволяет достичь нужной формоустойчивости смеси, а также облегчить работу экструдера. Добавки, включающие в себя суперпластификаторы и модификаторы, в соотношении 0,2% от общей массы раствора, позволяют добиться нужной формоустойчивости смеси. Для применения смеси в условиях пониженных температур необходимо использовать специальные добавки: хлористый натрий, формиат натрия, нитрит натрия, поташ, но их применение зависит от остальных составляющих смеси. Количество противоморозной добавки не должно превышать 25% от массы раствора, превышение этого показателя может привести к потере прочности и образованию высолов. Полученные данные должны быть испытаны в лабораторных условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пермяков М.Б., Пермяков А.Ф., Давыдова А.М. Аддитивные технологии в строительстве // European Research. 2017. № 1 (24). С. 14-15.
2. Binrong Zhu, Jinlong Pan, Behzad Nematollahi, et al. Development of 3D printable engineered cementitious composites withultra-high tensile ductility for digital construction// Materials and Design. 2019. С. 181-194
3. Figueiredoa S.C., Rodríguez C.R., Ahmed Z.Y. An approach to develop printable strain hardening cementitious composites// Materials and Design.2019.C.69-84
4. Дудников А.Г., Дудникова М.С., Реджани А. Геополимерный бетон и его применение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. №1-2 (228-229). С. 38-45.
5. Клещевникова В.И., Логвинова А.С., Беляева С.В. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона. АльфаБилд. 2019. № 1. – С. 55–74

УДК 69.04

А.С. Синдаловский, Р.И. Багаутдинов, Ю.П. Комаров
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НАИМЕНЬШЕЙ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ЗДАНИЯ

Цель работы – уменьшение металлоёмкости несущего каркаса здания благодаря использованию узлов конечной жёсткости, спроектированных в программном комплексе IDEAStatiCa.

Для достижения поставленной работы в программном комплексе SCAD были созданы несколько плоских рам с различными размерами и приложенными к ним нагрузками. Для данных рам были выполнены следующие расчёты:

1. Расчёт с жёсткими узлами сопряжения балок с колоннами;
2. Расчёт с шарнирными узлами сопряжения балок с колоннами;
3. Расчёт с узлами жёсткостью 2-5 кН·м/рад;
4. Расчёт с узлами жёсткостью 5-10 кН·м/рад;
5. Расчёт с узлами жёсткостью 10-60 кН·м/рад.

По результатам расчётов были подобраны сечения несущих элементов, построены эпюры моментов в балках, а также построены графики зависимости металлоёмкости рамы от жёсткости узлов. На основании графика зависимости металлоёмкости от жёсткости узлов была выбрана оптимальная жёсткость узла для трех вариантов рамных конструкций. Рама №1 имеет 5 этажей, 3 пролёта. Высота этажа 3 м, длина пролёта 7,8 м. Конструкция располагается в I ветровом районе, полезная нагрузка 39 кН/м. Рама №2 имеет 5 этажей, 5 пролётов. Высота этажа 3 м, длина пролёта 7,8 м. Конструкция располагается в I ветровом районе, полезная нагрузка 39 кН/м. Рама №3 имеет 10 этажей, 5 пролётов. Высота этажа 3 м, длина пролёта 7,8 м. Конструкция располагается в II ветровом районе, полезная нагрузка 39 кН/м.

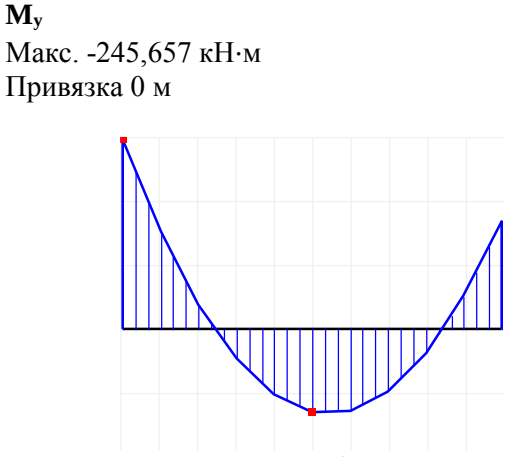


Рис. 1

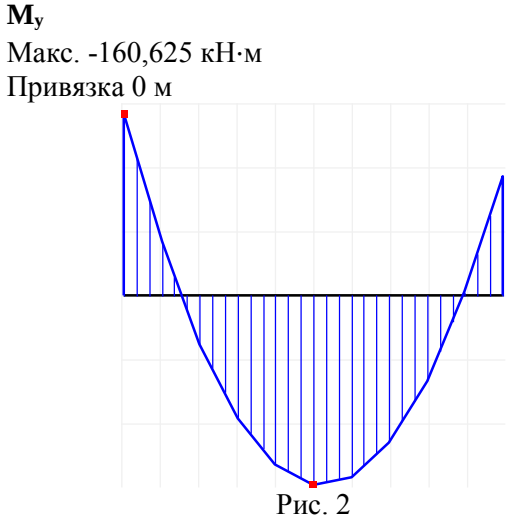


Рис. 2

Так, для рамы №1 оптимальная жёсткость узла составила 12874 кН·м/рад. При этом изгибающий момент в наиболее нагруженной балке уменьшился с 245,66 до 167 кН·м. Металлоёмкость рамы уменьшилась с 10,17 до 6,35 т. Профиль наиболее нагруженного двутавра изменился с 40Б1 на 35Б2. Эпюра моментов для балки с абсолютно жёсткими узлами представлена на рисунке 1. Эпюра моментов для балки с узлами конечной жёсткости представлена на рисунке 2.

Для рамы №2 оптимальная жёсткость узла составила 9243 кН·м/рад. Изгибающий момент в наиболее нагруженной балке уменьшился с 212,15 до 178,65 кН·м. Металлоёмкость рамы уменьшилась с 15,95 до 10,46 т. Профиль наиболее нагруженного двутавра изменился с 40Б2 на 35Б2.

Для рамы №3 оптимальная жёсткость узла составила 10371 кН·м/рад. Изгибающий момент в наиболее нагруженной балке уменьшился с 262,78 до 183,88 кН·м. Металлоёмкость рамы уменьшилась с 38,77 до 31,67 т. Профиль наиболее нагруженного двутавра изменился с 40Б1 на 35Б2.

Уменьшение момента в наиболее нагруженной балке обуславливается применением полужёстких узлов. При расчёте рам с жёсткой заделкой узлы сопряжения балок с колоннами условно принимаются бесконечно жёсткими. В таком случае эпюра изгибающих моментов балки имеет максимум на опоре. При шарнирном опирании балок на колонны жёсткость узлов равняется нулю. В этом случае момент на опорах равен нулю, а максимальный момент образуется в середине пролёта [1].

При использовании узлов конечной жёсткости эпюра изгибающих моментов представляет собой промежуточное значение между жёстким защемлением и шарнирным соединением, так как имеет меньший момент на опоре по сравнению с жёсткой заделкой и меньший момент в пролёте по сравнению с шарнирной схемой [2]. Таким образом осуществляется более равномерное распределение изгибающего момента по балке, а, следовательно, более эффективное использование несущего элемента [3]. Конечным результатом применения узлов конечной жёсткости является улучшение технико-экономических показателей конструкции [4].

Полученная оптимальная жёсткость узла представляет собой теоретическое значение, которое может расходиться с реальным значением жёсткости для спроектированного узла. Для решения задачи оптимизации жёсткости узла в ходе данной работы был использован программный комплекс IDEAStatiCa. В данной программе был спроектирован узел сопряжения колонны и балки таким образом, чтобы расчётная вращательная жёсткость имела минимальное расхождение с теоретическим значением.

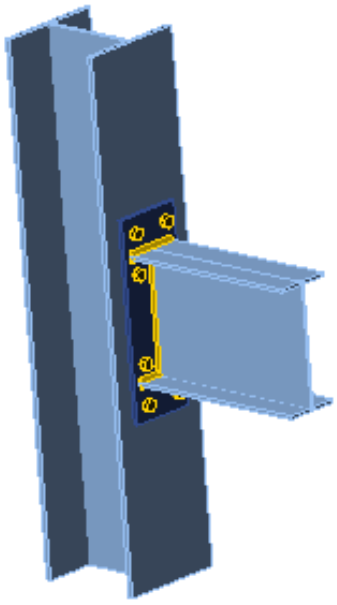


Рис. 3

В разработанном узле сопряжения балки с колонной используется торцевая пластина, к которой угловыми швами приварена двутавровая балка. Пластина в свою очередь крепится к полке колонны посредством натяжных болтов. Изображение узла приведено на рис. 3. Данная конструкция продемонстрировала себя как один наиболее эффективных вариантов узла конечной жёсткости [5], так как посредством изменения таких конструктивных элементов, как болты, пластины, балки и колонны, данный узел позволяет варьировать конечную жёсткость для каждого отдельного случая расчёта.

После создания узла в программном комплексе IDEAStatiCa был произведён анализ влияния конструктивных элементов узла на конечное значение вращательной жёсткости. Вычисленное относительное приращение жёсткости приведено в таблице 1.

Таблица 1

Компонент	Изменение	Абсолютное приращение жёсткости, кН·м/рад	Относительное приращение жёсткости, %	Относительное приращение прочности, %
Болты	Увеличение класса прочности на 1 пункт	1,3	11,4	2,4
	Увеличение диаметра на 2 мм	4,2	38,6	9,7
Пластина	Увеличение толщины на 1 мм	3,1	21,3	8,9
Колонна	Увеличение номера профиля на 1 пункт	8	44	6
Балка	Увеличение номера профиля на 1 пункт	6,2	38	12

Таким образом, в данной работе были продемонстрированы преимущества использования узлов конечной жёсткости при проектировании несущего каркаса здания из металлопроката, а также предложен один из наиболее эффективных вариантов конструкции узла сопряжения балок с колоннами. Был произведён анализ влияния конструктивных элементов узла на конечное значение вращательной жёсткости. Использование узлов конечной жёсткости позволяет уменьшить максимальные изгибающие моменты в ригелях каркаса при сохранении несущей способности конструкции, что в конечном счёте приводит к меньшей металлоёмкости конструкции, а, следовательно, улучшению технико-экономических показателей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Daz, C., Mart, P., Victoria, M., Querin, O.M. Review on the modelling of joint behaviour in steel frames. 67(5). Elsevier Ltd, 2011.
2. Kameshki, E.S., Saka, M.P. Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm. Computers and Structures. 2001. 79(17). Pp. 1593–1604. DOI:10.1016/S0045-7949(01)00035-9.
3. Bagautdinov, R., Monastireva, D., Bodak, I., Potapova, I. Feasibility study tool for semi-rigid joints design of high-rise buildings steel structures. E3S Web of Conferences. 2018. 33. DOI:10.1051/e3sconf/20183302022.
4. Lalin, V., Bagautdinov, R., Komarov, Y., Agafonov, I. Minimum bending moment distribution in skeletal structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 896(1). DOI:10.1088/1757-899X/896/1/012013.
5. Maali, M., Kılıç, M., Aydın, A.C. Experimental model of the behaviour of bolted angles connections with stiffeners. International Journal of Steel Structures. 2016. 16(3). Pp. 719–733. DOI:10.1007/s13296-015-0183-0.

УДК 69.003.12

К.А. Стольникова, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗАВИСИМОСТЬ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ОТ УРОВНЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ(LOD) BIM-МОДЕЛИ

Введение. На этапе разработки проектной документации важно наиболее достоверно оценить сметную стоимость на основании BIM-модели. В настоящее время активно разрабатываются BIM технологии, которые позволяют минимизировать затраты на подсчет объемов и планирование работ. Выявлена потребность создания алгоритма, позволяющий моделировать процесс оценки стоимости строительства, с целью получить величину итоговой стоимости на базе цифровой модели и на этапе ее корректировки [1-5]. Технологии 5D моделирования позволяют автоматически корректировать оценку сметной стоимости при

изменении BIM-модели. Для целей 5D-моделирования применяется программное обеспечение «BIM WIZARD» и «SmetaWIZARD», позволяющее произвести оценку стоимости. «BIM WIZARD» и «SmetaWIZARD» используются для автоматизированной разработки сметной документации.

Целью данной работы является анализ зависимости сметной стоимости от уровня детализации (LOD) на примере возведения свайного фундамента.

В ходе оценки сметной стоимости необходимо различать разницу между компонентами и атрибутами. Компоненты – это цифровое представление физических и функциональных характеристик элемента объекта строительства, атрибуты-свойства компонента, необходимые для определения его геометрии [2]. Уровень детализации (LOD) задает минимальный объем геометрических, пространственных, количественных требований.

Произведен расчет сметной стоимости свайного поля (рис.1.) с помощью BIM-модели. В примере расчета сметной стоимости было принято свайное поле из железобетонной плиты: толщиной 1000 мм; 157 свай: диаметром 600 мм и длиной 10 м.

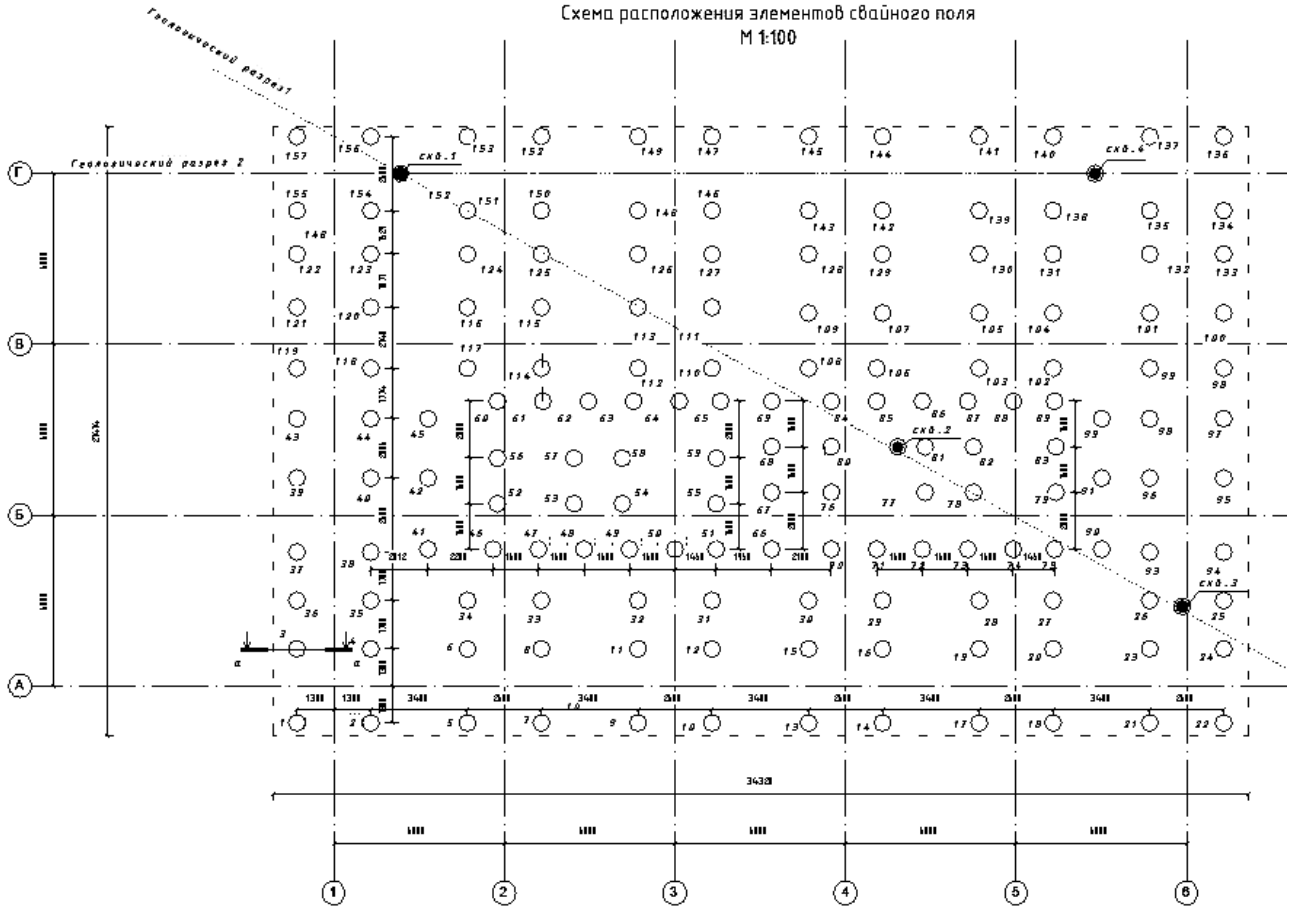


Рис. 1. Схема расположения элементов свайного поля

Уровень детализации для свайного фундамента применяется LOD 200 и LOD 400. На этапе LOD 200 определяется условная форма и размеры компонента, а LOD 400 относится к стадии «Рабочая документация». Для LOD 200 в программе Autodesk Revit создано свайное поле из компонентов «Колонна» и «Перекрытие». Для LOD 400 компонентам вручную заданы атрибуты: тип возведения, маркировка, производитель и артикул по каталогу.

Расценки компоненту модели назначаются с помощью 5D-технологии с возможностью выгрузки информации в сметную программу «SmetaWIZARD». На этапе назначения сметных норм компонентам BIM-модели заметна разница между уровнями детализации LOD 200 и

LOD 400. Для LOD 200 требуется больше времени на расчет сметной стоимости, так как в компоненте не отображена информация о технологии возведения свай, а вариантов расценок в сметно-нормативной базе представлено обширное количество (рис. 2).

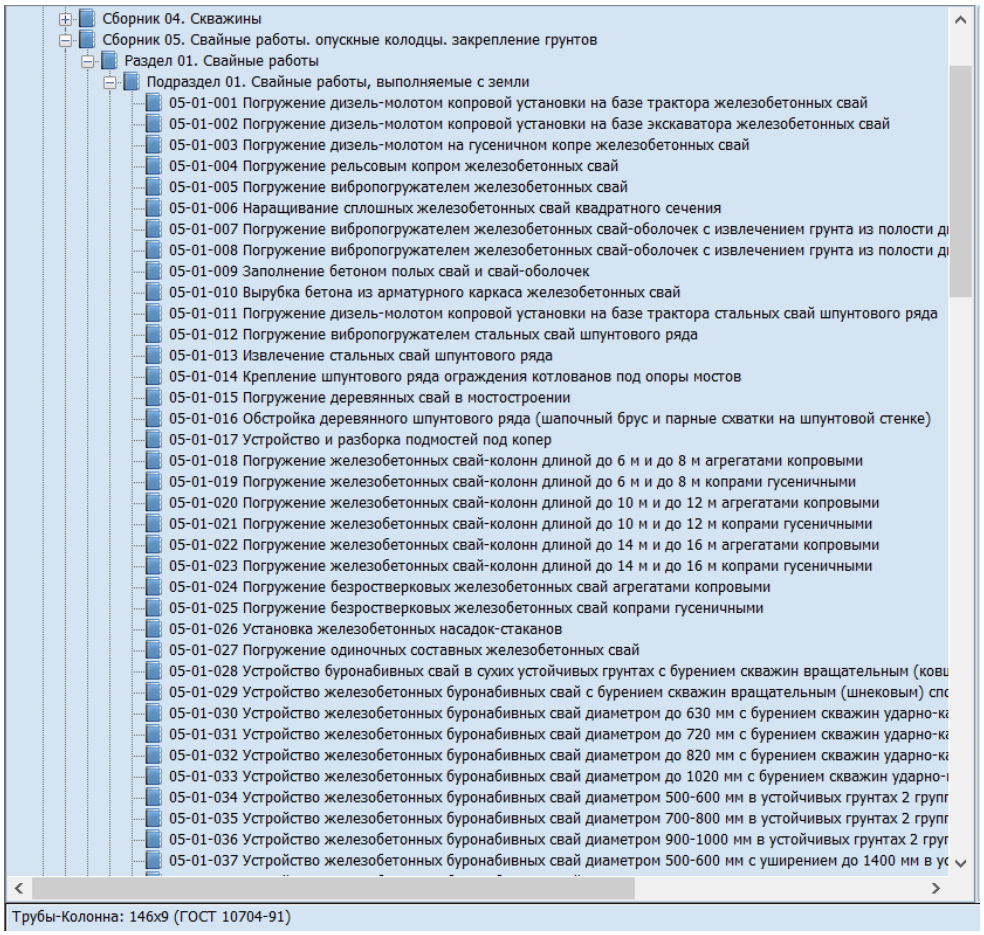


Рис. 2. Сметно-нормативная база ПО «SmetaWIZARD»

Итоговая стоимость на строительство свайного фундамента из железобетонной плиты и 157 штук свай составила 10 898 315,14 рублей, что составляет 15% от общей стоимости объекта капитального строительства [4]. Полученная сметная стоимость на уровне детализации LOD 200 сравнима с LOD 400 (рис. 3).

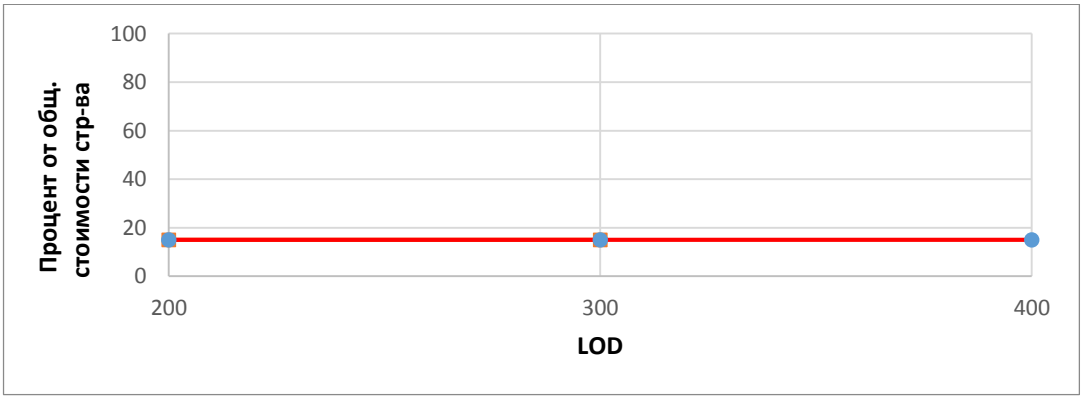


Рис. 3. Зависимость стоимости работ по устройству свайного фундамента от уровня детализации (LOD) BIM-модели

Выводы:

1. Предложен метод моделирования сваи в программе Autodesk Revit как компонент «колонна». Такой подход позволяет отобразить только каркас, остальные атрибуты специалисту требуется вносить вручную – что увеличивает время работы и расчет сметы. Это имеет отрицательный характер, так как информационные модели могут часто меняться в среде BIM. Во многих проектах модель не раскрывает свой потенциал из-за неполных или неточных данных, что в сою очередь не дает корректно оценить сметную стоимость компонента и проекта в целом.
2. Уровень детализации (LOD) не влияет на сметную стоимость работ по устройству свайного фундамента. При отрисовке свай с помощью колонн стоимость, полученная на уровне LOD 200, соответствует LOD 400.
3. Стоимость свайного фундамента с использованием BIM-модели составляет 15% от общей стоимости строительства. Сметная стоимость, определенная с помощью программных комплексов «BIM WIZARD» и «SmetaWIZARD» совпадает со сметной стоимостью, рассчитанной традиционным методом. Таким образом, инструменты 5D-моделирования позволяют исключить ошибки, связанные с человеческим фактором при расчете сметной стоимости строительства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Давыдов Н.С., Придвижкин С.В. Внедрение BIM-технологий в части ценообразования посредством использования систем автоматизации выпуска сметной документации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции 29–30 марта 2018 года. С. 8-13.
2. Воронин И.А., Изатов В.А. О возможности определения сметной стоимости строительных объектов с использованием BIM проектирования // Материалы всероссийской конференции «Экономические и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России», 2014. С. 11. Строительство уникальных зданий и сооруений.2014. №8 (23). С.116-127
3. Bedrick J., Reinhardt J. Level of development (LOD) specification part and commentary For Building Information Models and Data, (2019)
4. Мамаев А.Е, Шарманов В.В., Золотова Ю.С., и др. Прикладное применение BIM-модели здания для контроля инвестиционно-строительного проекта. СПбПУ. 216. №1-3. С. 83-87.
5. Приказ № 620 Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2009 г.
6. Smith P. Project cost management with 5D BIM, 29th World Congress International Project Management Association (IPMA) (2015)

УДК 528.065

А.А. Табаченко, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБРАБОТКА ПЛОТНОГО ОБЛАКА ТОЧЕК ПРИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Цель работы – получение цифровой модели и описание процесса обработки полученных данных с помощью аэрофотосъемки в программе Agisoft PhotoScan.

Для достижения поставленной цели был описан процесс обработки данных полученных в результате аэрофотосъемки. Похожий способ сбора данных описан в работах с изучением аэрофотосъемки и лазерного сканирования местности [1-4]. Данные были собраны с помощью беспилотного комплекта для аэрофотосъемки, представленного на рис. 1. Использовался набор из 107 снимков, полученных с помощью аэрофотосъемки. Объект расположен по адресу: Политехническая улица 27, город Санкт-Петербург и представляет собой ровный земельный участок без значительных перепадов высот, на котором располагается нежилое здание площадью 6 915.60 м^2, обеспеченный всеми необходимыми инженерными коммуникациями (электроснабжение, водопровод, канализация, отопление). Ближайшее

окружение – объекты жилого, общественного и учебного назначения, т.е. жилые дома, кафе и рестораны, магазины и офисы, ДОУ и университет Политехнического университета, различные спортивнее сооружения.



Рис. 1. Беспилотный комплект для аэрофотосъемки

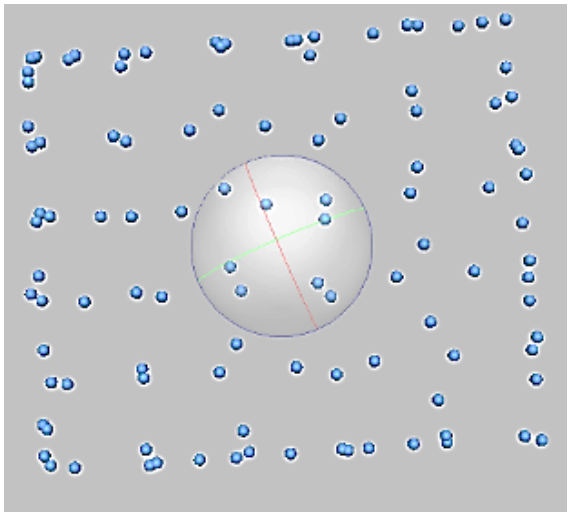


Рис. 2. Расположение снимков

Данные обрабатывались в программе Agisoft PhotoScan. Agisoft PhotoScan – это передовое программное обеспечение, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии, а также включающее в себя технологии машинного обучения для анализа и пост-обработки, что позволяет получать максимально точные результаты [5].

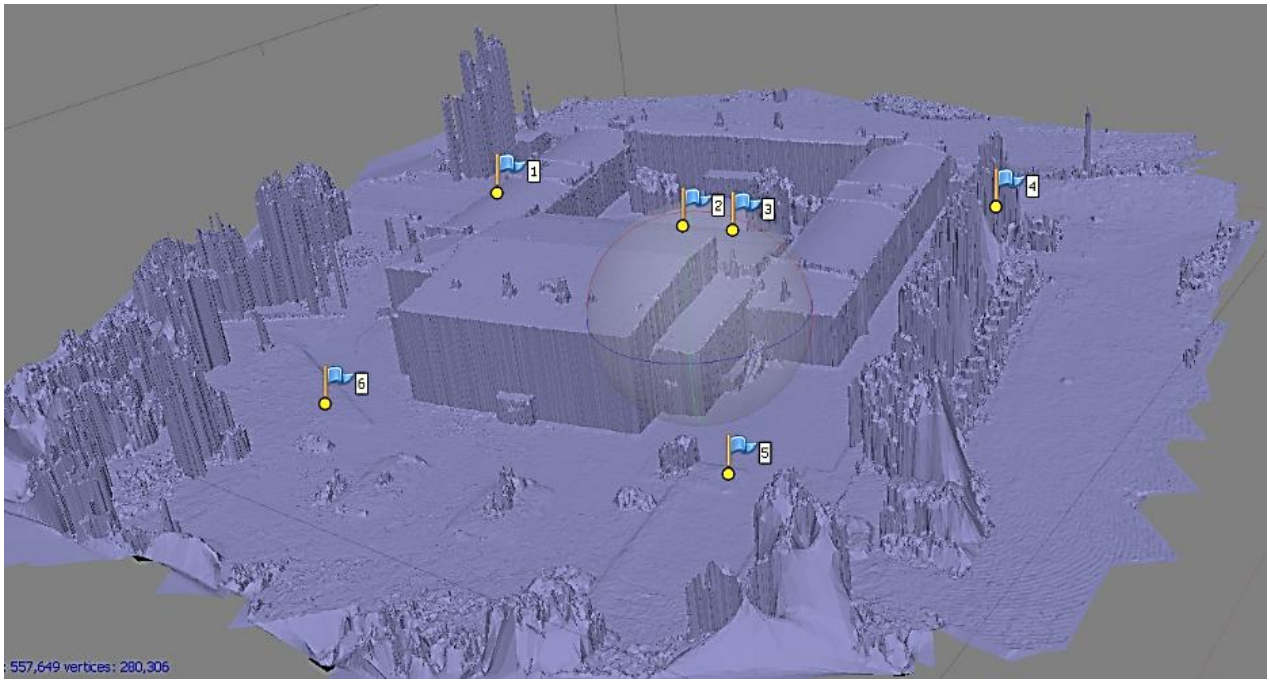


Рис. 3. Плотное облако точек в программе Agisoft PhotoScan

1. После загрузки фотографий, они выставились в порядке, в котором они были сняты в процессе залета, представленные на рис. 2, так как дрон имеет GPS оборудование навигационного типа, которое позволяет определять точность центров снимков;

2. С помощью функции выделения фотографий, мы отсеиваем фотографии, которые не подходят нам по качеству или выбранными нами параметрами;

3. После фильтрации всех фотографий, следующим этапом необходимо изменить систему координат. По умолчанию система координат, установленная дроном, WGS 84. Систему координат необходимо поменять на местную систему координат GS 64;

4. Первым этапом обработки служит – выравнивание камер. В результате которого получают разряженное облако точек с проекциями фотографии под необходимым углом;

5. Следующим этапом обработки следует привязка цифровой модели (всех снимков) к системе координат, которое мы задавали ранее. Данные, которые мы получили в системе координат в GS 64 нас не устраивают по той причине, что объект привязан с большой погрешностью. Для того, чтобы привязка нашей цифровой модели была точнее, необходимо привязать каждый снимок к наземным опознаком, которые были расставлены перед самой аэрофотосъемкой. В рамках данной работы было взято 6 опознаков. У каждого опознака имеется свои точные координаты (Y (восточное указание), X (Северное указание, высота точки). После выгрузки в проект маркеров опознаков с их координатами, нужно расположить их на каждом снимки на том месте, где располагается опознак;

6. После расстановки опознаков идет этап оптимизации выравнивании камер. С помощью инструмента в программе Agisoft PhotoScan – оптимизировать камеры. В результате программа значительно уменьшает ошибки (м) и ошибки (пикс.);

7. После уменьшения ошибок и погрешностей идет построения плотного облака точек, представленного на рис. 3, на основании данных полученных ранее;

8. На полученное облако точек накладывается текстура;

9. Для дальнейшего использования данной модели в программах для проектирования идет создание карты высот объекта на основе системы координат GS64. В результате получена карта высот с дискретностью 6.06 см/пикс, представленного на рис. 4.

10. Последним этапом является построение ортофотоплана. В результате получена карта высот с дискретностью 1,51 см/пикс.

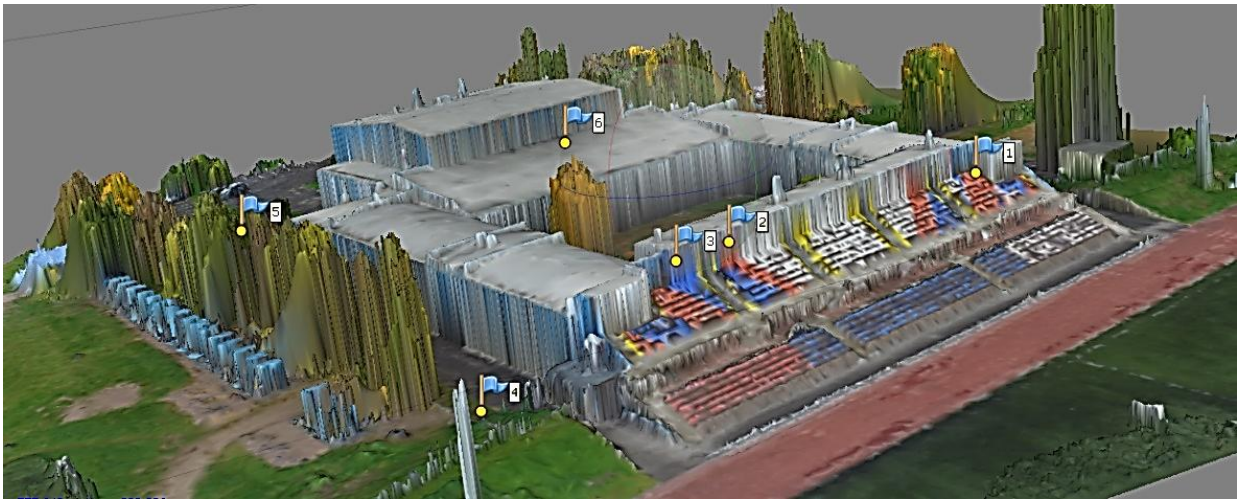


Рис. 4. Наложение текстур на плотное точек в программе Agisoft PhotoScan

Таким образом, в работе получена цифровая модель и описаны пункты этапы получения данной модели в программе Agisoft PhotoScan.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Шубина М.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки в целях картографирования наземных объектов // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сб. науч. тр. вып. 7. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2015. С. 64-79.
2. Киричек Р.В., Гришин И.В., Хундонугбо Э.Ф., Думин Д.И. Позиционирование элементов сенсорной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том. 4. № 2. С. 26–32. URL: http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20162/26-32.pdf.
3. Корнеев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотогамметрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №2 (65). С. 40-58.
4. Мельникова О.Г., Олейников П.П. Информационное моделирование зданий: опыт реконструкции памятников культурного наследия // Социология города. 2013. No 4. С. 72-80.
5. Agisoft Metashape Professional [Электронный ресурс]: – Описание программы. – 2021 – Режим доступа: https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape_pro

УДК 697.14

К.Д. Хритова, Д.В. Немова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОТНОГО ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Целью данной работы является рассмотрение и применение возможного комплекса мероприятий, которые позволят увеличить энергоэффективность высотного офисного здания.

Задачами исследования является проведение энергомоделирования здания с базовыми (существующими) параметрами объекта и новыми (более энергоэффективными) в ПО Autodesk Insight (далее – Insight) и их сравнение по суммарному удельному годовому расходу тепловой энергии.

Анализируемый объект – высотный бизнес-центр, расположенный в г. Санкт-Петербург. Энергомоделирование зданий представляет собой серию инженерных расчетов, позволяющих прогнозировать годовые потребления энергии зданием. И, как следствие – определить предположительную окупаемость проектных решений [2]. Модель здания позволяет размещать здание по точным географическим координатам, учитывая связанные с ними климатические характерные условия, ориентировать здание по сторонам света, учитывает функционал объекта и график работы людей и оборудования, типы инженерных систем и др.

Как показывают результаты энергетических обследований зданий жилого, общественного и административного назначения в структуре их энергопотребления большая часть приходится на тепловую энергию. По этой причине, а также с учетом высокой стоимости данного ресурса наиболее часто в зданиях внедряются энергосберегающие мероприятия, направленные на сокращение потребления тепловой энергии [3].

Энергоэффективность здания определяется уже на стадии проектирования. На этом этапе особенно важны архитектурные решения, поскольку они могут снизить будущий спрос на энергию. В современных коммерческих или общественных зданиях большое внимание следует уделять остеклению, которое оказывает значительное влияние на потребность в энергии. Коэффициент остекленности фасада проектируемого офисного здания (отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы [1]) равен 0,9, а большие площади остекления увеличивают потери тепла, следовательно, необходимо применение остекления с высоких показателем термического сопротивления.

Эффективными для утепления и отделки зданий считаются также вентилируемые фасадные системы утепления наружных стен [4], в которых предусматривается воздушная прослойка, служащая для удаления из утеплителя водяного пара. В рассматриваемом объекте наружная стена, состоящая из внутренней облицовки толщиной 10 мм, газобетона 300 мм, утеплителя 100 мм, вентилируемой фасадной системы из фиброцементных панелей толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 40 мм, обеспечивает необходимое сопротивление теплопередаче согласно формуле в таблице 3 [1]. Рассматривая критерии общей способности стеновых конструкций и кровельного покрытия противостоять тепловым потерям в Insight, были выбраны для сравнения ICF block (термоблок) толщиной 355 мм в качестве наружных стен и СИП-панели толщиной 260 мм в качестве кровельного покрытия, благодаря которым возможно уменьшение удельного расхода тепловой энергии, но применение которых может быть трудоемким и нецелесообразным для офисных зданий.

Одним из способов увеличения энергоэффективности является уменьшение инфильтрации, поскольку она неконтролируема, пропускает необусловленный воздух и обычно считается нежелательной, за исключением вентиляционных целей. Как правило, инфильтрация сводится к минимуму для уменьшения пыли, повышения теплового комфорта и снижения энергопотребления. Инфильтрация может быть уменьшена путем герметизации трещин в оболочке здания, установки вращающейся входной двери, которая лучше сопротивляется просачиванию воздуха, тщательной заделки мест ввода труб и воздуховодов, подбора необходимой конструкции дверей, ведущих к шахтам лифтов и лестниц.

Одним из способов увеличения энергоэффективности является уменьшение потребляемой мощности электрического освещения, которое можно достигнуть использованием светодиодных ламп, которые являются более энергоэффективными по сравнению с традиционными источниками света, потребляя менее четверти энергии, чем лампы накаливания.

Также одним из влияющих критериев является изменение графика работы, то есть уменьшение использования посетителями здания. В базовой модели представлен график работы здания по 12 часов 6 дней в неделю, в новой – по 12 часов 5 дней в неделю.

В качестве системы ОВК в ПО Autodesk Revit для базовой модели была выбрана центральная с переменным объемом воздуха, обогревом ГВ, холодильником с КПД 5,96, бойлерами с эффективностью сгорания 84,5%. Для сравнения рассматривается предлагаемая программой система PSZ, small unit, 20 SEER 85% AFUE, что означает сплит-систему, устанавливаемую с использованием воздуховодов и годовой эффективностью использования (безразмерным отношением полезного выхода энергии к притоку энергии, выраженное в процентах) равной 85%. В системах вентиляции и кондиционирования воздуха в целях повышения энергетической эффективности возможно использование таких методов, как повышение эффективности воздухораспределения в помещениях, использование предварительного нагревания и охлаждения, «комбинирование» систем обеспечения микроклимата с другими системами, совершенствование средств автоматизации технических систем [5].

В Таблице 1 приведены описание критериев для базовой и новой моделей, разность удельных годовых расходов тепловой энергии, принимая, что значения каждого из показателей в базовой модели принимаются за 0 для наглядного сравнения, и суммарный удельный годовой расход тепловой энергии, полученный в Insight для двух моделей.

Также дополнительным мероприятием по увеличению энергоэффективности здания может быть установка систем автоматизации и управления зданием, включающих управление отоплением, вентиляцией и кондиционирование воздуха, электричеством, освещением, затенением, контролем доступа, системами безопасности и другими взаимосвязанными системами. Примером такого решения может быть установка комплексной системы автоматического регулирования внутреннего освещения по датчикам движения и времени суток.

Таблица 1 – Сравнение критериев базовой и новой моделей

Изменяемые критерии	Описание критериев		Разность удельных годовых расходов тепловой энергии, кВт·ч/(м^2·год)
	Базовая модель	Новая модель	
Остекление	Двухкамерный стеклопакет с заполнением воздухом R = 1,0 м^2·°С/Вт	Двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном R = 1,4 м^2·°С/Вт	-74
Наружные стены	Многослойная стена из газобетона, утеплителя и вентилируемого фасада толщиной 460 мм	ICF block (термоблок) толщиной 355 мм	-39,37
Кровельное покрытие	Многослойное толщиной 465 мм	СИП-панели толщиной 260 мм	-21,49
Инфильтрация	0,4 АСН	0,17 АСН	-22,53
Освещение	9,18 Вт/м^2	3,23 Вт/м^2	-3,56
График работы	12/6	12/5	-7,47
ОВК	Центральная, переменный объем воздуха, обогрев ГВ, холодильник с КПД 5,96, бойлеры с эффективностью 84,5%	PSZ, small unit, 20 SEER 85% AFUE	-95,11
Суммарный удельный годовой расход тепловой энергии, кВт·ч/(м^2·год)	426	162	264

В заключении можно сделать *вывод*, что путем сравнения суммарных удельных годовых расходов тепловой энергии двух комплексов мероприятий, была получена модель здания со значением данного показателя равным 162 кВт·ч/м^2 в год, что меньше показателя базовой модели на 162%. Для нахождения оптимального варианта увеличения энергоэффективности необходимо также произвести расчет окупаемости данных решений и рассмотреть возможность их применения для данного бизнес-центра.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
2. Чижков А.С., Юкова К.В. Актуальность и способы внедрения энергомоделирования зданий // Символ науки. – 2019. – №11. – С. 30-34.
3. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий // Вестник ИГЭУ. – 2015. – № 4. – С. 1–6.
4. Фиалко И.Ф., Стаценко А.С. Энергоэффективность систем утепления наружных стен зданий и сооружений с вентилируемыми воздушными прослойками // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – №3. – С. 82–87.
5. Лысёв В.И., Шилин А.С. Направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2017. – №2(26). – С. 18-25.

УДК 65.011.8

А.А. Черных
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНТРОЛЬ РЕСУРСОВ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ С ПОМОЩЬЮ BIM ТЕХНОЛОГИЙ

Решение вопроса контроля объемов строительных материалов, используемых на строительной площадке, во многом зависит от подходов реализации контроля ресурсов, применяемых на строительной площадке.

Контроль ресурсов на строительном объекте – один из основных факторов, влияющих на экономичность и рентабельность законченного строительного объекта, кроме того, это обеспечивает самое важное – надежность и долговечность объекта.

На сегодняшний день в строительной отрасли существует ряд проблем, связанных с контролем ресурсов на строительной площадке:

1. Устаревшие технологии измерений объемов строительных материалов.
2. Использование старой техники и приборов для измерений.
3. Недостаточная координация на строительной площадке и медленное решение вопросов.
4. Неточные данные, получаемые при подсчете объемов строительных материалов.

В нашей стране многие строительные компании постепенно переходят на BIM для использования его при проектировании, но большинство строительных компаний не применяет BIM при строительстве.

В свете вышеизложенного мы видим, что стоит ряд актуальных вопросов, которые можно решить внедрением автоматизированных технологий в процесс строительства. Это поможет избежать неточностей и переплат.

Цель работы – выявить особенности контроля ресурсов на строительном объекте с применением информационной модели.

На этапе инвестирования денежных средств в тот или иной проект самым актуальным является вопрос, как достичь наилучшего эффекта с минимальными вложениями при условии обеспечения качества проекта. Посредством планирования, управления, обеспечения и улучшения можно добиться ожидаемого качества проекта [1]. Для определения стоимости всего процесса строительства могут использоваться BIM технологии.

Quantity takeoff (QTO), так называемый расчет объемов работ, – очень полезный инструмент, который автоматизирован в программном обеспечении BIM [2]. Инструменты BIM выполняют вычисления с использованием геометрических свойств элемента, поэтому без труда выявляют пространственные величины, такие как площадь и объем.

На этапе проектирования с помощью подсчета объемов в ПО Revit можно быстро составить спецификацию материалов, ведомость объемов стали, то есть с минимальными трудозатратами определить объем бетона, арматуры, количество закладных деталей и т.п. Всё это дает основу для расчета сметы проекта, помогает оценить стоимость проекта и продолжительность строительных работ, и в настоящее время эти возможности активно используют компании.

На этапе строительства BIM применяется в нашей стране редко, либо не применяется вообще, хотя в возможности BIM входит осуществление контроля реализации проекта.

Был проведен опрос среди 10 строительных компаний Санкт-Петербурга, содержащий 8 вопросов. Целью опроса было определить, используют ли компании BIM технологии, какие ПО они используют для проектирования, для подсчета объемов, для нахождения коллизий, для построения календарного графика и применяют ли они BIM для контроля строительных ресурсов. Результаты опроса сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты опроса

Применение в компании BIM технологии	Да	Нет
В целом	9	1
При проектировании	9	1
Для подсчета объемов	7	3
Для планирования сроков работ	3	7
Для контроля ресурсов	3	7
Для управления транспортными средствами и людьми	0	10

Информационная модель может содержать в себе логистические данные, определяющие сроки поставки строительных материалов и оптимальные варианты доставки. BIM-моделирование позволяет спланировать социальную инфраструктуру и транспортную сеть в районе застройки, составить подробный план работ и календарный план, определить необходимое количество техники и ресурсов для выполнения работ, получить расчет затрат, а также проконтролировать объемы строительных материалов, поставляемых на строительную площадку. Но далеко не все строительные компании пользуются такими возможностями. Это может быть связано с тем, что для внедрения BIM возникает необходимость обучать сотрудников, обновлять оборудование, тратить денежные средства на покупку лицензии ПО, фундаментально изменять привычные рабочие процессы.

Для контроля ресурсов технологии BIM используют меньше всего компаний, это может быть связано еще и с тем, что в данную функцию входит недостаточно обширный спектр возможностей. Для того, чтобы внедрить данную систему, необходимо тщательно исследовать и возможно улучшить внедрения QTO в BIM (в Autodesk Revit, Navisworks Manage), а также расширить спектр возможностей BIM для контроля ресурсов.

В вопросе управления транспортными средствами и людьми, поставляющими ресурсы на строительную площадку, может помочь система RFID. RFID (Radio Frequency IDentification) – это система отслеживания местоположения, использующая радиоволны. Данный инструмент может использоваться для управления оборудованием и материалами на складе или на стройплощадке путем установки на них RFID-метки, далее информация передается на считывающее устройство. При поддержке глобальной системы позиционирования (GPS) можно отследить местоположение перемещаемых объектов, поступающих материалов или же грузовых машин [3].

Есть возможность осуществить связь RFID с BIM моделью для этого можно использовать BIM API. На основе тега ID выполняется поиск в базе данных BIM, чтобы найти и выделить элемент. Определение местонахождения рабочих на строительной площадке очень важно, чтобы следить за безопасностью, не отставать от сроков и не терять деньги.

Если дело касается строительства крупных объектов, где есть необходимость в поиске и привлечении десятка подрядных организаций и специалистов, в аренде или покупке сотни единиц техники, то без современных возможностей информационных технологий обойтись невозможно, ведь на обработку информации тратится огромное количество человеко-часов, которые оплачивает компания, и не исключены многочисленные ошибки, которые ведут к потерям. BIM-технологии имеют большой потенциал в качестве инструмента управления ресурсами и анализа результатов [4].

Точный подсчет объемов и постоянный контроль ресурсов имеют решающее значение для экономического баланса финансов инвестора, поскольку это единственный способ тщательного анализа производительности и различных видов затрат в конкретном проекте.

Технология информационного моделирования объекта повышает качество работ и экономическую эффективность строительного производства, позволяет совершенствовать методы контроля ресурсов, формирует стратегии, позволяющие оперативно принять

инвестиционные решения [5]. Контроль ресурсов на строительной площадке влечет за собой сокращение ошибок и издержек на исправление брака, увеличение производительности труда, качества возводимого объекта и получение большей прибыли.

Исходя из вышеизложенного, можем сделать вывод, что на сегодняшний день в Санкт-Петербурге строительные компании не используют BIM технологии для управления ресурсами. 90 % компаний пользуются BIM при проектировании, 70 % при определении объемов материалов, и только 30 % для контроля поставляемых ресурсов и планирования сроков работ.

Таким образом, разработка и исследование методик контроля ресурсов с помощью BIM, является актуальной задачей. Это поможет избежать неконтролируемых трат и реализовать эффективное управление. Также встает необходимость определять местонахождение рабочих на строительной площадке и транспортных средств, т.к. это отражает фактическое распределение работы в соответствии с запланированным графиком. Все это может быть осуществлено с помощью применения BIM технологий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ватин Н.И., Макеев П.В., Вегера А.Г., Самопляс Т.В. Контроль качества строительной продукции: метод. указания // СПб.: СПбГПУ, 2003. 20 с.
2. Алшабаб М.Ш., Высоцкий А.Е., Макаров С.И. Практические рекомендации по повышению точности и эффективности предварительного расчета объемов работ с использованием технологий BIM в Autodesk Revit и Navisworks Manage.
3. Милов А.В. Особенности контроля параметров логистики складирования машиностроительного предприятия // Логистические системы в глобальной экономике. 2018. № 8. С. 368-370.
4. Романович М.А., Чан Н.А. Effectively interacted project management in construction site with RFID technology. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2020.
5. Байбурин А.Х. Научные и методологические основы оценки качества работ при возведении гражданских зданий. Автореферат дис. кандидата технических наук. Южно-уральский государственный университет. 2007. 36 с.

УДК 69.003.13

П. Ярашов, А.Ю. Городишенина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ СКРИПТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА В DYNAMO

В современном мире использование BIM стало достаточно распространённой практикой в проектных организациях. Наиболее известная программная среда трехмерного моделирования в комбинации с визуальным редактором программирования – Autodesk Revit с надстройкой Dynamo, является основой для организации совместной деятельности архитекторов, конструкторов, инженеров и другими участниками процесса [1,2].

Цель работы – теплотехнический расчет с помощью визуального программирования в Autodesk Revit с использованием Dynamo в виде алгоритма.

Для достижения данной цели был предложен скрипт, который учитывая основные и полные теплопотери через ограждающие конструкции здания позволит выполнить теплотехнический расчет (рис.1). В качестве основы для предложенного алгоритма был использован скрипт А.И. Попова [3].

Скрипт состоит из трех основных частей. Первая часть представляет собой основную информацию, важным условием которой является наличие в каждом помещении заполненных входных параметров, таких как: теплопотери через ограждающие конструкции, необходимые коэффициенты и т.д.

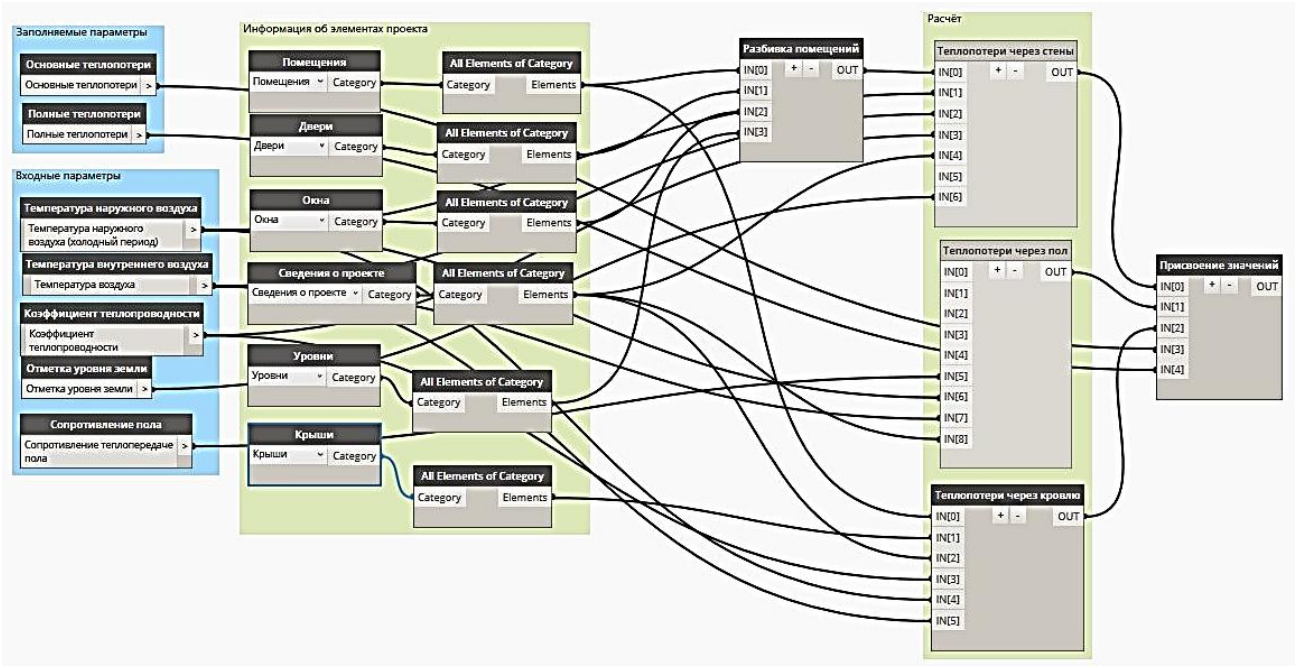


Рис. 1. Скрипт – теплотехнический расчет в Dynamo

После запуска скрипта автоматически создаются несколько разделов: в свойствах помещений появляется раздел «Результаты анализа», во вкладке «Управление» в параметре «Информация о проекте» появляется раздел «Расчет энергопотребления». Далее необходимо заполнить созданный раздел «Расчет энергопотребления» в соответствии с требованиями к проекту, после чего заново запускается скрипт (рис. 2).

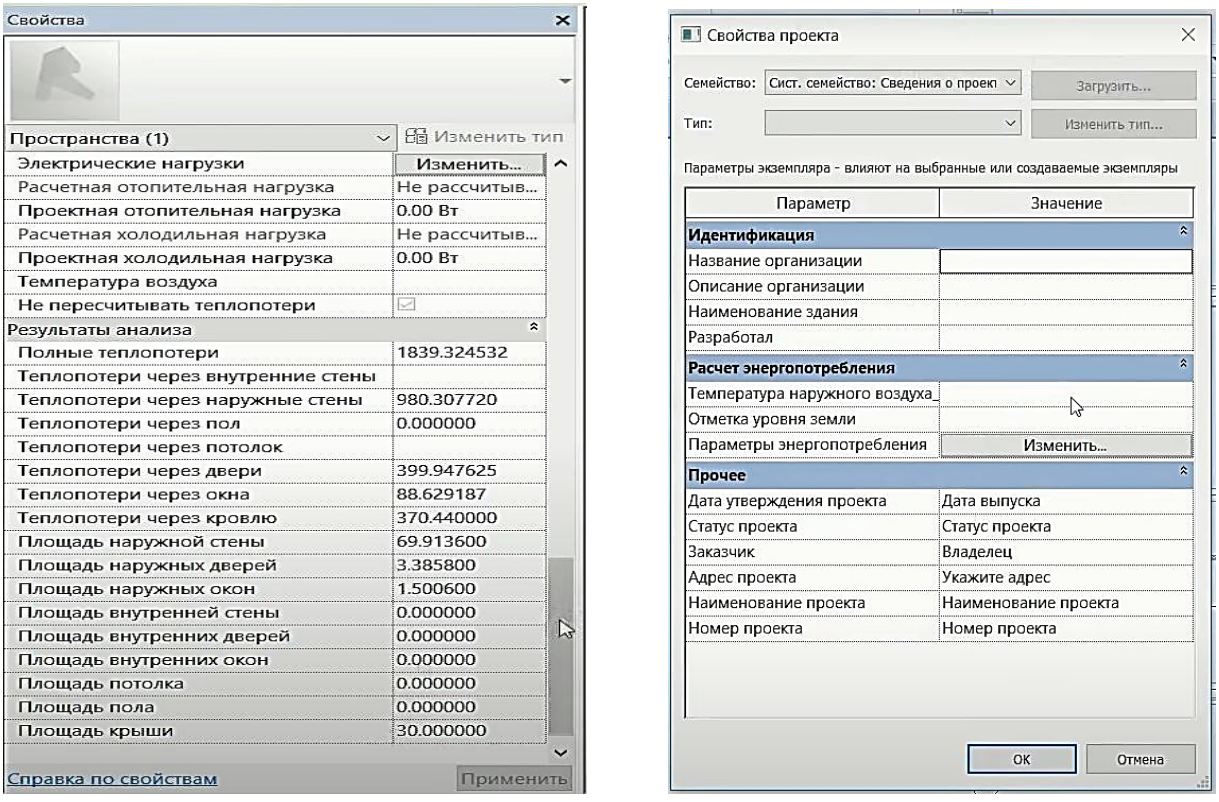


Рис. 2. Ввод данных для расчета

Вторая часть представляет с собой расчет теплопотерь через вертикальные ограждающие конструкции, пол и кровлю (рис. 3) [4]. Основные расчеты представлены в виде нодов. Теплотехнический расчет выполнен в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [5]. Для правильной работы скрипта необходимо заполнить все требуемые параметры.

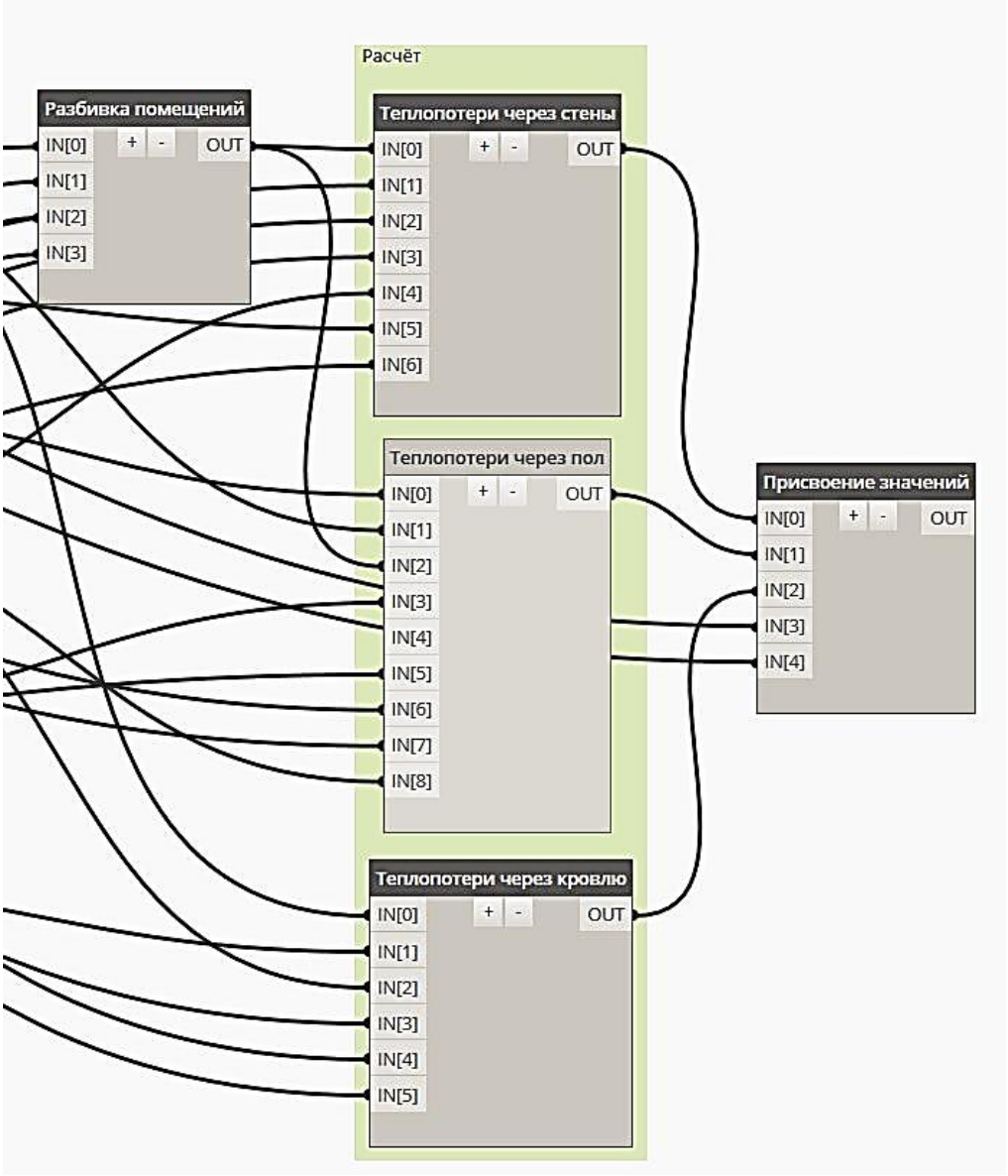


Рис. 3. Теплотехнический расчет в Dynamo

Третья часть – получение готового теплотехнического расчета.

Ограничение использования: скрипт предназначен для расчета надземной части здания. Дальнейшее совершенствование работы данного скрипта – добавление новых алгоритмов, позволяющих создать лист «Теплотехнический расчет»; расширение функционала скрипта для теплотехнического расчета подземной части здания.

По результатам работы сделаны следующие *выводы*:

1. Использование скрипта позволяет ускорить процесс проектирования.

2. Возможность использования прописанного скрипта для расчета надземной части любого здания или сооружения.

ЛИТЕРАТУРА:
1. 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. – Vol.18.2. –Pp. 36-43.
2. Астафьева, Н.С. Преимущества использования и трудности внедрения информационного моделирования зданий / Н.С. Астафьева, Ю А. Кибирева, И.Л. Васильева // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 8. С. 41-62.
3. Кривой С.А., Семин А.И., Попов А. В., Бебякин Б.О. Взаимосвязь BIM-сценариев в рамках инвестиционно-девелоперского проекта // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 2 (65). С.20-39.
4. Применение Dynamo для расчета инсоляции [Электронный ресурс]. URL: https://bim.vc/base/articles/groisen_insolation/.(дата обращения: 22.03.2021)
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. – М.,2012.

УДК 69.693

В.А. Гаврилов, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

При создании информационной модели низкого уровня детализации отделочные материалы не указываются на модели, что не позволяет спланировать организацию отделочных работ на этапе строительства и оценить корректно сметную стоимость отделочных работ. Расчет стоимости отделочных работ и составление графиков с использованием проектных чертежей без составления модели – длительный процесс, так как отделка каждого элемента конструкции рассчитывается вручную посредством измерения площади и количества необходимого материала на данный элемент. Исходными данными для проектирования и расчета отделочных работ являются материалы архитектурных решений. В то время как учет расположения и прокладки инженерных сетей тоже играют важную роль для своевременного выведения различных пересечений. В следствие обнаружения конфликтов элементов отделки с инженерными сетями в ходе строительства возникают дополнительные трудозатраты, акты дополнительных работ, отставание от графика, что вызывает дополнительное вложение средств у заказчиков для реализации проекта.

Технология информационного моделирования BIM позволяет создать полное информационное описание строящегося объекта [1]. Эффективность использования BIM исследовалась в работе [2] при сравнении инвестиций и доходности в случаях работы традиционным методом и работы с BIM. В процессе реализации проекта медицинского центра Sutter Medical Center в США команда специалистов могла сравнивать разницу в стоимости различных вариантов дизайна и строительства [3] с помощью BIM модели, что помогло сократить бюджет на строительство.

Целью работы является разработка алгоритма автоматизированного проектирования и расчета отделочных работ и расчет эффективности работы специалистов, работающих с САПР и с BIM технологиями.

Для разработки способа автоматизации проектирования и расчета отделочных работ была использована BIM-модель жилого комплекса с уровнем детализации LOD 300 и программное обеспечение, поддерживающие работу с моделью.

Чтобы показать эффективность работы с информационной моделью, был проведен сравнительный анализ методов расчета и проектирования отделки квартиры. При составлении ведомости отделки ручным способом используют исходные данные из разделов проекта АР, созданные в программах САПР (Autodesk AutoCAD). Для подсчета объемов работ и

материалов с помощью BIM были использованы инструменты программы Autodesk Revit. Проведена оценка материальных затрат работы специалиста при расчете ведомости отделки в программе САПР – инженера ПТО и оценка затрат работы BIM-специалиста. Инженер ПТО: делает расчет одного объекта (квартиры) в программе Autodesk AutoCAD за 8 часов при заработной плате за месяц 50000 руб. Выполнение за месяц составит 22 объекта. Подписка на лицензию AutoCAD за месяц составляет 7000 руб. BIM специалист: делает расчет одного объекта (квартиры) в программе Autodesk Revit за 4 часа при уровне детализации LOD 300 при заработной плате за месяц 100000 руб. Выполнение за месяц составит 44 объекта. Подписка на лицензию Revit за месяц составляет 10000 руб.

Стоимость расчета одного объекта условно – 3000 руб. Прибыль от выполненных работ за месячный период рассчитывается по формуле:

$$П = ац, \quad (1)$$

где $П$ – прибыль за месяц; $а$ – количество выполненных объектов; $ц$ – цена за выполненный объект.

Затраты рассчитываются как сумма заработной платы специалиста и оплаты лицензии ПО за месяц:

$$З = зп \times с, \quad (2)$$

где $зп$ – зарплата работника месячная; $с$ – оплата лицензии программного обеспечения за месяц

Зная значения прибыли и затрат, показатель эффективности рассчитывается как зависимость прибыли от затрат:

$$Э = \frac{П}{З}, \quad (3)$$

где Э – показатель эффективности.

Анализ полученных результатов показывает, что эффективность работы BIM специалиста выше, чем у инженера ПТО при заданных параметров заработной платы и производительности специалистов.

Далее задаются параметры технологических решений отделки, подразделяя их на два вида отделки: отделка комфорт и отделка премиум, и на три типа помещений: комната, кухня, санузел.

При моделировании каждого элемента в Autodesk Revit программа автоматически дает значение геометрических характеристик конструкций. Для всех типов и видов задаются параметры каждого отделочного слоя стен, потолков и полов с учетом материала. Для быстрого расчета объемов работ по отделке стен, полов и потолков используется инструмент «Ведомость / Спецификация» и «Ведомость материалов». Программа автоматически выполняет подсчет необходимых параметров по заданным критериям, изменяя и исправляя геометрию модели, спецификации также автоматически пересчитываются [4]. В результате получено множество комбинаций технологических решений по отделке квартиры. Исходя из различных вариантов подбирается наиболее эффективный вариант исполнения, учитывая требования заказчика и бюджет на выполнение отделочных работ.

Расчет стоимости работ выполняется программой Smeta Wizard, которая работает совместно с Autodesk Revit. При выборе нужных позиций, сметная программа автоматически дает сметную стоимость выполнения отделочных работ.

Для разработки графика производства работ в программу MS Project экспортируются данные о всех отделочных работах, зависимости между ними и продолжительности каждой работы [5].

По результатам работы разработан алгоритм автоматизированного расчета и проектирования отделочных работ с использованием BIM-модели, показанная на схеме (рис. 2). Рассчитан показатель эффективности работы специалистов по формуле (3), выявлена зависимость количества выполненных объектов за время работы BIM специалиста и инженера ПТО, что отображается на графике (рис. 1).

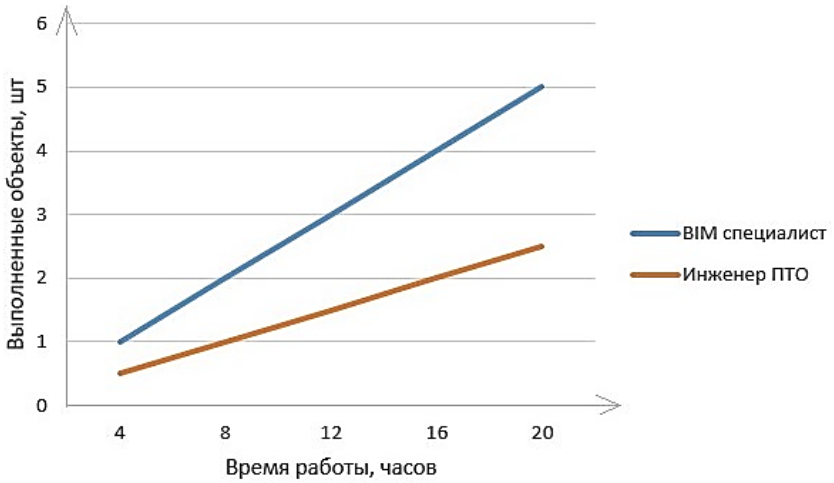


Рис. 1. График зависимости количества выполненных объектов от времени

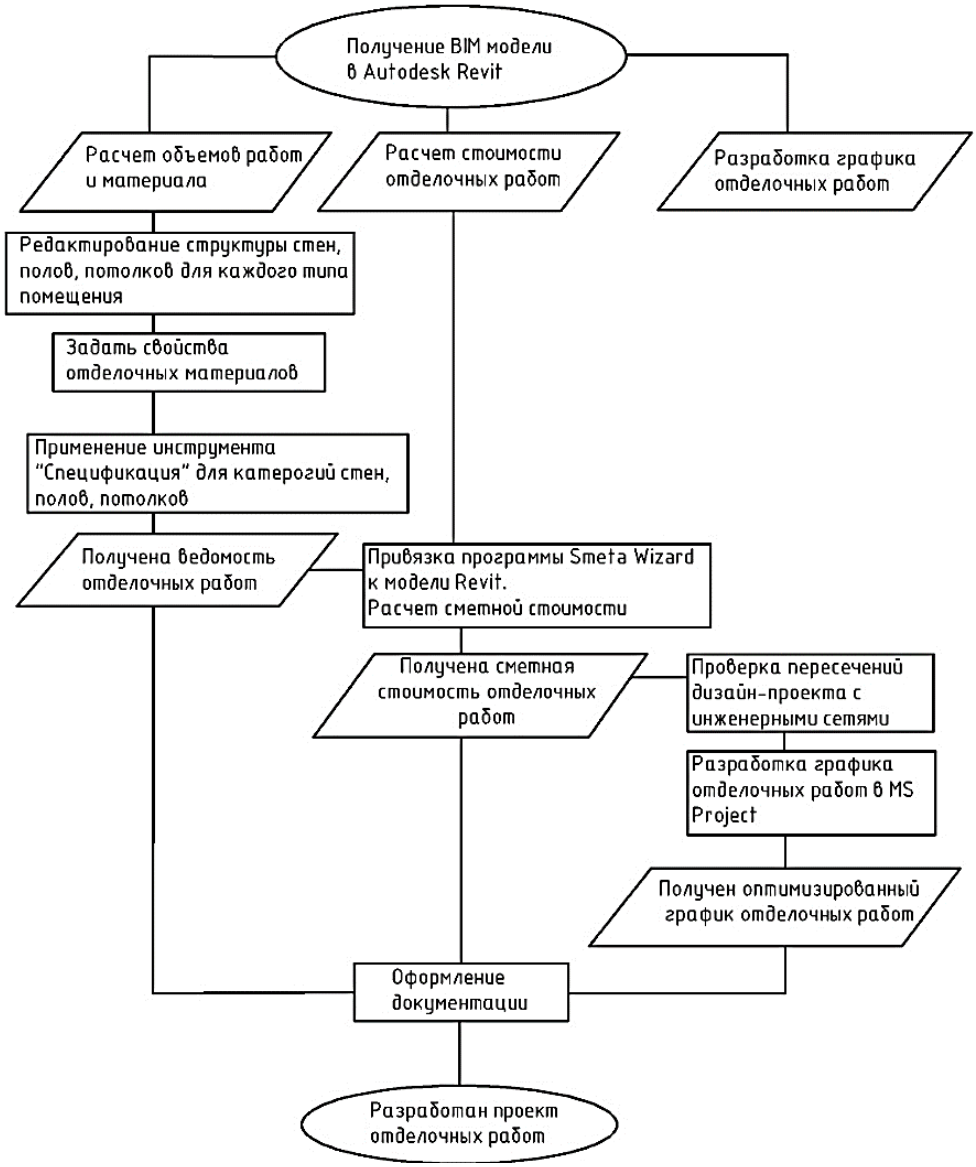


Рис. 2. Схема автоматизированного расчета и проектирования отделочных работ

ЛИТЕРАТУРА:
1. Соловьева Е.В., Сельвиан М.А. Основные этапы внедрения технологии информационного моделирования (BIM) в строительных организациях // Научные труды КубГТУ. 2016. № 11. С. 110-119.
2. Barlish K., Sullivan K. How to measure the benefits of BIM – A case study approach // Automation in construction 24 (2012) 149-159
3. Филипп В., Желтенков А.В. Управление проектами разработки объектов медицинского назначения на основе методов информационного моделирования (Building information modelling – BIM) // Вестник МГОУ. Серия: Экономика 2015. № 4. С. 60-71
4. Лялин Д.О., Машталер С.Н., Дмитренко Е.А. Применение программного комплекса Autodesk Revit в проектной деятельности // Вестник Донбасской национально академии строительства и архитектуры. 2017-3(125). С. 23-27.
5. Эльшейх А.М. Информационное моделирование интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве // Москва. 2015.

УДК 625.855.3

Д.Е. Дриго, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ПОТОКОВ

Цель работы – выбор формы высотного здания с целью снижения ускоренных ветровых потоков.

На сегодняшний день наблюдается увеличение численности населения, в связи с этим возникает необходимость в строительстве высотных зданий. Их преимущество состоит в том, что они занимают относительно небольшую площадь земельного участка, но при этом в таких сооружениях можно разместить достаточного много жилой площади.

При проектировании высотных зданий большое внимание уделяется климатическим условиям местности, где оно располагается. Самое главное – верно рассчитать ветровую нагрузку, которая оказывает сильное влияние на устойчивость здания, а также на комфорт жителей этого дома. При создании архитектуры здания нужно учитывать следующие факторы, помогающие снизить ветровую нагрузку [1]: форма здания, местоположение, рельеф местности, климатические условия местности.

Помимо постоянных ветровых потоков особое внимание следует уделить ускоренным потокам, поскольку они могут доставлять значительный неудобства и дискомфорт жителям. Это происходит из-за того, что различные завихрения или угловые течения могут вызывать «завывания» вокруг здания и другие неприятные звуки.

Различают четыре вида ускоренных потоков [2]:

1. Струйные течения – течения, возникающие в проемах зданий или вдоль зданий, расположенных плотно друг к другу;
2. Вихревые течения – течения, причиной которых является неровности земной поверхности или невысокие здания, или сооружения, расположенные поблизости со зданием;
3. Винтовые течения – течения, свойственные зданиям необычных архитектурных форм, например, винтовым.
4. Угловые течения – течения, которые возникают из-за угловатости здания при прохождении ветрового потока через угол.

Для исследования оптимальной формы здания в г. Санкт-Петербург в качестве основы здания выбраны следующие фигуры: круг; квадрат; треугольник; капля.

В Санкт-Петербурга характерна частая смена воздушных масс. Поэтому было рассмотрено поведение ветра, дующего с разных сторон.

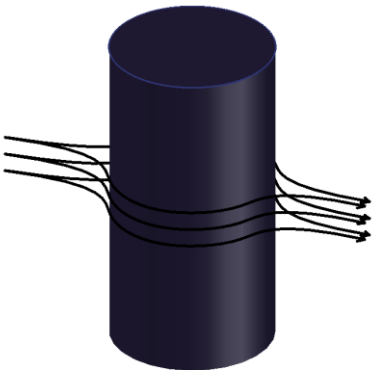


Рис. 1. Схема обтекания ветром цилиндрического здания

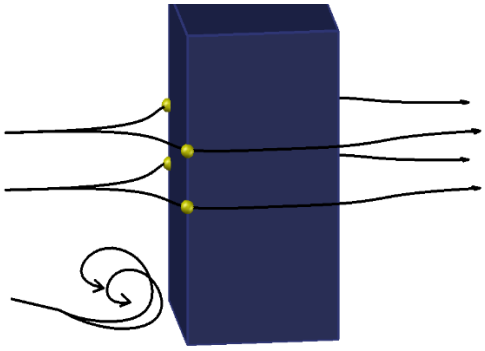


Рис. 2. Схема обтекания ветром квадратного здания

Здание цилиндрической формы не провоцирует возникновение угловых или винтовые течений, а также завихрений и основания, как показано на рисунке 1. Кроме того, при правильном размещении будут уменьшены струйные и вихревые течения. Данный вариант оптимален [3], поскольку при изменении ветровых потоков, примерная схема обдувания здания останется прежней.

При квадратной форме здания возникают угловые потоки, на рисунке 2 они обозначены желтыми шариками. Кроме того, как показано на рисунке, у основания возникают завихрения, поскольку стена играет роль большой преграды для сопротивления ветра. При изменении ветровых потоков ситуация не будет улучшаться, так как угловые потоки будут продолжать возникать. Чтобы использовать именно эту форму, следует закруглить углы квадрата, тогда ветровая нагрузка на здание будет несколько снижена.

При изучении поведения ветровых потоков к зданию треугольной формы были рассмотрены два основных случая:

1. Когда потоки направленны преимущественно к одному из углов здания (рис. 3).
2. Когда потоки направленны преимущественно перпендикулярно одной из стен здания (рис. 4).

В обоих случаях возникают завихрения у основания здания, этого не избежать, но при этом конструкция имеет более обтекаемую форму, в отличии от квадрата, благодаря закруглениям углов. Это необходимо для более рационального использования площади. В том случае, когда важны, с архитектурной точки зрения, острые углы, то рациональнее будет выбрать квадратную форму объекта [4].

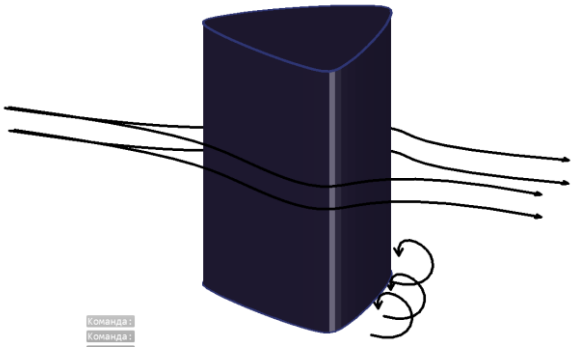


Рис. 3. Схема обтекания ветром с угла здания треугольной формы

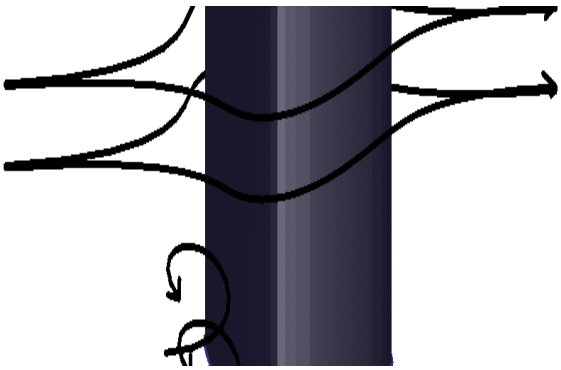


Рис. 4. Схема обтекания ветром с торца здания треугольной формы

Вариант использования формы капли был разработан благодаря биомимикрии [5]. Форма капли помогает увеличить обтекаемость ветра, при этом, снизив нагрузку от него, (рисунок 7). Однако, завихрения у основания все равно будут возникать, при основных потоках ветра с дугообразной и торцевой стороны здания, как показано на рисунках 8 и 9.

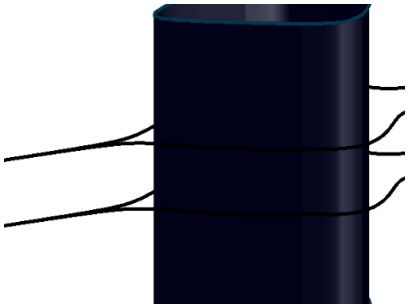


Рис. 7. Схема обтекания ветром с угла здания формы – капля

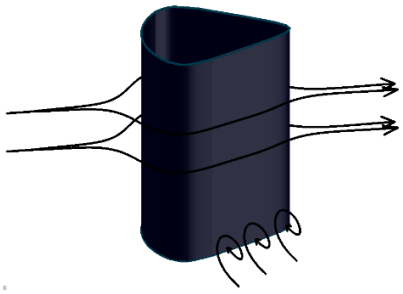


Рис. 8. Схема обтекания ветром с дугообразной стороны здания формы – капля

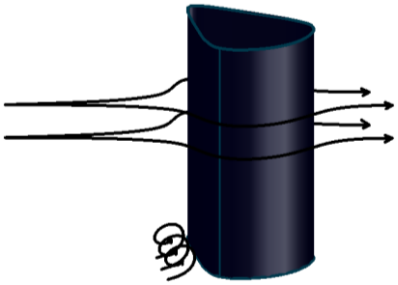


Рис. 9. Схема обтекания ветром с торцевой стороны здания формы капля

Таблица 1 – Максимальные давления, возникающие при ветровом воздействии

Параметр	Здание круглой формы	Здание прямоугольной формы
Максимальное положительное давление, Па	428	427
Максимальное отрицательное давление, Па	320	416
Скорость ветра, м/с	34	34

Выводы. По результатам исследования ускоренных ветровых потоков оптимальной формой для высотного здания в г. Санкт-Петербург является круг – цилиндрическая форма, больше всех подвержена возникновению ускоренных потоков квадратная форма. При численном моделировании максимальное отрицательное давление на квадратную форму больше на 30%, чем на цилиндрическую при скорости ветра 34 м/с (табл. 1).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Макулов В.В., Квартальнов С.В. Воздействие ветра на высотные здания // Электронный научный журнал – 2016. № 5(8) – С.527-530
2. Михайлова М.К. Далинчук В.С., Башманова А.В., Доброгорская Л.В. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов // Строительство уникальных зданий и сооружений – 2016. № 10 (49). – С.59-74
3. Бартошевская В.В., Устов Е.Б. Влияние аэродинамических параметров на композиционные решения высотных зданий // Вестник Евразийской науки – 2019. Том 11, №5 – С.61
4. Abdusemed M.A., Ahuja, A.K. Influence of Cross-Sectional Shapes on Wind Loads on Tall Buildings // Structures Congress – 2015 – С.2667-2678
5. Letchford C.W., Lander D.C., Case P., et al. Bio-mimicry inspired tall buildings: The response of cactus-like buildings to wind action at Reynolds Number of 10(4) // Journal of wind engineering and industrial aerodynamics – 2016. – С.2-30.

УДК 69.03

А.В. Куленич, Г.А. Бардина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ СКЛАДОВ СЕВЕРНОГО СТРАХОВОГО ОБЩЕСТВА, СКЛАДОВ КОРОРЕВА

Введение. Перед созданием концепции реновации какого-либо объекта требуется произвести тщательный градостроительный анализ [2]. А поскольку эта работа является лишь частью выпускной квалификационной работы, по созданию концепции реновации складов северного страхового общества, складов Кororева, то данный градостроительный анализ в ней и был произведен. Было исследовано месторасположение, рассмотрен исторический контекст района Лиговки, собрана информация по площади озеленения центрального района, проведен

анализ транспортной доступности и наличия иных культурных мест в округе. На основании этого были предложены решения по приспособлению объекта исследования [1, 3].

Таким образом, *целью работы* стало проведение градостроительного анализа для создания концепции дальнейшего приспособления территории и зданий бывших складов северного страхового общества, складов Кororева.

Исследуемый комплекс зданий находится в центральном районе города Санкт Петербурга, муниципальный округ № 81 Лиговка-Ямская, в историческом районе под названием «Лиговка».

Лиговка – исторический район Санкт-Петербурга, сформировавшийся вокруг Лиговского проспекта в центральной его части, на 1-2 квартала в сторону. В широком смысле Лиговкой называют весь Лиговский проспект от ул. Некрасова до пл. Московские Ворота и, соответственно, кварталы вдоль него. В узком смысле слова Лиговка – территория бывшей Московской Ямской слободы вдоль проспекта, примерно от Разъезжей до Расстанной улиц [8].

Работа в центре города ведется постоянно, строительство, аренда, перекупка площадей, развитие транспортной инфраструктуры. Земля в центральной районе ценится очень дорого, поэтому к настоящему времени, из-за различных действий, район Лиговки, как и весь центральный район, стал иметь существенную нужду в озеленении.

Можно проследить за состоянием зеленых зон, в других районах Санкт-Петербурга и центрального района, по следующим картам [9].



Рис. 1. Зеленые зоны Санкт-Петербурга

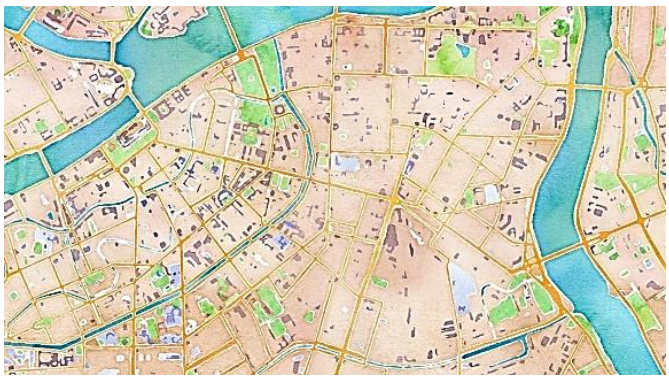


Рис. 2. Зеленые зоны центральной части Санкт-Петербурга

На рисунке 2 хорошо заметно, что Центральный район выглядит особенно пустым пятном, даже на фоне не сильно озелененных остальных частей города. Только по окраинам района располагается несколько парковых зон. Поэтому уже на данном этапе мы понимаем важность создания дополнительной зеленой зоны в центральной районе.

В непосредственной близости от исследуемого района находятся три станции метро: Площадь Восстания, Владимирская и Лиговский проспект. Все они находятся на расстоянии не более одного километра от исследуемого района, что обеспечивает легкую транспортную доступность данного места.

Несомненным преимущество также является и близость комплекса к Московскому вокзалу. Данная территория всегда будет обеспечена постоянным потоком туристов, которые будут благоприятно влиять на развитие малого бизнеса.

К северу от исследуемой территории располагается самый крупный и посещаемый торговый центр в Санкт-Петербурге ТРК «Галерея». Его ежедневно посещают тысячи людей, посетители приходят как за покупками, так и просто хорошо провести время. ТКР «Галерея» в комплексе с отличной пешеходной зоной на территории Лиговского пр., д. 50, может создать тандем, который превзойдет своей привлекательностью даже самое популярное место на сегодняшний день в Санкт-Петербурге – о. Новая Голландия.

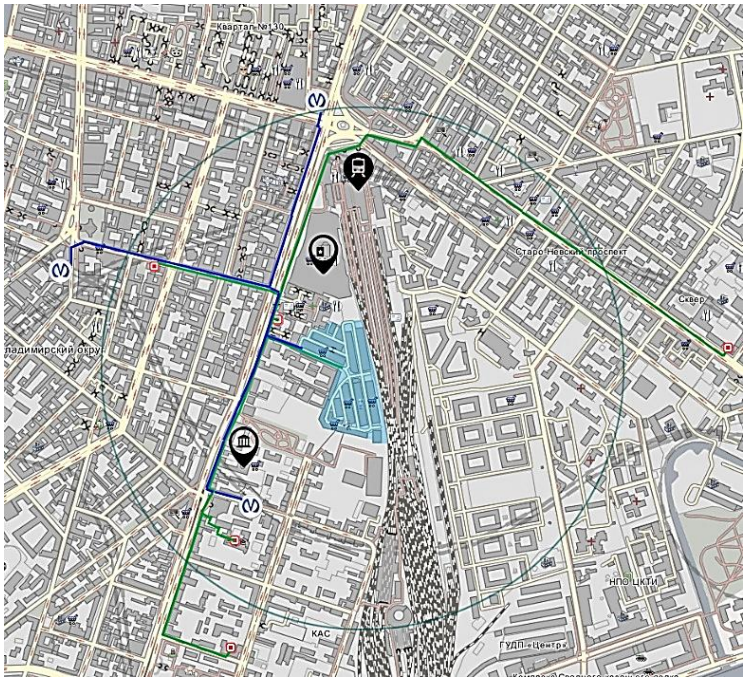


Рис. 3. Расположение знаковых объектов вблизи Лиговского пр., д. 50



Рис. 4. Карта с наложенными GPS треками от сотовых телефонов вблизи Лиговского пр., д 50

Лофт Проект «Этажи» являлся центром притяжения молодежи со всего города, а также знаковым местом для жителей центрального района. Место сбора субкультур, современного искусства, различных кафе и бутиков. В данный момент лофт также выполняет свою функцию, предоставляя площади для проведения мероприятий и выступлений. Близость подобного культурного места также будет благоприятно влиять на развитие территории Лиговского пр., д. 50.

Помимо хорошей транспортной доступности, и наличия культурных мест, в близи с исследуемой территорией также располагается несколько учебных заведений. На рисунке 3 они показаны красными точками. В существующих зданиях Лиговского пр., д. 50, помимо всего прочего, можно будет размещать творческие развивающие студии и кружки, для взрослых, молодёжи и для детей, которые будет очень удобно посещать учащимся данных учебных заведений [8].

Как мы можем увидеть по рисунку 4, Лиговский проспект в настоящее время является посещаемой улицей, наряду с Невским проспектом и другими крупными улицами нашего города [10]. Цветными линиями изображены GPS-треки. Их густота свидетельствует об интенсивности потока людей. Эти данные позволяют предположить, что данная территория не будет испытывать недостатка в посетителях [4].

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод, что пространство Лиговского пр., д. 50 является перспективным для развития на нем зеленой зоны, это также должно быть интересным для широкого круга посетителей. Основной задачей реновации будет является формирование «города внутри города», на территории которого можно провести мероприятия различного сценария, от выставок и лекций до мастер-классов, ярмарок и фестивалей. В отношении функционального назначения существующих зданий также необходимо обеспечить «универсальность» арендуемых площадей, для возможности сосуществования малого бизнеса, творческих студий, кафе, ресторанов и молодежных клубов.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Колясников В.А. Современная теория и практика градостроительства: территориальное планирование городов: учебное пособие. УРАЛгахА. – Екатеринбург: Архитектон, 2010. – 406 с.
2. Яргина З.Н. Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984 – 245 с.
3. Тарасова Л.Г. Взаимосвязь процессов управления и самоорганизации в развитии крупных городов. – Саратов : Изд-во Саратовсого университета, 2009. – 142 с., илл. – Библиогр. :с. 134-139.
4. Донцов Д.Г. Юшкова Н.Г Градостроительное регулирование рационального использования территории. Волгоград : ВоАалгГАСУ, 2007. – 184 с.
5. СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (Актуализированная версия).
6. СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения.
7. СП 30-102-99. Планировка и застройка территорий малоэтажного жилищного строительства.
8. https://bestmaps.ru/map/osm/Watercolor/
9. https://www.openstreetmap.org/
10. https://www.assembly.spb.ru/article/766/63253/O-ploschadi-zelenyh-nasazhdeniy-v-Centralnom-rayone-Sankt-Peterburga

УДК 721.011.17

Е.А. Мамаева, И.С. Джарагян, А.Д. Занина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КВАРТИР ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В СТРАНАХ ЕВРОПЫ И РОССИИ

Цель работы – проведение анализа объёмно-планировочных решений (далее ОПР) в странах Европы и РФ, выявление схожих черт и различий планировок квартир жилых зданий.

При сравнении планировочных решений стран Европы и России можно заметить немало расхождений. Это можно связать с тем, что ещё со времён СССР люди жили в своего рода «изоляции» от внешнего мира, не имея возможности видеть никаких планировочных решений, кроме как в строениях типа «хрущёвок», «сталинок», и «брежневок» [3, 4]. В современной России при строительстве многоквартирных жилых комплексов проектировщики и застройщики постепенно приходят к планировкам, схожим с планировками квартир стран ЕС. В таблице 1 проведено сравнение критериев ОПР квартир жилых зданий стран Европы и России в зависимости от функциональной зоны в квартире.

Все перечисленные критерии ОПР влияют и на размер жилой площади. Квартиры в Европе отличаются меньшей площадью. Стандартная двухкомнатная квартира в России по площади будет занимать около 40-60 м^2. В странах Европы же трехкомнатная квартира размещается на 50-60 м^2. Соответственно, из-за меньших размеров квартир, отличий в стиле и ритме жизни людей, проживающих в Европе, в квартирах будет и другая планировка. На Западе такое помещение, как кухня, зачастую отсутствует: чаще всего её объединяют с гостиной, либо просто обустраивают небольшую зону столовой, возможно, даже уголок для приёма пищи в одном из жилых помещений. В свою очередь в квартирах в России кухне присваиваются разные функции. Объединенная со столовой она служит местом общения с гостями, курительной и даже спальной, из-за чего достигает довольно больших размеров. Раздельный санитарный узел в квартирах Европы встречается крайне редко [2]. Кроме того, он должен быть предусмотрен к каждой спальне в доме, обычно с входом в него непосредственно из комнаты. В случае с квартирами в России такая планировка недопустима из-за отечественных норм. Также в Европе не предусматривается прихожая, это связано с мягким климатом в странах, а также другими функциональными предпочтениями населения. Помещение прачечной в России не встретить – все эти функции выполняет тот же санитарный узел, в то время как в Европе для этого предусматривается отдельная комната. Вход в неё может быть, как из коридора, так и из кухни или санитарного узла [1].

Таблица 1 – Сравнение критериев ОПР

Функциональная зона	Критерии ОПР квартир жилых зданий Европы	Критерии ОПР квартир жилых зданий России
Общая зона	Выполнение функции прихожей выделяется небольшая площадь гостиной; Помещения редко разделяются дверьми; Отсутствие лоджий и балконов	Проектирование прихожей, как отдельного помещения; Дифференциация помещений с помощью дверей; Проектирование балконов и лоджий.
Индивидуальная зона	Санитарные узлы и ванные комнаты проектируются совмещенными и предусматриваются к каждой спальне в квартире; Проектирование рабочего кабинета, как отдельного помещения; Проектирование небольших гардеробных у спален.	Преобладает проектирование разделённых санитарных узлов; невозможность предусмотреть по санитарный узел на спальню из-за отечественных норм; Под рабочую зону обустраивается небольшая площадь спальни или гостиной; Отсутствие индивидуальных гардеробных, как отдельных помещений
Дополнительная зона	Отсутствие кухни, как отдельного помещения; объединение кухни с гостиной; При проектировании предусматривается прачечная; Проектирование гардеробных и кладовых.	Кухня является многофункциональным помещением и проектируется отдельно; Функции прачечной выполняет санитарный узел; Гардеробные и кладовые проектируются только в современных жилых комплексах.

Еще одной особенностью планировки квартир стран Европы является четкое разделение комнат и пространств в целом. Входная зона, а именно прихожая и холл-распределитель, отделяется перегородками от других помещений. Балконы и лоджии в апартаментах Европы отсутствуют; чаще всего они проектируются лишь у гостиничных номеров [5]. В России же, напротив, проектирование балконов у постоянного жилья совсем не редкость, что может быть связано с суровым климатом и потребностью сохранить тепло. Значимым отличием в планировках является и наличие у квартир стран Европы на первых этажах небольших огороженных участков и террас. Имеется и общий двор, где располагаются площадки детского и взрослого отдыха. Придомовые участки в России обычно принадлежат всем жильцам и обустраиваются общими силами. На основании выделенных критериев ОПР квартир можно сформировать общие схемы функционального зонирования квартир жилых зданий стран Европы и России, схемы представлены на рис. 1 и 2.

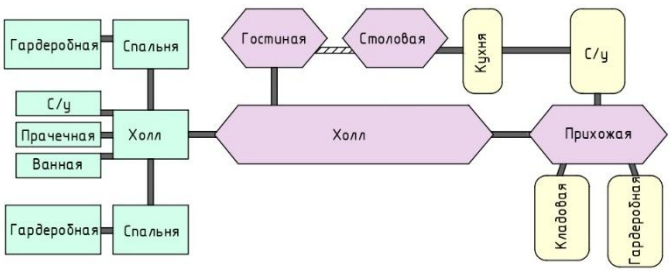


Рис. 1. Общая схема функционального зонирования квартир Европы

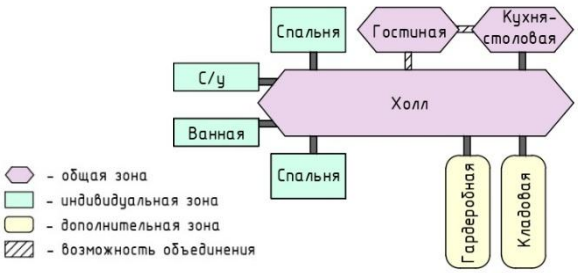
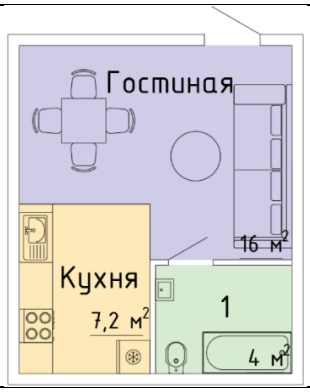
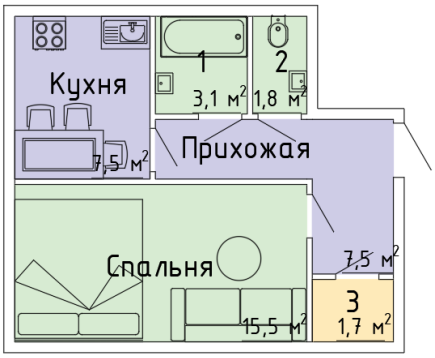
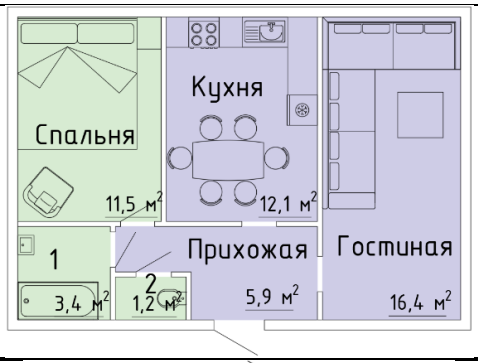
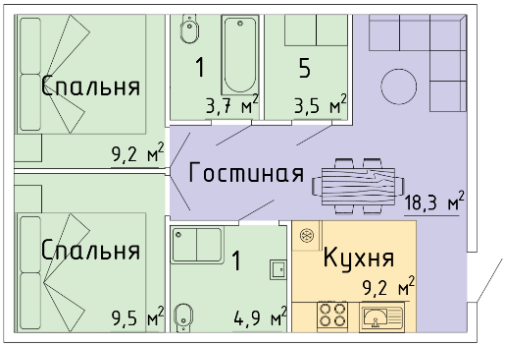
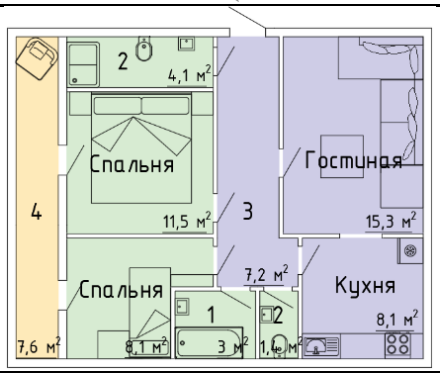


Рис. 2. Общая схема функционального зонирования квартир России

В ходе проведения работы были выявлены основные критерии ОПР квартир жилых зданий стран Европы и России, приведенные в таблице 1. На основании данных критериев были спроектированы планировки квартир стран Европы и РФ с различным количеством комнат в ПО Autodesk AutoCad, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Примеры зонирования квартир в Европе и России

Тип квартиры	ОПР квартиры в Европе	ОПР квартиры в России
Однокомнатная		
Двухкомнатная		
Трёхкомнатная		
Примечания	Функциональные зоны: – общая зона; – индивидуальная зона; – дополнительная зона	1 – ванная комната; 2 – санитарный узел; 3 – прихожая; 4 – лоджия; 5 – прачечная

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гребенщиков К.Н., Меренков А.В. Сравнительный анализ планировочных решений зарубежного и отечественного жилища. Журнал «Жилищное строительство», 2008 г. №5. 8-11 с.

2. Ветошкина В.А., Малиниа А.И., Малышко Д.А. Современные тенденции перепланировки малогабаритных квартир. Актуальные проблемы архитектуры и градостроительства: материалы Республиканской 75-ой студенческой НТК БНТУ, 2019 г. 14-18 с.

3. Столетова А.С. Жилищный вопрос середины 1970-х годов как проблема социального обустройства в СССР. Изв. Сарат. Ун-ра. Нов.сер. Сер. История. Международные отношения. 2020 г. Т.20 475-41 с.

4. Огородникова О.А. Массовое жилищное строительство в истории советской повседневности. Журнал «Universum: общественные науки», 2018 г. №3. 6-9 с.

5. Снозовая А.А., Рыжкова А.А, Голотина Ю.И. Основные принципы, применяемые в решении проблемы перепланировки маленьких квартир. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГУ», 2018 г. №9. 323-331 с.

УДК 528.71

А.В. Остапова, Г.И. Кашин, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЛАКА ТОЧЕК ПРИ НИВЕЛИРОВАНИИ ПО КВАДРАТАМ

Цель работы – создание скрипта для автоматизации строительных процессов подготовительного этапа с использованием сканирующих систем с последующей обработкой данных.

Нивелирование – определение разности высот двух или многих точек земной поверхности относительно условного уровня, т.е. определение превышения [1-3]. Нивелирование поверхности по квадратам применяется при топографической съемке открытых участков местности с равнинным рельефом в крупных масштабах с малой высотой сечения рельефа для составления проекта вертикальной планировки и подсчета объема земляных работ, с целью преобразования естественных форм рельефа и создания условий для эксплуатации возводимых зданий и сооружений [4].

Основой для проектирования вертикальной планировки служат топографические планы масштабов 1:500-1:5000, составленные по результатам нивелирования стройплощадки по квадратам (рис. 1). Планируемую территорию разбивают на квадраты со сторонами 10, 20, 40 или 50 м в зависимости от сложности рельефа. Фактические высоты вершин квадратов определяют по горизонталям или при помощи геометрического нивелирования. После разбивки территории вычисляются объёмы полученных квадратных призм, каждая из которых ограничена вертикальными плоскостями, проходящими через стороны квадратов, плоским основанием и наклонной верхней плоскостью.

Для последующего выравнивания местности определяется объем земляных работ, вычисляемый по рабочим отметкам вершин каждого квадрата – h_1, h_2, h_3, h_4. Если все четыре отметки имеют один и тот же знак, объем земляных работ в пределах данного квадрата вычисляют по формуле:

$$V = a^2 \left(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \right) / 4 . \quad (1)$$

Если в квадрате рабочие отметки имеют разные знаки, то в этом квадрате проходит линия нулевых работ – линия с рабочей отметкой, равной нулю. На рисунке 2 представлена схема нахождения положения точек нулевых работ. Линии нулевых работ являются границей между участками подсыпки и выемки грунта, т.е. определяют объемы земляных работ в пределах каждого квадрата. Для построения линии нулевых работ на сторонах квадратов находят положение точек нулевых работ по формулам:

$$l_1 = \frac{\left|h_{p1}\right|}{\left|h_{p1}\right| + \left|h_{p2}\right|}; l_2 = a \frac{\left|h_{p2}\right|}{\left|h_{p1}\right| + \left|h_{p2}\right|} . \quad (2)$$

Точки нулевых работ на разных сторонах квадрата и соединяют отрезками, в результате чего получают линию нулевых работ (границу выемки и подсыпки). Объем земляных работ определяют отдельно для выемки и подсыпки [1-3].

Процесс инженерно-геодезических изысканий с целью выравнивания местности можно автоматизировать с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее по тексту БПЛА) и программных обеспечений, позволяющих создавать трехмерные модели объектов на основе полученных фотографий объекта в натуре [6].

При создании объёмной модели местности с помощью БПЛА производят съёмку. Анализ парных снимков на предмет определения координат всех точек выполняется программой автоматизировано.

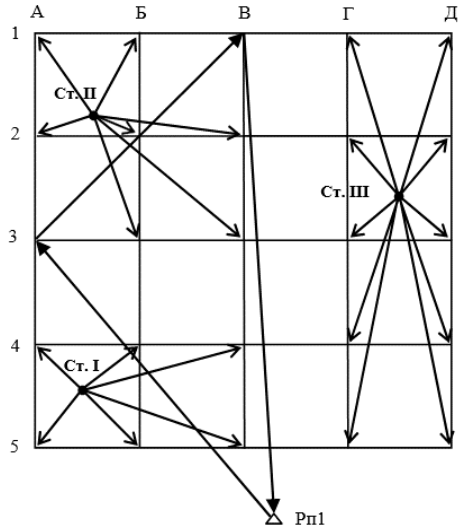


Рис. 1

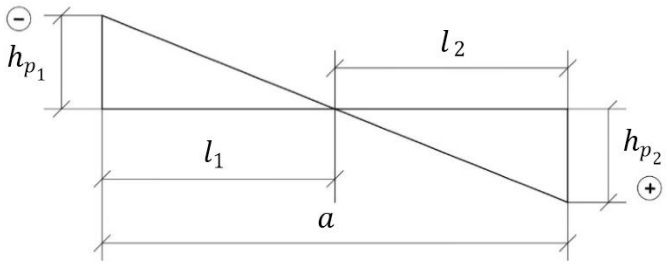


Рис. 2

В результате получаем точки местности, каждая из которых имеет координаты (*X, Y, Z*). Согласно этим координатам с помощью программы Autodesk Revit и плагина визуального программирования Dynamo с использованием скрипта мы имеем возможность автоматизировано выравнивать плоскость, изменяя координату точек по оси *Z*.

Определив координаты точек на местности получают плотное облако точек, на основе которого создаётся цифровая модель местности (рис. 3). Критерием оценки точности цифровой модели местности является средняя квадратическая погрешность, рассчитанная согласно приложению 3 к ГОСТ 26433.0-85 «Правила выполнения измерений» [5].

Более точным методом получения координат точек на рельефе является использование кинематики реального времени RTK (Real Time Kinematic) RTK является совокупностью приёмов, позволяющих получать плановые координаты и высоты точек местности с миллиметровой точности с помощью спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции, принимаемых аппаратурой пользователя во время съёмки [7].

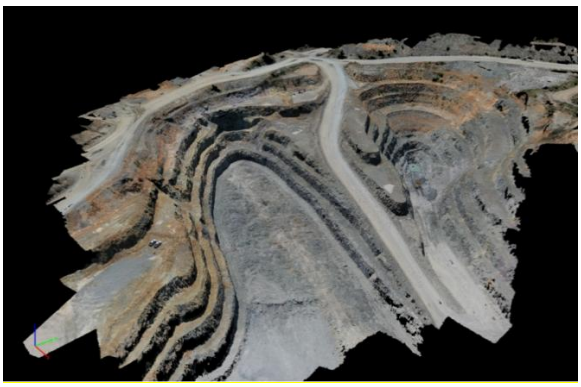


Рис. 3

Созданный для автоматизированного выравнивания местности скрипт требует доработки, в результате которой появится возможность выносить значения уточнённых координат точек в таблицу с последующей конвертацией в формат DXE и загрузки в тахеометр и выравнивания данных точек на местности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев Н.Д., Ковязин А.В., Кузин А.А., и др. Инженерное обеспечение строительства. Геодезия: учебное пособие по геодезической практике – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 57 с.;
2. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д., Вилькевич В.В., и др. Инженерная геодезия. Геодезические разбивочные работы. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 50 с.;
3. Михаленко Е.Б., Загрядская Н.Н., Беляев Н.Д., и др. Инженерная геодезия. Геодезические разбивочные работы, исполнительные съемки и наблюдения за деформациями сооружений. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 88 с.;
4. Попов Г.В., Лыско О.Н. Вертикальная планировка по результатам нивелирования на макете местности [Электронный ресурс: https://elibrary.ru/item.asp?id=27193541] (Доступ только для авторизованных пользователей);
5. Торопов И.С. Оценка точности создания модели местности на основе аэрофотосъёмки с беспилотного летательного аппарата с помощью Agisoft Metashape [Электронный ресурс: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44485374] (Доступ только для авторизованных пользователей);

6. Лесюта О.С., Миронов В.А. Применение кинематики реального времени [Электронный ресурс: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26159462] (Доступ только для авторизованных пользователей);
5. Карелина И.В., Хлебородова Л.И. Нивелирование поверхности. Вертикальная планировка строительной площадки: Методические указания /Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: типография АлтГТУ, 2013. – 26 с.;
6. Чистый Ю.А., Ганеев Р.Р., Степанов Р.Н., Старицын Д.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в ходе выполнения работ по обследованию зданий и сооружений [Электронный ресурс: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43015131 (Доступ только для авторизованных пользователей).
7. PDF tutorials dynamo language guide dynamo Visual Programming for Design, 2014 – 56 с.

УДК 614.841.334

Е.Т. Савченко[1], М.В. Гравит[1], Е.С. Кирик[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения
Российской академии наук, Красноярск, Россия

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РИМСКОГО КОЛИЗЕЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭВАКУАЦИИ

Цель работы – анализ принятых объемно-планировочных решений античной арены с точки зрения современных положений об организации эвакуации при пожаре из римского Колизея с использованием методов математического моделирования.

Рассматриваются объемно-планировочные решения наиболее известного амфитеатра античности Римского Колизея (г. Рим, Италия) с точки зрения эвакуации при пожаре. Построены компьютерные 3D-модели арены и выполнено моделирование эвакуации в программном обеспечении «Сигма ПБ» (Россия). Проведен сравнительный анализ объемно-планировочных решений арены с современной концепции организации обеспечения беспрепятственной и своевременной эвакуации людей.

В качестве базовых планировок используется вариант архитектурного отображения по Дурму (Durm) [1]. Центральную часть составляет овальная сцена, окруженная полосой мест для зрителей, с отношением большой оси всего здания к малой, равным 1.22. Вокруг арены расположена овальная воронка с сидячими местами для зрителей, которая опирается на восемьдесят радиально направленных внутрь стен-перегородок, связанных между собою кольцевыми стенами и рядами арок и сводов. Между ними расположено соответственное количество радиально направленных переходов и лестничных клеток; между кольцевыми стенами и аркадами протянулись вдоль всего амфитеатра кольцевые галереи, создающие связь между проходами и лестницами.

По внешнему периметру имеется восемьдесят арок-входов в амфитеатр. Входы/выходы располагаются на отметке земли. Эвакуация происходит исключительно сверху вниз (рис. 1).

Условно весь амфитеатр может быть поделён на 3 яруса, на каждом расположены подтрибунные галереи, трибуны и проходы к местам (рис. 1, 2).

Лестницы, связывающие этажи, расположены в объеме подтрибунного пространства. При построении модели принято, что вход на трибуны нижнего яруса осуществлялся преимущественно через 2-й этаж, на трибуны 2-го яруса – через 3-й этаж, на трибуны 3-го яруса – через 4-й этаж, отметка которого примерно +40.00.

Рассмотрим четверть Колизея, что оправдано симметричностью Колизея относительно обеих осей. При построении компьютерной модели Колизея наибольшее внимание уделено подтрибунному пространству и лестницам, обеспечивающим спуск с верхних ярусов, поскольку именно эта часть здания наибольшим образом влияет на время эвакуации. Конструкции лестниц для спуска с верхних ярусов примерно одинаковы по всему периметру арены и при создании компьютерной модели преследовалась цель обеспечить примерную длину и ширину каждого единичного пути с верхних этажей вниз, а также количество лестниц.

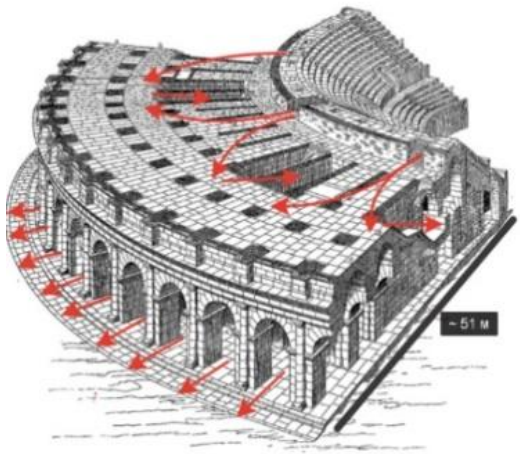


Рис. 1. Схема 2-го этажа Колизея (Гюаде) [1]

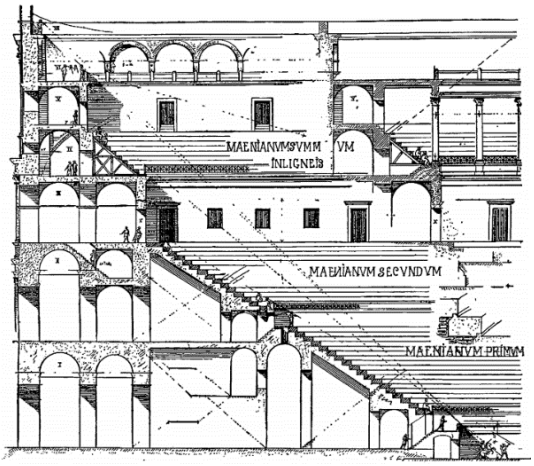


Рис. 2. Схема архитектурно-планировочных решений Колизея по Дурму [1]

Для моделирования эвакуации в программе реализована индивидуально-поточная модель [2-7]. Модель предполагает расчет положения каждого человека с учетом положения других людей и препятствий на плоскости в каждый момент времени, позволяет задавать индивидуальные характеристики: скорость свободного движения, площадь проекции, путь, время начала движения. На рисунке 3 представлено начальное положение людей и фрагмент эвакуации из Колизея на 100 с от начала.

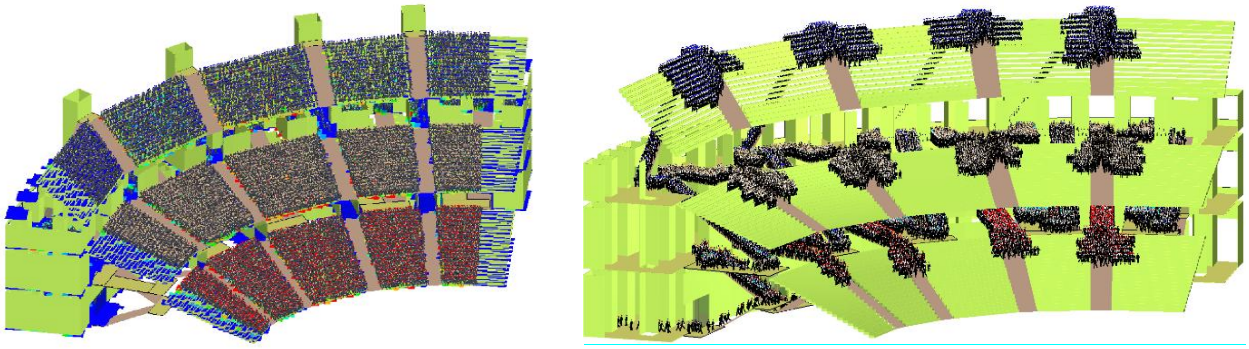


Рис. 3. Начальное расположение людей и фрагмент эвакуации из Колизея на 100 с от ее начала

В качестве исходных данных приняты следующие параметры: количество людей на секторе – 800, количество человек на каждой лестнице – 2500. По каждой из пяти лестниц варьировался числовой поток (1):

$$Q = \frac{N}{t}, \quad (1)$$

где Q – числовой поток проходящих людей, чел/с; t – время прохождения людей, с; N – количество проходящих людей, чел.

Среднее Q составило 3,2 чел./с.

Колизей является открытым сооружением, в случае пожара препятствий для распространения опасных факторов пожара (ОФП), и в первую очередь, задымлению [8], практически нет, поэтому определяющем параметром для эвакуации является скорость покидания здания. Высокая скорость перемещения людей с верхних ярусов реализована за счет максимально спрямленных путей эвакуации.

В Колизее местами скопления с повышенной плотностью (6 и более чел./м^2) являются выходы на лестницы вниз на 3-м этаже, поскольку пропускная способность этих лестниц

ниже, чем интенсивность потоков со 2-го и 3-го ярусов. Но продолжительность скоплений с высокой плотностью не превышает 6 минут (что является пороговым значением согласно [9]).

Характеристики арены после моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица характеристик Колизея

№	Характеристика, единица измерений	Параметр
1.	Минимальная величина потока по лестнице, чел./м/с	1,14
2.	Количество поворотов на 180^0 на лестнице, шт.	3
3.	Средняя длительность скоплений, с	360
4.	Управление эвакуацией (маршрутизация) для выравнивания нагрузки на лестницы, уменьшения времени скопления перед лестницами	Не требуется
5.	Поэтапная эвакуация	Не требуется
6.	Ограждение путей эвакуации от основного пространства	Нет
8.	Свободный переход к соседнему люку по трибуне	Да
9.	Обеспеченность каждой трибуны своей лестницей (лестниц/трибун)	1/1

Принимая во внимание давность принятых объемно-планировочных решений римского Колизея, конфигурация лестниц и пространств в некоторых аспектах имеет преимущества в сравнении с современными спортивно-зрелищными аренами [6].

Установлено, что в Колизее за счет реализации именно объемно-планировочного решения подтрибунных пространств и лестниц устойчивость процесса эвакуации воплощается с помощью 20 радиально расположенных лестниц, благодаря которым с каждого сектора людские потоки распределяются равномерно, не возникает потребности в поэтапной эвакуации. Нагрузка на одну лестницу составляет 2,5 тыс. человек, что является меньшим показателем, чем в современных аренах (3-4 тыс. человек) [6]. За счёт этого плотность людских потоков не достигает критических значений, а значит безопасность эвакуации обеспечивается.

В процессе компьютерного моделирования эвакуации в Колизее определено, что возникает меньшее количество мест скопления людей с повышенной плотностью (порядка 20 локальных скоплений около каждой лестницы), чем в таких современных стадионах, как «Газпром-Арена» – более 50 локальных скоплений людей с повышенной плотностью (г. Санкт-Петербург) и другие [6]. Преимущество Колизея достигается за счёт широких проёмов и лестничных маршей – основных критериев при оценке объемно-планировочных решений с точки зрения эвакуации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Tires A.G. Architecture of the Colosseum. Moscow: Publishing house of the Academy of architecture of the USSR, 1940. (in Russ.)

2. Kirik, E., Vitova, T., Malyshev, A., Popel, E. A Conjunction of the Discrete-Continuous Pedestrian Dynamics Model SigmaEva with Fundamental Diagrams. In: Wyrzykowski R., Deelman E., Dongarra J., Karczewski K. (eds) Parallel Processing and Applied Mathematics. PPAM 2019. LNCS, vol. 12044, pp. 457--466. Springer, Cham (2020) https://doi.org/10.1007/978-3-030-43222-5_40

3. Kirik E., Litvintsev K., Dekterev A., et al. Simulations of fire evacuations in “Sigma FS” software as a fire safety training instrument // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (21-26 April 2019 Saint Petersburg, Russia), Vol. 2. P. – 1281-1292. http://doi.org/10.18720/SPBPU/2/k19-120

4. Kirik E.S., Vitova T.B. Pedestrian movement: analysis of real experiments in a straight corridor and validation of “Sigma SF” Software. Fire Safety. 2020. № 1 (98). N 1, 2020. P.51-62. (in Russ)

5. Kirik, E., Malyshev, A. Computer Simulation of Pedestrian Flows for Universiade 2019 Sport Facilities Versus Hand Calculations // In: Proceedings of Pedestrian and Evacuation Dynamics 2016, Collective Dynamics, 1, A11, 2016. P.446-454.

6. Kirik E., Malyshev A., Vitova T., et al. Pedestrian movement simulation for stadiums design // Materials Science and Engineering // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering, 456 (2018), 012074 doi:10.1088/1757-899X/456/1/012074 (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012074/meta)

7. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K., Lunyakov M. Dependence of the human flow density from the staircase and exit width, E3S Web of Conferences, Vol. 91 (2019), art. no. 05017 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/20199105017
8. Недрышкин О.В., Гравит М.В. Программные комплексы моделирования опасных факторов пожара // Пожарная безопасность, № 2. 2018. С.38 – 46.
9. Fire risk code for buildings / EMERCOM of Russia. 2009. Available at: http://www.mchs.gov.ruhttp://www.mchs.gov.ru

УДК 69.001.5

Н.С. Астафьева, А.Д. Садовский, Ю.С. Филатова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОГРАММНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ ИЗ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тенденция цифрового моделирования зданий набирает колоссальные обороты не только во всем мире, но и на территории нашей страны. С 2016 года начался прием электронных документов в строительную экспертизу, а с 2022 года предоставление информационной BIM-модели для объектов социального назначения будет обязательным [1].

В последние годы строительство многоквартирных жилых домов в России в основном ведется по монолитной технологии. За прошедшие 20 лет разработчики CAD и BIM комплексов уделили этому виду строительства большое внимание и автоматизировали многие действия проектировщиков, расчетчиков и конструкторов. Однако существующие программные комплексы в области BIM-моделирования недостаточно разработаны для комплексной автоматизации проектирования и расчета зданий из сборного железобетона. Объемы панельного и сборно-монолитного домостроения в нашей стране в последнее время продолжает расти, за последние три года в Санкт-Петербурге они увеличились с 0,7 до 1,0 млн м^2, то есть прирост составил 40%.

Сборное домостроение применялось с 1960-х годов, оно позволило расселить граждан из коммунальных квартир и сократить потребность населения в новом жилье. В 1987 году было сдано 72,8 млн м^2 многоквартирных панельных домов, а в 2020 году в России сдано 80,6 млн. м^2 из них 38,7 млн. м^2 жилых домов, построенных населением самостоятельно. Стратегическая потребность населения России в жилых площадях очень высока, оценивается в 1,5 млрд. м² [2].

Цель работы – анализ программных комплексов, применяемых для сквозного автоматизированного проектирования зданий и сооружений, и оценка удобства их применения с точки зрения разработки цифровой модели и документации стадии «П» для зданий из сборного и сборно-монолитного железобетона.

Были выбраны два программных комплекса: отечественная программа Renga – российская BIM-система для комплексного проектирования с необходимой функциональностью, и Autodesk Revit – программный комплекс для автоматизированного проектирования, реализующий принцип информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM). Оба комплекса входят в список одобренного программного обеспечения Минстроя России. Информационная модель, созданная в ПК в формате IFC, предоставляется в строительную экспертизу [3].

Для анализа работы двух ПК был взят проект панельного 10-ти этажного многоквартирного жилого дома в конструкциях Гатчинского ССК (рис. 1). Создана цифровая информационная модель типовой секции здания, состоящая из следующих сборных железобетонных конструкций: трехслойные наружные стеновые панели, однослойные межкомнатные панели, многопустотные плиты перекрытия, балконные панели, лестничные марши, лестничные площадки, шахты лифтов, свай.

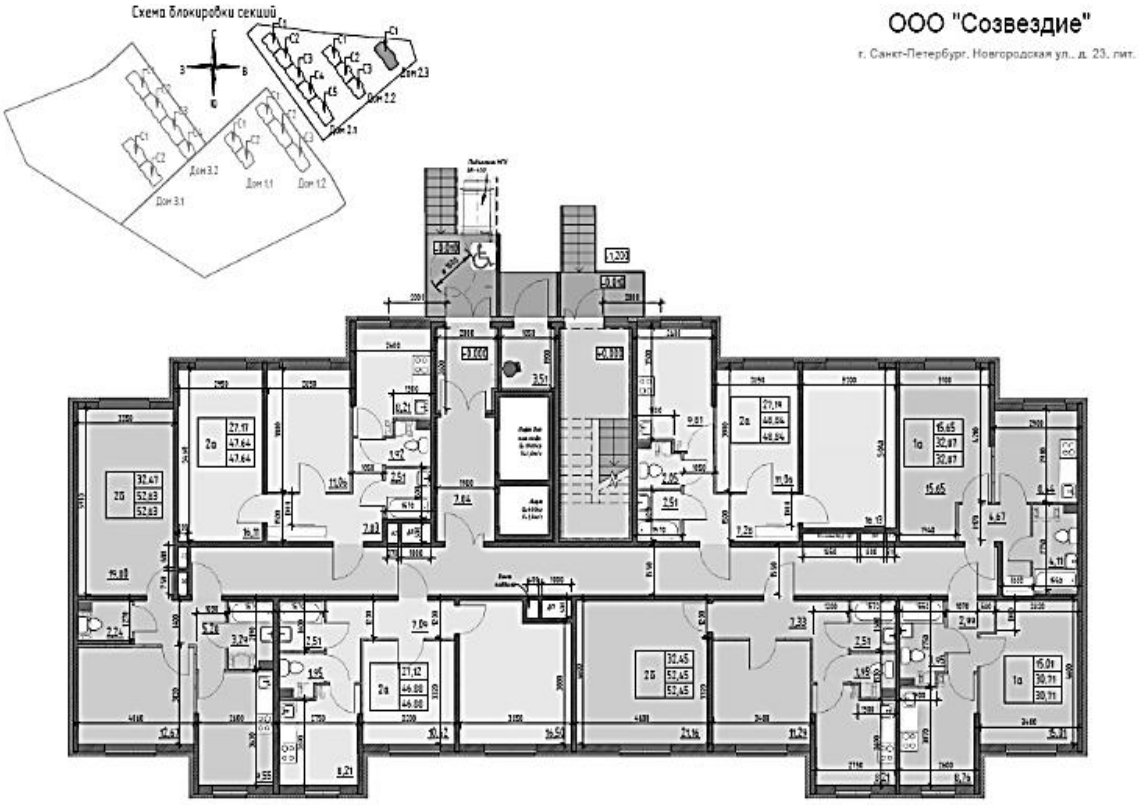


Рис. 1

Использование BIM-технологий дало ряд преимуществ для проектирования, такие как: повторное использование моделей, сокращение сроков моделирования здания за счет использования типовых элементов, автоматический сбор данных и создание на их основе различного рода спецификации, минимизация всевозможных коллизии, создание отправочных марок строительных изделий прямо из BIM-модели, подготовка исходных данных для автоматического составления смет.

	Наименование	Марка	Количество	Масса	Примечание
1	Спецификации				
2	Наименование	Марка	Количество	Масса	Примечание
7	1 этаж Перекрытия				
8	ИЖ 914	ПБ-24-6,5-6	1	499,00	
9	ИЖ 914	ПБ-27,6-12-6	1	1 035,00	
10	ИЖ 914	ПБ-27,8-12-6	3	1 043,00	
11	ИЖ 914	ПБ-28,9-4-6	1	358,00	
12	ИЖ 914	ПБ-28,9-12-6	1	1 084,00	
13	ИЖ 914	ПБ-29,3-12-6	2	1 099,00	
14	ИЖ 914	ПБ-30,9-6,5-6	1	643,00	
15	ИЖ 914	ПБ-30,9-12-6	4	1 159,00	
16	ИЖ 914	ПБ-32,7-12-6	1	1 226,00	
17	ИЖ 914	ПБ-33,6-12-6	4	1 260,00	
18	ИЖ 914	ПБ-35,1-9-6	1	1 028,00	
19	ИЖ 914	ПБ-35,1-12-6	4	1 316,00	
20	ИЖ 914	ПБ-40,1-12-6	3	1 504,00	

Рис. 2

Но при проектировании сборных конструкций авторы столкнулись с рядом сложностей и несовершенств программных комплексов.

Первым программным ограничением, которое как правило отсутствует при проектировании монолитных здании в различных BIM-комплексах, стало трудоемкое создание в Renga отдельных BIM объектов и занесение в каждый из них необходимой атрибутивной информации (рис. 2). Было создано 49 видов наружных стеновых панелей, 45 внутренних стеновых панелей, 50 плит перекрытий, 3 лестничных марша, 1 шахта лифта для каждого программного продукта, порядка 3000 экземпляров конструкций и изделий с привязкой их по координатам.

Вторым ограничением стало отсутствие в рассматриваемых ПК ряда возможностей для динамической взаимосвязи проектирования [4]. Например, невозможно было автоматически создать спецификацию помещений, т.к. данная функция привязана к созданию замкнутой геометрии пространства, где нужны четкие границы помещений. (Рис. 3) При внесении изменений в планировочные решения, высоту этажа, геометрические размеры стен и другие параметры из-за отсутствия динамической связи приходилось менять всю сборку или семейство, и в дальнейшем перемещать неправильно расположенные стены вручную, контролируя координацию новых объектов.

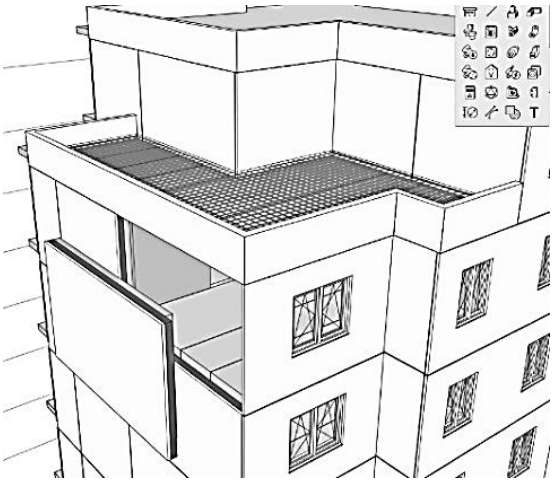


Рис. 3

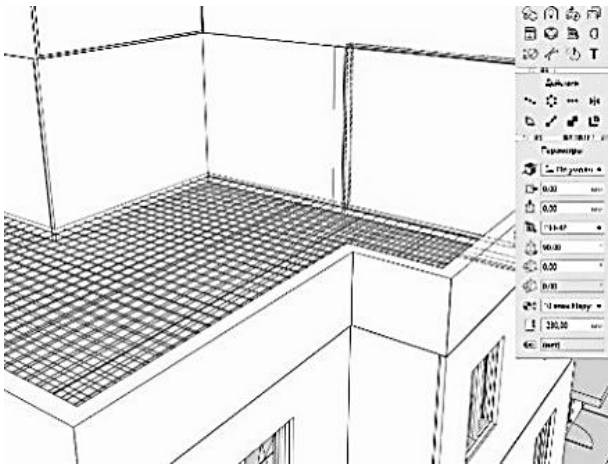


Рис. 4

Третьим ограничением стало отсутствие автоматического армирования железобетонных элементов, которое легко используется для монолитного здания. Поэтому пришлось разрабатывать и применять так называемые «сборки» по армированию, состоящие из отдельных стержней, сеток, узлов и деталей (рис. 4).

Четвертым ограничением стало отсутствие понимания BIM-системой Renga, что сборные конструкции являются элементами «стен» или «перекрытий», с сопутствующими им свойствами.

Схожие ограничения в моделировании были выявлены и при создании информационной модели в ПК Revit, что доказало схожий подход к формированию модели. Особенности моделирования панельного домостроения приводят к тому, что проектировщикам приходиться менять привычную им систему работы с цифровой моделью [5].

В результате работы в Renga удалось создать обширную базу данных сборных ж/б конструкций, которую в дальнейшем можно использовать для разработки проектной и рабочей документации жилого дома, построенных из конструкций Гатчинского ССК.

Подводя итог можно сказать, что:

- домостроительные комбинаты и заводы ЖБИ крайне нуждаются в разработке полной базы данных своих изделий, в соответствии с требованиями стандартов по цифровому моделированию;
- в существующих ПК нет до конца разработанной методики формирования информационной модели здании из сборных и сборно-монолитных конструкций;
- требуется совершенствование, и доработка существующих ПК для решения задач моделирования панельного домостроения на различных стадиях проектирования;
- данную проблему можно успешно решить с применением программного обеспечения российских разработчиков, таких как BIM-система РЕНГА.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 [текст]: постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431 // Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 4, ст. 392; 2014, № 25, ст. 3303; 2019, № 26, ст. 3436
2. О жилищном строительстве в 2020 году [Электронный ресурс]: данные Росстат / Росстат – Электрон. текстовые дан. – Росстат, 11 февраля 2021 – режим доступа к статье: https://rosstat.gov.ru/central-news/document/75510
3. Минстрой Россий: Внедрение цифровых стандартов в строительство [Электронный ресурс] / Минстрой Россий– Электрон. текстовые дан. – Минстрой Россий, 15 марта 2021. – Режим доступа: https://minstroyrf.gov.ru/press/vnedrenie-tsifrovykh-standartov-v-stroitelstvo-obsudyat-na-konferentsii-v-moskve-17-18-marta/?sphrase_id=1230024
4. 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
5. Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий [Текст] / Талапов В.В. // Современные аспекты регионального развития: сб. статей. – Москва: Книжный мир, 2013. – 110 с.

УДК 528.71

А.Ф. Шашков, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Цель работы – мониторинг зданий и сооружений с использованием беспилотных летательных аппаратов и описание обработки данных аэрофотосъемки.

У традиционного способа аэрофотосъемки существует ряд недостатков: использование крупногабаритных пилотируемых аппаратов (самолетного и вертолетного типов) возможно только при благоприятных погодных условиях, необходимость специализированных взлетных площадок и большие затраты ресурсов [1, 2].

Использование беспилотных летательных аппаратов, имеющих небольшие габариты, не подразумевает их запуск со специализированных взлетных площадок, что позволяет снизить затраты, уменьшить время развертывания и производить съемку в условиях городской местности. Также одним из главных достоинств данного метода является то, что для эксплуатации БПЛА не требуется высокая квалификация. Отдельно стоит отметить, что беспилотные аппараты полезны в труднодоступных и опасных местах для человека местах. Например, если необходимо оценить повреждения после пожара внутри здания, дроны будут более, чем полезны, ведь в любой момент сама конструкция и ее элементы могут обрушиться [3-6].

Опытным участком для проведения исследования методики применения БПЛА в строительстве для формирования системы мониторинга зданий и сооружений был выбран спорткомплекс Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (рис. 1). В ноябре 2020 года была произведена съемка с БПЛА DJI Phantom 4, на котором была установлено GPS оборудование и камера Adventure разрешения 3648×5472 пикселей. Максимальное время полета устройства 20 минут. Время проведения работ выбиралось с учетом погодных условий, таких как отрицательные температуры, ветер и осадки.



Рис. 1. Снимок спорткомплекса СПбПУ

Аэросъемка проводилась на высоте 30 м. Для планирования маршрута съемки применялось программное обеспечение DJI GS PRO, позволяющее оперативно в режиме 3D Map запрограммировать параметры полета. Перед началом аэрофотосъемки по периметру объекта были расставлены 6 наземных опознаков, координаты которых определены в режиме РТК. Следующий этап – непосредственно аэрофотосъемка спорткомплекса.

Для обработки полученных фотоснимков с БПЛА использовалась программа PhotoScan компании Agisoft (рис. 2). В процессе обработки данных были удалены снимки с плохим качеством. Далее было произведено выравнивание камер, в результате которого мы получили разряженное облако точек с проекциями фотографий под нужными углами.

Следующим этапом обработки являлась привязка цифровой модели к системе координат GS 64. Для точности привязки на каждом снимке были расположены наземные опознаки. Далее был выполнен процесс оптимизации выравнивания камер. В результате программа PhotoScan значительно уменьшает ошибки.

После распределения невязки было построено плотное облако точек и наложение на него текстур. Чтобы в дальнейшим использовать данную модель, в программах по проектированию создается карта высот на основе системы координат GS 64, а также построение ортофотопланов.

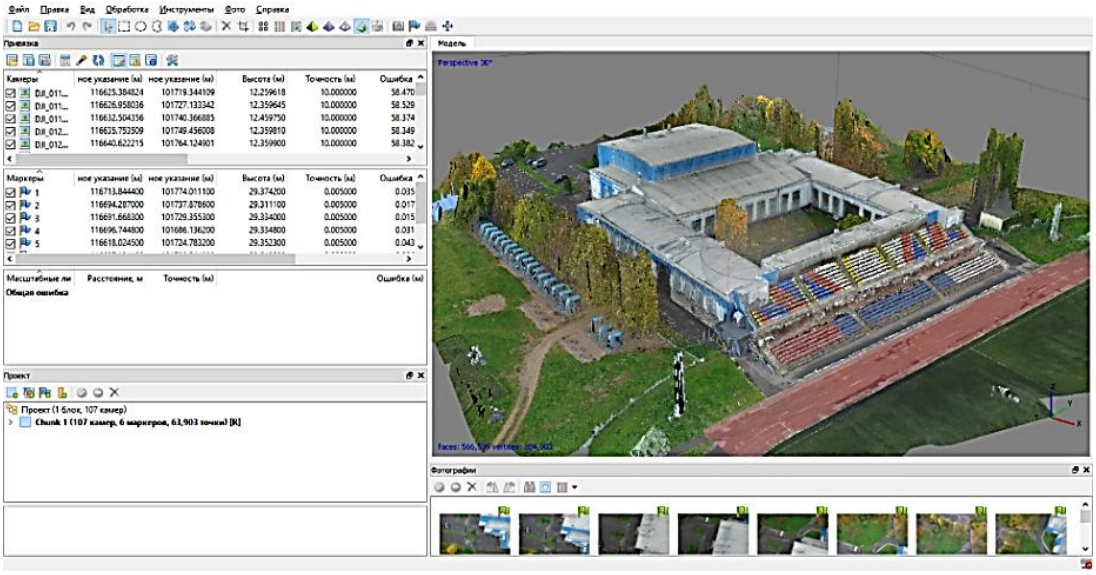
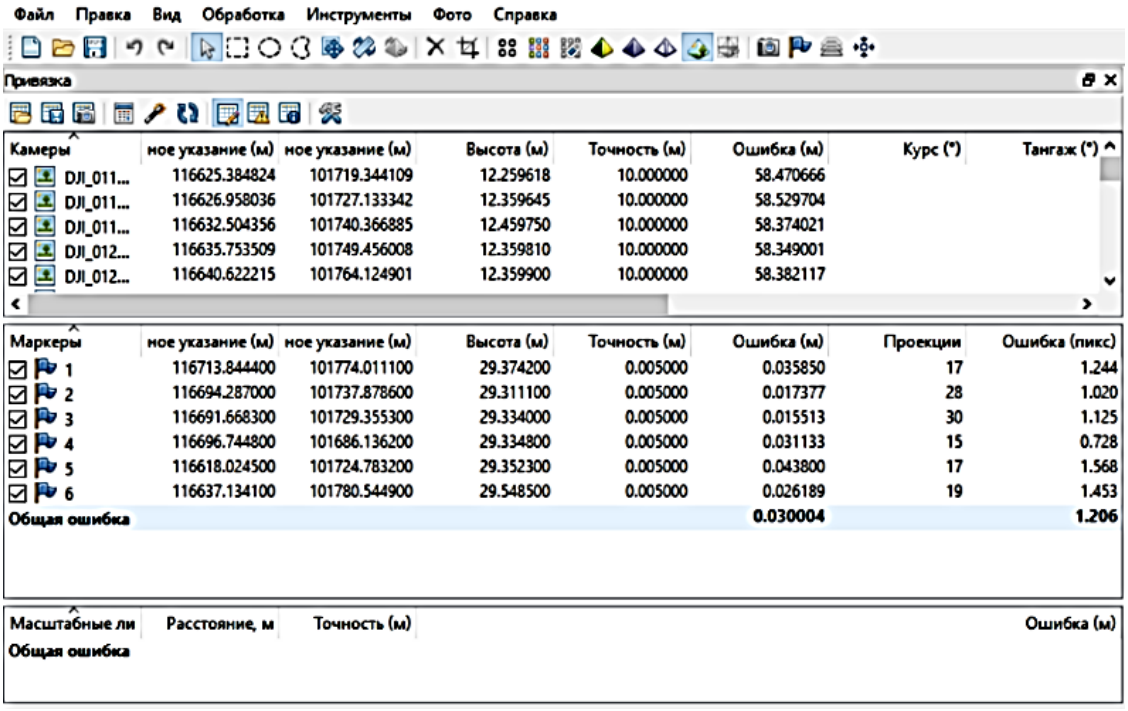


Рис. 2. Обработка данных в программе PhotoScan

В результате обработки полученных фотоснимков были созданы плотные облака точек, карты высот с дискретностью 6,06 и 1,51 см/пикс., цифровая модель и ортофотоплан. Общие ошибки по опорным точкам составили 3 см и 1,206 пикселей. На рис. 3 представлен раздел отчета, сформированного в программе PhotoScan, посвященный опорным точкам, созданный при съемке.



Камеры	ное указание (м)	ное указание (м)	Высота (м)	Точность (м)	Ошибка (м)	Курс (°)	Тангаж (°)
DJI_011...	116625.384824	101719.344109	12.259618	10.000000	58.470666		
DJI_011...	116626.958036	101727.133342	12.359645	10.000000	58.529704		
DJI_011...	116632.504356	101740.366885	12.459750	10.000000	58.374021		
DJI_012...	116635.753509	101749.456008	12.359810	10.000000	58.349001		
DJI_012...	116640.622215	101764.124901	12.359900	10.000000	58.382117		

Маркеры	ное указание (м)	ное указание (м)	Высота (м)	Точность (м)	Ошибка (м)	Проекции	Ошибка (пикс)
1	116713.844400	101774.011100	29.374200	0.005000	0.035850	17	1.244
2	116694.287000	101737.878600	29.311100	0.005000	0.017377	28	1.020
3	116691.668300	101729.355300	29.334000	0.005000	0.015513	30	1.125
4	116696.744800	101686.136200	29.334800	0.005000	0.031133	15	0.728
5	116618.024500	101724.783200	29.352300	0.005000	0.043800	17	1.568
6	116637.134100	101780.544900	29.548500	0.005000	0.026189	19	1.453
Общая ошибка					**0.030004**		**1.206**

Масштабные ли	Расстояние, м	Точность (м)	Ошибка (м)
Общая ошибка			

Рис. 3. Раздел отчета, сформированного в программе PhotoScan

В результате проведения исследований была произведена аэрофотосъемка с использованием беспилотного летательного аппарата, а также описан процесс обработки полученных данных.

Для сравнения метода мониторинга зданий и сооружений с использованием беспилотных летательных аппаратов и его результатов с другими методами требуется проведение дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д., Боголюбова А.А., и др. Инженерная геодезия. Использование современного оборудования для решения геодезических задач. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 98 с.
2. Шевченко О.Ю., Боричевский А.Б. Использование беспилотных летальных аппаратов для ведения мониторинга использования территорий // Экономика и экология образований, 2017, №9. URL: http://eco.e.donstu.ru/search/?query=Использование%20беспилотных%20летальных%20аппаратов%20для%20ведения%20мониторинга%20использования%20территорий
3. Применение квадрокоптеров в обследовании зданий и сооружений // ООО «Аракис. URL: https://arakis.su/articles/primenenie-kvadrokopterov-v-obsledovanii-zdanij-i-sooruzhenij/
4. Сухонников О.Г., Неретин А.А., Гурьев В.А. Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог: научно-технический журнал САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2019. – №2(9). – 80 с.
5. Кавелин А.С., Нуриев В.Э., Тютина А.Д. Использование квадрокоптеров для обследования объектов // Инженерный вестник Дона, 2019, №9. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6108
6. Семенов А.С. Обследования зданий и сооружений с применением беспилотных летательных аппаратов / А.С. Семенов, К.А. Слонич // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 160-163.

УДК 721.021.23

А.А.Школьникова, М.Д.Терех
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Города в современном мире должны отвечать требованиям различного спектра: устойчивость среды обитания людей, энергоэффективность, рациональное благоустройство. Зачастую решение обозначенных вопросов возможно только с применением инновационных цифровых технологий [1-2].

На текущий момент в РФ действует ряд стратегических документов, среди которых программа «Комфортная городская среда», национальный проект «Жилье и городская среда», проекта цифровизации городского хозяйства «Умный город». В соответствии со стратегией данных проектов город должен быть адаптивен к изменениям окружающей среды и к требованиям безопасности и комфорта граждан.

Таким образом, одним из приоритетных направлений развития цифрового строительства является энергетическое моделирование зданий и территорий, которое способствует принятию энергосберегающих решений при городском планировании.

Цель работы – обзор и сравнение методов градостроительного энергетического моделирования (Urban building energy modelling – UBEM) для устойчивого развития городских территорий.

Для достижения поставленной цели проанализированы общая схема и существующие методы UBEM, исследованы критерии для сравнения и оценки эффективности применяемых методов.

Градостроительное энергетическое моделирование является инструментом для расчета, визуализации и анализа энергопотребления зданий в масштабе от районов до целых городов.

UBEM может охватывать проекты различные по пространственным и временным характеристикам в зависимости от поставленных целей исследования [3].

Общая схема процесса создания и использования градостроительных энергетических моделей отражена на рис.1.

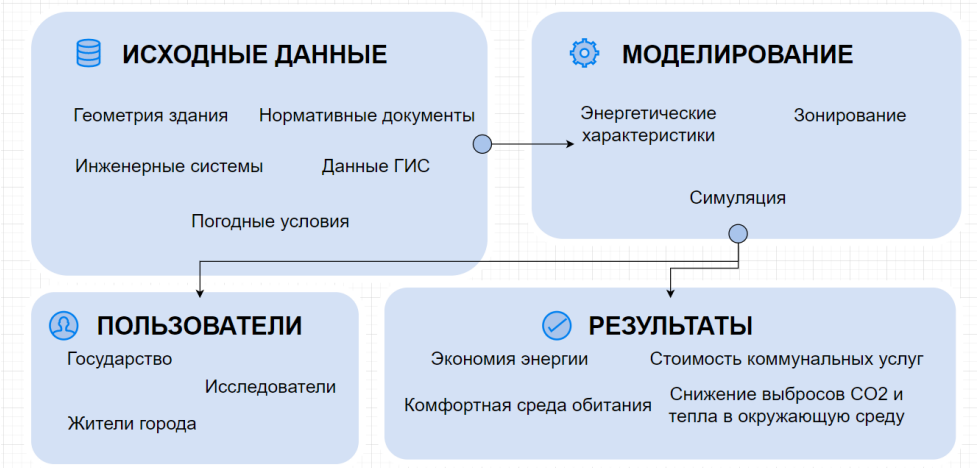


Рис. 1. Схема UBEM

Поскольку количество объектов строительства в масштабе города может достигать миллионов единиц, создание моделей, учитывающих все индивидуальные характеристики зданий, в ближайшее время не представляется возможным. Важной задачей в выборе метода

моделирования является нахождение компромисса между детальностью проработки модели и точностью выходных данных.

Методы UBEM можно классифицировать на нисходящие (top-down) и восходящие (bottom-up) [4].

Подход top-down использует данные больших статистических выборок, воспринимая здания внутри рассматриваемой зоны как единое целое. Данный метод не учитывает индивидуальные характеристики зданий и рассматривает общее значение энергопотребления рассматриваемой зоны как функцию макроэкономических показателей (цены на источники энергии, благосостояние жителей, используемые технологии, климатические условия) [5].

Подход bottom-up обладает рядом преимуществ по сравнению с top-down подходом: основывается на данных об энергопотреблении отдельных зданий и более точно отражает распределение энергии в пределах рассматриваемой зоны, предоставляет возможность включить в рассмотрение геометрические и конструктивные особенности рассматриваемых объектов. В связи с этим данный подход будет рассмотрен более подробно.

В зависимости от того, каким образом происходит расчёт энергопотребления зданий bottom-up подход разделяется на физическое моделирование, моделирование на основе больших данных и гибридное моделирование.

Таблица 1 – Сравнение методов UBEM

Метод	Необходимые ИД	Точность/масштабируемость	Производительность процесса расчета
Физическое моделирование	Геометрия здания, данные об окружающей среде и энергопотреблении.	Высокая точность при увеличении масштабов моделирования. Разница между результатами моделирования и фактическими значениями, как правило, не более 30-40%. Среднеквадратичное отклонение до 25% меньше, чем при использования других методов [7].	Расчет может занять несколько часов и более, однако данный процесс не требует активного вовлечения специалиста. При расчете используются распространенные инструменты (CityGML, GIS, Rhinoceros, EnergyPlus)
Моделирование на основе больших данных	Тип зданий, площадь, период постройки, сопротивление теплопередаче конструкций и прочие зарегистрированные данные.	Данный метод не позволяет учитывать пространственные характеристики исследуемой территории. Разница между результатами моделирования и фактическими значениями, может достигать 60%. Потенциал масштабирования модели до уровня города может быть сильно ограничен, так как зависит от количества и качества используемых ИД.	Высокая скорость расчета (менее 1 ч), но трудоемкий процесс подготовки, требующий наличия навыков программирования и работы с математическими инструментами (Visual Studio Code Excel, Matlab).
Гибридное моделирование	Тип зданий, площадь, период постройки, сопротивление теплопередаче конструкций и прочие зарегистрированные данные. Геометрия здания, данные об окружающей среде и энергопотреблении.	Точность сопоставима с методом физического моделирования при условии наличия больших объемов достоверных статистических данных и детальной проработке модели. Масштабируемость ограничена, так как зависит от количества и качества используемых ИД.	Высокая скорость расчета (менее 1 ч), но трудоемкий процесс подготовки, требующий наличия навыков программирования и работы с математическими инструментами (Visual Studio Code Excel, Matlab).

При физическом моделировании расчет производится на основе энергетической модели одного так называемого образцового здания с последующим масштабированием результатов в зависимости от количества объектов данного типа или площади рассматриваемой территории. Для оптимизации количества входных данных производят кластеризации зданий в группы, имеющие сходство технико-эксплуатационных и энергетических параметров [6]. В каждой группе выявляется образцовое здание, которое наиболее точно характеризует ее по выбранным параметрам.

Моделирование на основе больших данных производится на основе регрессионного анализа – раздела математической статистики и машинного обучения. Данный метод позволяет прогнозировать энергопотребление зданий, на основе полученных ранее статистических данных.

Гибридное моделирование объединяет два описанных выше метода, используя статистические данные совместно с физической моделью [5].

В таблице 1 представлено сравнение приведенных восходящих методов моделирования по критериям потребности в исходных данных (ИД), точности результатов, масштабируемости, производительности процесса расчета.

На основании приведенных данных можно выделить физический метод моделирования с применением объекта-образца, как наиболее эффективный для использования в настоящее время, так как он в большей степени способствует достижению целей UBEM, а именно увеличению масштабов моделирования без существенной потери точности, при этом являясь наиболее простым в применении. Для дальнейшего развития UBEM усилия исследователей необходимо направить на развитие системы сбора и хранения данных о городской застройке, что позволит также применять гибридное моделирование с более высокой точностью, и создать единый реестр с классификаций и описанием типов жилых зданий с возможностью определения объекта-образца.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Gamayunova O., Gumerova E., Miloradova N. Smart glass as the method of improving the energy efficiency of high-rise buildings В сборнике: E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. p. 02046.

2. Petrichenko, M., Sergeev, V., Kotov, E., Nemova, D., Tarasova, D. Numeric Verification of the Weak Solutions to the Typical Crocco Limit Problem Using Implicit Difference Scheme of the Second Order (2019) Advances in Intelligent Systems and Computing, 983, pp. 839-848.

3. T. Hong, Y. Chen, X.Luo, N. Luo, S. H. Lee. Ten questions on urban building energy modeling. 2020. Building and Environment vol. 168.

4. F. Johari, G. Peronato, P. Sadeghian, X. Zhao, J. Widén. Urban building energy modeling: State of the art and future prospects. 2020. Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 128.

5. Li, Y.; Wang, C.; Zhu, S.; Yang, J.; Wei, S.; Zhang, X.; Shi, X. A Comparison of Various Bottom-Up Urban Energy Simulation Methods Using a Case Study in Hangzhou. 2020. Energies vol. 13.

6. О.Н. Попова, Ю.М. Глебова. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 3 (66). 2018. 7-18.

7. D. P. Zhou, Q. Hu, C. J. Tomlin, Quantitative comparison of data-driven and physics-based models for commercial building HVAC systems. 2017. American Control Conference (ACC), IEEE. Pp. 2900–2906

УДК 69.001.5

А.Д. Занина, А.С. Князева, Е.А. Палий, М. Тулешова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСА ОБОЛОЧКОВОЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ПО AUTODESK REVIT

Современная архитектура наполнена яркими оригинальными формами, полученными в результате удачной комбинации функциональности, экономичности и выразительного художественного образа [1]. Однако возможность создания подобных объектов связана с передовыми разработками в сфере возведения зданий и сооружений, благодаря которым становится реальным моделирование конструкций различных видов и масштабов [2], способных выдержать как значительные нагрузки, так и обеспечить поддержание, а иногда и дополнение эстетической составляющей проекта. Примером подобного сочетания является сетчатая оболочковая система, являющаяся популярным решением для зданий с различным назначением, формой, высотой и пролетами. Ее главное преимущество – способность адаптироваться и обеспечивать структурную поддержку непрямолинейным геометрическим формам, изогнутым и ломанным линиям [3]. Однако ее проектирование может оказаться затруднительным и времязатратным, а в некоторых случаях невозможным процессом без использования дополнительного программного обеспечения, способного в разы упростить работу, такого как ПО Autodesk Revit, что можно заметить на представленных ниже двух разобранных вариантах создания оболочковой системы.

Рассмотрим метод 1 создания оболочковой системы в ПО Autodesk Revit.

Основой всех элементов в ПО Autodesk Revit являются семейства, существующие для координации данных и возможности легкого внесения изменений в проекты. Главная особенность программы – допустимость создания семейств без знания языка программирования [4], что послужит основой формирования ячейки каркаса.

В первую очередь необходимо перейти в редактор семейств, предварительно выбрав за основу шаблон «Метрическая система, типовая модель на основе образца», где расположена вся необходимая геометрия для отображения объектов на двухмерных и трехмерных видах, которую можно изменять, удалять или добавлять.

Для поставленной цели необходимо произвести следующие действия:

1. Поменять тип «Сетки» на «Шестиугольник», используя «Свойства»;

3. С включенной функцией «Рисовать на грани» разместить на вспомогательной линии «точечный элемент» и задать его плоскость, перпендикулярную вспомогательной линии, рабочей;

4. С помощью инструмента «Линия модели» нарисовать эскиз сечения ячейки каркаса относительно опорной точки;

5. Через функцию из выпадающего списка инструмента «Форма» – «Объёмная форма» создать каркас;

6. Последним действием необходимо задать материал через «Свойства» для каждого элемента;

7. В результате семейство (рис. 1) создано, его нужно загрузить в проект и добавить на существующий формообразующий элемент, предварительно разбитый на сетку, того же типа, что был выбран при создании каркаса (рис. 3.1).

Рассмотрим метод 2 создания оболочковой системы в ПО Autodesk Revit.

Основа данного метода – создание состоящего из объемных тел и полостей формообразующего элемента, существующего для отображения каркаса здания. Данный способ показывает, как концепция формы превращается в реальные элементы [5] в среде проектирования моделей ПО Autodesk Revit.

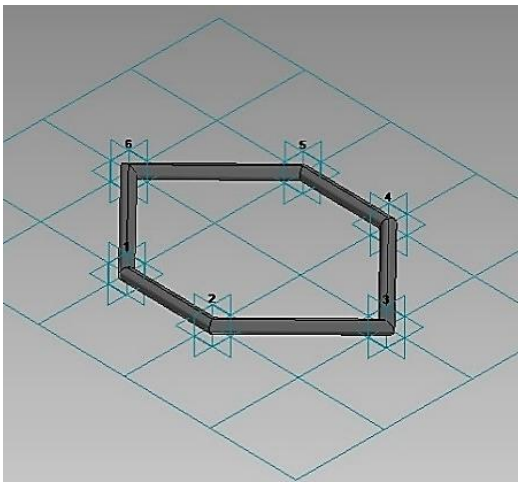


Рис. 1

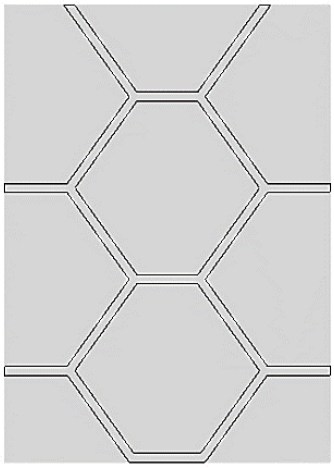


Рис. 2

В данном методе нужно произвести следующие действия:

1. С помощью инструментальной палитры в режиме создания формообразующего элемента на существующей форме здания нарисовать эскиз каркаса, контуры которого должны быть замкнутыми (рис. 2);

2. Используя инструменты «Создать форму: объёмная форма» и «Создать форму: полая форма» задать объём составляющим, а затем размеры;

3. Для создания единой каркасной системы воспользоваться функцией «Соединить элементы геометрии», что позволит сформировать правильные стыки всех частей каркаса;

4. Последним этапом выделить все полученные компоненты и задать им материал через «Свойства»;

5. Каркасная система запроектирована (рис. 3.2).

Таким образом, двумя методами построения были получены следующие представления каркасной системы в ПО Autodesk Revit: на рисунке 3.1 представлена модель каркасной системы по методу 1, на рисунке 3.2 представлена модель по методу 2.

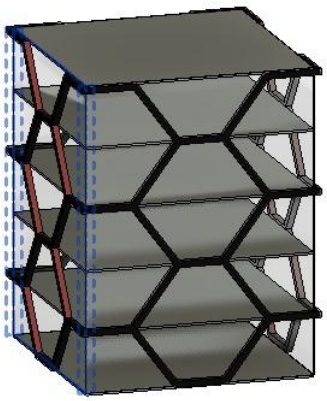


Рис. 3.1

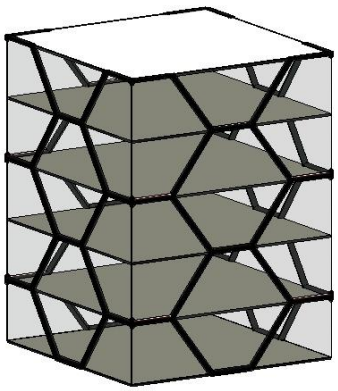


Рис. 3.2

Оба варианта позволили достигнуть поставленной цели, но с различием в результатах, связанным с особенностями подходов.

При использовании семейств каркас создается автоматически программным комплексом без возможности контроля на каждом этапе, что сокращает объём работы и время, необходимое на ее выполнение, но приводит к возникновению ошибок, таких как неправильное отображение в узлах соединения элементов каркаса, а, следовательно, такой

способ возведения оболочки подходит только для случая создания быстрой и неточной модели объекта (например, для примерной визуализации). К тому же, при выборе данного подхода к проектированию стоит учесть ограничение в виде выбора формы каркаса исключительно из категории, представленной ПО Autodesk Revit [6].

Второй метод исключает возможность столкнуться с проблемами, возникающими при работе с семействами за счет ручного прорисовывания каждого элемента каркаса, однако при задании более сложной геометрии сечений стыки на ребрах стен также получаются некорректными.

У данного метода есть главный недостаток – он не подходит для создания оболочки в зданиях с криволинейной формой, то есть только для объектов с неплоской поверхностью стен неприемлемо его использование в связи со сложностью задания рабочей плоскости при создании эскиза, поэтому при проектировании представленных ниже зданий (рис. 4.1 и 4.2) были использованы семейства, что упростило работу. Тем не менее, в ПО Autodesk Revit показанный каркас был некорректно запроектирован, что потребовало исправлений и дополнений с использованием первого метода.



Рис. 4.1

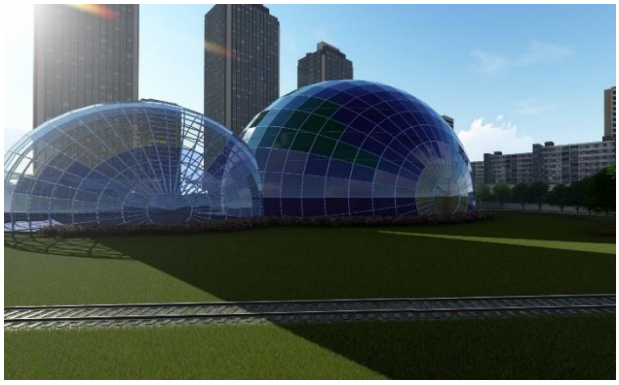


Рис. 4.2

Таким образом, можно сделать вывод, что выбор подхода проектирования каркасной системы зависит от оценки допустимости возникающих ошибок и степени сложности исполнения метода. Если задача проектировщика заключается в создании каркаса малоэтажного здания прямоугольной формы или близкой к ней, следует воспользоваться вторым методом, а проектирование каркаса высотных зданий сложной геометрической формы предполагает использования первого метода для его создания, а второго для редактирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фролова Е.В. Эволюция развития небоскребов. Строительство и природообустройство: проблемы и решения: Материалы всероссийской научно-практической конференции, 2019 г. 87-93 с.
2. Кожевникова Ю. Г., Сероглазкина Л. П., Ефремова Е. А., Реснянская В. В. Вариативность несущих конструкций и их роль в формообразовании здания и сооружения. Инженерно-строительный вестник Прикаспия, 2016 г. № 1-2 (15-16). 15-20 с.
3. Семашкина, Д. О. Сетчатые оболочки в качестве каркаса невысотных зданий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018 г. № 1(64). 36-49 с.
4. Autodesk Revit Building 8.0. Учебные пособия. Изд-во: Autodesk, Inc, 2005 г. 1048 с.
5. Revit Architecture. Руководство для преподавателей. Информационное моделирование зданий в Revit Architecture. Изд-во: Autodesk, Inc, 2008 г. 87 с.
6. Маричев А.П., Залата Е.С., Гришина О.С., Кукушкина Г.А., Федорец А.Е. Влияние тактовой частоты на скорость рендера. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017 г. № 4(55). 115-123 с.
7. Петроченко М.В., Шерстобитова П.А., Мацкина М.Л. BIM 4D: Naviswork manage и synchro sof. Управление проектами: идеи, ценности, решения: Материалы I Международной научно-практической конференции, СПб, 2019. 152-157 с.

УДК 725.5

Е.А. Столярова, Г.А. Бардина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ «УМНОЙ ПОЛИКЛИНИКИ»

На сегодняшний день и пациенты, и врачи поликлиник выделяют ряд проблем, связанных преимущественно с длительным ожиданием оказания услуги, неудовлетворительным качеством услуг, неэффективным использованием полезной площади медицинских организаций. Для решения данных проблем, существующих в медицинских учреждениях, повышения удовлетворенности всех сторон, был разработан федеральный проект «Бережливая поликлиника». Бережливое производство – концепция менеджмента, основанная на стремлении к устранению всех видов потерь, вовлечению в процесс оптимизации сотрудников и клиентов. Бережливая медицина – отраслевой вариант бережливого производства. Концепция позволяет уменьшать затраты времени медицинских работников, не связанного непосредственно с пациентом «Умная поликлиника» – это умное здание, в котором реализуется программа «бережливая поликлиника» [1-3].

Цель работы – разработка объемно-планировочных решений здания «Умной поликлиники» в городе Санкт-Петербург. При разработке объемно-планировочных решений здания «Умной поликлиники» в первую очередь выполнен анализ методической литературы, обзор современных тенденций проектирования учреждений здравоохранения, а также проведен опрос сотрудников и пациентов поликлиник.

Реализация программы «Бережливая поликлиника», переход на цифровые технологии, не всегда могут быть эффективно реализованы в существующих зданиях медицинских организаций, требуется строительство новых больниц, поликлиник, которые будут отвечать современным требованиям.

При оценке качества медицины сегодня переходят от объема оказанной помощи к ее качеству [1]. Изменения в подходах к оказанию медицинской помощи влекут за собой изменения требований к проектированию и строительству зданий медицинских организаций, которые должны обеспечивать:

1) комфорт и безопасность пациентов,
2) возможность реализации инновационных методик диагностики и лечения,
3) удобство и эффективность работы персонала.

Урбанизация современного медицинского учреждения, его интеграция в жизнь города – общая тенденция практически всех развитых стран, это выражается во внимании при проектировании к общим зонам и пространствам: просторным холлам, зонам для устройства встреч и конференций, кофейням [4-5].

Состав помещений поликлиники определяется исходя из типа медицинской организации и технического задания заказчика. В работе рассматриваются объемно-планировочные решения многопрофильной поликлиники для взрослых. Нормативной документации, регламентирующей состав поликлиники, сегодня нет. Пособие, включавшее в себя данные сведения, было разработано в 1989 году и сегодня неактуально [6]. Действующий свод правил определяет расположение и минимальные площади кабинетов, но не состав [7].

Для определения состава помещений были проанализированы существующие проекты, проведено интервьюирование сотрудников медицинских учреждений. В опросе приняли участие:

1. Заведующая поликлинического отделения №10 Салихова Д.В.
   ГБУЗ Городская поликлиника 17 Поликлиническое отделение № 10
2. Врач-терапевт участковый Болотов П.Н.
   СПб ГБУЗ городская поликлиника №104, Поликлиническое отделение № 15

3. Врач-терапевт участковый Ладнов Д.В.
   Поликлиника №31 (КДЦ ПСПбГМУ им. Академика И.П. Павлова)

Принятый состав помещений для поликлиники на 350 посещений в смену представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Принятый состав помещений для поликлиники

Отделение/группа помещений	Перечень помещений
Неотложная помощь	2 кабинета неотложной помощи, ординаторская, диспетчерская
Отделение профилактики	2 кабинета врача (диспансеризация/вакцинация), прививочный кабинет
Травматологический пункт	Кабинет врача, сестринская, чистая перевязочная, гнойная перевязочная, рентген кабинет, регистратура и гардероб
Терапевтическое отделение	6 кабинетов участковых врачей-терапевтов, кабинет заведующего отделением, манипуляционная
Хирургическое отделение	2 кабинета врача-хирурга, грязная и чистая перевязочные, кабинет уролога, кабинет лора, кабинет проктолога, кабинет гинеколога, 3 смотровые.
Узкие специалисты	Кабинет офтальмолога, кабинет невролога, кабинет кардиолога, кабинет гастроэнтеролога, пульмонолога, кабинет гериатра.
Функциональная диагностика	Кабинет ЭКГ, ХМ, ФВА, кабинет ЭХО, кабинет УЗИ, Rg – кабинет, кабинет маммографии
Дневной стационар	Сестринская с хранением расходников, процедурная, 2 кабинета врача, 2 палаты
Административный блок	Кабинет заведующего поликлиникой, кабинет старшей медицинской сестры, кабинет сотрудника по контролю качества, кабинет секретаря, кабинет заведующего по хозяйственной части
Входная группа	Вестибюль, гардероб, регистратура, страховой стол
Другие помещения	Зал для конференций, хозяйственные помещения для уборочного инвентаря, гардероб сотрудников, картохранилище, помещение для хранения расходных материалов, хозяйственные и технические помещения

Особенностью объемно-планировочных решений умной поликлиники является учет требований программы «Бережливая поликлиника»: разделение и распределение потоков пациентов, комфортные зоны ожидания приема, особое внимание к комфорту МГН, простоте навигации. Кроме этого, необходимо учитывать современные тенденции развития медицинских организаций. Поликлиника – часть городской среды, с комфортным залом для проведения лекций жителям района и кофейней.

В таблице 2 приведено расположение групп помещений по этажам поликлиники.

Таблица 2 – Расположение групп помещений по этажам

Этаж	Группа помещений
Первый этаж	Травматологический пункт; входная группа помещений; неотложная помощь; отделение профилактики; зал для конференций; кофейня
Второй этаж	Терапевтическое отделение; хирургическое отделение
Третий этаж	Узкие специалисты; дневной стационар; функциональная диагностика; административный блок
Подвальный этаж	Технические помещения; служебные помещения

Для удобства маломобильных групп населения предусмотрены следующие меры: вход в здание на уровне земли, лифты, простые планировки для удобства ориентирования и минимизации лишних перемещений.

Для полноценного внедрения в медицинские организации проекта «Бережливая поликлиника» требуется проектировать здания, отвечающие требованиям концепции.

По результатам анализа литературы, нормативных документов, опроса врачей, были сформулированы следующие требования к объемно-планировочным решениям «умной поликлиники»:

- Планировочные решения, отвечающие оптимизации внутренней логистики поликлиник, разделению потоков пациентов;
- Наличие просторного холла (площадь больше рекомендуемых значений – 0,3 $м^2$ на посетителя в смену);
- Наличие зон общего пользования, таких как кафетерий, конференц-зал, комфортные зоны ожидания приема;
- Одинаковые кабинеты врачей (без специального оборудования);
- Расположение помещений, обеспечивающее минимальные перемещения пациентов и сотрудников;
- Открытая регистратура.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Курсеев Г.И., Клочков Г.А. Особенности, направления и принципы формирования умной медицины в цифровой экономике. Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2018. 19-28 с.
2. Ткаченко Е.Ю., Покровская Н.Н., Дубяго В.В. Социологический анализ рынка здоровья: доступность и качество медицинских услуг. Выпускная квалификационная работа бакалавра, СПбПУ, 2018.
3. Федеральный проект «бережливая поликлиника». Применение методов бережливого производства в медицинских организациях. Методические рекомендации. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», 2017 г.
4. Проектирование медицинских организаций. Методическое пособие. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2018.
5. Евсеевич Е.Ю., Арженцов В.И др. Как внедрить новую модель бережливой поликлиники по требованиям Минздрава. Алгоритсы и образцы для руководителя, Актион-МЦФЭР, 2020 г.
6. О мерах по совершенствованию организации работы амбулаторно-поликлинических учреждений. Приказ Минздрава СССР от 23 сентября 1981 г. №100.
7. СП 158.13330.2014. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования. Дата введения: 2014-06-01.

УДК 004.94

С.А. Слизова, А.А. Кукина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТИВНОГО РАЗДЕЛА

Цель работы – определить состояние применения BIM технологий в разработке конструктивного раздела проекта, выявить существующие недостатки и дать рекомендации по их устранению.

Для достижения поставленной цели был произведен анализ опыта распространения BIM систем в проектировании строительных конструкций на международном примере, а также в Российской Федерации. Методами исследования в данной работе являются обзор литературы, а также практические примеры применения BIM технологий при разработке конструктивного раздела.

Первое использование термина «Building Model» было отображено в проекте реконструкции лондонского аэропорта Хитроу английского разработчика программного обеспечения RUCAPS, а также будущего сотрудника Autodesk Роберта Айша в 1986 г. [1]. Позже к созданию концепции информационного моделирования, а также необходимого программного обеспечения подключилось множество крупных компаний, такие как: Bentley Systems, Autodesk и другие. В настоящее время BIM это целая система, включающая в себя общие данные о модели здания из всех разделов – архитектура, конструкции, инженерные оборудования. Технологии информационного моделирования помогают конструкторам выпускать подробную рабочую документацию, сводить количество ошибок к минимуму и повышать эффективность совместной работы между группами.

Преимущества BIM при разработке конструктивного раздела бесспорны:

– Интеграция конструктивной модели здания и результатов расчета гарантирует повышение качества проекта, а также его экономическую эффективность;

– Оптимизация рабочих процессов обеспечивает более высокую деталировку конструктивной модели, соответствующей созданию рабочей документации;

– Планирование и координация действий в процессе производства предполагает точное выполнение работ и сокращение временных потерь на строительных объектах.

Однако, несмотря на достоинства BIM в конструировании, основным требованием проектирования является строгое соответствие документации необходимым государственным нормам и стандартам. Рассмотрим крупнейших конкурентоспособных в BIM пространстве представителей стран и оценим состояние применения технологий информационного моделирования на стадии подготовки конструктивного раздела, а также уровень разработки правил, регламентирующих процесс конструирования:

– В США основными нормами, которые регулируют процесс расчета железобетонных конструкций, а также их анализа и ввода в эксплуатацию, являются:

1. ACI 360R – документ предоставляет информацию о расчете фундаментных плит;

2. ASTM C33 – документ, в котором заложены правила проектирования монолитного железобетона, его анализ, испытания и ввод в эксплуатацию и др.

Согласно опросу the McGraw Hill 2008 года, только 28% конструкторов, которые моделируют конструктивные схемы здания в BIM, сообщили, что пользуются армированием в BIM среде. Тем временем исследование 2009 года Совета по стратегическому развитию бетонной промышленности (the Concrete Industry`s Strategic Development Council) показывает, что большинство проектировщиков раздела КЖ не используют BIM платформы в области железобетона, что подразумевает нереализованный потенциал BIM. [2]

В ходе проведения исследований американскими профессорами им удалось с помощью тестовых 3D-моделей зданий различных поставщиков BIM программ оценить разработанные ПО в области железобетона. Они сравнили установленные государственные требования к конструированию и проекты, выполненные с текущими возможностями BIM-инструментов, и проанализировали их сильные и слабые стороны. Это позволило получить дополнительную информацию о встроенных функциях и пользовательских интерфейсах BIM программ. Также, были изучены несколько проектов, в которых BIM успешно использовался в процессе армирования бетонных конструкций, что позволило лучше оценить степень потенциального вклада BIM в разработку конструктивного раздела [3].

– В Китае распространение BIM технологий началось в начале 2002 г., с того момента, когда Министерство жилищного строительства Китая начало издавать серию стандартов BIM на национальном уровне. Основными нормативными документами, содержащие в себе конструктивные требования и правила, являются: GB 50010-2011 (методика расчета железобетонных конструкций для Китая), GB 50010-2011 RF-CONCRETE Surfaces (методика выполняет расчета железобетонных плит, стен, плоских конструкций, и оболочек), GB 50010-

2011 RF-CONCRETE Members (методика выполнения расчет стержневых элементов железобетонных конструкций).

Примером внедрения программного обеспечения для BIM проектирования является разработка фирмы SUGG (ведущая китайская строительная компания по производству серийного железобетона), которая создала платформу данных BIM для поддержки четырех систем: системы проектирования и детализации компонентов, системы управления производством, системы управления строительством на месте и системы удаленного мониторинга. Эта платформа в значительной степени улучшила производительность проекта по качеству, скорости и стоимости [4].

– Внедрение инновационных технологий информационного моделирования в строительной сфере РФ началось в 29 декабря 2014 г. с приказа Минстроя России №926 «План поэтапного внедрения технология BIM в области промышленного и гражданского строительства», предусматривающий с 2018 года обязательное наличие BIM модели при проведении госзаказа.

Основные государственные стандарты, регулирующие конструирование конструкций, являются:

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции;
2. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений и др.

Примером внедрения BIM технологий в процесс разработки конструктивной документации является опыт компании «Белэнергомаш» при проектировании стадиона «Мордовия Арена» [5]. Проект подразумевал наличие наисложнейших конструкций, состоящих из 88 Г-образных консолей высотой 40 м и вылетом конструкций 49 м. Благодаря возможности совместной работе в BIM среде удалось рассредоточить объем работ между отдельными группами специалистов. С помощью автоматического функционала удалось быстро «образмерить» все детали, конструкции, получить спецификации на весь объем работ, а также запроектировать необходимые узлы с предварительными параметрами.

В ходе разработки конструктивного раздела необходимо строго соблюдать нормы и правила, а оформлять чертежи следует согласно государственным стандартам. Это становится трудно осуществить в условиях проектирования в иностранных ПО, так как процесс моделирования ведется по зарубежным требованиям. Для решения данной проблемы необходима программа, поддерживающая российские стандарты и нормы. Одной из таких программ является отечественная разработка фирмы АСКОН – Renga. которая представляет собой семейство из двух программ, содержащих в себе большой спектр строительных задач, предлагающие их комплексное решение. Для инженеров-конструкторов таковой является Renga Structure. В данной системе для разработки ж/б конструкций предусмотрены инструменты для армирования объектов в 3D. Функция автоматического армирования существенно ускоряет процесс раскладки арматуры в монолитных ж/б элементах, а также позволяет быстро получать чертежи армированных конструкций [6].

Резюмируя опыт использования BIM технологий при разработке конструктивного раздела в приведенных исследованиях, можно сделать вывод, что на международной арене главным упрощением проектирования в BIM среде является полная поддержка инструментов конструирования иностранным стандартам, вследствие того, что основные ПО, поддерживающие технологии информационное моделирование, изначально созданы за рубежом. Однако в Российской Федерации данные программные обеспечения не способны удовлетворять государственным требованиям конструирования. Чтобы оставаться конкурентоспособным специалистом в сложившейся ситуации данную проблему возможно решить несколькими методами:

- использование сторонних плагинов, которые способны автоматизировать и упростить процесс конструирования и автоматически оформить чертежи и спецификации (ModPlus,

WeAndRevit и др.);

- самостоятельная разработка необходимых приложений, скриптов в случае проектов с уникальными объектами или сооружениями, которые требуют соблюдения специализированных норм и правил;
- создание в проектной организации отдела информационного моделирования, специалисты которого будут регулировать соответствие документации требованиям государственных норм, посредством создания BIM стандартов, постоянного обучения специалистов-конструкторов.

Таким образом, можно сделать вывод, что данный недостаток конструирования в BIM среде вскоре решится вследствие постоянного обновления существующего программного обеспечения, а также разработкой новых актуальных программ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Aish, R. Building Modelling: the key to Integrated Construction CAD. The fifth international symposium on the use of computers for environmental engineering related to buildings. 1986. (July 1986). Pp. 55–67.
2. Journal of Building Information Modeling (JBIM) – Spring 2009 | Enhanced Reader. URL: moz-extension://e7845b87-04e7-4c27-ad52-a439a7c6768f/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fcdn.ymaws.com%2Fwww.nibs.org%2Fresource%2Fresmgr%2Fjnibs%2Fjbim_spring09.pdf (date of application: 26.01.2021).
3. Aram, S., Eastman, C., Sacks, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. Automation in Construction. 2013. 35. Pp. 1–17. DOI:10.1016/j.autcon.2013.01.013.
4. Доможирова Е.А., Степанова Ю.С., М.Е.В. Преимущества BIM технологий на примере китайского опыта. Инженерный вестник Дона. 2019. 3.
5. Использование BIM-технологий при изготовлении металлоконструкций для стадионов: опыт компании «Белэнергомаш». URL: https://sapr.ru/article/25327 (date of application: 16.02.2021).
6. Дьячева И. Renga Structure, или Армирование конструкций в два клика. 11-2017URL: https://sapr.ru/article/25524 (date of application: 26.01.2021).

УДК 69.001.5

А.В. Леонов, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Сложная эпидемиологическая ситуация 2020 и 2021 года создает необходимость изменения проектных и дизайнерских решений для уменьшения нагрузки на систему здравоохранения. Одним из решений данной проблемы является создание концепции использования многофункционального высотного здания в условиях повышенного эпидемиологического риска.

Цель работы – создание планировочных решений многофункционального высотного здания в условиях повышенного эпидемиологического риска.

В публикации Deutsche Welle обозреваются статистические данные о числе смертей, вызванных вирусом COVID-19 (рис. 1), делаются выводы о том, что наименее подверженная действию вируса молодые люди 20-25 лет [1-2].

В публикации Центра Иммунизации и Респираторных Заболеваний США приводится статистика и инфографика смертности населения от коронавируса COVID-19 в зависимости от возраста, исследования показывают, что процент смертности детей до 10 лет составляет 0,2%, взрослых людей до 39 лет 0,4%, пожилых людей в возрасте 70-80 лет 8-14% [3].

Таким образом, целевая группа для данного проекта –студенты от 18 до 25 лет. Одна из важнейших составляющих жизни молодых людей – социальная, соответственно, меры

социального дистанцирования оказывают сильное негативное воздействие на полноценное развитие молодежи. Соответственно, концепция использования здания подразумевает длительное изолированное пребывание молодых людей внутри здания. Можно провести аналогию с нахождением их в детских лагерях, школах-интернатах и т. д.

Что касается вопроса безопасности и обеспечения нераспространения вирусной инфекции в пределах здания, специалистами из Индии изучен вопрос влияния сухого внутреннего климата помещений на выживаемость и распространение коронавируса, приведены данные исследований из нескольких районов Индии. Выявлено, что дистанция распространения вируса напрямую зависит от применения систем вентиляции и кондиционирования в зданиях. Более того, сделаны выводы о высокой эффективности применения систем «экстремального охлаждения или нагрева воздуха» в борьбе с вирусом [4].

Соответственно, многофункциональное высотное здание может предоставить при соблюдении должных мер безопасности (использование систем высокоэффективной фильтрации воздуха ULPA ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010 с величиной фильтрации 99,9995%-99,999995%) решение проблемы отсутствия социальных взаимодействий при дистанцирования людей, не повышая при этом риска заболеваемости, путем предоставления места для учебы и досуга молодых людей.

С экономической точки зрения новая вариация использования высотного здания может предоставить инвесторам и застройщикам новый формат уникального строительства, так как, согласно исследованию влияния социального дистанцирования на сферу эксплуатации зданий отелей и апарт-отелей, был выявлен понизившийся спрос на аренду апартаментов и номеров гостиниц из-за закрытия для туристов границ многих стран [5]. Возможность обострения эпидемиологической ситуации в будущем диктует необходимость рассмотрения нестандартных вариантов проектирования.



Рис. 1. Уровень смертности от COVID-19 в зависимости от возраста



Рис. 2. Вертикальное зонирование

Основной идеей концепции использования многофункционального высотного здания в условиях повышенного эпидемиологического риска является обеспечение безопасного изолированного пребывания целевой группы людей в здании без применения дополнительных мер обеспечения безопасности, таких как использование средств индивидуальной защиты (масок и перчаток). На рисунке 2 представлено вертикальное зонирование многофункционального здания.

Предложенные функциональные зоны обеспечивают проведение досуга молодых людей по аналогии с таковым в школах-интернатах, лицеях, детских лагерях, что обеспечивает необходимый уровень социальных взаимодействий, а также не препятствует проведению образовательной и спортивной деятельности.

Разработаны планировки типовых этажей многофункционального высотного здания, в числе которых: спальни для учащихся, апартаменты для преподавательского состава и персонала, оранжерея, досуговый центр, коворкинг, учебные классы (рис. 3).

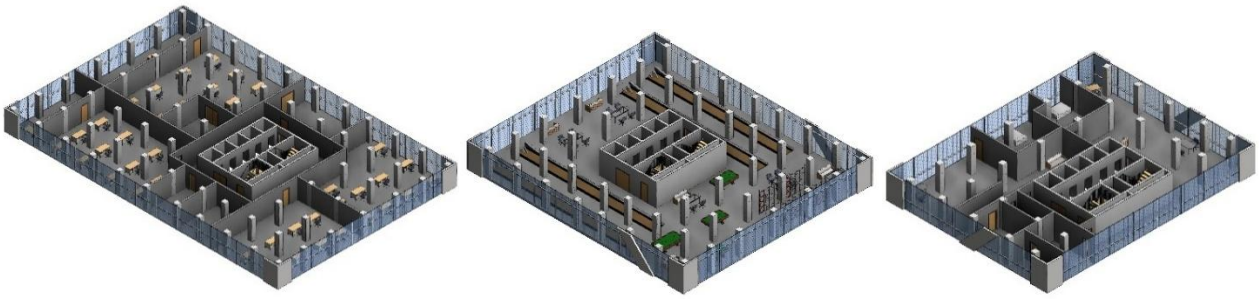


Рис. 3. Планировочные решения

Рабочие места обучающихся расположены на расстоянии 2 м между собой. Естественное освещение обеспечивается через светопроницаемые фасады. Зона отдыха и досуга подразумевает времяпрепровождение людей в свободное время, включает в себя зоны для чтения, зоны для игры в настольные игры, а также зоны для других видов отдыха. Спальни обучающихся расположены на верхних этажах здания, подразумевают индивидуальное пребывание, а также пребывание по двое в комнате.

Таким образом, разработанная концепция использования полезных площадей многофункционального высотного здания в условиях повышенного эпидемиологического риска решает проблему отсутствия социальных взаимодействий в период социального дистанцирования, а также позволяет рассмотреть новые варианты использования высотных зданий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кольцова Э.М., Куркина Е.С., Васецкий А.М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве // Computational Nanotechnology, 2020 №1, с. 99-105.
2. Deutsche Welle (https://www.dw.com/ru/исследование-кто-чаще-всего-умирает-от-коронавируса/a-52434059)
3. National Center for Immunization and Respiratory Diseases (NCIRD), Division of Viral Diseases (https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/pediatric-hcp.html).
4. Antony Aroul Raj V, Velraj R, Fariborz Haghighat, The contribution of dry indoor built environment on the spread of Coronavirus: Data from various Indian states. Sustainable Cities and Society, July 2020.
5. Pozyrova P., Dovubush V. Current state of Ukraines hotel market under COVID-19. And prospects for its development. Market Relationship Development in Ukraine, Volume 63-4, 2020, pages 94-97.

UDC 693.556

M.R. Alalili, E.S. Kolosov
Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

TECHNOLOGY OF USE RECYCLED CONCRETE IN THE MIDDLE EAST. MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED CONCRETE

Introduction: Due to the growing population in the construction industry, there is an urgent need for the use of new construction technologies in the Middle East. In particular, much attention has recently been paid to the technology of using recycled concrete in new construction. On the other hand, as a result of military operations in the Middle East, many destroyed objects were formed, the material of which could be used as construction material [1]. This paper describes the study of the possibility of using recycled concrete in the construction of new facilities.

Purpose of this research: to study the possibility of using coarse and fine aggregates, recycled in proportions (25%, 50%, 75%, 100%), in a concrete mix to study its effect in the compressible strength, tensile strength, modulus of elasticity, bending strength.

Recycled aggregate materials: Recycled concrete materials are locally available materials. Not like natural rubble, which requires natural resources, which are often outside cities over long distances. While recycled aggregate is most often found in the city. Such as waste from factories, buildings, roads and bridges.

Properties of Recycled Concrete

Compressive strength: the research indicated that the compressive strength of recycled concrete depends on the compressive strength of the original concrete. The compressive strength of recycled concrete decreased by 4%, 8%, 13% and 16% when we have 25%, 50%, 75%, and 100%, respectively, of recycled coarse aggregate [2]. So, Adel A. Al-Azzawi found that the compressive strength of recycled concrete is 21,71 MPa, compared to the normal concrete (31,4 MPa) [3].

Tensile strength: the research indicated that the tensile strength of recycled concrete does not depend heavily on recycled aggregates. According to a study by Mirjana Malešev, Vlastimir Radonjanin, Gordana Broćeta, it was found that the tensile strength of recycled concrete using coarse aggregates is reduced by 10% compared to natural concrete. The tensile strength of 100% recycled concrete is reduced from 10% to 20% compared to normal concrete [4].

Modulus of elasticity: the research indicated that the elastic modulus of recycled concrete is lower than one of natural concrete. The modulus of elasticity of concrete depends on the quality of the recycled aggregate and the hardness of the concrete. The researchers Jianzhuang Xiao, Wengui Li, Yuhui Fana, Xiao Huang found that the elastic modulus of recycled concrete is less than the elastic modulus of natural concrete by 30% [5].

Taking into account these indicators, it was decided to conduct an additional study of concrete samples, where there are two types of concrete: natural and recycled in different proportions.

Table 1

Mix designation	Cement, kg/m^3	Water, kg/m^3	Natural fine agg., kg/m^3	Natural coarse agg., kg/m^3	Recycled fine agg., kg/m^3	Recycled coarse agg., kg/m^3
M	400	200	800	1200	-	-
M25	400	200	600	900	200	300
M50	400	200	400	600	400	600
M75	400	200	200	300	600	900
M100	400	200	-	-	800	1200

Concrete test

Compression strength was calculated as per ASTM C39M [6]. Compressive strength was calculated using concrete cubes (150×150×150 mm). Calculation of compressive strength was made after 7 and 28 days. By loading samples was until the reaching stage of destruction. Table 2 shows the results of the compressive strength test.

Table 2

Symbol of the mixture	Compression strength	
	7 days	28 days
M 0	29,2	35,8
M 25	26,7	33,2
M 50	25,0	30,6
M 75	23,4	28,0
M 100	21,1	26,1

Split tensile strength calculated in accordance with ASTM C496 [7]. The split strength was calculated using concrete cylinders (150×300 mm). Calculation of cleavage tensile strength 28 and 56 days after casting. By loading samples until the reaching stage of destruction. Table 3 shows the results of the split tensile strength test.

Table 3

Symbol of the mixture	Split tensile strength	
	28 days	56 days
M 0	2,72	2,98
M 25	2,38	2,63
M 50	2,20	2,44
M 75	2,00	2,12
M 100	1,86	2,00

Modulus of elasticity was calculated according to ASTM C469 [8]. The modulus of elasticity was calculated using concrete cubes (100×100×300 mm). Calculation of Modulus of elasticity 28 and 56 days after casting. By loading samples until the reaching stage of destruction. Table 4 shows the results of the elastic modulus test.

Table 4

Symbol of the mixture	Modulus of elasticity	
	28 days	56 days
M 0	2483	2650
M 25	2184	2311
M 50	2009	2122
M 75	1758	1915
M 100	1691	1706

Conclusion

In general, the test results for recycled concrete were lower than those for natural concrete.

1. The compressive strength results were: When replacing (25%), the compressive strength was 9% less, (50%) – less 15%, (75%) – 21%, and (100%) – 27% less. Compared to natural concrete.
2. The tensile strength results were: When replacing (25%), the tensile strength was 12% lower, (50%) – 19% less, (75%) – 27%, and (100%) – 32% less. Compared to natural concrete.
3. The modulus of elasticity results was: When replacing (25%), the modulus of elasticity was 12% lower, (50%) – 19% less, (75%) – 29%, and (100%) – 35% lower. Compared to natural concrete.

Taking into account the obtained data, the use of recycled concrete in construction requires the use additional plasticizers. The studying of ones is a further research.

LITERATURE:
1. Jiménez L.F., Domínguez J.A., and Vega-Azamar R.E. Carbon Footprint of Recycled Aggregate Concrete, Advances in Civil Engineering (2018).
2. Graiti A.A.H., Kolosova N.B. The Effect of recycled aggregate and pozzolana on concrete properties, Components of Scientific and Technological Progress. 2018. № 1 (35). С. 6-14.
3. Al-Azzawi A.A. Mechanical properties of recycled aggregate concret", 2016. Journal of Engineering and Applied Sciences 11(19).
4. Malešev M., Radonjanin V., Broćeta G. Properties of recycled aggregate concrete, Contemporary Materials, V−2 (2014).
5. Jianzhuang Xiao, Wengui Li, Yuhui Fana, Xiao Huang. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). Elsevier Construction and Building Materials, 2012.
6. American Society for Testing and Materials 2003. Standard Specification for Testing Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, Section 4, Vol. 04.02 (ASTM C39/C39M- 2003).
7. American Society for Testing and Materials 2006. Standard Method of Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (ASTM C496/ 2006).
8. American Society for Testing and Materials 2004. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, (ASTM C 469-2004).

UDC 693.556

M.R. Alalili, N.B. Kolosova
Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

TECHNOLOGY OF USE RECYCLED CONCRETE IN THE MIDDLE EAST. PHYSICAL PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATES

Introduction. Nowadays the demand of building materials increased because of the continuous increase in the volume of construction in the world and because of the massive growth in the countries of China, India and the Middle East. This increase has depleted natural resources and caused environmental and economic damage. And to solve this problem suitable alternatives must be found. One of these alternatives is recycled aggregate. Recycled aggregate is the aggregate resulting from the recycling of concrete waste. Recycled aggregate is less harmful to the environment than natural aggregate, because the production of recycled aggregate reduces the emission of carbon dioxide [1]. Also, recycled aggregate is less expensive than natural aggregate.

Goal of the research. Goal of this work is to study the physical properties of fine and coarse recycled aggregates and to compare results with natural aggregates.

Aggregate gradient, shape and surface texture. The researcher Schulz found that recycled aggregates are suitable for use in new concrete if granules with size of 2 mm are discarded [2]. The other researchers showed that form of recycled aggregate depends on the type of crushing machine [3]. Recycled aggregates have a rough texture due to the crushing of old concrete and the presence of cement paste attached to the aggregate.

Specific gravity, water absorption and bulk density. Recycled aggregate has less specific gravity than natural aggregate. So, the specific gravity of recycled aggregates ranges from 2,1 to 2,5, while the specific gravity of natural aggregates ranges from 5 to 10 [4]. Previously it was defined that the water absorption property of recycled aggregates is greater than that of natural aggregates [5]. The amount of water absorption for recycled coarse aggregates was 5,02 compared to 2,21 for natural coarse aggregates [5].

The materials and methodology of research.

Coarse aggregate. Natural coarse aggregates were used from the Iraqi Al-Nwafhd Company. It was complied with Iraqi specifications No. 45/1984 [6]. Recycled coarse aggregate from manual crushing of concrete cubes was used. The poured concrete blocks were broken 28 days ago.

Fine aggregate. The fine natural aggregate was used from the Iraqi Al-Nwafhd Company. It was complied with Iraqi standards No. 45/1984 [6]. Recycled fine aggregate was used from crushing concrete cubes and grinding them to the desired gradient. The poured concrete blocks were broken 28 days ago.

Test of coarse aggregate.

Grading of coarse aggregates. A gradient test was performed for coarse aggregate (both natural and recycled). We had to determine whether the aggregates meet the required standards (by sieve analysis). Table 1 shows the results of the sieve analysis.

Table 1

Properties	Sieve size (mm)	Percent passing NCA	Percent passing RCA	Limit of Iraqi specification No.45/1984	
				Minimum limit	Maximum limit
Grading	37,5	100	100	100	100
	20	98	97	95	100
	10	42	46	30	60
	5	6	4	0	10

Shape and surface texture of aggregate. Recycled coarse aggregate has more angular shapes and coarse texture than natural aggregate due to the crushing process and cement paste associated with the aggregate.

Specific gravity and water absorption. In this paper the method ASTM C127 [7] was used to calculate the specific gravity and water absorption property. Three samples of coarse aggregate were tested, and then placed in water at 20 ° C for 24 hours. Then the surface is dried and oven dried. Tables 2 and 3 show the results of specific gravity and water absorption.

Table 2

Specific gravity	Bulk (oven dry basis)	2,67 NCA	2,48 RCA	Accordance with ASTM C127
	Bulk SSD basis	2,74 NCA	2,56 RCA	
	Apparent	2,80 NCA	2,77 RCA	

Table 3

Water absorption % NCA	2,19	Accordance with ASTM C127
Water absorption % RCA	5,20	

Grading of fine aggregates. The gradient test of the fine aggregate was performed by sieve analysis to determine the suitability of the fine aggregate to the required standards. Table 4 shows the results of the sieve analysis of fine aggregates.

Table 4

Properties	Sieve size (mm)	Percent passing NCA	Percent passing RCA	Limit of Iraqi specification No.45/1984	
				Minimum limit	Maximum limit
Grading	10	100	100	100	100
	4,75	96	98	90	100
	2,36	88	92	75	100
	1,18	67	71	55	90
	0,6	45	51	30	59
	0,3	20	23	8	30
	0,15	6	8	0	10

Specific gravity and water absorption. So, the method ASTM C127 [7] was used to calculate water absorption property and specific gravity. Table 5 and 6 shows the results of specific gravity and water absorption.

Table 5

Specific gravity	Bulk (oven dry basis)	2,72 NCA	2,36 RCA	Accordance with ASTM C127
	Bulk SSD basis	2,78 NCA	2,43 RCA	
	Apparent	2,83 NCA	2,51 RCA	

Table 6

Water absorption % NCA	1,33	Accordance with ASTM C127
Water absorption % RCA	4,8	

Conclusion

The properties of recycled aggregates are largely consistent with the results of previous studies.

The gradation of recycled fine and coarse aggregate is close to that of natural aggregate and the specific gravity of recycled aggregates is less than the specific gravity of natural aggregates in good and close proportions. The water absorption property of recycled aggregates is higher than the water absorption of natural aggregates, due to the high porosity of recycled aggregates, due to the cement paste associated with the recycled aggregate.

It is recommended to use recycled concrete in structural elements with using additional plasticizers. The studying of this is a further research.

LITERATURE:

1. Jiménez L.F., Domínguez J.A., and Vega-Azamar R.E. Carbon Footprint of Recycled Aggregate Concrete, Advances in Civil Engineering (2018).
2. Schulz, R.R., Concrete with recycled rubble-development in West Germany. Ibid. Ref. 135, pp. 550–509.
3. Kaga H., Kasai Y., Takeda K. and Kemi T. Properties of recycled aggregate from concrete, pp. 690-698.
4. Safiuddin Md, Johnson Alengaram U., Rahman M., Salam Md. A. Use of recycled concrete aggregate in concrete: A review. December (2013), Journal of Civil Engineering and Management.
5. Graiti A.A.H., Kolosova N.B. The Effect of recycled aggregate and pozzolana on concrete properties, Components of Scientific and Technological Progress. 2018. № 1 (35). С. 6-14.
6. Iraqi specification No. 45/1984. Aggregate from Natural Sources for Concrete, Central Agency for Standardization and Quality Control, Planning Council, Baghdad, Iraq.
7. ASTM International. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, Active Standard ASTM C127. Developed by Subcommittee: C09.20.

УДК 69.001.5

А.С. Барабанов, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДВОЙНЫЕ ФАСАДЫ В ВЫСОТНОМ ЗДАНИИ БИЗНЕС-ЦЕНТРА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Актуальность. В связи с тем, что число высотных зданий в мире стремительно растет, возникает потребность в определении оптимального варианта типа фасадного остекления, выгодного как в отношении инвестиционных затрат, так и в полной мере отвечающего требованиям по обеспечению энергоэффективности здания. К выбору наружных светопрозрачных конструкций необходимо подходить ответственно, поскольку известно, что основные теплопотери из помещений происходят именно через светопрозрачные конструкции: 30-60% от общих теплопотерь здания [1]. В частности, в России эта проблема остается особенно актуальной [2], ведь фактическое применение инновационных фасадных светопрозрачных систем происходит крайне медленно.

В связи с этим в качестве ограждающей светопрозрачной конструкции, которая отвечала бы всем требованиям и тенденциям современного строительства, рассматривается

применение системы двойного стеклянного фасада (в иностранных источниках применяется термин Double Skin Facade или сокр. DSF) в высотном офисном здании г. Санкт-Петербург.

Двойные фасады часто находят применение в североевропейских архитектурных проектах, причем чаще всего их применяют в офисных зданиях [3]. Однако в России в силу малой изученности и значительной стоимости данные системы попросту выходят за рамки реальных коммерческих проектов, и потому всерьез российскими проектировщиками не рассматриваются. Отсюда возникает вопрос, является ли концепция двойного фасада жизнеспособной в РФ.

Методы исследования. Методом исследования является теоретическая оценка возможности применения двойного фасада в исследуемом случае на основе требований и методик расчетов соответствующих нормативных документов.

Цель работы – оценка целесообразности применения двойных фасадов в высотном здании бизнес-центра в климатических условиях г. Санкт-Петербург.

Задачи работы. Для достижения поставленной цели производится подбор оптимальных по теплотехническим характеристикам конструкций «стандартного» витражного остекления и двойного фасада, осуществляется расчет расхода тепловой энергии на здание бизнес-центра с этими конструкциями фасадов, проводится сравнительный анализ эффективности применения той или иной светопрозрачной конструкции путем подсчета периода самоокупаемости двойного фасада.

На первом этапе теоретических исследований была сформирована концепция исследуемого типа фасадной системы. Двойной фасад представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из внутреннего и внешнего контуров, промежуточного пространства. Наружная оболочка защищает внутреннюю часть от различных климатических воздействий, а внутренняя часть фасада, состоящая, как правило, из несущего каркаса и слоя двойного стекла, обеспечивает необходимую защиту от потери тепла в зимнее время. Расстояние между слоями (воздушная полость) может быть различным и варьируется от 0,2 до 2,0 м [4]. Параметры воздушной прослойки (и тип вентиляции) определяются исходя из климатических характеристик территории застройки, требуемых теплотехнических характеристик оболочки здания, а также общих принципов и требований проектирования зданий.

На втором этапе теоретических исследований были подобраны конструкции «стандартного» остекления и двойного фасада для климатических условий Санкт-Петербурга согласно СП 131.13330.2018. Основное требование – сопротивление теплопередаче конструкции должно быть не меньше требуемого (0,65 м^2·°С/Вт). Под «стандартным» остеклением в данном исследовании принимается вариант двухкамерного остекления как одного из наиболее распространенных на российском рынке решения, с сопротивлением теплопередачи 0,6-0,9 м^2·°С/Вт. Подобранные конструкции остекления фасадов, а также их стоимость с учетом монтажных работ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики светопрозрачных конструкций

№ п/п	Тип остекления	Марка	R, м^2·°С/Вт	Стоимость, руб./м^2
1	«Стандартное» остекление	4М1-12Ar-4М1-12Ar-4I	0,73	8200
2	Двойной фасад	4М1-12-4М1-12-4I + 4М1-10-4М1	1,27	12100

Далее в ходе исследования определены потери тепловой энергии через оболочку здания в соответствии с СП 50.13330.2012 по следующей формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{\text{от}} q_{\text{от}}^{\text{р}},$$

где $V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем проектируемого здания бизнес-центра, $V_{\text{от}} = 80670$ м^3; $q_{\text{от}}^{\text{р}}$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию

здания. В данном исследовании рассчитываются две величины данной характеристики: в случаях применения «стандартного» и двойного фасадов.

Для выявления численных (экономических) характеристик улучшения энергоэффективности здания произведен расчет затрат на отопление в тарифах, определяемых распоряжением Правительства Санкт-Петербурга от 16 декабря 2020 года N 243-р. Тариф составляет 1818,29 руб./Гкал [5].

Дальнейший расчет показал, что потребность в энергетических затратах меньше при использовании двойного фасада. Полученные затраты тепловой энергии на отопление здания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Затраты тепловой энергии на отопление высотного здания бизнес-центра

№ п/п	Тип фасадной системы	Затраты энергии на отопление		Тариф, руб./Гкал	Стоимость отопления, руб./год
		кВт·ч/год	Гкал/год		
1	«Стандартное» остекление	1 573 863	1353,3	1818,29	2 460 691,86
2	Двойной фасад	887 391	763,1		1 387 537,10

Для оценки целесообразности использования двойного фасада произведен расчет периода самоокупаемости. В данном случае периодом самоокупаемости является срок, за который, разница в годовой стоимости тепловой энергии на отопление здания превысит разницу в стоимости самих конструкций.

Общая площадь остекления здания 11320,5 м^2. Тогда разница в стоимости фасадных систем составит:

$$136\ 978\ 050 – 92\ 828\ 100 = 44\ 149\ 950 \text{ руб.}$$

Разница в стоимости отопления за год:

$$2\ 460\ 691{,}86 – 1\ 387\ 537{,}10 = 1\ 073\ 154{,}76 \text{ руб./год.}$$

Тогда окупаемость принятых мер по энергосбережению составит:

$$PP = 44\ 149\ 950 / 1\ 073\ 154{,}76 = 41{,}1 \text{ год.}$$

Выводы. В настоящее время система двойного фасада является развивающимся трендом мировой архитектуры. Применение такой системы позволяет воплотить в реальность особые и неповторимые архитектурные облики здания, привнести в проект элемент уникальности.

Однако по итогу исследования можно заключить, что целесообразность использования системы DSF в высотном здании бизнес-центра, расположенного в г. Санкт-Петербург, ставится под сомнение ввиду ее значительного срока окупаемости. При этом в расчете не учитывались повышенные по сравнению с обычной светопрозрачной системой затраты на обслуживание. Высокая стоимость DSF подталкивает инвесторов к использованию в проектах надежную и проверенную светопрозрачную «стандартную» систему.

Чтобы двойные фасады могли составить конкуренцию на российском рынке традиционным светопрозрачным системам, необходимо спроектировать такие решения конструкций DSF, которые бы обладали оптимальным соотношением параметров стоимость/энергоэффективность, для чего требуется проведение дальнейших исследований систем двойного фасада, в том числе натурных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Новое поколение энергоэффективных вентилируемых светопрозрачных и фасадных конструкций с активной рекуперацией теплового потока // Жилищное строительство. 2015. №1. С. 18-23.

2. Немова Д.В., Гареева Л.Г., Осетрова А.А. Сравнительная оценка ограждающих конструкций на протяжении жизненного цикла здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 9 (84). С. 34-50.

3. Семенова Э.Е., Лебедев Д.Ю. Первичное исследование двойных фасадных систем остекления // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. №1 (22). С. 206-214.
4. Генералова Е.М., Солякова Д.Н. Инновационные фасадные системы энергоэффективных высотных офисных зданий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн. сборник статей. Самарский государственный технический университет. 2017. С. 28-31.
5. Тарифы 2021 года – Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/helper/tarif/tarify-2021/ – (Дата обращения: 17.03.2021).

УДК 721.05

Ю.А. Борисова, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНЕНИЕ РОССИЙСКИХ И ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ

На сегодняшний день в России общественные здания и сооружения проектируются в основном по обязательным требованиям СП 118.13330.2012. Однако, крупные компании наряду с российскими нормами при проектировании и строительстве все чаще стараются соблюсти и европейские стандарты, открывая тем самым возможности по применению современных технологий и материалов.

В Таблице 1 приведены требования российских и европейских стандартов в области проектирования офисных зданий в области объемно-планировочных решений.

Исходя из Таблицы 1, можно сделать следующие выводы по нормам проектирования общественных зданий:

– один санитарный прибор в европейских нормах рассчитан на меньшее число сотрудников, включая аналогичную тенденцию для МГН;

– размеры рабочего места по европейским нормам определяются в зависимости от наличия компьютера и его размеров, в отличие от [1], в котором нет такой градации и при отсутствии в задании на проектирование дополнительных указаний на одно рабочее место приходится 6 м^2;

– по требованиям [4] для кабинетов, рабочих комнат, офисов устанавливается норма освещенности 400 лк, в то время как в европейских нормах существует разделение офисной работы по типу деятельности, для каждой из которых устанавливается своя норма освещенности;

– исходя из [2] следует, что зона безопасности предназначена для всех инвалидов, остающихся на этаже. По определению из европейских норм зона безопасности рассчитана на всех людей, неспособных пользоваться лестницей, включая МГН;

– по [1] ширина коридоров в общественных зданиях определяется в зависимости от длины коридора, в то время как в европейских стандартах учитывается пропускная способность коридора;

– в европейских стандартах для общественных зданий предусмотрены требования для комнат отдыха, однако в российских нормах такие требования предусмотрены только для бытовых зданий, для общественных зданий они отсутствуют;

– на 1 человека в конференц-зале по [1] приходится на 60% меньше площади, чем в европейских нормах;

– на 1 посетителя в вестибюле по [1] приходится на 34% меньше площади, чем в европейских нормах.

Таблица 1 – Сравнение российских и европейских норм проектирования

Предмет сравнения	Стандарты РФ	Источ-ник	Европейские стандарты	Источ-ник
Санитарные приборы	Мужчины – 1 унитаз на 20-30 сотрудников; женщины – 1 унитаз на 15 сотрудников МГН – 5% в общем расчетном числе кабин	п.5.41 [1], п.6.3.2 [2]	Мужчины – 1 унитаз на 20 сотрудников, 2 – на 30 сотрудников, плюс 1 унитаз на каждые след. 30 сотрудников; женщины – 1 унитаз на 15 сотрудников, 2 – на 20 сотрудников, плюс 1 унитаз на каждые след. 20 сотрудников; МГН – 1 унитаз на 9 сотрудников	[5]
Размеры рабочего места	6 м^2 на одно рабочее место	п.5.16 [1]	5 м^2 на рабочее место без компьютера, 10 или 15 м^2 на рабочее место с компьютером в зависимости от его размеров	[6]
Требования к освещению	Искусственное освещение – освещенность при комбинированном освещении 400 лк	табл. 5.25 [4] (кабинеты, рабочие комнаты, офисы)	Рабочие места с письменной работой, чтением, работой за компьютером, конференц-залы – 500 лк, ресепшн, зоны коммуникации сотрудников – 300 лк.	[7]
Зоны безопасности	Определение: зона, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы пожара отсутствуют либо не превышают предельно допустимых значений. Площадь: предусмотрена для всех инвалидов, остающихся по расчету на этаже, исходя из удельной площади, приходящейся на одного спасаемого.	п. 6.2.26 [2]	Определение: зона, в которой люди, неспособные пользоваться лестницей, могут временно оставаться в ожидании инструкций или помощи во время экстренной эвакуации. Площадь: должна быть рассчитана на размещение одного места для инвалидных колясок размером 30 дюймов на 48 дюймов (762 мм на 1219 мм) на каждые 200 человек, обслуживаемых зоной убежища.	[8]
Коридоры	Ширина коридоров не менее 1,2 м при длине 10 м; не менее 1,5 м – при длине свыше 10 м и не менее 2,4 м – при использовании их в качестве кулуаров или помещений ожидания для посетителей.	п. 6.27 [1]	Ширина коридоров должна быть рассчитана с учетом его пропускной способности, но не менее 44 дюймов (1120 мм).	[8]
Комната отдыха	Площадь – 0,9 м^2 на 1 человека	п. 5.46 [3] (для бытовых зданий)	Площадь: 10 и менее сотрудников – 4,6 м^2; 11-20 сотр. – 11,15 м^2; 21-30 сотр. – 13,9 м^2; 31-40 сотр. – 16,7 м^2; 41-50 сотр. – 18 м^2; более 50 сотр. – на каждые 10 сотр. 1,3 м^2.	p.6.1, Table 2 [9]
Конференц-зал	Площадь: до 150 мест без пюпитров – 1,1 м^2 на 1 место; 150 мест и более – 1,0 м^2 на 1 место.	п. 5.24 [1]	Площадь: 3-5 чел. – 11,15 м^2; 6-8 чел. – 13,9 м^2; 8-10 чел. – 16,7 м^2; 10-12 чел.- 22,3 м^2; 16-18 чел. – 29,7 м^2; 20-24 чел. – 44,6 м^2; более 24 чел. – 1,86 м^2 на 1 чел.	p.6.1, Table 3a [9]
Вестибюль (ресепшн)	Площадь: 0,2-0,3 м^2 на 1 посетителя	п. 5.39 [1]	Площадь: 0,46-0,9 м^2 на 1 посетителя	p.6.1, Table 6 [9]

Таким образом, можно увидеть, что российские и европейские нормы по проектированию офисных зданий в области объемно-планировочных решений различаются между собой. Европейские нормы более адаптированы под современную тенденцию превращения офисного здания в полноценную многофункциональную среду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. – М.: Минстрой России, 2014.
2. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. – М.: Минстрой России, 2017.
3. СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87 (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2, 3). – М.: Минрегион России, 2011.
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания – М.: Постановление Главного государственного санитарного врача, 2021.
5. Guidelines for the provision of facilities and general safety and health in Commercial and Industrial Premises – Department of labour te tari mahi, 1995.
6. Marriage G., Sutherland J., Jose Allaf N., Finch G. Tall: The design and construction of high-rise architecture, 2020, 349 p.
7. Fördergemeinschaft Gutes Licht. Good Lighting for Offices and Office Buildings, 2018, 49 p.
8. International Building Code, IBC, 2015.
9. The Government Office Space Standards – the Space Standards Subcommittee of the Client Panel, 2001.

УДК 69.056.7

Э.В. Брайцев, М. Сиссе, Н.И. Ватин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА ПЕРЕГОРОДОК ГОТОВЫХ САНТЕХНИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ КОМПАНИИ «MODULBAU» РОССИЯ

Введение. Во всем мире строительство жилой недвижимости является самым массовым и перспективным направлением развития строительной отрасли [1].

В настоящее время в нашей стране недостаток доступного жилья. Связано это с обостренной геополитической обстановкой в мире и санкциями направленных против России. Помимо этого, нехватка жилых площадей обусловлена переселением жителей внутри страны, преимущественно в крупные города европейской части.

Согласно составленному европейскому рейтингу усредненной цены за $м^2$ жилья (соотношение $м^2$ к зарплате), на 2014 год Россия являлась самой недоступной для покупки жилья страной. Средний россиянин, с учетом жизненных расходов, мог позволить себе лишь 0,07 $м^2$ при этом с каждым годом данный показатель становится только хуже. Наряду с Россией, по этому показателю, находятся такие страны как Великобритания, Франция и др. [2].

Одним из способов выхода из сложившейся ситуации является индустриальное изготовление объемных блок-модулей в виде целого помещения, в частности готовые сантехнические модули.

Так, например, ученые Thai, H.-T.Ngo, T.Uy из университета Мельбурна (Австралия), в своей научной работе [3] информируют о том, что модульные конструкции увеличивают темпы строительства, более безопасны в производстве, а также более экологичны по сравнению с традиционными методами строительства. Эти преимущества могут быть максимизированы при строительстве крупных жилых районов, состоящих из домов с типовыми архитектурными решениями.

Учёные Миссурийского университета (США) изучив индустриальное строительство сообщают, что при совокупных ежегодных темпах роста в 5,69%, рынок модульного строительства, по прогнозам, увеличится до рыночной стоимости $154,8 млн к концу 2023 года [4]. Это подтверждает тот факт, что модульное строительство набирает обороты производства и востребовано, не только в России, но и за её пределами.

В России первопроходцем и лидером в данному направлении является компания Modulbau, которая производит сантехнические модули. Сантехнический модуль – это санузел с полной отделкой и инженерными коммуникациями, изготавливающийся в заводских условиях и, готовый к монтажу, поставляется на строительную площадку.

Строение сантехнического модуля на рисунке 1 следующее: защитный слой и натяжной ПВХ-потолок – 1; металлический оцинкованный профиль – 2; ревизионный люк – 3; конструкция пола – 4; керамическая плитка – 5; сантехническое оборудование – 6; шахт пакет – 7. Данные модули имеют ряд достоинств: вариативность конструктива позволяет внедрять технологию на любом этапе с сохранением ТЭПов проекта, гарантированная оптимизация сроков строительства и затрат на отделку объекта. Габариты, комплектация модуля, расположение инженерных систем – все эти параметры гибкие и определяются в техническом задании, которое предоставляет заказчик. Отлаженное производство позволяет выпускать продукцию по фиксированной стоимости и стандартного качества, а значит использование сантехнических модулей позволяет не только строить быстрее, но и повышает качество конечного продукта.

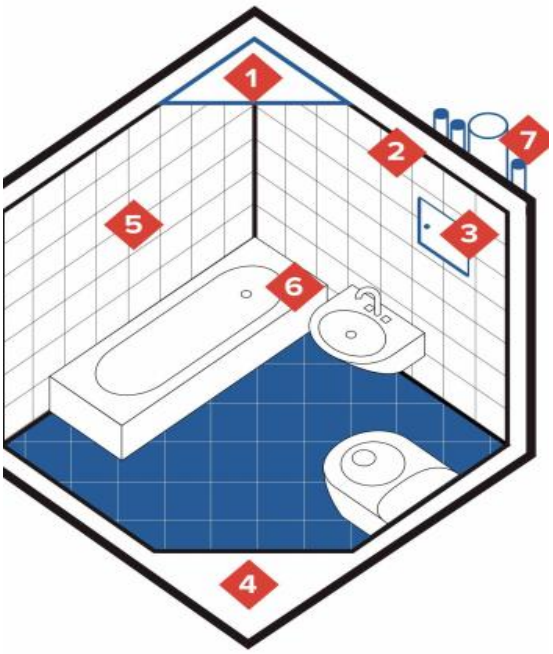


Рис. 1. Строение сантехнического модуля

Однако, ввиду того что в производстве сантехнических модулей используются лёгкие стальные конструкции (в качестве несущего каркаса), а в качестве обшивки конструкций выступают легкие материалы, такие как ГВЛ, ГКЛ и цементная плита, возникает вопрос каковы звукоизоляционные характеристики ограждающих конструкций и возможно ли использовать модульные сантехнические кабины с данным типом перегородок при строительстве жилых и общественных зданий. Согласно п.11, таблицы 2 [5], нормативный индекс изоляции воздушного шума перегородки между санузлом и комнатой одной квартиры R_w = 47 дБ.

Цель работы. Определение звукоизоляции воздушного шума готовых сантехнических модулей компании «Modulbau» Россия.

Для достижения данной цели были проведены испытания трёх образцов каркасно-обшивных перегородок. Описание материалов, входящих в состав данных конструкций, представлен в Таблице 1.

Методы исследования. Испытания для вычисления индекса изоляции воздушного шума R_w каркасно-обшивной перегородки осуществлялись на основании нормативных документов. Опытные образцы были размещены в проеме реверберационной камеры НИИСФ РААСН.

Методика измерений звукоизоляции перегородки заключалась в последовательном измерении и сравнении средних третьоктавных уровней звукового давления в помещении с образцовым источником шума (помещении высокого уровня звука) и в другом помещении (в помещении низкого уровня звука). Замеры звукового давления производились с помощью

лицензированного шумомера-анализатора «ЭКОФИЗИКА-110А», в качестве образцового источника шума был выбран «Источник звука №4224».

Таблица 1 – Краткое описание испытуемой продукции

	1-ый образец	2-ой образец	3-ий образец
Обшивка с наружной стороны перегородки	ГКЛ – 25 мм	ГВЛ – 25 мм	АКВАПАНЕЛЬ Knauf (цементная плита) – 25 мм
Обшивка с внутренней стороны перегородки	ГКЛ – 12,5 мм; клей – для керамической плитки – 2 мм; плитка керамическая – 8 мм	ГКЛ – 12,5 мм; клей – для керамической плитки – 2 мм; плитка керамическая – 8 мм	АКВАПАНЕЛЬ Knauf (цементная плита) – 25 мм; клей – для керамической плитки – 2 мм; плитка керамическая – 8 мм
Внутренняя (сердцевина) часть перегородки	Каркас – профиль оцинкованный «Modulbau» – 50 мм; утеплитель минераловатный – 50 мм, плотность – 37 кг/м^3	Каркас – профиль оцинкованный «Modulbau» – 50 мм; утеплитель минераловатный – 50 мм, плотность – 65 кг/м^3	Каркас – профиль оцинкованный «Modulbau» – 50 мм; утеплитель минераловатный – 50; мм, плотность – 37 кг/м^3

Результаты. На основании обработки полученных данных измерений были определены частотные характеристики изоляции воздушного шума R испытуемых перегородок, которые затем сравнивалась по стандартной методике [5] с оценочной кривой (рис 2), что позволило определить индекс изоляции воздушного шума R_w, дБ, испытуемой перегородкой (рис 2).

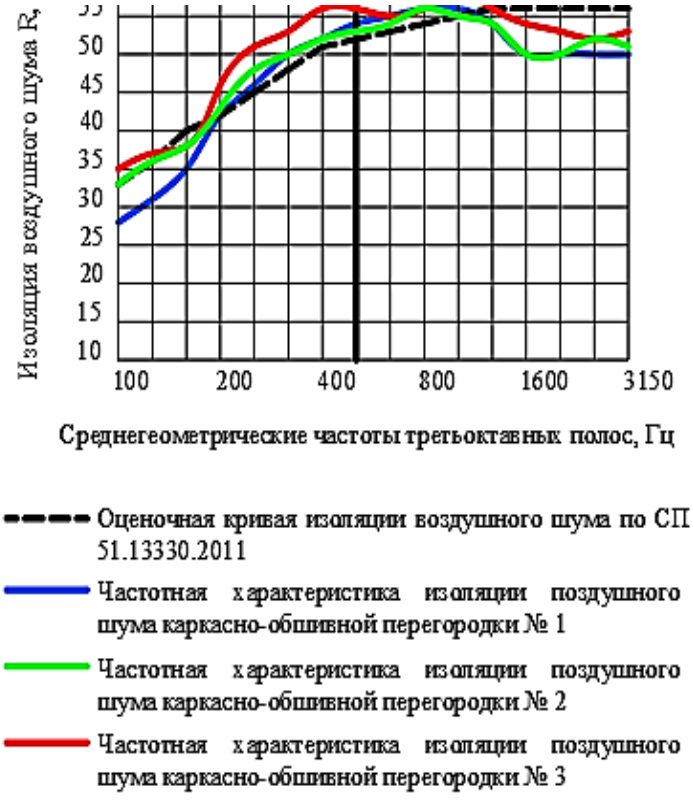


Рис. 2. Частотные характеристики изоляции воздушного шума каркасно-обшивными перегородками № 1, 2 и 3

В ходе расчётов были получены индексы R_w для испытываемых образцов 1, 2 и 3 равные 51 дБ, 52 дБ и 54 дБ соответственно. Наиболее высокой шумоизоляционной способностью обладает образец № 3 обшивка которого включает в себя АКВАПАНЕЛЬ Knauf.

Выводы. В ходе проделанной работы были получены индексы изоляции воздушного шума трёх каркасно-обшивных перегородок сантехнических узлов компании «Modulbau», каждый из которых превышает нормативный индекс изоляции воздушного шума между санузлом и комнатой одной квартиры более чем на 8%. Следовательно, модульные сантехнические кабины не только повышают темп строительства и сокращает бюджет строительства, но и соответствуют государственным стандартам, а потому могут применяться при строительстве жилых и общественных зданий.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Яковлев Р.Н. Яковлев Р.Н. Новые методы строительства – технология ТИСЭ. URL: https://fr.calameo.com/read/001038164c1abeec7afc6 (date of application: 4.03.2021).
2. Thai, H.-T., Ngo, T., Uy, B. A review on modular construction for high-rise buildings. Structures. 2020. 28. Pp. 1265–1290. DOI:10.1016/j.istruc.2020.09.070.
3. Abdul Nabi, M., El-Adaway, I.H. Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs. Journal of Management in Engineering. 2020. 36(6). DOI:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000859.
4. Баулина О.А., Клюшин В.В. Проблемы и перспективы жилищного строительства современной России // Интернет-журнал «Науковедение», Т. 8, №2 (2016) http://naukovedenie.ru/PDF/15EVN216.pdf (доступ свободный).
5. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением № 1.
6. ГОСТ 27296-2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций (с Поправкой).
7. ООО «Модульные конструкции» – проектирование и производство сантехнической модулей с полной чистовой отделкой и инженерными коммуникациями. https://modulbau.ru/

УДК 69.001.5

А.В. Бронзова, Д.В. Немова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, СОЗДАННЫХ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ

Цель исследования – повышение эффективности ограждающих конструкций, созданных с применением аддитивных технологий.

Введение. Аддитивные технологии в строительстве являются динамично развивающимся направлением «цифрового» производства. Принцип заключается в том, что продукт создается путем послойного добавления материала различными способами. Аддитивное производство зданий и различных сооружений значительно сокращает время застройки. Так как стоимость печати одного кубометра готовой строительной конструкции складывается из многих факторов, таких как конфигурация и толщина стены, марка и состав используемой смеси, точное значение может быть рассчитано только на основе конкретного строительного проекта.

Одной из важнейших задач для реализации возможностей 3D-печати является подбор составов композиционных строительных материалов, отвечающих требуемым эксплуатационным характеристикам возводимого здания и удовлетворяющих особенностям технологического оборудования [1]. Строительные материалы имеют разный состав и стоимость на них варьируется, чем показатели материала лучше, тем выше цена. Материальные ресурсы закупаются постепенно, цена на них может в любой момент вырасти. Исходя из этого, стоимостную оценку производят на каждый этап строительства постепенно уточняя и корректируя его [1, 2].

Основной метод оценки экономической эффективности крупных компаний, которые специализируются на аддитивных технологиях в строительстве, такие как Apis Cor, WinSun, Contour Crafting Corporation, был произведен на основе анализа научной литературы, охватывающей тему экономической выгоды аддитивных технологий в строительной отрасли [1-4]. Результат оценки экономической эффективности сведен в таблицу (Табл. 1).

Аддитивные технологии в строительстве намного эффективны в отличии от стандартной технологии, так как цифровой процесс устраняет определенные затраты на материалы, которые, к примеру, заменяет несъемная опалубка, а также сокращается логистическая связующая, сокращается численность персонала, задействованного в строительстве.

Сокращение численности персонала приводит к снижению затрат на транспорт, питание, спецодежду, инструмент, а также на страхование, налоги, медицинское обслуживание и так далее. Сокращение времени также связано с уменьшением временных и трудовых затрат на монтаж инженерных сетей за счет того, что печатная конструкция включает в себя пространство для прокладки инженерных коммуникаций.

Таблица 1 – Основные факторы эффективности использования 3D-печати в строительстве

Сокращение затрат	Ключевые составляющие	Причины
20-25%	Экономическая составляющая	Значительное сокращение срока выполнения проекта и сокращение срока для ввода объекта в эксплуатацию.
25-30%	Материалы	Минимизация отходов
45-55%	Труд	Ручной труд будет заменен техникой, будет требоваться минимальное количество сотрудников для управления и заправки строительного 3D-принтера, для настройки его технической составляющей.

Одним из главных преимуществ строительной 3D-печати является минимизация отходов, которые требовали бы удаления со строительных площадок и рециркуляции. Технология позволяет повысить качество и надежность строительной конструкции за счет исключения человеческих ошибок, позволяет значительно удешевить строительство зданий с уникальной архитектурой. 3D-принтеры не ограничиваются прямолинейными формами: стены будущих зданий могут быть криволинейными, с острыми и тупыми углами, радиальными поворотами и т.д.

В отличие от большинства современных строительных площадок, все основные строительные технологии 3D-печати могут обеспечить гораздо более безопасную среду для рабочих, которые полностью соответствуют нормам, будущие рабочие места минимизируют ручное размещение тяжелых грузов, включая строительный материал. Для строительства с применением аддитивных технологий требуется минимальное количество человек, оператор 3D-принтера может управлять системой, не выходя из кабины, с помощью дистанционного управления HMI (Human Machine Interface).

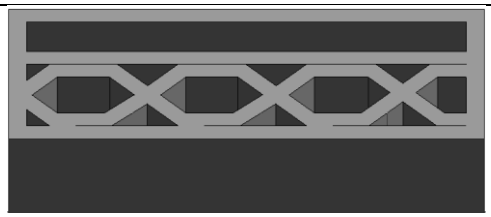
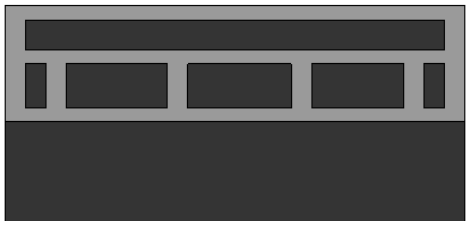
Таким образом, рабочий становится руководителем участка, машины и процесса укладки, а также обеспечивает гарантию качества готовой продукции, так как строительный принтер очень точен в печати, имеет минимальное допустимое отклонение. 3D печатное строительство сведет к минимуму воздействие экстремальных погодных условий для работы на объекте, снизит производственные травмы. Во время строительных работ на стройплощадке будет присутствовать только полностью обученный персонал [2, 4].

Варианты ограждающих конструкций, которые чаще всего используются в 3D-печатном строительстве, такими компаниями как Apis Cor, WinSun, Contour Crafting Corporation и др. сведены в таблицу (Табл. 2). Расчет основан на нормативной базе [5-8].

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции – это теплотехнический коэффициент, характеризующий уровень теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций. Чем больше сопротивление теплопередаче конструкции, тем выше ее теплоизоляционные свойства, т.е. тем меньший тепловой поток, проходит через эту конструкцию, уменьшаются потери тепла через нее, что также сокращает затраты. Сопротивление теплопередаче обозначается буквой *R*, единица измерения: м²·°С/Вт.

В Табл. 2 приведены примеры однокамерных и многокамерных ограждающих конструкций с диафрагмой жесткости. Материал несъемной опалубки и заполнения полостей может быть абсолютно любым, в зависимости от назначения объекта, что также влияет на теплотехнический коэффициент при расчете. Так как технология является новой, стены, созданные аддитивным методом, не конфигурируют в СП 50.13330.2012 [5].

Таблица 2 – Ограждающие конструкции в 3D-печатном строительстве

Ограждающие конструкции с диафрагмой жесткости	Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R, м²·°С/Вт
	3,68 $R > R_c$
	3,76 $R > R_c$
	2,29 $R > R_c$

Расчет произведен по стандартной методике сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Исходя из данных в Табл. 2 представленные ограждающие конструкции соответствуют требованиям по теплопередаче [5-8].

Вывод. Строительство с применением аддитивных технологий во многом ускоряет рабочий процесс строительства, конструкции имеют особую прочность в зависимости от используемых смесей, а также такая технология возведения зданий и сооружений экологична. Для каждого проекта подбирается особая конфигурация и эффективная конструкция стен, которая имеет свои индивидуальные характеристики в зависимости от наполнения. Для повышения эффективности ограждающих конструкций, произведя расчет, мы можем выбрать наиболее подходящий вариант смеси для строительства, который также подходит для местности, на которой будет расположен объект. Применение аддитивных технологий в строительстве экономически выгодно, но есть ряд недоработок, из-за которых производство не может использоваться в полном масштабе. Недоработками является стандартизация данной инновации, на сегодняшний день такая технология становится более популярной в строительстве малых архитектурных форм, разработка стандартов к применению аддитивной технологии в масштабном строительстве не заставит себя долго ждать.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зеленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш; пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 220 с.
2. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Пер. с англ. Под ред. И. В. Шишковского – М.: Техносфера, 2016. – 656 с.
3. В России напечатали первый жилой дом [Электронный ресурс]: http://apis-cor.com: Apis Cor. М., 2017. URL: http://apis-cor.com/about/news/first-house (дата обращения: 23.01.2021)
4. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Технико-экономический анализ технологий аддитивного формообразования/Наукоемкие технологии в машиностроении, 2016, №7.
5. СП 50.13330.2012. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий
6. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий
7. ГОСТ Р 54851–2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче
8. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий

УДК 691.322

А.С. Воронин, К.Ю. Усанова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО БЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Бетон используют в строительстве уже несколько тысячелетий, применяя его для возведения как многоэтажных проектов, так и для строительства частного сектора. Основным недостатком бетона считают его внешнюю непривлекательность, что компенсируется его прочностными свойствами и разновидностью применения. Новые технологии позволяют скрыть бетонные стены различными способами: разнообразные смеси декоративных штукатурок, навесные фасадные системы, облицовка сайдингом, покраска.

Венгерский архитектор А. Лосконши предложил преобразить бетон не извне, а изнутри. Результатом длительных экспериментов с композицией стал прозрачный светопроводящий бетон (рис. 1). В 2001 году Арон запатентовал инновационную композицию, получившую международное название LiTraCon (litrakon, литракон) [1].

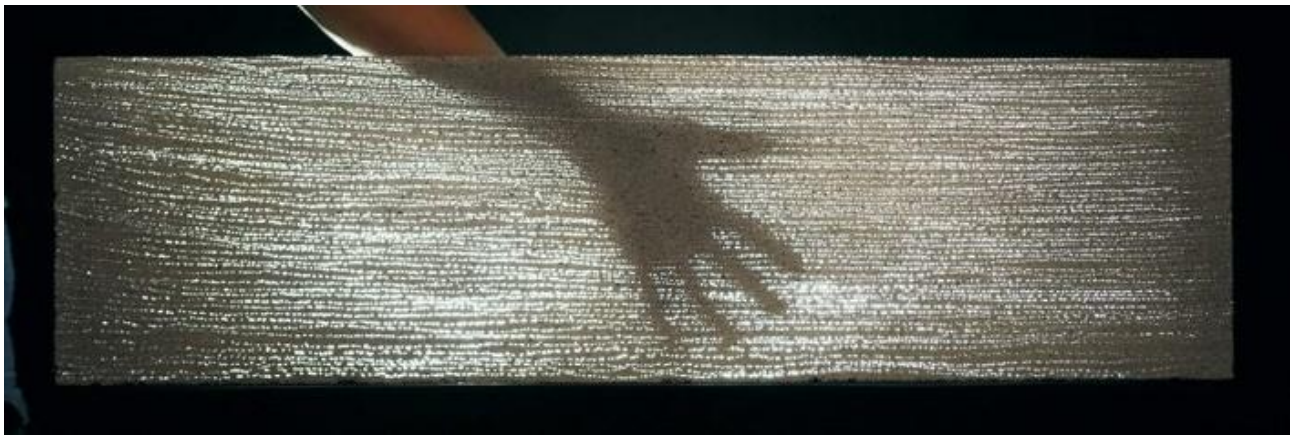


Рис. 1. Светопроводящий бетон

Такой бетон не уступает традиционному по прочности, что по-прежнему позволило использовать его при строительстве различных конструкций. Таким образом применение светопрозрачного бетона в строительстве является актуальным.

Целью данной работы является обоснование применения светопрозрачного бетона при строительстве. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Описание технологического процесса изготовления светопрозрачного бетона;
2. анализ характеристик готовых блоков литракона;
3. рассмотрение вариантов применения блоков светопрозрачного бетона при строительстве.

На сегодня в мире существует несколько компаний, занимающихся разработками в этой области. Данный материал является востребованным в области создания уникальных дизайнерских проектов. Прозрачный бетон применяется для строительства оригинальных жилых и общественных зданий [2].

Изготовление литракона, как правило предусматривает выпуск блоков со стандартными размерами 1,7×1 м или 2×1 м. При этом остается возможность для изготовления блоков индивидуальной формы.

Светопрозрачный бетон изготавливается на основе высокопрочного цемента и мраморной или гранитной крошки мелких фракций. В объем данной смеси добавлены сотни тысяч оптоволоконных или стекловолоконных нитей, которые и пропускают свет. При этом, обладая данной особенностью, материал не теряет качеств, свойственных обычному бетону.

Толщина блока не влияет на пропуск светового потока, поскольку оптические волокна пропускают свет с минимальными потерями (до 20 м), однако на практике толщина не превышает 20 см, что связано с текущими возможностями укладки стекловолокна. При этом возможно размещение стекловолокна в виде логотипов, изображений. Внешне литракон похож на полированный натуральный камень, чем обуславливается его применение в отделочных работах, а его прочность позволяет возводить из него перегородки. Устанавливают эти блоки на кладочный раствор. Чтобы сделать швы невидимыми используется эпоксидная смола с добавлением кварца. В связи со сложностью изготовления данного материала, его возможно произвести только в специально оборудованных помещениях. Производство на стройплощадке невозможно.

При изготовлении светопрозрачного бетона главное – добиться однородности раствора и неподвижности стекловолокна. Пропорции следующие: на 1 часть цемента, 2,3-4 части песка без примесей глины и пыли, и 0,5 частей чистой воды. Объем светопроводящего наполнителя не превышает 5% от общей массы раствора, диаметр нитей 0,5-2,5 мм, а длина соответствует толщине бетонного блока. Для уменьшения подвижности смеси, целесообразно добавлять модифицирующие добавки.

Технологический процесс изготовления блока следующий: после смешивания песка с цементом вводится вода; после введения всех компонентов бетон смешивается в течение 5-8 минут, затем укладывается в опалубку ступенчато: 0,5-1 см раствор, затем слегка прессованные волокна или пучки. При этом необходимо учесть, что каждый последующий слой укладывается только после того, как предыдущий схватился. После заполнения опалубку оставляют на 48-72 часа, а затем убирают. Выдержка составляет 5-7 дней при 20^0С и влажности 95%. После отверждения боковые поверхности бетонного блока полируются алмазными дисками для достижения пропускающих свойств [3].

Характеристики готовых блоков литракона приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1 – Характеристика готовых блоков литракона

№ п/п	Характеристика	Показатель
1	Прочность на сжатие, МПа	20-35
2	Прочность на изгиб, МПа	30
3	Прочность на растяжение, МПа	2<
4	Плотность, кг/м^3	≈2300
5	Теплопроводность, Вт/(м·К)	2,1
6	Морозостойкость	F75
7	Водонепроницаемость	W4-W8
8	Звукоизоляционные свойства, дБ	46
9	Водопоглощение, %	<6

Кроме того, светопрозрачный бетон не горит, не боится ультрафиолетовых лучей, существует риск щелочно-силикатных реакций стекловолокна с цементом подвоздействием атмосферных осадков, но из-за тонкого раздела нитей он минимален.

Тем не менее, литракон не предназначен для использования в качестве строительного материала, который может выдерживать большие нагрузки. Его применение в основном основано на эстетических соображениях, хотя технические и физические свойства материала не отбрасываются. Однако основной набор компонентов для светопрозрачного бетона делает его похожим на обычный легкий бетон. В таблице 2 приводится сравнение некоторых характеристик светопрозрачного бетона с тяжелыми бетонами классов В15, В25 и В40. Как видно из таблицы прочность на сжатие светопрозрачного бетона соответствует тяжелому бетону В25, при этом плотность ниже. Также он уступает тяжелому бетону В25 по морозостойкости: по данному параметру его показатель близок по значению к бетону класса В15. По водонепроницаемости светопрозрачный бетон не уступает тяжелым бетонам.

Таблица 2 – Сравнение характеристик светопрозрачного бетона с тяжелыми бетонами

№ п/п	Характеристика	Показатели для бетонов			
		Светопрозрачный бетон	B15	B25	B40
1	Прочность на сжатие, МПа	20-35	15	25	40
4	Плотность, кг/м^3	≈2300	≈2300	≈2400	≈2500
5	Теплопроводность, Вт/(м·К)	2,1	≈2,04		
6	Морозостойкость	F75	F50-F150	F200	F200-400
7	Водонепроницаемость	W4-W8	W4-W8	W8	W8-14

На данный момент литракон приобрел огромную популярность у дизайнеров интерьеров и проектировщиков зданий, как в сфере малоэтажного строительства, так и в области промышленной застройки.

Из-за своей дороговизны прозрачный материал чаще используется для производства элементов дизайна: столешницы, скамейки, лестницы, внутренние перегородки, фасады зданий. Стена дома, в которой используется прозрачный бетон, обеспечивает лучшее проникновение дневного света в комнату и освещение окружающих помещений вечером лампами внутри здания [5].

Производители изготавливают готовые прозрачные панели из белого, серого, черного, зеркального полированного и матового, прямоугольной или изогнутой формы. С точки зрения строительства, его можно использовать для возведения бетонных конструкций наравне с обычными бетонами. Более того, он уже применяется в качестве отделки фасадов общественных зданий. Архитекторы и дизайнеры успешно используют его как ограждающие конструкции помещений, где недостаточно естественного освещения. Он очень хорош для строительства энергоэффективных зданий, так как сокращаетрасходы на освещение и имеет достаточно невысокий показатель теплопроводности.

Таким образом можно прийти к выводу, что технологический процесс изготовления литракона сопряжен с некоторыми трудностями, не позволяющими его производить на строительной площадке. При этом его характеристики позволяют применять его при строительстве ограждающих конструкций, перегородок, разнообразных малых архитектурных форм, решая при этом задачи создания привлекательных и энергоэффективных зданий, а технические и физические свойства светопрозрачного бетона, такие как прочность на сжатие, плотность, водонепроницаемость соответствуют бетонам классов B15 и B25.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Новинки рынка строительных материалов: прозрачный бетон (литракон). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rmnt.ru/story/wall/novinki- rynka-stroitelnyx-materialov-prozrachnyy-beton-litrakon.684712/ Дата обращения: 13.03.2021.

2. Светопрозрачный бетон: как создавался и где применяется. [Электронныйресурс]. – Режим доступа: https://beton-house.com/vidy/dekorativnye/svetoprozrachnyj -beton-973. Дата обращения: 13.03.2021.

3. Прозрачный бетон: состав, технология производства и изготовление своими руками. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tvoidvor.com/beton/tehnologiya-proizvodstva-prozrachnogo-betona-svoimi- rukami/ Дата обращения: 13.03.2021.

4. Прозрачный бетон – характеристики, технология производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://stroitel-list.ru/beton/svetopropuskayushhie-kompozitnye-strojmaterialy-i-prozrachnyj-beton.html Дата обращения: 13.03.2021

5. Светопрозрачный бетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vest-beton.m/stati/svetoprozrachnyj-beton.html Дата обращения: 13.03.2021.

УДК 69.04

Д.В. Герасимов, Л.А. Шин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Сегодня, благодаря развитию технологии, в частности, строительства, возведение сооружения или здания возможно в любом уголке мира. Надёжность, долговечность, стоимость, важные параметры в строительстве, но современные реалии вносят свои коррективы. Строительство должно быть быстрым. Ускорить процесс возведения зданий помогают такие технологии как, лёгкие сталебетонные конструкции (ЛСБК) [1, 2] или применение каркасно-обшивных стен (КОС) [3, 4].

Использование стального холодногнутого оцинкованного профиля в каркасно-обшивных и сталебетонных конструкциях имеет потенциальную коммерческую ценность современного строительства. В связи, с чем стали проводить ряд экспериментов, чтобы улучшить качество стеновых панелей. В работе Назмеевой [3] разработано решение крепления навесной стены к железобетонному перекрытию.

В работе Рыбакова [1, 2, 5] экспериментально доказано, что применение пенобетона в качестве утеплителя, положительно сказывается на теплотехнических характеристиках возведённых конструкций. Пенобетон в ЛСБК играет роль как утеплителя, так и дополнительного каркаса здания.

Цель работы – сравнительный анализ характеристик актуальных быстровозводимых конструкций.

Задачи: 1) выявить преимущества каждого из методов строительства; 2) оценить затраты на возведение для каждого метода; 3) объединить выводы и оформить рекомендации.

Для достижения поставленной цели была взята стена условного размера 3×3,3 м, выполненная по двум современным методам строительства, стена из лёгких сталебетонных конструкций (рис. 1) и каркасно-обшивная стена.

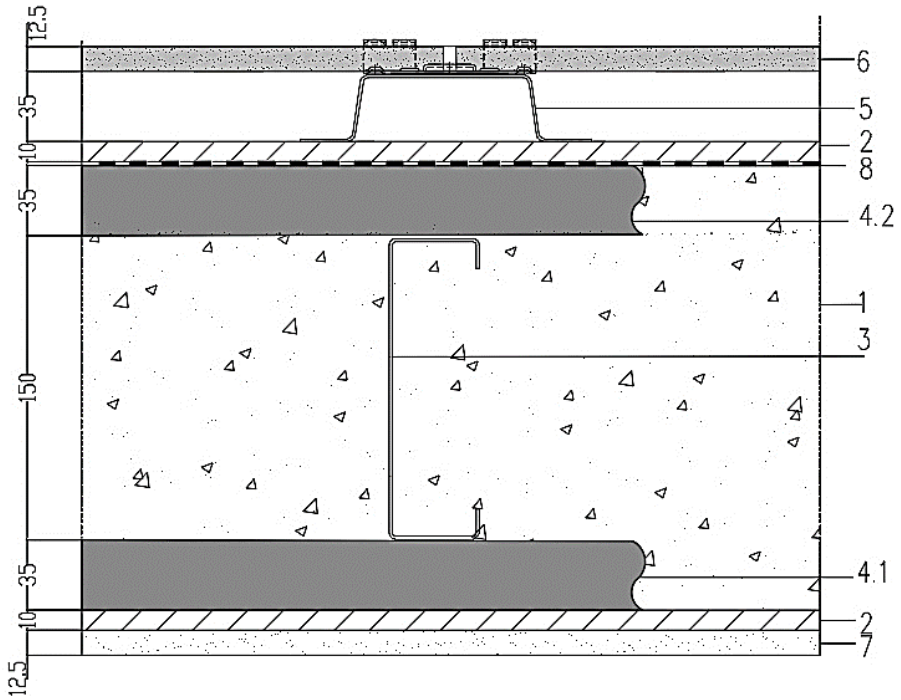


Рис. 1. Разрез стены из ЛСБК

ЛСБК стена представляет себя как каркас из лёгких стальных тонкостенных профилей (ЛСТК) [8-10], заполненный пенобетонном. Стена, представленная на рис. 1, состоит из: пенобетона (D200) 1, фиброцементных панелей 2, стоечных термопрофилей (ПС-150-2,0) 3, шляпных профилей (ГПО 35-0,7) и (ГПО 35-1,2) 4-5, наружных аквапанелей 6, гипсокартона 7, ветро-влагозащитной мембраны 8.

КОС представленная на рис. 2, состоит из: минераловатного утеплителя 1, аквапанелей 2, стоечных термопрофилей (ПС-200-2,0) 3, шляпных профилей (ОУ 45-0,7) 4-5, керамогранитных плит 6, пароизоляционной плёнки 7, ветрозащитной плёнки 8.

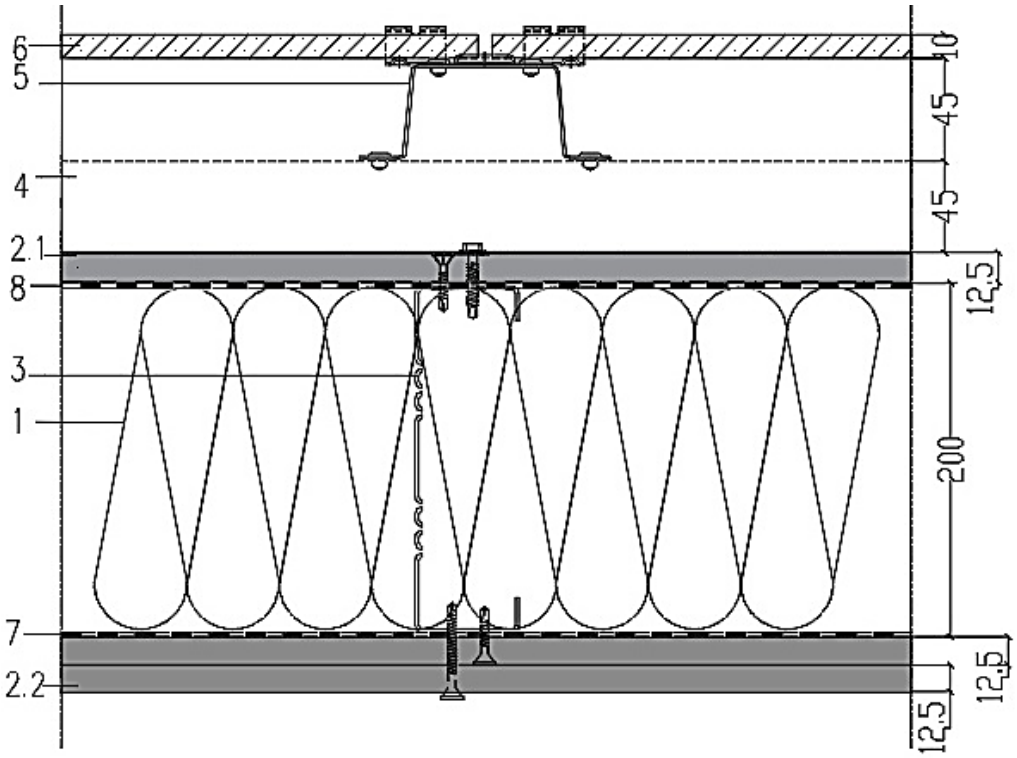


Рис. 2. Разрез каркасно-обшивной стены

В исследованиях, проведённых Рыбаковым [6, 7], было экспериментально установлено, что ЛСБК панели могут использоваться в гражданских зданиях и выдерживать соответствующую нагрузку, регламентируемую действующими строительными нормами. Также было доказано, что пенобетон, не смотря на свой низкий класс прочности, помогает предотвращать потери местной устойчивости и деформации профилей.

По данным взятой условной стены, размерами 3×3,3 м, были составлены сметы по технологиям ЛСБК и КОС. Проанализировав данные смет, были сделаны выводы: затраты на строительство стеновой ЛСБК панели уйдёт 72 612 руб., а на строительство КОС панели уйдёт 69 393 руб. Таким образом, доказано, что

1. Технология строительства каркасно-обшивных стен экономически выгоднее, чем конкурирующая технология.
2. При этом выявлено, что сталебетонные конструкции лучше по конструктивным параметрам, т.к. пенобетон частично воспринимает нагрузки от вышележащих конструкций.
3. Как показано выше, выделим рекомендации. Применять КОС следует в зданиях, не требующих отопления или его минимум. ЛСБК напротив, рекомендуем использовать в жилищном строительстве из-за его теплотехнических свойств и надёжности.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Рыбаков В.А. Теплотехнические и механические свойства легких сталебетонных конструкций (ЛСБК). Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве материалы международной НПК 2019. стр.107-115
2. Рыбаков В.А., Козинец Г.Л., Ватин Н.И., и др. Технология легких сталебетонных конструкций из пенобетона и фиброцементных листов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). стр. 103–111.
3. Назмеева Т.В. Напряженно-деформированное состояние узла крепления каркасно-обшивной навесной стены на основе стального холодногнутого профиля // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. стр.41-44.
4. Рыбаков В.А. Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Structures // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. №4(89).
5. Rybakov, V.A., Ananeva, I.A., Pichugin, E.D., Garifullin, M. Heat protective properties of enclosure structure from thin-wall profiles with foamed concrete. Magazine of Civil Engineering, 2020, 94(2), стр. 11–20
6. Rybakov, V., Seliverstov, A., Petrov, D., et al. Lightweight steel concrete structures slab panels load-bearing capacity. MATEC Web of Conferences, 2018, стр. 245, 08008
7. Rybakov, V., Seliverstov, A., Petrov, D., et al. Strength characteristics of foam concrete samples with various additives. MATEC Web of Conferences, 2018, 245, 03015
8. Тихонов С.М., Алехин В.Н., Беляева З.В., и др. Проектирование металлических конструкций. Часть 1. Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования. М.: Издательство «Перо», 2020 – 468 с.
9. Рыбаков В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. Учебн. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
10. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Влияние перфорации стенки на несущую способность термопрофилей. Стройпрофиль. 2008. № 1. С. 128-130.

УДК 69.05

Н.М. Гришина, В.З. Величкин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПАКЕТЫ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Введение. Строительство – это сложная вероятностная система, управление которой является комплексной и первостепенной задачей. Планирование этапов возведения объектов капитального строительства производится с помощью календарных планов. Это тот документ, который создается на начальных этапах строительства: начиная с оценки экономической эффективности предполагаемого объекта и корректируется вплоть до завершения строительства. Цель планирования: создание перечня работ, взаимоувязанных между собой во времени, с указанием необходимого количества ресурсов на их реализацию [1].

Целью исследования является обоснование применения технологических пакетов при разработке календарных планов.

Как показывает практика, грамотно создать календарный график и правильно учесть риски, это непростая задача. Опытные девелоперы Санкт-Петербурга сдвигают даты ввода объекта в эксплуатацию в среднем на 3-4 месяца. Наибольший объем переносов планируемых сроков ввода объектов в эксплуатацию в пересчете на совокупную площадь жилых единиц приходится на переносы с 2018 на 2019 год (573 263 м²), что составляет 16,5% от общего объема планируемого ввода объектов в эксплуатацию в Санкт-Петербурге в 2019 году.

Основной вопрос заключается в том, как создать график, который будет соответствовать реальным значениям продолжительности и стоимости строительства, затраченных материальных и трудовых ресурсов на объекте. Отклонения от изначально сформулированного календарного плана ведут к серьезному удорожанию проекта [2]. Чем позже будет выявлена ошибка, влияющая на календарный план, тем больше усилий и ресурсов потребуется на ее устранение (рис. 1).



Рис. 1. Кривая наибольшей эффективности усилий
по проектированию здания в зависимости от стадии работы

Для оптимизации создания календарных планов предлагаю ввести такое понятие как технологические пакеты строительно-монтажных работ. Их преимуществом является концентрация сил и средств для эффективной работы по конкретному виду работ в сжатые сроки и при минимальных затратах строительной компании.

Пакетами строительно-монтажных работ назовем перечень работ, сгруппированных по некоторым принципам и имеющих одинаковые критерии оптимизации. Такие пакеты состоят из двух направлений: организационное и технологическое. Организационная часть включает в себя увязку работ во времени и пространстве, при которой будут достигнуты поставленные по ресурсам и времени цели. А технологическая часть, включает в себя реализацию способов производства работ или совокупность методов, определяющих последовательности, способы осуществления процессов строительно-монтажных работ.

При формировании пактов строительно-монтажных работ будем придерживаться следующих принципов:

1. Обработка и использование материалов одного вида.
2. Однотипность используемой на площадке строительной техники.
3. Однотипность специализации рабочих.
4. Увязка различных видов работ во времени и пространстве.
5. Одновременность и параллельность выполнения строительно-монтажных работ.

Пример технологического пакета: «Устройство котлована под сооружение»

1. Материал: земля.
2. Строительная техника: бульдозер, экскаватор, каток.
3. Рабочие: тракторист, плотник, землекоп.
4. Работы: разработка грунта, перемещение, планировка, трамбовка.
5. Все работы идут параллельно или последовательно без задержек по времени.

Пример технологического пакета: «Устройство железобетонного каркаса объекта»

1. Материал: железобетон.
2. Строительная техника: кран, автовышка, бетононасос.
3. Рабочие: бетонщик, арматурщик, монтажник.

4. Работы: опалубка, армирование, бетонирование, распалубка.
5. Все работы идут параллельно или последовательно без задержек по времени.

На реальных строительных объектах зачастую нет общего подробного календарного плана на все виды работ. На строительных площадках он неудобен, так как его приходилось бы постоянно обновлять и тратить много усилий на отслеживание и корректировку данных. Заказчикам хватает общего графика строительства, созданного в разделе 6 «Проект организации строительства» для прохождения экспертизы [3]. В таком графике указаны основные вехи в выполнении проекта и ритм, в котором должен продвигаться проект, для успешного завершения. После прохождения экспертизы и перед тем как приступать к работе заказчик начинает искать подрядчиков для возведения сооружения. Как правило для каждого технологического пакета будет выбран отдельный подрядчик. Пакетирование строительно-монтажных работ позволит привести к общему формату разработку календарных планов подрядчиками на этапе составления плана производства работ и указать принцип подбора технологий для выполнения работ.

Для подбора технологий производства следует придерживаться одной из следующих моделей оптимизации технологического пакета:

1. Минимизация длительности реализации пакета работ при ограниченных ресурсах. Достигнуть этого можно с помощью следующих мероприятий:
   1.1. Уменьшение продолжительности критических работ за счет резервов времени некритических работ и перераспределения ресурсов;
   1.2. Уменьшение продолжительности критических работ за счет привлечения дополнительных ресурсов;
   1.3. Изменение последовательности и взаимосвязи работ.
2. Минимизация ресурсов (то есть уменьшение стоимости выполнения технологического пакета) при заданном сроке.
   2.1. Рациональное распределение ограниченных ресурсов;
   2.2. Минимизация максимального потребления ресурсов в единицу времени;
   2.3. Минимизация неравномерности потребления ресурсов, т.е. ликвидация «пик» и «провалов» [4].

Целевая функция по оптимизации за счет минимизации ресурсов может выглядеть следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} t_i z_i + \sum_{j=1}^{m} t_j z_j k_j \rightarrow min,$$

где t_i – продолжительность работы i-ой машины; z_i – затраты на единицу работы единиц машинных ресурсов i; t_j – продолжительность работы j-ых трудовых ресурсов; z_j – затраты на единицу времени работы единиц трудовых ресурсов j; k_j – количество единиц трудовых ресурсов j; G_i – грузоподъемность i-ой машины; P – вес поднимаемого элемента.

Ограничениями являются:

$$1.\ t_i \geq 0, t_j \geq 0;$$
$$2.\ k_i \geq 1, k_j \geq 1;$$
$$3.\ G_i \geq P.$$

Из рассчитанных всеми подрядчиками пакетов, заказчик в случае необходимости сможет составить общий календарный план и иметь представление о ходе строительства в целом [5].

Вывод. Создание календарного плана посредством стыковки технологических пакетов должно повысить эффективность разработки календарного плана и увеличить вероятность выполнения работ в принятые сроки. Использование технологических пакетов полезно не только заказчику для регулирования сроков и стоимости строительства, но и подрядчику для эффективной оценки использования своих ресурсов и затрат на определенный объем работ [6].

ЛИТЕРАТУРА
1. Мирошниченко С.В. Формирование календарных планов строительства объектов // Сборник материалов III Международной научно-практической очной конференции – 2018 – С.155-158.
2. Дементьева В.В. Характеристика понятия сроков строительства и анализ основных направлений сокращения сроков строительства // Статья в журнале Аллея Науки – 2018 – №5(21) – С. 524-530.
3. Туманов Д.К. Современные системы управления и организации строительства для совершенствования проектов организации строительства (ПОС) // Технология и организация строительного производства– 2013 – №3 – С. 30-32.
4. Кушнер, М.А. Модель минимизации сроков выполнения проекта в рамках сетевых технологий при фиксированном бюджете // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика – 2010 – №2 – С. 124-129.
5. Петроченко М.В., Шерстобитова П.А., Мацкина М.Л. BIM 4D: Naviswork Manage и Synchro Soft // Материалы I Международной научно-практической конференции – 2019 – С. 152-157.
6. Петроченко М.В., Стольникова К.А. Автоматизированный расчет объемов работ и назначения сметных норм элементам BIM-модели // Неделя науки СПбПУ. Материалы НК, ИСИ – 2019 – С. 273-275.

УДК 69.003.13

А.В. Гуричева, А.А. Жигирь
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Актуальность темы управления риском проекта возрастает с каждым годом. Наибольшее количество нормативных документов в строительстве, вступивших в силу за последнее время в нашей стране, именно по управлению проектами, а управление проектом подразумевает под собой и управление риском.

Управление риском – это действия, предпринимаемые для достижения целей проекта в процессе осуществления менеджмента риска [1, 2]. Рассмотрим процесс выбора и реализации решений для модификации риска, так называемую обработку риска проекта. Меры, которые предпринимаются в отношении обработки риска проекта представлены на рис. 1.



Рис. 1

В данной работе рассмотрим более подробно оптимизацию риска проекта, ведь основная цель по управлению рисками инвестиционно-строительных проектов заключается в их снижении [3]. Мера по минимизации величины риска и его вероятности, в условиях ограниченности имеющихся на то ресурсов, носит название оптимизации риска проекта.

Чтобы сформировать целевую функцию задачи по принятию решения оптимизации управления риском проекта будем использовать обобщенную формулу для определения величины риска:

$$R(p_1, p_2, \ldots, p_N, c_1, c_2, \ldots, c_N) = \sum_{i=1}^{N} p_i \times c_i, \quad (1)$$

где N – количество факторов риска проекта; c_i – величина возможного ущерба от воздействия i-го фактора; p_i – вероятность возникновения каждого фактора риска (i =1(1)N).

Становится очевидным, что показатель значения риска по проекту прямо пропорционален значению каждой из составляющих правой части формулы (1). Примем, что их величина может меняться независимо друг от друга при том условии, что изменяется вариант управления риском проекта, а также, что этих значений может быть несколько [4].

Для оптимизации риска проекта выделены ресурсы M различных видов. Это могут быть финансовые вложения, материальные, информационные затраты, затраты по времени, труду и так далее. Но вводится условие, что каждый из этих ресурсов ограничен по величине. Ресурсы по управлению могут быть потрачены на достижение требуемых показателей факторов риска. Пусть общие затраты на изменение вероятности возникновения риска будут $S_j^{(p)}$, а общие затраты на управление величиной риска – $S_j^{(c)}$ ($j = 1(1)M$). Ясно, что должно соблюдаться неравенство:

$$S_j^{(p)} + S_j^{(c)} \le S_j, \; j = 1(1)M . \qquad (2)$$

Для каждого i-го фактора затраты ресурса j-го вида на управление вероятностью и величиной ущерба могут иметь несколько значений. При этом число вариантов $W_{ij}^{(c)}$ и $W_{ij}^{(p)}$ для этих составляющих риска может быть различным ($i = 1(1)N$, $j = 1(1)M$). Общая формула для затрат ресурса j-го вида на управление риском проекта следующая:

$$S_j = \sum_{i=1}^{N} s_{ijl}^{(p)} + \sum_{i=1}^{N} s_{ijk}^{(c)}, \qquad (3)$$

где $s_{ijl}^{(p)}$ ($i = 1(1)N$, $j = 1(1)M$, $l = 1(1)W_{ij}^{(p)}$) и $s_{ijk}^{(c)}$ ($i = 1(1)N$, $j = 1(1)M$, $k = 1(1)W_{ij}^{(c)}$) – затраты ресурсов каждого вида при осуществлении вариантов управления по переменным, составляющим риск проекта.

Зададим, каким будет правило, по которому будет приниматься решение по выбору того или иного варианта управления риском для его оптимизации по необходимым критериям. Обозначим некие переменные η_{ilkj} ($i = 1(1)N$, $l = 1(1)M$, $k = 1(1)W_{ij}^{(p)}$, $j = 1(1)W_{ij}^{(c)}$), которые становятся равными единице, если был выбран вариант управления, который соответствует определенным значениям i, l, k, j и 0 в других случаях.

Целевая функция $G(P, C, \Delta)$ задачи оптимизации имеет тогда следующий вид

$$G(P, C, \Delta) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{l=1}^{M} \sum_{k=1}^{W_{il}^{(p)}} \sum_{j=1}^{W_{il}^{(c)}} p_{ilkj} \cdot c_{ilkj} \cdot \eta_{ilkj} \to \min , \qquad (4)$$

где p_{ilkj} и c_{ilkj} – вероятность и мера риска при рассматриваемом варианте управления.

Ограничения критериальной функции будут следующими:

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{W_{il}^{(p)}} \sum_{j=1}^{W_{il}^{(p)}} s_{ilkj}^{(p)} \cdot \eta_{ilkj} + \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{W_{il}^{(c)}} \sum_{j=1}^{W_{il}^{(c)}} s_{ilkj}^{(c)} \cdot \eta_{ilkj} \le S_l ; \sum_{l=1}^{M} \sum_{k=1}^{W_{il}^{(p)}} \sum_{j=1}^{W_{il}^{(c)}} \eta_{ilkj} = 1 ; \; \eta_{ilkj} \in \{0,1\} . \qquad (5)$$

Таким образом, система выражений и соотношений (5) показывает, что затраты ресурсов на управление рисками не должны быть больше заданных значений, а для каждого фактора риска может быть выбран единственный оптимальный вариант изменения из всех возможных. Переменная управления может принимать значения от нуля до единицы [5].

Рассмотренная задача оптимизации управления риском проекта легко может использоваться для необходимого количества как факторов риска, так видов ресурсов, которые используются для управления риском проекта.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (третья редакция, исправленная и дополненная). Проект не утвержден [Электронный ресурс]. – М., 2008. – 234 с.
2. Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений (№22-ФЗ от 02.01.2000г.) [Электронный ресурс].
3. Жигирь А.А. Методы количественной оценки экономического риска строительной организации при реализации инвестиционных проектов. // Естественно-гуманитарные исследования. – 2020. – № 27 (1). – С. 106 – 111.
4. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков, учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
5. Солдатенко В.С. Математическое моделирование. Управление рисками проектов уникальных зданий и сооружений. Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 84 с.

УДК 691.4

Ю. А. Демидова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЕРАМОГРАНИТНЫХ ПЛИТ КРУПНОГО ФОРМАТА

Относительно недавно лидирующую позицию на строительном рынке в рейтинге наиболее востребованных материалов для внешней и внутренней облицовки здания занял крупноформатный керамогранит – плиты размером более 60 см по одной стороне.

Преимущество использования этого материала заключается не только в его декоративных свойствах – керамогранит крупного формата способен воссоздать рисунок многих природных материалов, благодаря чему впишется в любую современную интерьерную стилистику [1], но и в его высокой механической прочности, огнестойкости, износоустойчивости материалов. Тяжелые плиты крупного формата способны поддерживать равновесный режим влажности, это связано с отсутствием микропор, что практически предотвращает поглощение влаги.

На сегодняшний день известно достаточно большое количество работ, связанных с исследованием технологий производства керамогранита [2]. В частности, в работе [3] подробно исследованы прочностные свойства, а также фазовый состав и структура данного материала. Оптимальный состав керамогранитных плит [4, 5] напрямую зависит от технологических решений, принятых при производстве облицовочных строительных материалов, производимых по технологии скоростного обжига.

Целью работы является исследование технологии укладки и преимуществ использования крупноформатного керамогранита на стадии отделочных работ в сравнении с типовыми плитами.

Технологию укладки крупноформатного керамогранита можно разделить на этапы: тщательная проверка состава основания и его подготовка для дальнейшей работы, выбор подходящего клея, который обеспечит короткое время схватывания и высокую адгезионную прочность, а также особая технику укладки керамогранитных плит крупного формата.

Основанием может служить бетон, различные стяжки, существующие полы, цементная и гипсовая штукатурка, бетонная стена. Проверка ровности поверхности основания на выступы можно при помощи специальной деревянной рейки, длиной от 2 м, которая называется правило. По стандарту ISO 7976-1:1989 максимальный допуск составляет ± 3 м.

Одним из важных составляющих для качественной укладки широкоформатного керамогранита является выбор клеевого состава. По европейскому EN 12004 и российскому ГОСТ Р 56387-2015 стандартам при работе с плитами среднего размера необходимо

использовать деформируемый клеевой эластичный состав класса S1, а для формата плит более 60 см – высокоэластичный клей класса S2.

Для крупноформатного керамогранита используется метод двойного нанесения клея в одинаковом направлении: на обратную сторону плиты клеевой состав наносят при помощи шпателя с маленькими квадратными зубьями в 4 мм, а на основание поверхности – зубчатым шпателем со скошенными зубьями.

Для заполнения швов используются специальные смеси с пониженной зернистостью, подвергаемые окраске. Преимущество таких смесей в сравнении с более бюджетными штукатурками на основе песка и цемента очень велико: низкая пористость, препятствующая накоплению загрязнений, возможность выбора цветовой гаммы.

Применение керамогранита крупного формата значительно сокращает затраты труда рабочих, что дает существенное увеличение скорости выполнения отделочных работ. В табл.1 и табл. 2 представлено сравнение калькуляций затрат труда и машинного времени крупноформатных керамогранитных плит размерами 1000×500 мм (№2) и типовых плиток размерами 250×250 мм (№1), а также представлен график производства работ с расчетом продолжительности выполнения работ. В качестве измерителя конечной продукции принят объем работ 10 м^2.

Основными технологическими процессами при поштучной укладке плит в табл. 2 являются: 1. Смачивание основания водой; 2. Подборка плиток по номерам; 3. Установка маяков; 4. Раскладка плиток насухо с подбором рисунка; 5. Подгонка кромок плиток; 6. Устройство прослойки из готового раствора толщиной 20-30 мм; 7. Укладка плиток; 8. Проверка уложенного ряда плиток правилом; 9. Выравнивание плиток с разделкой швов между уложенными плитками.

Таблица 1 – Калькуляция затрат труда и машинного времени керамогранитных плит

№ п/п	Обоснование (ЕНИР)	Число плиток в 1 м^2, до	Ед. изм.	Объем работ	Норма времени		Затраты труда	
					рабочих, чел.-ч.	машиниста, маш.-ч. (работа машин маш.-ч.)	рабочих, чел.-ч.	машиниста, маш.-ч. (работа машин маш.-ч.)
1	§Е19-21	20	м^2	10	1,80	-	18,0	-
2	§Е19-21	2	м^2	10	0,72	-	7,20	-

Таблица 2 – График производства работ

№ п/п	Технологические процессы	Единица измерений	Объем работ	Затраты труда		Принятый состав звена	Продолжительность процесса, час
				рабочих, чел.-ч.	машиниста, маш.-ч. (работа машин маш.-ч.)		
1.1	1-9	м^2	10	18,0	-	Камнетес 4 разр. – 1; Камнетес 3 разр. – 1	18,0
1.2	Неучтенные и сопутствующие работы	%	10	1,8	-	-	1,8
Итого				19,8	-		
2.1	1-9	м^2	10	7,20	-	Камнетес 4 разр. – 1; Камнетес 3 разр. – 1	7,20
2.2	Неучтенные и сопутствующие работы	%	10	0,72	-	-	0,72
Итого				7,92	-		

№ п/п	Рабочие смены, часы																							
	1 смена								2 смена								3 смена							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1.1																								
1.2																								
2.1																								
2.2																								

Рис. 1. График производства работ

На рис 1. видно, что использование крупноформатных плит приводит к существенному увеличению скорости выполнения отделочных работ, а также уменьшению трудозатрат рабочих в связи с большой площадью поверхности.

Таким образом, по результатам исследования, можно сделать вывод, что применение керамогранитных плит крупного формата является не только качественным и долговечным материалом для укладки полов, но и позволяет сократить сроки выполнения работ и затраты труда рабочих, что является одним из важнейших преимуществ использования плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. Характеристика материалов для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 46.
2. Бондаренко А.С., Шпирко Т.С., Котляр В.Д. Эффективность применения керамогранитных плит в современном строительстве // В сборнике: Наука молодых – будущее России. сборник научных статей 3-й Международной НК перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах. 2018. С. 62-65.
3. Зубёхин А.П., Верченко А.В., Яценко Н.Д. Зависимость прочности керамогранита от фазового состава // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 30-33.
4. Галенко А.А., Верченко А.В. Совершенствование технологии производства керамических строительных материалов однократного обжига // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 4 (162). С. 88-91.
5. Левченко А.А. Керамическая плитка и керамогранит: физические свойства и методы испытания // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов Всероссийской НК молодых ученых. 2020. С. 147-148.

УДК 69.003.12

Т.А. Загумённых, И.С. Птухина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЦЕНАРНОГО МЕТОДА В СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ КВАРТАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ

Цель работы. Обосновать экономическую эффективность строительства социальных объектов на примере типового социального проекта для последующего использования.

Введение. В каждом городе из года в год ведется активное строительство различных зданий и сооружений. Санкт-Петербург не является исключением в списке таких городов. Существует множество вариантов строительства от точечной застройки до квартальной [1]. В данной момент все чаще застройщики выбирают квартальную и все реже уделяют внимание отдельно стоящим зданиям. Архитекторы стараются использовать каждый миллиметр пространства, которым они владеют, чтобы осуществить все свои идеи [2]. В этом случае они стараются обеспечить комфортные для жизни условия: с разнообразной социальной инфраструктурой, полезными общественными пространствами и большим объемом зеленых зон. Именно к таким проектам проявляют интерес петербургские покупатели.

Выгодным условием для застройщика и покупателя будет наличие объектов социальной инфраструктуры. Так как при наличии всех необходимых условий для жизнеобеспечения, покупатель остановит свой выбор именно на таких домах.

В таблице 1 приведен сводный анализ квартальной застройки [3].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки квартальной застройки

Критерии	Преимущества	Недостатки
Плотность застройки	Возведение зданий по периметру квартала	Проектируются узкие проезды на придворовой территории
Плотность населения	Первые этажи используются под общественные или коммерческие нужды	–
Функциональные возможности сооружений	Зависит от этажности зданий и процента застройки	
Парковка	Проектируется подземная парковка	Ограниченное количество парковочных мест около зданий жилого комплекса
Архитектурная композиция	Появляется разнообразие в архитектурных образах зданий и сооружений в районе	–
Использование дворового пространства	Возможность благоустройства внутренней среды в квартал, а также возведение социальных объектов	–

При грамотном осуществлении того или иного проекта возможно учитывать все необходимые нужды жителей квартала. По статистике последних нескольких лет в Санкт-Петербурге наблюдается нехватка государственных общеобразовательных школ. Таким образом застройщику было бы выгодно обратить внимание на строительство данных социальных объектов. Существует несколько вариантов решения текущего вопроса. Например, застройщик имеет право сам разработать проект общеобразовательной школы или осуществить строительство типовой школы на основе общей базы данных [4].

При строительстве типового здания застройщик может ориентироваться на все выполненные расчеты, таким образом аналоговым методом или при использовании параметрической оценки появляется возможность получить все необходимые данные и расчеты для проекта. Основываясь на уже имеющихся данных, застройщик может скорректировать свой проект, изменяя некоторые параметры.

В качестве примера ниже приведены сводные таблицы 2-5 по строительству и эксплуатации типового здания общеобразовательной школы с использованием сценарного метода. Используя программы, застройщик может дополнить таблицы своими данными и уже на первоначальном этапе понимать какие будут затраты и какой будет приток денежных средств от данного проекта.

Таблица 2 – Исходные данные

Ширина	Длина	Количество этажей	Средняя себестоимость 1 м^2 площади здания (тыс. руб.)
43	198	4	54,9

Таблица 3 – Показатели затрат на строительство школы

Площадь здания для продажи	Стоимость строительства по объектной смете, тыс. руб.	Стоимость проектно-изыскательских. работ (3% от стоимости строительства, тыс. руб.	Величина не инвестиционных затрат (2% от стоимости строительства, тыс. руб.	Прочие затраты 1,7 % от стоимости строительства, тыс. руб.	Сводный сметный расчет на строительство школы (без учета стоимости земли), тыс. руб.
		0,03	0,02	0,017	
31609	1 735 334,10	52 060,02	34 706,68	29 500,68	1 851 601,48

Таблица 4 – Сводные данные по интегральным показателям эффективности вариантов сценария проекта

Показатель эффективности проекта	Номер варианта	Значение показателя
ЧД	Оптимистичный	7041,00
	Реалистичный	6504,00
	Пессимистичный	6036,00
ЧДД	Оптимистичный	732,21
	Реалистичный	209,68
	Пессимистичный	-310,80
ИДД	Оптимистичный	1,43
	Реалистичный	1,12
	Пессимистичный	0,84
Срок окупаемости проекта с учетом дисконта	Оптимистичный	12,37
	Реалистичный	16,05
	Пессимистичный	Не окупается
Безрисковая норма дисконта для проекта (Е)	Оптимистичный	10,00%
	Реалистичный	12,00%
	Пессимистичный	15,00%
ВНД проекта	Оптимистичный	18,49%
	Реалистичный	16,70%
	Пессимистичный	15,16%
Среднее значение ЧДД		210,37
Вероятность сценария реализации проекта	Оптимистичный	0,30
	Реалистичный	0,60
	Пессимистичный	0,10
Вероятность наступления «катастрофы» за 1 шаг расчета	0,03	

Таблица 5 – Интегральная оценка эффективности проекта с учетом риска

Интервальный показатель λ оптимизма	0,30
Минимальный ЧДД проекта	-310,80
Максимальный ЧДД проекта	732,21
Интервальное ожидаемое значение эффекта проекта	2,11

Вывод. Каждому проекту необходимо детальное рассмотрение на всех этапах строительства [5]. Для того, чтобы ускорить процесс строительства и оценить результаты проекта, у застройщика появляется возможность воспользоваться базой данных для внедрения типовых социальных объектов. Таким образом, дополнив уже имеющиеся данные, застройщик получает готовый объект внутри собственного разрабатываемого жилого комплекса.

ЛИТЕРАТУРА
1. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
2. Павликова А. Приоритет – квартальной застройке / А. Павликова // Архитектура России. – 2013.
3. Волкова Л.А., Литвяк Т.В. Преимущества квартальной застройки в формировании комфортной жилой среды / Л.А. Волкова, Т.В. Литвяк // Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева – 2019
4. Башкатов В.С., Башкатов В.В. Укрупненные показатели базисной стоимости строительства по объектам аналогам / В.С. Башкатов, В.В. Башкатов // Санкт-Петербургский региональный центр по ценообразованию в строительстве
5. Бочаров А.Ю., Бовыкина К.В. Управление стоимостью проекта / А.Ю. Бочаров, К.В. Бовыкина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство – 2017

УДК 69.058.2

О.В. Захарова, С.С. Зимин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Последние годы во многих городах России строятся крупные многофункциональные и высотные здания и комплексы, что обусловлено укреплением строительной базы и более высокой эффективностью инвестиционных вложений в стране. Современные высотные здания представляют собой воплощение гениальных творческих идей и архитектурного таланта человека, высота которых достигают сотни метров. В связи с уникальностью сооружения с самого начала строительства ставится задача постоянного наблюдения за характеристиками строительных конструкций.

В современных условиях повышенных требований к надежности, долговечности, безопасности, а также к снижению вероятности возникновения и развития дефектов, приобретают актуальность исследования и разработки в области мониторинга структурной целостности и напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с целью своевременного обнаружения повреждений и принятия мер по их устранению.

Целью работы является запроектировать систему непрерывного мониторинга технического состояния, удовлетворяющей функциональным требованиям, нормативным документам и учитывающей конструктивные решения здания. Для достижения цели поставлены следующие задачи: выбор оптимальной структуры системы мониторинга, эффективных средств измерений и оборудования для наблюдения, обоснование преимуществ использования автоматизированной системы мониторинга.

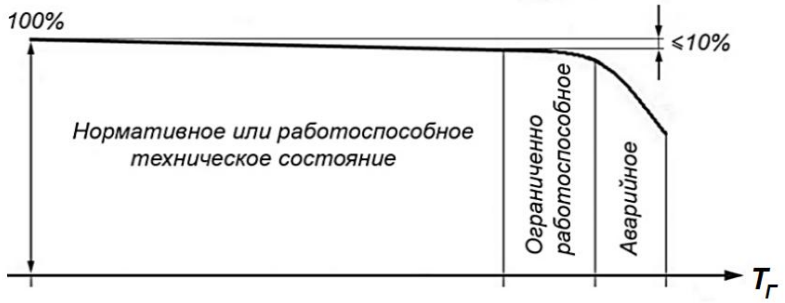


Рис. 1. Изменение обобщенной характеристики надежности за период эксплуатации

С течением времени эксплуатации несущие и ограждающие конструкции изнашиваются, стареют. Рано или поздно такие изменение приводят к переходу строительных конструкций эксплуатируемого объекта в ограниченную работоспособное или аварийное состояние.

Состояние строительных конструкций находится в прямой зависимости от сроков службы, наличия дефектов и повреждений, допущенных при проектировании, строительстве и эксплуатации здания.

Обобщённую зависимость изменения технических характеристик элементов здания можно представить в виде графика (рис. 1), где по оси абсцисс – время $T_Г$, год, а по оси ординат – обобщенная характеристика надежности здания или сооружения А. Начальный этап эксплуатации (приработка) не рассматривается.

Вместо обобщенной характеристики надежности можно рассмотреть конкретный характерный параметр, определяющий надежность и долговечность всего сооружения в целом. Это может быть частота основного тона колебаний, величина прогиба в середине пролета, величина крена, величина осадки основания фундамента и др. Для того чтобы своевременно обнаружить эти ошибки, принять необходимые меры и избежать серьезного ущерба, необходимо проводить регулярный мониторинг конструкций.

На уникальных зданиях и сооружениях автоматизированная система мониторинга устанавливается в обязательном порядке согласно п. 6.5.4 [1]. Для мониторинга высотных зданий используется методика, ориентированная на применение различных измерительных устройств – инклинометров [2], тензометров, акселерометров [3].

Проектируемый объектом является многоэтажный многофункциональный комплекс в г. Екатеринбург. Данный объект является высотным зданием (высота объекта +129,565). В Таблице 1 рассматривается оснащение данного объекта, состав измерительных систем и их характеристики.

Таблица 1 – Сводная таблица оборудования системы мониторинга

Показатель / Наименование	Инклинометр	Акселерометр	Струнный тензометр	Датчик давления	GNSS приёмник
Модель	Leica Nivel 220	Geosig AC72(73)	ПСАС, ПЛДС	Sisgeo L143	Novatel ProPak6
Назначение	Определяет угол наклона исследуемого объекта от вертикальной (горизонтальной) плоскости	Измеритель колебаний здания по высоте	Предназначен для измерения деформаций и напряжений	Применяется для измерения полного давления в основаниях	Мониторинг планово-высотных перемещений верхней точки здания в режиме реального времени
Место размещения	Размещаются на 1, 8, 16, 24, 32 этажах по контуру перекрытий, ядре жесткости [4]	Размещать на тех же отметках, что инклинометры	Размещать на наиболее нагруженных сечениях	Установка строго на грунт, под плитой, не допустив заливку их бетоном	Должна быть закреплена на наивысшей точке здания
Точность измерений	1 мм на 1000 м	±0,5%	±1 мм	< 0,3%	±1 см
Срок эксплуатации, лет	10	10	20	10	20
Цена за 1 шт., руб.	285 600	26 041,59	10 080	164 600	249 480
Предварительная стоимость, руб.	4 284 000	260 416	1 733 760	658 400	249 480

Оценка экономической эффективности практического применения результатов исследований показала, что затраты на устройство автоматизированной системы мониторинга технического состояния здания составляют 0,15% от общей стоимости строительства. Внедрённая система является комплексной системой мониторинга в гражданском строительстве, сравнимой по своим масштабам с системой мониторинга МФК «Лахта Центр», где общие затраты на систему не превысили 0,25% от общей стоимости возведения [5].

Выводы. Характерной особенностью современных городов является строительство уникальных по архитектуре сооружений. С целью обеспечения необходимого уровня безопасности, как на стадии возведения, так и в период эксплуатации здания, важную роль приобретают системы автоматизированного мониторинга за деформационным состоянием несущих конструкций здания. Опыт создания и эксплуатации автоматизированных систем контроля показал надежность этих систем.

Автоматизированная система мониторинга зданий при ее внедрении и использовании обеспечивает экономию финансовых средств на ремонтные работы объектов и гарантирует их безопасную эксплуатацию, эффективное управление, а также полную подотчетность благодаря постоянному контролю.

Компактность конструкции и удобство монтажа датчиков в сочетании с беспроводным интерфейсом позволяет оперативно и с малыми издержками получать корректную информацию о текущем состоянии несущих и ограждающих конструкций зданий, сооружений.

Таким образом, целесообразность внедрения СМИК обеспечивается оперативность получения достоверных данных о текущем состояние конструкций сооружения, исключением аварийных ситуаций, сокращением материальных затрат, высокой надежностью и точностью измерений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, – 2014. – 96 с.
2. Хиллер Бернд. Цифровые инклинометры в системах автоматизированного геодезического мониторинга деформаций// Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 6. – С. 23-30.
3. Рязанцев Г.Е., Назаров И.А., Седельникова И А. Современные автоматизированные системы контроля деформации большепролетных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – №7. – С. 50 – 51.
4. Плотников А.Н., Иванов М.Ю. Система мониторинга высотных зданий, определяемая из характера кривизны упругой линии вертикальных элементов // Строительство: наука и образование. 2019. №4.
5. Травуш В.И., Шахраманьян А.М., Колотовичев Ю.А., и др. «Лахта Центр»: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и основания. // Архитектура и строительство – 2018. – С. 94-108.

УДК 691.626

В.П. Золотарев, О.С. Гамаюнова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОФИСНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ SMART-СТЕКЛА

Текущая ситуация, сложившаяся в связи с распространением вируса COVID-19, показала, насколько хрупко равновесие и насколько быстро может измениться привычный уклад жизни. Сложная эпидемиологическая ситуация 2020 года не оставляет сомнений в необходимости рассмотрения возможных вариантов проектных и дизайнерских решений для уменьшения нагрузки на систему здравоохранения.

Работа в бизнес-центре подразумевает под собой эффективную работу каждого отдельного сотрудника в сложном механизме компании, но уже сейчас понятно, что принцип

совместной работы изменится навсегда. Завоевавший мир «Open Space» теперь ставит под угрозу не только здоровье сотрудников, но и экономическую стабильность всей компании. Как за границей, так и в нашей стране, всё больше набирают популярность офисные перегородки из smart-стекла. Смарт-стекло – композит из слоев стекла и различных химических материалов, изменяющий свои оптические свойства (опалесценция (матовость), коэффициент светопропускания, коэффициент поглощения тепла и т. д.) при изменении внешних условий, например, освещённости, температуры или при подаче электрического напряжения.



Рис. 1. Использование smart-стекла в конференц-зале

Smart-стекло чаще всего используют для зонирования в жилых домах, офисах, банках, конференц-залах и переговорных [1-4]. Перегородки из смарт-стекла помогают не только уменьшить риски заражения различными вирусами и инфекциями, но также понизить уровень постороннего шума, который отрицательно сказывается на психологическом состоянии работников.

Преимущества перегородок из смарт-стекла [5]: технология (матовая поверхность в выключенном состоянии и абсолютно прозрачная при подключении умного стекла к сети), высокая прочность (умное стекло практически невозможно разбить), травмобезопасность (при разрушении стекло-триплекс не образует острых осколков), защита от излучения (смарт-стекла не пропускают в квартиру опасное ультрафиолетовое и инфракрасное излучение), приватность (в любой момент можно сделать перегородку непроницаемой для посторонних глаз), звукоизоляция (смарт-перегородка эффективно гасит шум и препятствует прослушиванию), любые размеры, низкое энергопотребление (при подключении к сети 100 умных перегородок потребляют столько же электроэнергии, как две 70-ватные лампочки), затемняющие свойства (шторы и жалюзи больше не нужны), простота ухода, долговечность (срок службы смарт-стекла – около 20 лет) и др.

Несмотря на многочисленные достоинства умных стекол, у них есть один существенный недостаток – их очень высокая стоимость [6]. На итоговую стоимость готовой конструкции влияет целый ряд факторов [5, 7]: предполагаемое применение и особенности эксплуатации, конструктивные особенности и габаритные размеры, применяемая технология и тип стекла, особенности дизайна, система управления и другие факторы.

Перед тем, как принять решение об использовании перегородок из smart-стекла, необходимо оценить эффективность их применения. Оценку эффективности будем производить по нескольким критериям: стоимость; обеспечение конфиденциальности помещения; статусность использования конструкции; ударопрочность; безопасность.

С помощью теоретических и эмпирических методов исследования проведём анализ затрат на покупку и установку перегородок из smart-стекла и перегородок из обычного стекла на примере 30-этажного бизнес-центра. Расчеты будут производиться для типового этажа бизнес-центра, на котором имеются два помещения (переговорная и кабинет руководителя), в которых имеет смысл использовать перегородки из смарт-стекла. Площадь остекления – 100 м^2, количество дверей – 2.

На основании данных из открытых источников рассчитаем стоимость перегородок из smart-стекла. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет стоимости перегородок из smart-стекла

Наименование устройства	Стоимость, руб.	Кол-во на этаж	Общая стоимость, тыс. руб.
Перегородка из smart-стекла, м^2	30000	100	3000
Дверь из smart-стекла, шт.	33000	2	66

Монтаж и пусконаладка системы включены в стоимость изделий. Один м^2 smart-стекла потребляет в среднем 4 Вт электроэнергии в час. Тогда ежемесячное потребление электричества составит: 100·4·24·30 = 288 кВт·ч. Цена за 1 кВт·ч в Санкт-Петербурге по одноставочному тарифу на 2021 г. составляет 4,82 руб. Тогда ежемесячный платёж за электроэнергию, необходимую для работы smart-перегородок, составит: 288·4,82 = 1388,16 руб. Итоговая цена за внедрение и эксплуатацию перегородок с использованием технологии смарт-стекла составит, соответственно, 3066 тыс. руб. и 1390 руб./мес.

Теперь подсчитаем затраты для такого же случая, только основным используемым материалом выступит обычное стекло (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет стоимости перегородок из обычного стекла

Наименование устройства	Стоимость, руб.	Кол-во на этаж	Общая стоимость, тыс. руб.
Стекло закаленное (10 мм), м^2	5000	100	500
Стеклянная межкомнатная дверь Triplex White, шт.	15000	2	30
Точечное крепление для стеклянных ограждений (GA-600/Pss.), шт	1875	50	93,75

Затраты на доставку и установку перегородок из обычного стекла составляет примерно 25% от стоимости материалов: (500+30+93,75)·0,25 = 155,94 тыс. руб., соответственно, общая стоимость внедрения стеклянных перегородок площадью 100 м^2 и двух стеклянных дверей составит: 500+30+93,75+155,94 = 779,69 тыс. руб.

Получаем, что использование перегородок из smart-стекла будет в 4 раза дороже, чем аналогичные конструкции из обычного стекла. Высокая цена на технологию умного стекла обусловлена не только сложностью, но и новизной. В России данный вид стекла появился чуть больше 10 лет назад и рынок все еще находится в стадии формирования [8]. Если посмотреть на американский рынок по продаже «умного» стекла (данная технология появилась в США раньше, чем в России), можно увидеть среднюю цену за м^2 в 110-150$ (8300-11300 руб.). Это позволяет нам рассчитывать на снижение цен на данную технологию на отечественном рынке в ближайшие годы, что сделает использование smart-стекла выгодным.

Современная действительность такова, что в вопросах организации пространства для сотрудников офисов чрезвычайно важен комфорт в сочетании с простотой их взаимодействия с офисным оборудованием и даже с предметами и элементами его дизайна. От этого, как ни удивительно, зависит эффективность работы, как отдельных офисных сотрудников, так и всего офиса. В современном бизнесе важны любые детали и мелочи, потому что они так или иначе влияют на скорость принятия решений, а значит и на время реакции по поводу того или иного события в бизнесе. Наука, которая, как известно, является инициатором, а бизнес движущей силой инноваций доказывает, что организация рабочего пространства рабочих улучшает условия для их труда, а также его производительность [8].

Выводы. По результатам оценки эффективности применения умного стекла можно сделать вывод о том, что устройство перегородок из smart-стекла является очень дорогостоящим, однако, можно частично вернуть затраченные деньги за счёт повышения арендной платы за помещения, в которых используется данная технология. Рекомендуется использовать перегородки из smart-стекла в комнатах для переговоров, а также кабинетах директоров и топ-менеджеров компаний, т.е. в таких помещениях чаще всего обсуждается инсайдерская и корпоративная информация, которая касается только тех людей, которые находятся внутри помещения. Умное стекло даст возможность сохранить конфиденциальность, при этом оставляя возможность гармоничного и современного дизайна.

Если же говорить о перспективах использования smart-стекла, то по оценкам Министерства энергетики США, его применение способно сократить потребление электроэнергии почти на 40% [9, 10]. Поэтому инвестиции в развитие smart-стекла ежегодно достигают сотни миллионов долларов, а его мировой рынок оценивается в десятки миллиардов. Бурное развитие рынка smart-стекла идет синхронно с ростом спроса на энергосберегающие продукты и экологичные решения. Поэтому не исключено, что уже в ближайшем будущем окна и элементы интерьера из smart-стекла из эксклюзивного предложения для богатых людей и респектабельных компаний превратятся в продукт, доступный простым гражданам по всему миру.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Саяпина Д.Г., Коробий Е.Б. «Умное» стекло в современном доме // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ – 2013. Том 2 – С.145-151
2. Торшилов Р.А., Гамаюнова О.С. Smart-остекление в гражданском строительстве // AlfaBuild. 2020. № 1 (13). С. 13-20.
3. Бащенко Н.Н., Гамаюнова О.С. Выбор оптимального вида перегородок для снижения уровня шума в офисном здании // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 7. С. 8-13.
4. Vatin N., Gamayunova O. Choosing the right type of windows to improve energy efficiency of buildings // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 633-634. С. 972-976.
5. Межкомнатные перегородки из смарт-стекла [электронный ресурс]. URL: https://www.privateglass.ru/products/peregorodka (дата обращения: 28.03.2021)
6. Дворяшина М.С., Пашкова Л.А. Смарт-стекла в интерьере и архитектуре // Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки – 2018. С.214-217
7. Из чего складывается цена на офисные перегородки [электронный ресурс]. URL: https://www.glasstroy.ru. (дата обращения: 25.03.2021)
8. Сычева Ю.С. Динамическое стекло как инжиниринговое решение для офисов и торговых центров // Синергия наук – 2018. – №23. – С.1246-1257
9. Gamayunova O., Gumerova E., Miloradova N. Smart glass as the method of improving the energy efficiency of high-rise buildings // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018. С. 02046.
10. Smart glass. Стекло с изменяющимися свойствами [электронный ресурс]. URL: https://proteh.org/articles/22122019-smart-glass (дата обращения: 28.03.2021)

УДК 697.12

А.А. Каримова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В связи с проведением энергоэффективной политики государством, использованием энергосберегающих технологий в производстве, для вновь создаваемых зданий и сооружений удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с каждым годом должна уменьшаться. Уменьшению данной характеристики и удельной теплозащитной характеристики здания способствует доработка теплозащитной оболочки здания. Однако экономический эффект от устройства энергоэффективных ограждающих конструкций может быть отрицательным. Таким образом, необходимо установить оптимальное соотношение между капитальными и эксплуатационным затратами. Оценка проводится как денежных, так и энергетических ресурсов для достижение максимального экономического эффекта.

Цель работы – выявление взаимосвязи показателей энергетической и экономической эффективности зданий и ограждающих конструкций для дальнейшей разработки математической модели обоснования уровня тепловой защиты зданий.

Одним из эффективных способов снижения энергопотребления в существующих зданиях является реализация комплекса энергосберегающих мероприятий. Это может быть достигнуто за счет теплоизоляции ограждающей конструкции, повышения целостности строительных конструкций, внедрения эффективного инженерного оборудования, использования вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии [1]. Энергосберегающие мероприятия обычно приводят к снижению энергопотребления в зданиях и, как следствие, к снижению эксплуатационных расходов, например, на отопление.

В частности, 50% зданий общего назначения общее потребление энергии рассеивается через его оболочку [2-3]. Таким образом, повышение энергоэффективности ограждающих конструкций здания является приоритетным методом повышения энергоэффективности и снижения спроса на энергию для строительного сектора [4].

В рамках исследования рассчитывалась удельная теплозащитная характеристика здания $k_{об}$. Наибольшие тепловые потери здания в данном случае приходятся на окна, стены, слабо утепленное перекрытие над подвалом. Процентное соотношение тепловых потерь через ограждающие конструкции представлено на рис. 1. При данных ограждающих конструкций удельная теплозащитная характеристика здания больше нормируемой величины. После доработки теплозащитной оболочки здания посредством замены окон на окна с более высоким сопротивлением теплопередачи и утепления перекрытия над подвалом оболочка удовлетворяет нормативным требованиям. Доля тепловых потерь, приходящих на ограждающие конструкции изменяется рис. 2.

Существенное увеличение сопротивления теплопередаче конструкции может привести к значительному росту себестоимости устройства ограждающей конструкции. Значит, что утепление конструкции снизит расходы энергетических и денежных ресурсов на отопление здания, но с учетом капитальных затрат, весь проект может оказаться неэффективным [5].

Для оценки экономической эффективности применяется метод чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} \frac{\Delta Э_t}{(1+r)^T} - K,$$

где $\Delta Э_t$ – величина годовой экономии денежных средств на эксплуатационные затраты, рассчитываемая по формуле:

$$\Delta Э_t = \Delta Q C_t l_t,$$

где ΔQ – расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период; C_t – стоимость тепловой энергии; l_t – коэффициент, учитывающий будущее удорожание тепловой энергии; K – капитальные затраты на устройство ограждающих конструкций, рассчитываемые по формуле:

$$K = A_{ок}\sum_{i=1}^{I} C_i^{ок} + A_{ст}\sum_{j=1}^{J} C_j^{ст} + A_{пер}\sum_{k=1}^{K} C_i^{пер} + A_{кр}\sum_{l=1}^{L} C_l^{кр},$$

где A и C соответственно площадь и стоимость ограждающих конструкций; r – ставка дисконтирования; T – расчетный период.

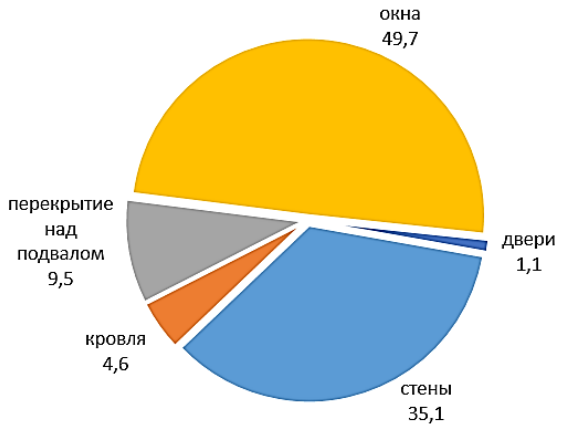


Рис. 1. Тепловые потери до доработки теплозащитной оболочки здания

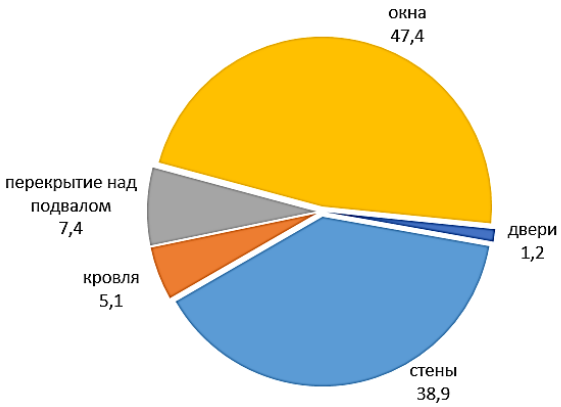


Рис. 2. Тепловые потери до доработки теплозащитной оболочки здания

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период непосредственно зависит от удельной теплозащитной характеристики здания [6]

$$\Delta Q = 0{,}024 ГСОП V_{от}(k_{об} + k_{вент}).$$

Таким образом, в связи с нелинейностью зависимости между экономическими и теплотехническими показателями ограждающих конструкций зданий для решения задачи энергоэффективности применяется метод динамического моделирования. Такой метод решения задачи энергоэффективности позволяет оценить энергетическую и экономическую эффективности проектных решений для оптимизации результатов и внедрения их в технико-экономическое обоснование и предпроектную стадию проектирования объектов капитального строительства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Викторова, О.Л. Способы повышения теплозащитных характеристик перекрытий над подвалами. 2016. Pp. 32–36.
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. Pp. 327–335. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.12.077.
3. Лысев В.И., Шилин А.С. Анализ требований Свода Правил теплозащитной оболочке здания. Refrigeration and Air Conditioning. 2016. Pp. 15–22. DOI:10.17586/2310-1148-2017-10-1-15-22.

4. Zemitis J., Terekh M. Management of energy efficient measures by buildings' thermorenovation. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) electronic edition. Сер. "MATEC Web of Conferences" 2018. С. 06003.
5. Terekh M., Tretyakova D., Morozova N., Zemītis J. (2020) Cost and Energy Assessment of Buildings Thermal Protection Level. Proceedings of EECE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 70. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_17
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

УДК 69.001.5

Д.А. Кирсанов, Л.А. Доронина, Л.В. Талипова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Цель работы – подбор солнечных панелей, применимые для высотного здания в городе Санкт-Петербург.

Для достижения поставленной цели был рассмотрен физический принцип преобразования солнечного света в электричество с помощью солнечных батарей [1]. Структура фотоэлектрического модуля, представленная на рис. 1.

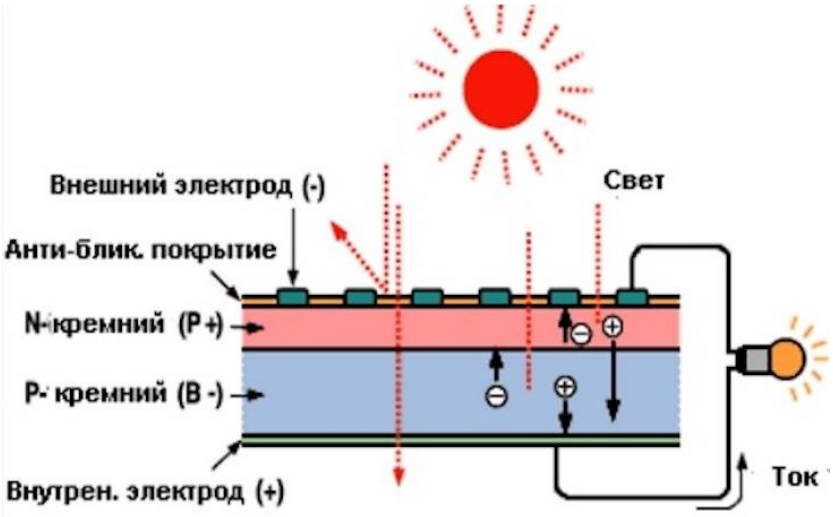


Рис. 1. Структура фотоэлектрического модуля

На первом этапе теоретических исследований было определенно, что эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств
ФЭП, среди которых, наиболее важную роль, играет фотопроводимость [2].

На втором этапе теоретического исследования было выявлено возникновение основных потерь энергии в ФЭП, связанных с:

1) отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя;
2) прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём;
3) рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов;
4) рекомбинацией образовавшихся фото-пар на поверхностях и в объёме ФЭП;
5) внутренним сопротивлением преобразователя;
6) и некоторыми другими физическими процессами.

А также рассмотрены разработанные и успешно применяемые мероприятия для уменьшения всех видов потерь энергии ФЭП. К их числу относятся:

- излучения шириной запрещённой зоны;
- направленное использование полупроводников с оптимальной для солнечного улучшение свойств полупроводниковой структуры путём её оптимального легирования и создания встроенных электрических полей;
- переход от гомогенных к гетерогенным и варизонным полупроводниковым структурам;
- оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания p-n перехода, толщины базового слоя, частоты контактной сетки и др.);
- применение многофункциональных оптических покрытий, обеспечивающих просветление, терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;
- разработка ФЭП, прозрачных в длинноволновой области солнечного спектра за краем основной полосы поглощения;
- создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещённой зоны, полупроводников. Они позволяют преобразовывать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад, и пр. [2].

Третьим этапом были подобраны наиболее благоприятные ФЭП, применяемые для высотного здания:

1. Акриловые панели Prosolve370e со встроенными фотоэлектрическими элементами (рис. 2), которые помимо добычи энергии способствуют эффективному снижению загрязнения воздуха при установке рядом с проезжей частью или на фасадах зданий [3].

2. Динамический солнечный фасад от научно-исследовательского содружества – Case (рис. 3). Каждый концентратор модулей усиливает световой поток почти в 500 раз и фокусирует его на солнечной батарее, сделанной из арсенида галлия. Концентраторы также обеспечивают доступ света в здание, отражают тепло и блики, снижают потребность в искусственном освещении в течение дня. Теплоотводы, размещённые сзади солнечных батарей, поглощают тепло и используются для нагрева воды [4].



Рис. 2. Панели Prosolve370e



Рис. 3. Динамический солнечный фасад



Рис. 4. Солнечная батарея SilaSolar 400 Вт Perc

3. Монокристаллическая солнечная батарея SilaSolar 400 Вт Perc с увеличенным КПД солнечных ячеек, для использования в составе солнечной электростанции для автономного или резервного электроснабжения (рис. 4) [5].

Четвёртым этапом был произведён примерный расчёт затрат на приобретение солнечных панелей:

1. Акриловые панели Prosolve370e:

Площадь западного и восточного фасада (S_1) равняется 4346,56 м^2.

Стоимость 1 м^2 – 20 600 руб.

Итоговая сумма – 89 539 136 руб.

2. Динамический солнечный фасад от научно-исследовательского содружества – Case:

Площадь северного и южного фасада (S_2) равняется 5907,16 м^2.

Стоимость 1 м^2 – 19 500 руб.

Итоговая сумма – 115 189 620 руб.

3. Монокристаллическая солнечная батарея SilaSolar 400 Вт Perc:

Площадь эксплуатируемого участка кровли (S_3) равняется 518,400 м^2.

Стоимость 1 шт. солнечной батареи 1,979×1,002 м – 13 500 руб.

Итоговая сумма 260 шт. (n3) солнечных батарей – 3 510 000 руб.

Таким образом, для проектируемого бизнес-центра высотой 120,8 м с энергетическо-сценическим фасадом принята железобетонная конструкция для оболочки здания. Часть внешней конструкции с западной и восточной сторон, представляет собой акриловые панели со встроенными фотоэлектрическими элементами для вырабатывания энергии [3]. С южной и северной стороны приняты модули фасада здания, обрамленные кабельно-сетевой структурой с теневым слоем фасада [4]. На плоской кровле расположена монокристаллическая солнечная батарея SilaSolar 400 Вт Perc [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Куприянов. В.Н., Вендина Д.А. Использование солнечной энергетики при проектировании формы зданий// Вестник волжского регионального отделения российской академии архитектуры и строительных наук, 2016 год, С. 138-148.

2. Аронова Е.С., Охоткин Г.П., Теруков Е.И., Шварц М.З. Особенности работы тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния в составе электростанции на широте г. Чебоксары // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. С. 222-224.

3. http://www.prosolve370e.com/

4. Илларионова Л.А., Панченко В.А. Модульный высокоинтегрированный солнечный фасад здания// Студент-инновации России, 2019 год, С. 36-38.

5. https://spb.solar-e.ru/

УДК 69.003

Т.А. Кирсанова

Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ УЧЁТНОЙ ПОЛИТИКИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Введение. Движение экономики вперед с целью развития требует от микроэкономических сфер цифровизации и роботизации. Эти изменения глобально коснулись и сферы строительства. Данные метаморфозные изменения требуют от бухгалтерского учёта анализа и решения выявленных вопросов.

С недавних пор, учёные заговорили о таком понятии, как «человеческий капитал». Данный вопрос рассматривали Снитко Л.Т., Бородин М.А., Бенгина П.М., Кончакова Л.Н., Чугунова С.В., Устинова К.А., Кочина С.К. и др. В литературе пока нет чёткого определения данного понятия. Учёные не могут прийти к единому мнению о способах его финансовой

оценки. Невзирая на существующие подходы к отражению человеческого капитала, четкой схемы на данный момент не существует. Все дело в том, что в России данные исследования практически не осуществлялись, что влечёт обращение к зарубежному опыту, не учитывая специфику отечественных предприятий. «Зарождение и формирование концепции человеческого капитала в ее современном понимании стало возможным благодаря публикациям американского экономиста, представителя «чикагской школы», лауреата Нобелевской премии 1979 г. Т. Шульца. Именно он считается «первооткрывателем» данной концепции, которая была официально обнародована в 1960 году» [1].

Целью исследования является разработка и предложение теоретического метода для отражения человеческого капитала в бухгалтерском учёте для обеспечения максимальной финансовой эффективности хозяйствующего субъекта.

Для достижения поставленной цели были использованы такие научные методы, как обобщение, анализ и сравнение. Исследование проводилось на основании изучения мнений различных авторов, специализирующихся на учёте человеческого капитала, его настоящей стоимости и отражение в бухгалтерии.

На предприятии персонал компании считается частью кадрового учёта, но не бухгалтерского. Тенденцией развития является информация о резервах, ресурсах и активах компании, контролировать которые полностью практически невозможно. Также нереально их оценить с финансовой точки зрения, но их использование приведёт к экономической выгоде. В то время как имущество представляется в виде нематериальных активов, интеллектуальная собственность не учитывается вовсе.

Главным направлением в развитии экономики является переход к цифровым технологиям, где информация является основным ресурсом. Бухгалтерский учёт должен реагировать на эти изменения должным образом. Особенно уязвима проблема разработки новых методов учёта и процессов расчёта. Решение проблемы заключается в анализе прошлых действий и планировании будущих.

Одной из самых важных систем бухгалтерии является информация, состоящая из двух подсистем – финансового и управленческого учёта. Прослеживается перестройка с контрольной функции на информативную, основанную на организации точек цифровой трансформации предприятия. Вопросы отражения человеческого капитала в цифровой экономике – это управление человечеством и гуманизацией человеческих отношений в международном масштабе.

Сфера строительства является одной из самых быстроразвивающихся отраслей. Человеческий капитал играет ведущую роль в эффективном функционировании работы внутри компании.

Согласно определению человеческого капитала [2], можно выделить следующие составляющие: квалификация работников в зависимости от образования, опыт работы, умение достигать целей, потенциал к созданию новых идей, способность карьерного роста, личностная мотивация сотрудников, а также новаторство в собственной деятельности. Следовательно, инвестиции в человеческий капитал, выделенные компанией, помогут двигать фирму на новый уровень и достигать более высоких целей, чем этому могло бы поспособствовать вложение в нематериальные активы.

«Формирование человеческого капитала – процесс развития производительных способностей человека с помощью инвестиций в его деятельность. Поэтому инвестициями в человеческий капитал являются любые вложения в человека, которые влияют на рост его доходов и производительность труда» [3].

С точки зрения учёта, самое большое количество вопросов вызывает отражение рассматриваемого капитала в бухгалтерии, так как именно он является самым конкурентноспособным фактором в производительности.

Человеческий капитал – это оценка совокупных признаков, сочетающихся в индивидууме, направленных на достижение собственных и командных целей для извлечения прибыли в виде денежного эквивалента либо иных инвестиций.

«Чем выше квалификация работников, тем более устойчивое их положение на рынке труда, они имеют большую социальную защищённость, а это значит, что у них больше шансов самостоятельно и быстро трудоустроиться» [4].

Наряду с вышеизложенным, большие споры вызывает включение человеческого ресурса в учёт в виде активов. Для извлечения большей экономической выгоды стоит отразить ресурс на балансе предприятия в качестве актива компании. Также необходимо организовать слаженность и взаимодействие всех его элементов.

Для начала следует учесть стоимость инвестиций, вложенных компанией в повышение квалификации работника. Предлагается схема, основанная на учете стоимости за получение образования, приходящуюся на определенную дату. При работе с данными активами не целесообразно использовать обычные формулы, а лишь интегральные схемы для определения примерных значений. Причиной этому послужили следующие аспекты; многократное использование моделирующих систем со сложным решением в несколько математических соотношений, требует математических навыков более низкого уровня, а также существует бесконечное множество разнообразных моделей. Данные положения навели на необходимость создать и проанализировать общий бухгалтерский учёт, а также поделить на составляющие компоненты дополнительного, общего или профессионального образования. Тем самым рассчитывать человеческий капитал исходя из проработанного времени в компании, полученного опыта, коэффициента пользы (наличие жалоб, общее количество исполненных проектов), расходы на посещение семинаров и тренингов и разрядность работника.

«В деятельности предприятий и организаций сложились две основные тенденции использования объектов информационно-интеллектуального капитала: во-первых, продажа компонентов собственного информационно-интеллектуального капитала сторонним организациям, получая за это доход; во-вторых, применение данного капитала в своей производственной, финансово-хозяйственной, сбытовой деятельности предприятия» [5].

В настоящее время инвестиции, вложенные в повышение образования работника, относятся к расходам периода.

Учитывая всю специфику строительства, и, главным образом, текучесть кадров, совокупную сумму человеческого капитала следует отражать на забалансовом счете, но не капитализировать её. При этом обязательно вести отдельную управленческую форму «Отражение человеческого капитала». Допускается относить к нематериальным активам сумму человеческого капитала, сложившуюся у сотрудников аппарата управления. Ввиду трудоёмкости данного процесса становится понятно, что компании неудобно принимать к учёту человеческий капитал в виде нематериальных активов, но данный аспект обеспечивает предприятию выгоду. Важно отметить, что рассматриваемый капитал является частью гуд-вилла, а значит, нам становится проще прослеживать его взаимосвязь зависимости и относительности.

Все вышеизложенное приводит к выводу о том, что принятый к учёту человеческий капитал и отражённый в виде нематериального актива, а также капитализация могут положительно влиять на прибыль и деятельность предприятия в целом. В области строительства данный аспект является особенно важным, так как потенциальные заказчики опираются на предыдущий опыт фирмы, а также на отзывы бывших клиентов о том или ином сотруднике фирмы. Так как знания и опыт работников всегда разнятся, заказчик может быть заинтересован не только в той или иной фирме, но и в конкретном её сотруднике. Данное заключение и определяет всю значимость и ценность человеческого капитала, его положение в бухгалтерском учёте, а также обозначены критерии и условия данного учёта в финансовом отражении.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Снитко Л.Т., Бородин М.А. Моделирование создания и использования человеческого капитала // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2021. – №1. – С. 147-155.
2. Бенгина П.М. Учет человеческого капитала на Российских предприятиях [Электронный ресурс] / П.М. Бенгина. – Режим доступа: http://forum-nauka.ru/domains_data/files/4/Bengina%20P/M//pdf
3. Кончакова Л.Н., Чугунова С.В. Человеческий капитал и инвестиции в человеческий капитал предприятия // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, Том 3. – 2017. – №13. – С. 48-50.
4. Устинова К.А. Человеческий капитал в инновационной экономике: монография / Е.С. Губанова, Г.В. Леонидова. – Вологда: Институт социально-экономического развития территории РАН, 2015. – 195 с.
5. Кочина С.К., Осыченко Е.В. Информационно-интеллектуальный капитал предприятия // Сборник конференций НИЦ Социосфера. – 2021. – №1. – С. 25-27.

УДК 692: 65.015.13

Е.С. Козак, А.Е. Радаев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ В СОСТАВЕ ОБЪЕКТА КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ

Современные условия развития строительной отрасли характеризуются повышением уровня конкуренции между строительными организациями и, как следствие, усложнением проектов строительства как с точки зрения реализуемых технологий и привлекаемых производственных ресурсов, так и с точки зрения объемно-планировочного решения соответствующих объектов строительства. Данное обстоятельство определяет актуальность решения проектными организациями задач зонирования на этапе формирования объемно-планировочных решений при проектировании объектов коммерческой недвижимости с целью повышения эффективности реализации рабочих процессов на этапе эксплуатации объектов соответствующими хозяйственными субъектами. Важно отметить, что результаты предварительного анализа научных разработок в области решения вышеуказанных задач свидетельствуют об отсутствии эффективных инструментальных средств, обеспечивающих приемлемую адекватность результатов в условиях ограниченности используемых трудовых ресурсов.

Достижение цели предполагает последовательное выполнение основных задач:

1. Обзор и анализ существующих научных разработок по тематике исследования.
2. Разработка оптимизационной модели кластеризации элементов объемно-планировочного решения в составе объекта коммерческой недвижимости.
3. Реализация разработанной модели на практическом примере.

Объектом исследования является объемно-планировочное решение в составе объекта коммерческой недвижимости – офисного здания, бизнес-центра и т.п.

Предметом исследования являются параметры кластеризации элементов вышеуказанного объемно-планировочного решения – характеристики закрепления помещений за отдельными хозяйствующими субъектами.

На начальном этапе исследования был произведен обзор и анализ научных работ в области обоснования характеристик объемно-планировочного решения в части закрепления его отдельных элементов за обособленно хозяйствующими субъектами. По результатам выполнения процедуры были сделаны следующие выводы:

– достаточно большое количество работ, в том числе [1-4], посвящено анализу требований нормативных документов для формирования комфортной (с точки зрения

требований по площади, воздухообмену, рабочему пространству) среды для сотрудников с целью повышения эффективности рабочих процессов; при этом отсутствует описание каких-либо конкретных инструментальных средств для обоснования характеристик соответствующих объемно-планировочных решений;

– отдельные работы [5-7] содержат описание инструментальных средств для обоснования характеристик процессов проектирования и возведения строительных объектов, являющихся обобщенным случаев объектов коммерческой недвижимости; тем не менее, указанные инструментальные средства не могут быть эффективно использованы для решения рассматриваемой задачи ввиду отсутствия ключевых факторов – в частности, необходимости определения взаимосвязей между элементами объемно-планировочного решения и обособленно-хозяйствующими субъектами – на этапе эксплуатации объекта.

Вышеуказанные обстоятельства определили целесообразность разработки оптимизационной модели кластеризации элементов объемно-планировочного решения в составе объекта коммерческой недвижимости в рамках следующего этапа исследования.

Модель базируется на следующих основных положениях:

– объектом рассмотрения является многоэтажное офисное здание с известными характеристиками объемно-планировочного решения в части состава помещений и их взаимного расположения с учетом переходных лестниц и лифтовых шахт, предназначенное для эксплуатации обособленно хозяйствующими субъектами – фирмами, арендующими производственные помещения, – для реализации соответствующих рабочих процессов.

– кластеризация элементов объемно-планировочного решения предполагает формирование кластеров – групп помещений, располагающихся на одном или нескольких этажах, каждая из которых закрепляется за определенным хозяйствующим субъектом;

– количественная оценка эффективности кластеризации предполагает вычисление для каждого отдельного кластера агрегированного показателя предпочтительности установления взаимосвязи, выполняемое по результатам представления объемно-планировочного решения в виде ориентированного графа, узлы которого отождествляются с помещениями, а дуги определяют взаимосвязи между помещениями с точки зрения перемещения персонала;

– формирование структуры каждого отдельного кластера с точки зрения состава помещений предполагает закрепление за кластером отдельных дуг соответствующего фрагмента графа; при этом агрегированный показатель предпочтительности установления взаимосвязей соответствует сумме соответствующих элементарных показателей, поставленных в соответствие вышеуказанным дугам;

– необходимо определить расположение и состав кластеров для обособленно хозяйствующих субъектов, при котором обеспечивается максимальное значение суммарного (по кластерам) агрегированного показателя предпочтительности установления взаимосвязей при условии, что потребности хозяйствующих субъектов в производственных площадях будут полностью удовлетворены.

Структура оптимизационной модели определяется следующими выражениями:

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J_i} c_{ij}x_{ij} \to \max; \quad (1)$$

$$y^0_{kr} \in \{0;1\},\ k=1,2,...,z;\ r=1,2,...,R; \quad (2)$$

$$y_{kr} \in \{0;1\},\ k=1,2,...,z;\ r=1,2,...,R; \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0;1\},\ i\in I;\ j\in J_i; \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{z} y^0_{kr} = 1,\ r=1,2,...,R; \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^{R} y_{kr} = 1,\ k=1,2,...,z; \quad (6)$$

$$y_{kr} \ge y^0_{kr},\ k=1,2,...,z;\ r=1,2,...,R; \quad (7)$$

$$y_{ir} - y_{jr} - 1 + x_{ij} \le 0,\ i\in I;\ j\in J_i;\ r=1,2,...,R; \quad (8)$$

$$\sum_{i\in I_k} x_{ik} = 1 - \sum_{r=1}^{R} y^0_{kr},\ k=1,2,...,z; \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{z} S_k y_{kr} \ge Q_r S_r,\ r=1,2,...,R, \quad (10)$$

где z – количество помещений в составе объемно-планировочного решения, ед.; R – количество хозяйствующих субъектов, ед. k – индекс помещения; $k = 1, 2, ..., z$; r – индекс хозяйствующего субъекта; $r = 1, 2, ..., R$; I – множество индексов помещений, из которых возможно установление взаимодействия связи с другими помещениями в рамках кластера; J_i – множество индексов помещений, с которыми возможно установление взаимосвязи из помещения i в рамках кластера; c_{ij} – характеристика предпочтительности установления взаимосвязи из помещения i в помещение j в рамках кластера (в наиболее общем случае обратно пропорциональна расстоянию, преодолеваемому единицей технологического оборудования или персонала при перемещении между помещениями); S_k – полезная площадь помещения k, м^2; Q_r – плановое суммарное количество единиц технологического оборудования или персонала в рамках хозяйствующего субъекта r, ед.; S_r – минимальная полезная площадь, необходимая для эффективной работы единицы технологического оборудования или персонала в рамках хозяйствующего субъекта r, м^2/ед.; y_{kr}^0 – бинарная неизвестная переменная – индикатор целесообразности назначения помещения k в качестве базы (источника установления взаимосвязей) кластера для хозяйствующего субъекта r (переменная равна 1 при целесообразности, в противном случае равна 0); y_{kr} – бинарная неизвестная переменная – индикатор целесообразности включения помещения k в состав кластера для хозяйствующего субъекта r (переменная равна 1 при целесообразности, в противном случае равна 0); x_{ij} – бинарная неизвестная переменная – индикатор целесообразности установления взаимосвязи из помещения i в помещение j при формировании кластеров (переменная равна 1 при целесообразности, в противном случае равна 0).

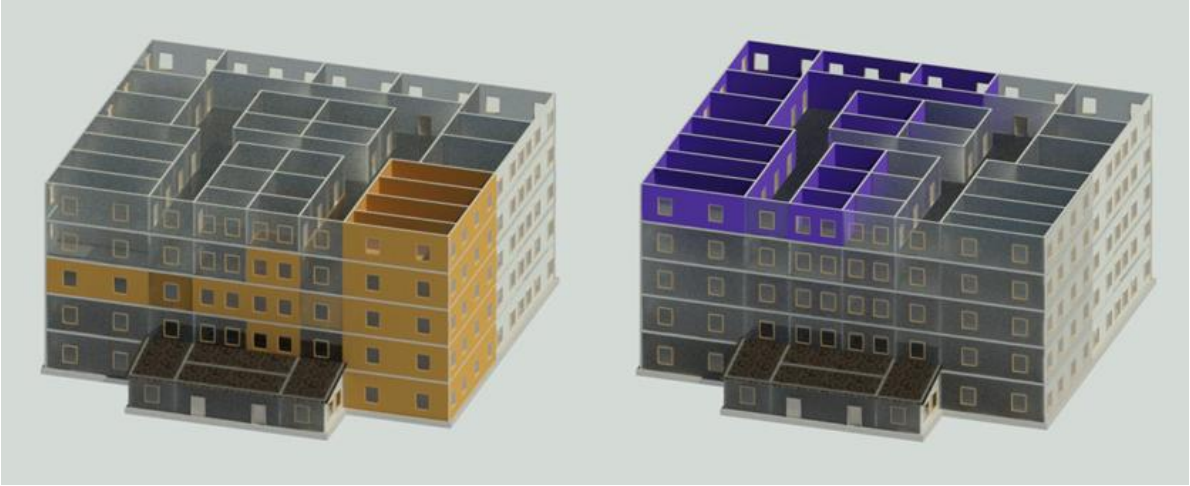


Рис. 1. Результаты реализации оптимизационной модели на практическом примере в части состава двух кластеров для наиболее крупных хозяйствующих субъектов

На заключительном этапе исследования была произведена реализация разработанной оптимизационной модели на практическом примере – решении задачи распределения производственных помещений в рамках пятиэтажного офисного здания по семи хозяйствующим субъектам. При выполнении расчетов использовалась надстройка «OpenSolver» для программы «Microsoft Excel». Полученные результаты (частично представленные на рис. 1) соответствуют вышеуказанным принципам кластеризации и потому свидетельствуют о высокой практической значимости разработанной модели.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Иевлева О.Т., Шеин В.В. Этапы формирования и современные тенденции проектирования и реконструкции промышленных зданий // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2(45). С. 163.
2. Ахмедова, Л.С. Город как средство коммуникации людей и формирования новой модели общества // Сборник научных трудов магистрантов, аспирантов и научных сотрудников Института архитектуры и дизайна СГАСУ. Самара: СГАСУ, 2008. С. 54-59.
3. Морозова, Е.Б. Эволюция промышленной архитектуры: монография. Минск: БНТУ, 2006. 240 с.
4. Матвеева О.А., Василенок В.Л. Реализация кластерного подхода в строительстве // Научный журнал НИУ ИТМО. Экономика и экологический менеджмент. 2014. №1. С. 249
5. Радаев А.Е., Кобзев В.В. Оптимизационная модель кластеризации транспортной распределительной сети промышленного предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. № 3(245). С. 245-257.
6. Daroga Ajahar, M., Nalawade, M.K. Mathematical modelling of structures using model order reduction technique. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. No. 8(10). Pp. 1700-1704.
7. Pedersen, C.R., Nielsen, L.R., Andersen, K.A. An algorithm for ranking assignments using reoptimization // Computers & Operations Research. 2008. No. 35(11). Pp. 3714-3726.

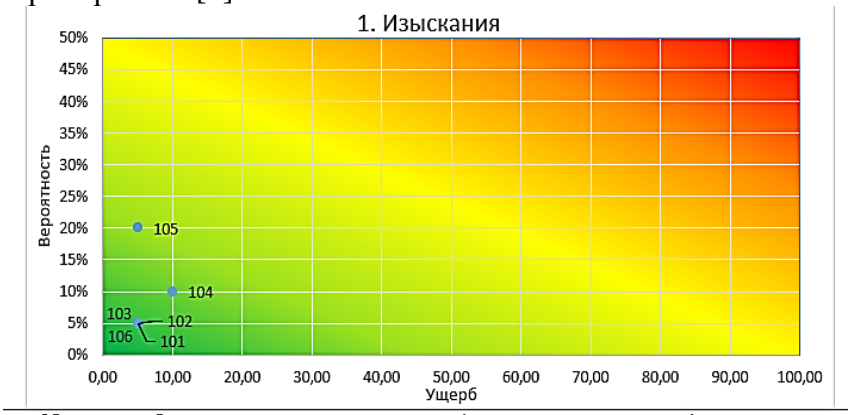
УДК 69.003.13

Е.Г. Киркина, И.С. Птухина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА РИСКОВ АДМИНИСТРАТИВНОГО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Уникальный характер строительного процесса создает сложность, неопределенность и изменяющиеся обстоятельства, которые должны быть учтены в рамках используемой системы планирования и контроля. Нерациональное использование времени может отрицательно сказаться на результатах проекта с точки зрения затрат и качества [1].

На каждом этапе проекта могут возникнуть ситуации, которые осложнят ход строительства. Появление таких ситуации необходимо стараться предупреждать заранее. Именно для этого перед каждым проектом должен проводиться расчёт рисков [2]. Риски – это вероятность возникновения обстоятельств, которые неблагоприятно скажутся на течение проекта. Большинство рисков являются управляемыми или прогнозируемыми, что означает, что мы можем заранее продумать возможное течение проекта и контролировать на каждом этапе свою категорию рисков [3].

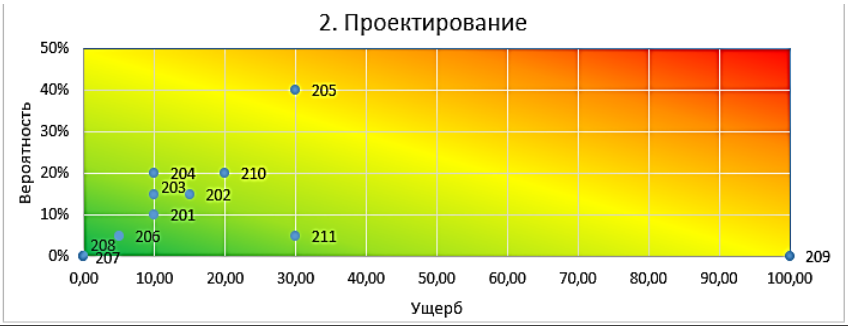


101- Общественное обсуждение даёт отрицательное заключение (население против строительства).
106- Технические условия на подключение требуют прокладки, переноса, строительства инженерных объектов.
107- Расчёт взносов за инфраструктуру городу значительно удорожает строительство.
109- Геологические изыскания делаются не по всей территории: не учитывается загрязнённость грунта, не выявляются слабые грунты.
110- Полнота, подробность и точность технического задания на проектирование.
111- Уточнение и корректировка задания на проектирование.

Рис. 1. Матрица рисков этапа изысканий

Сложность в управлении рисками заключается в том, что они могут произойти не в прошлом, не в настоящем, а только в будущем. К сожалению, предугадать заранее, что произойдёт в процессе строительства – нельзя, ведь каждый проект неповторим, и даже при строительстве типовых объектов – проблемы могут возникнуть на разных этапах и иметь уникальный характер [4]. Однако, использование общих подходов к управлению рисками проекта увеличивает вероятность успешного завершения проекта. Следовательно, необходимо систематизировать общие данные для формирования методики управления рисков [5].

Цель исследования – систематизировать и оценить риски с помощью матрицы рисков для административного здания высотой 115 м.



201- Согласование технического задания на конструкции здания: неправильно указаны конструкции – изменение проекта в процессе строительства.

202- Неверно определена численность трудовых ресурсов для выполнения задач

203- Ошибки в ПОС

204- Неправильная оценка стоимости и продолжительности работ по проектированию: завышение стоимости, занижение сроков.

205- Ошибки проектирования: корректировка, согласование, перепроектирование, несогласованность архитектурных чертежей и чертежей установки оборудования.

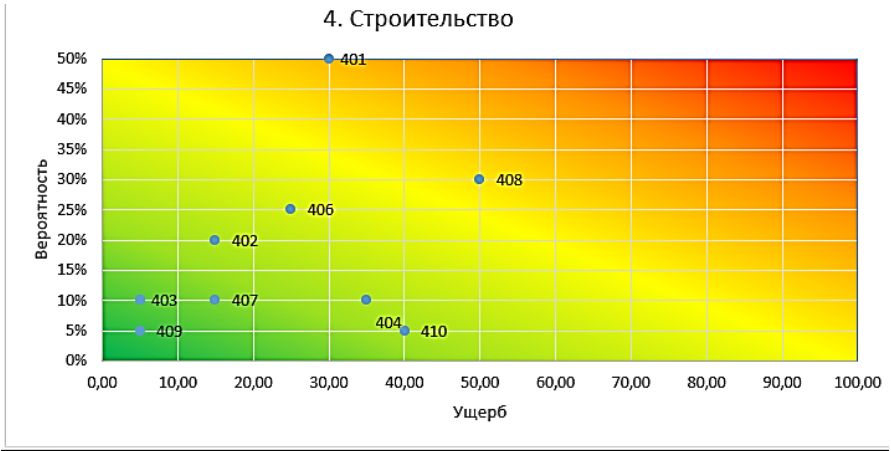
206- Выбор индивидуальных конструкций, изготовление которых значительно удорожает строительство.

209- Нарушение инсоляции других зданий в результате ошибок в расчётах инсоляции проектируемого здания или при разбивки геодезических осей (посадке здания).

210- Неполный учёт гидрогеологии приводит к дополнительным работам по осушению территории, котлована, устройству водоотводов.

211- Не учитываются последние изменения в нормативных изменениях: экспертиза приведёт к переработке проекта или его разделов.

Рис. 2. Матрица рисков этапа проектирования



401- Отрицательное заключение экспертизы

402- Задержки разработки документации.

403- Задержки с выбором подрядной организации

408- Ошибка расчета нагрузок инженерных сетей

409- Предписания ГАСН или пожарников: изменения в проекте, штрафы, приостановка строительства.

410- Перерывы в финансировании или финансирование не в полном объёме.

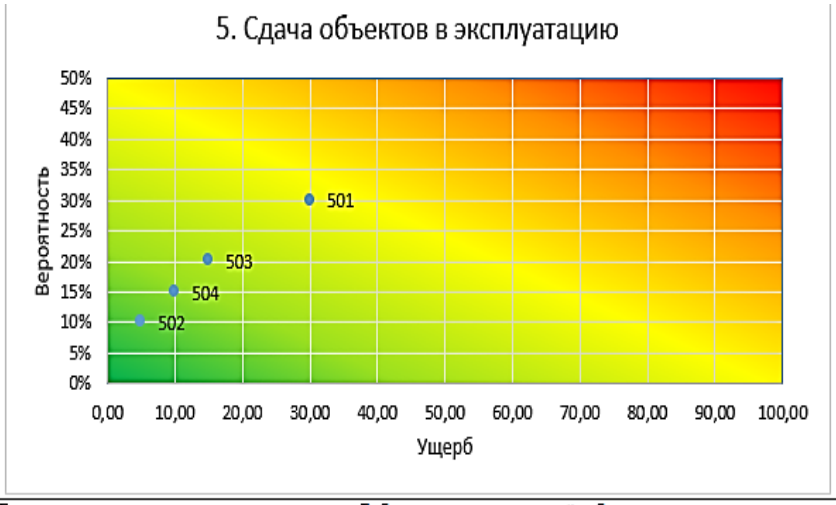
411- Корректировка ПОС'а, в связи с невозможностью его реализации в полном объёме.

412- Недостаток ресурсов у подрядчика, необходимых для выполнения работ в соответствии с графиком.

413- Сложность изготовления индивидуальных строительных конструкций.

414- Аварии, несчастные случаи, пожары, замена бракованных изделий.

Рис. 4. Матрица рисков этапа строительства



501- Большое количество недоделок подрядчиков. Рабочая комиссия признаёт объект неготовым.

502- Ведомства не заключают договора на эксплуатацию и на отпуск инженерного обеспечения, в связи с неготовностью инженерных элементов объекта.

503- Отсутствие квалифицированных специалистов подготовленных для эксплуатации.

504- Несогласованность графика строительства объекта с графиками строительства дороги к объекту и автомоблиной многоярусной парковкой, влияющих на его нормальную эксплуатацию.

Рис. 5. Матрица рисков этапа сдачи объектов в эксплуатацию

Для административного здания, высотой 115 м расчет рисков был разделён на 5 этапов строительства. Матрица окрашена в цвета, где чем краснее зона, в которой находится риск, тем более опасен риск и необходимо будет приложить больше усилий для его устранения.

Если точка не пересекает жёлтую диагональ – риск приемлем и не требует сложных или затратных мероприятий по его устранению.

По оси абсцисс откладывается величина ущерба, который будет нанесён при возникновении риска. По оси ординат – вероятность его возникновения в проекте.

На этапе изысканий не выявлено опасных рисков (все риски расположены до главной диагонали матрицы рисков (рис. 1) На матрице не отображены нулевые риски, такие как: наличие спорных договоров аренды, наличие у УСПХ на отводимой территории объектов, разработка временного регламента застройки квартала накладывает ограничения на проект, ограничения по охране памятников и территорий, ограничения пользования территорией и неточности топосъемки.

Не выявлено много опасных рисков и на этапе проектирования самый опасный риск – 205 ошибки проектирования (рис. 2). Для уменьшения данного риска необходимо использовать более точные и новые программы для проектирования, а также нанимать более опытных специалистов. На матрице не отображены нулевые риски, такие как: размеры здания не вписываются в выбранный участок и нехватка распечатанных чертежей. На этапе экспертиз самый значительный риск – 309 внесение изменений в проект по результатам экспертизы. На Рис.3 не показаны нулевые риски: не предусмотрено достаточное количество парковочных мест и выбранные конструкции не соответствуют пожарным нормам. На рис. 4 показана матрица рисков для этапа строительства, соответственно, самые опасные риски – 401 отрицательное заключение экспертизы и 408 – ошибка расчета нагрузок инженерных сетей. Для их предотвращения необходимо более внимательно подходить к замечаниям экспертизы, а также проводить расчет под руководством более квалифицированных специалистов. Нулевые риски на данном этапе – снос сооружений, вынос границ участка в натуру, пробная забивка свай, а также стеснённость условий строительства. На этапе сдачи объектов в эксплуатацию не выявлено опасных рисков (все риски расположены до главной диагонали матрицы рисков (рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА:
1. Al-Moumani, H.A. (2000) Construction Delays a Quantitative Analysis. International Journal of Project Management, 18, 51-59.
2. Olatunji Ayodeji Aiyetan. (2011) Influences on construction project delivery time: influencing factors of delays on project delivery. VDM Verlag Dr. Muller, 312.
3. Шприц М.Л. Математические оценки воздействия рисков и компенсационных мероприятий на организационно-технологическую надёжность строительства / М.Л. Шприц // Современное строительство и архитектура. – 2017. – №3(07). – С.45-51.
4. Assaf, S.A. and Al-hejji, S. (2006) Causes of Delay in Large Construction Projects. International Journal of Project Management, 24(7), 349-357.
5. Chan, A.P.C., Scott, D. and Chan, A.P.L. (2004) Factors Affecting the Success of a Construction Project. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE 130(1), 153-155.

УДК 69.001.5

А.Е. Лебедева, М.Д. Терех
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ РЕЦИКЛИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Экологическая обстановка в Российской Федерации сегодня достаточно сложная. Одним из наиболее пагубно влияющих на окружающую среду и человека факторов является неправильное обращение с отходами, большая часть которых продуцируется в крупнейших городах России, в частности, в Санкт-Петербурге. Не последнюю роль в данном экологическом кризисе играет строительный мусор. По оценкам аналитиков ФГИК «Размах», в Санкт-Петербурге и Ленинградской области ежегодно образуется около 3,2 млн т строительных отходов. Такая плачевная ситуация немыслима и требует современных решений, которые на данный момент вовсе не являются дорогостоящими или труднодоступными.

Одно из таких решений – использование материалов вторичной переработки (рециклинга). Достоинство применения вторсырья заключается в том, что исчезает необходимость как утилизации строительных отходов, так и излишней разработки природных ресурсов. Однако, несмотря на большое количество исследований, посвященных теме материалов вторичной переработки, их внедрение в строительное производство находится на очень низком уровне.

Целью данной работы является обоснование выбора строительных материалов из категории продуктов вторичной переработки, максимально подходящих для строительства монолитного железобетонного каркаса здания.

Одним из вариантов вовлечения материалов рециклинга в процесс создания несущих конструкций является внедрение стеклянной крошки, полученной путем переработки использованного стекла. Во-первых, данный материал обладает наименьшим диапазоном возможностей повторного использования, так как ему трудно вновь придать «товарный вид». Во-вторых, использование стекла положительно влияет на прочностные характеристики бетона, о чем говорят многочисленные исследования [1, 2].

Для подбора доли стеклянных гранул в составе бетона проанализируем зависимость прочности бетона на сжатие (МПа) от процентного содержания стекла (%) при водоцементном соотношений, равном 0,4. Графики зависимости получены экспериментально в [2] и изображены на рис. 1-2.

После сведения данных лабораторных исследований и их анализа можно сделать вывод, что введение стеклянных гранул в бетонную смесь в количестве 10% слегка замедляет процесс набора прочности на сжатие, однако к указанному стандартами сроку – 28 суток – бетон набирает необходимую марку В30 в обоих случаях (как на легком, так и на обычном

заполнителе). Таким образом, вне зависимости от вида заполнителя, использование гранул из переработанного стекла в количестве 10% возможно для бетона несущих конструкций класса не выше В30. Основное экономическое преимущество такого метода – сокращение количества цемента в составе, так как данный компонент является весьма дорогостоящим.

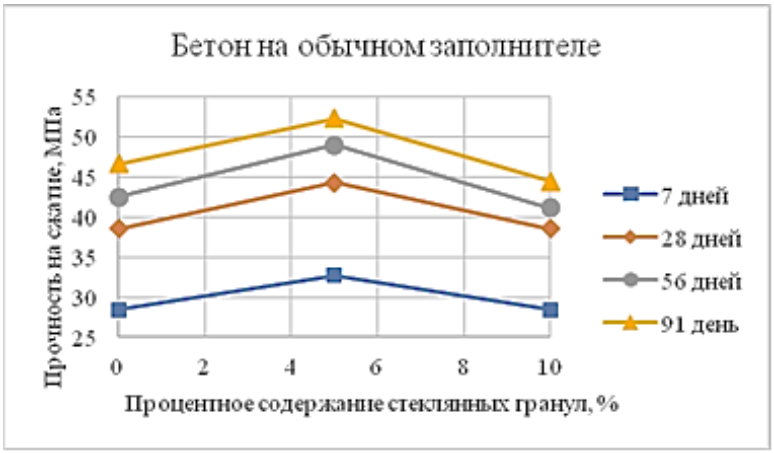


Рис. 1. График зависимости прочности на сжатие от процентного содержания стекла для бетона на обычном заполнителе

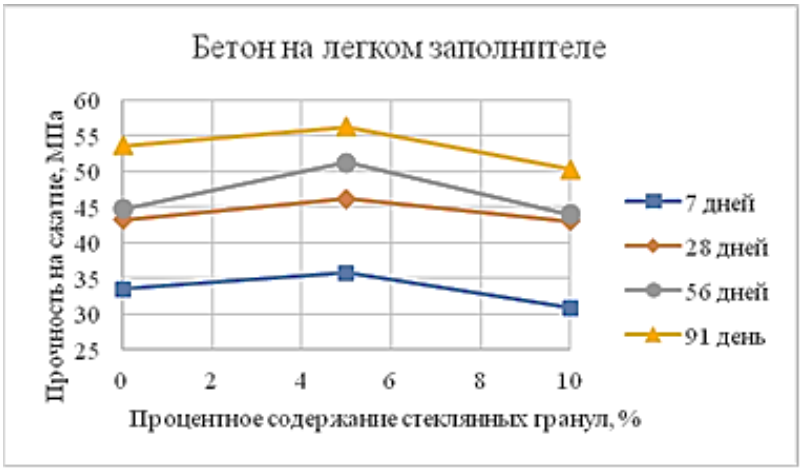


Рис. 2. График зависимости прочности на сжатие от процентного содержания стекла для бетона на легком заполнителе

Еще один способ применения материалов переработки при возведении железобетонных конструкций – вторичное использование бетонных отходов в качестве заполнителя, диапазон повторного использования которых так же невелик, как и у стекла. Возможно использование как бетонного лома, так и очищенного крупного заполнителя. Согласно [3], такой метод сокращает затраты на 30% по сравнению с использованием природного сырья, а в [4] говорится о том, что свойства бетонов, полученных из отходов бетонного лома, не уступают свойствам обычных тяжелых бетонов на природном щебне.

В [5] проведено экспериментальное исследование на предмет измерения прочностных характеристик бетонного камня с продуктами вторичного использования в составе. Испытуемые образцы различны по доле переработанного крупного заполнителя (50%, 70%, 100%), а также по доле добавления в крупный заполнитель бетонного лома (0%, 20%, 35%). Прочностные характеристики испытуемых образцов представлены на рис. 3.

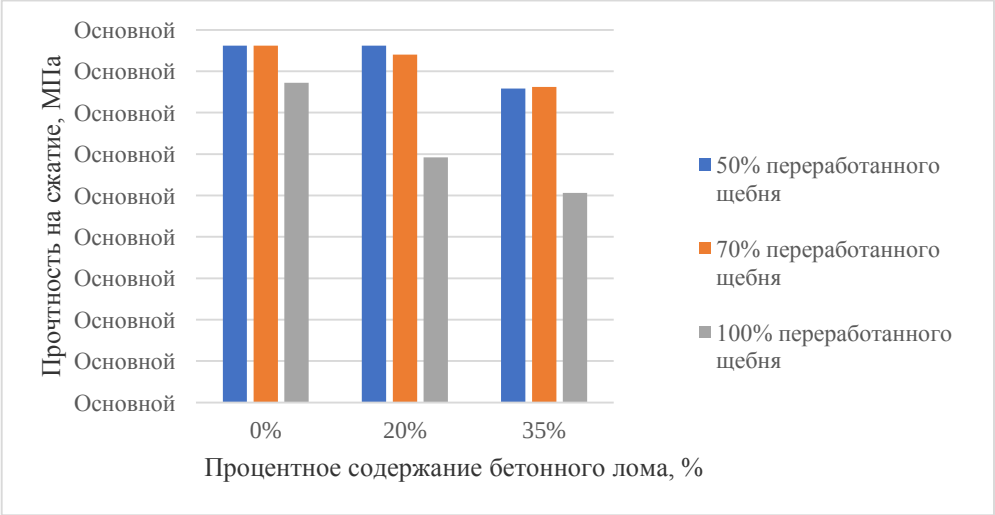


Рис. 3. Диаграмма зависимости прочности на сжатие от процентного содержания бетонного лома и переработанного щебня

Как видно по результатам испытания, добавление переработанного крупного заполнителя в количестве вплоть до 70% не сказывается отрицательно на прочности на сжатие. Добавление бетонного лома ухудшает прочностные характеристики: между частицами бетонного лома и крупного заполнителя возникают в большом количестве поры, пагубно влияющие на прочностные свойства бетона.

Оптимальным подходом, обеспечивающим максимальный расход продуктов переработки при сохранении должных прочностных качеств, является использование следующего соотношения: в общей массе крупного заполнителя часть переработанного составляет 70% (50% составляет непосредственно переработанный щебень и 20% – бетонный лом). Подобный состав бетонного камня позволяет достигать класс бетона до В30.

Представленные решения показывают высокие результаты, как по прочностным характеристикам готового продукта, так и по степени утилизации строительных и бытовых отходов. Однако необходимо дополнительное исследование совместного влияния стеклянных гранул и переработанного крупного заполнителя на прочностные свойства бетона перед внедрением технологии в строительное производство. При необходимости улучшения прочностных характеристик составов рекомендуется использовать аморфную фибру [6].

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- добавление стеклянных гранул в количестве 5-10% не снижает прочностных свойств бетона класса В30 и позволяет сократить расход цемента, тем самым удешевить производство железобетонных конструкций;

- добавление переработанного щебня вплоть до 70% не снижает прочность бетона класса В30 и также сокращает затраты на создание железобетонных конструкций по сравнению с использованием природного сырья;

- добавление бетонного лома может снизить прочность бетона на сжатие, однако в определенных пропорциях его применение возможно при условии проведения соответствующих испытаний.

Использование вторсырья в строительном производстве финансово положительно повлияет на сферу переработки строительного и бытового мусора. Экономическое развитие рециклинга, безусловно, остро необходимо на территории России, так как повторное использование отходов одновременно сократит отрицательное влияние свалок на окружающую среду и уменьшит объем разработки невозобновляемых природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Кусмарова Д.А., Горбатко С.В. Проблемы утилизации боя стекла // Донбасс будущего глазами молодых ученых. 2018. С. 85-88
2. Li-Jeng Hunag, Her-Yung Wang, Shi-Yang Wang. A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete. Construction and Building Materials. 2015. No 96. Pp. 353-359
3. Гончарова М.А., Борков П.В., Аль-Суррайви Х.Г.Х., Баландин А.И. Рециклинг строительных отходов как основа получения эффективных композиционных материалов // Объектно-пространственное проектирование уникальных зданий и сооружений. 2018. С. 126-129
4. Мельцаева Е.А. Безотходная технология переработки крупногабаритных железобетонных отходов в строительные материалы // Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса. 2018. №1. С. 312-315
5. Si-Min Jian, BoWu. Compressive behavior of compound concrete containing demolished concrete lumps and recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials. 2021. No 272
6. Барабанщиков Ю.Г., Бегич Я.Э., Черкашин А.В., и др. Влияние аморфной фибры на физико-механические свойства бетона с крупным заполнителем // Неделя науки СПбПУ: Материалы НК, 18-23 ноября 2019 г. Лучшие доклады. 2019. С. 198-201.

УДК 692.44

А.Ф. Мулюкова, К.И. Стрелец, Е.А. Корнеева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КЛАССИФИКАЦИЯ И КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ КУПОЛЬНОЙ КРОВЛИ

Современные уникальные объекты строительства – офисные и торгово-развлекательные центры, спортивные сооружения, аэропорты, выставочно-концертные залы, объекты растениеводства – характеризуются высокой степенью использования светопрозрачных материалов в ограждающих конструкциях, в том числе в кровельных. Светопрозрачные купольные кровли (СКК) обеспечивают восприятие здания как легкого, воздушного, футуристического, решают проблемы естественного освещения внутреннего пространства, герметичности конструкции, минимизации ресурсов на обслуживание и ремонт кровли [1].

Целью исследования являлась разработка практических рекомендаций по проектированию конструкций СКК. Достижение цели обеспечивалось последовательным решением задач: классификации конструктивных решений; обоснования состава критериев оптимизации; формирования практических рекомендаций в части проектирования. Объектом исследования являются конструкции СКК. Предметом исследования – характеристики конструктивных решений в части рассматриваемых конструкций.

На начальном этапе исследования произведена классификация конструктивных решений СКК в разрезе следующих основных классификационных признаков:

1. Форма.

Исторически традиционной формой купола является полусфера, однако в современной архитектуре СКК представляют собой не только полусферу, но и эллиптический, параболический и др. виды поверхностей вращения сложной формы. Кроме того, различные сочетания плоских и изогнутых форм, в том числе с формированием единой светопрозрачной оболочки в виде стеклянной коры [2].

2. Технологии возведения.

СКК могут возводиться по технологии геодезической сферы, пневмокаркаса, фабричного сборного дома-купола, стратодезического купола. Например, в случае геодезической сферы, конструкция купола разлагается на простые треугольные фигуры, в результате в одной точке происходит схождение большого числа балок, закрепленных стальными коннекторами, что придает устойчивость каркасу, однако требует использования

треугольных окон. В случае же стратодезического купола секции имеют форму трапеции, что позволяет использовать стандартные конструкции окон и дверей. В обоих случаях устойчивость и надежность купола обеспечивается обшивкой граней [3].

3. Конструкции стержневых систем.

Пространственные стержневые системы с узлами имеют несколько вариантов конструкции: SBP-1,2 – разновидность конструкции, в которой переплет одновременно выполняет несущую функцию, образуя ортогональную сетку, узлы собираются болтовым соединением, стекла укладываются поверх сетки; POLO – стыковое соединение, где от сердечника отходят вертикальные фасонки, что делает конструкцию стойкой к изгибающим напряжениям; MERO – шарнирное узловое соединение в сетчатых однослойных конструкциях разной формы, в виде сердечника с 5-10 отходящими стержнями, что обеспечивает лучшее восприятие сжимающих, сдвигающих, крутящих усилий [4].

4. Материал и конструкции каркаса.

Сетчатый каркас СКК может быть выполнен: из прочного и легкого алюминия, недостатком которого является значительная теплопроводность; из стали, выдерживающей большепролетные остекления, но имеющей больший вес и подверженной коррозии, а также из деревянных и пластиковых материалов [5]. Распространение получают спайдерные системы СКК, где стекла крепятся точечно, через отверстие, рутелями к кронштейну из стали (спайдеру), а рамы между панелями отсутствуют [6].

5. Варианты остекления.

В СКК используется закаленное стекло (ударопрочное и безопасное при разрушении); триплекс-стекло в виде двойного стекла и полимерной пленки, удерживающей осколки; ламинированное многослойное стекло с повышенной прозрачностью и устойчивостью к природным и чрезвычайным воздействиям; стекло армированное металлической сеткой, защищающей от осколков и т.д. Повышение энергоэффективности СКК возможно за счет изменения конструкции стеклопакетов, применения низкоэмиссионных стекол, использования различных термо-, фото- и электрохромных покрытий, газовых и гелевых наполнителей, затеняющих устройств, а также за счет замены стекла на современные полимерные и пленочные материалы [7].

6. Возможности регулирования микроклимата.

Параметры микроклимата внутренних помещений объекта со СКК могут регулироваться посредством клапанов проветривания, размещенных в отдельных ячейках кровли и обеспечивающих естественную или принудительную вентиляцию. Альтернативой клапанам являются открывающиеся стеклопакеты, встраиваемые в сетчатую конструкцию. Архитектурной выразительности объекта и регулированию микроклимата также способствует устройство наружной солнцезащиты и фотоэлементов совместно с автоматизированными системами вентиляции и кондиционирования [8].

7. Место монтажа конструкций.

Монтаж СКК может полностью осуществляться на месте строительства, что дает простор в выборе дизайна кровли, но требует больших затрат времени и ручного труда. Также могут изготавливаться укрупненные блоки сетчатой конструкции на отдельных производствах и далее монтироваться на строительной площадке с применением средств механизации, что более высокопроизводительно, но требует транспорта и механизмов повышенной грузоподъемности.

На следующем этапе исследования был обоснован состав критериев оптимизации конструкций СКК. Проектирование конструкций требует многокритериальной оптимизации по следующим укрупненным группам критериев: безопасность конструкции, включая надежность при эксплуатации в нормальных условиях и живучесть в аварийных ситуациях; комфорт внутреннего микроклимата; экономичность – стоимость элементов конструкции, ее

материалоемкость, стоимость создания, возведения и т.д.; биосферная совместимость и устойчивость к негативным внешним воздействиям [9].

Проектирование пространственной системы СКК в отличие от традиционной кровли предполагает не только учет требований строительной физики, но также исключение разрушения светопрозрачных материалов, прогибов стержневых конструкций, разгерметизации крепежных элементов, вследствие воздействия температуры, ветра и снега. В каждом уникальном проектном решении следует обеспечивать устойчивость СКК к ударным нагрузкам, водо- и воздухонепроницаемость, тепловую защиту, огнестойкость, сейсмостойкость и др. специальные требования в зависимости от природно-климатических условий возведения и эксплуатации объекта [10].

Так, оптимизация конструктивных решений купольных СК производится по критериям веса конструкции, числа стрежневых элементов и узловых соединений, расстояния между слоями крыши для регулирования напряжения в стержнях, напряжения и деформации в куполе и т.д. Стекла в СКК должны отвечать требованиям стойкости к нагрузкам и внешним воздействиям, безопасности монтажа и эксплуатации, высокого светопропускания, тепло-, звуко-, водонепроницаемости, долговечности, а также соответствовать специальным требованиям в зависимости от угроз со стороны природных и чрезвычайных факторов [11].

Важным является учет распределения снежного покрова и его нагрузки на светопрозрачную купольную кровлю, в связи с возможным снижением светопропускания и угрозой обледенения в зимнее время. Так, уровень снега до 1 см обуславливает потери светопропускания до 20%. Кроме того, обледенение и промерзание элементов каркаса приводит к изменению теплофизических характеристик купола и повышению теплопотерь. Данные ограничения использования СК в регионах с длительной снежной зимой и малым числом солнечных дней могут быть сняты посредством использования системы электрообогрева стеклопакетов, в том числе с автоматическим реагированием на изменения окружающей среды, что, безусловно, повышает стоимость купольного решения и требует оптимизации параметров энергоэффективности и экономичности конструкции [10].

Приведенные в данном исследовании классификация и критерии оптимизации конструктивных решений СКК служат основой для формулирования практических рекомендаций в области проектирования конструкций СКК на последующих этапах исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Евтушенко А.И., Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Брижанов Е.А. Инновационные разработки в области конструктивных и архитектурных решений светопрозрачных кровель аэропортов из стеклянных материалов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1(52). С. 147.
2. Ермакова Е.В., Рынковская М.И. Формирование пластики оболочек в концертном зале // Известия Казанского гос. архит.-строит. универ. 2019. № 3(49). С. 53-61.
3. Жданова А.С., Мажирина А.Д. Технология возведения купольных зданий // Сб. статей X Межд. науч.-практ. конф. 2019. С. 249-251.
4. Еремеев П.Г., Ведяков И.И., Королева Е.А. Светопрозрачные крыши с использованием стекла для большепролетных покрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 23-28.
5. Есипова А.А. Применение геодезических куполов в строительстве: преимущество и недостатки // Наука и современность. 2015. № 38. С. 8-11.
6. Gerasimova E.N., Galyamicheva A.V., Mikhaylova M.K., Dogruc S. Stress-strain state of a glass panel with adhesive point fixings // Magazine of Civil Engineering. 2019. 92(8). Pp. 127–141
7. Мулюкова А.Ф. Повышение энергоэффективности светопрозрачных конструкций // Точная наука. 2019. № 67. С 6-21.
8. Касьянов Н.В. Парк "Зарядье" – новая архитектурно-ландшафтная реальность Москвы // Современная архитектура мира. 2019. № 1(12). С. 227-250.

9. Алексейцев А.В. Комплексный подход к проектированию строительных конструкций на основе многокритериальной оптимизации // Сб. тезисов Всеросс. науч.-практ. конф. «Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий». Москва, 2019. С 87-88.
10. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Теоретические основы проектирования светопрозрачных конструкций. Инженерно-информационный Центр Оконных Систем. СПб. 2012. 400 с.
11. Dos Santos, F.A., Bedon, C. & Sacadura, M. Adaptive glass panels using shape-memory alloys. Glass Struct Eng. 2016. № 1. Pp. 95–114.

УДК 69.051

С.Н. Никифоров, К.И. Стрелец
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Цель работы – методика повышения несущей способности грунтов основания с использованием термостабилизаторов грунта.

На рис. 1 представлен обобщенный инженерно-геокриологический разрез по типам инженерно-криологических условий с учетом толщины общепланировочной насыпи.

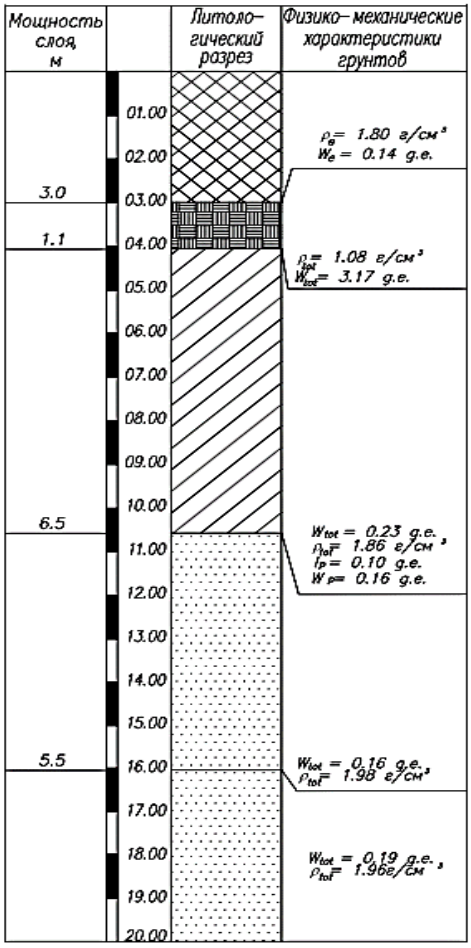
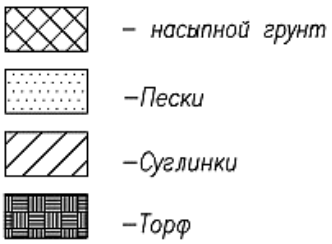


Рис. 1. Инженерно-криологический разрез



По данным инженерно-геокриологических изысканий, основание площадки строительства до глубины разведочных скважин (25 м) сложено вечномерзлыми грунтами сливающегося типа [1, 2]. Учитывая мерзлотно-грунтовые условия на площадке строительства грунты в качестве оснований целесообразно использовать по принципу 1 (СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах») [1], при котором грунты основания используются в мерзлом состоянии в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации.

В процессе исследования было смоделировано распространение тепловых полей, распространяющихся от теплого резервуара на начальном этапе эксплуатации и через 8 лет. Результаты прогнозных теплотехнических расчетов представлены на рис. 2.

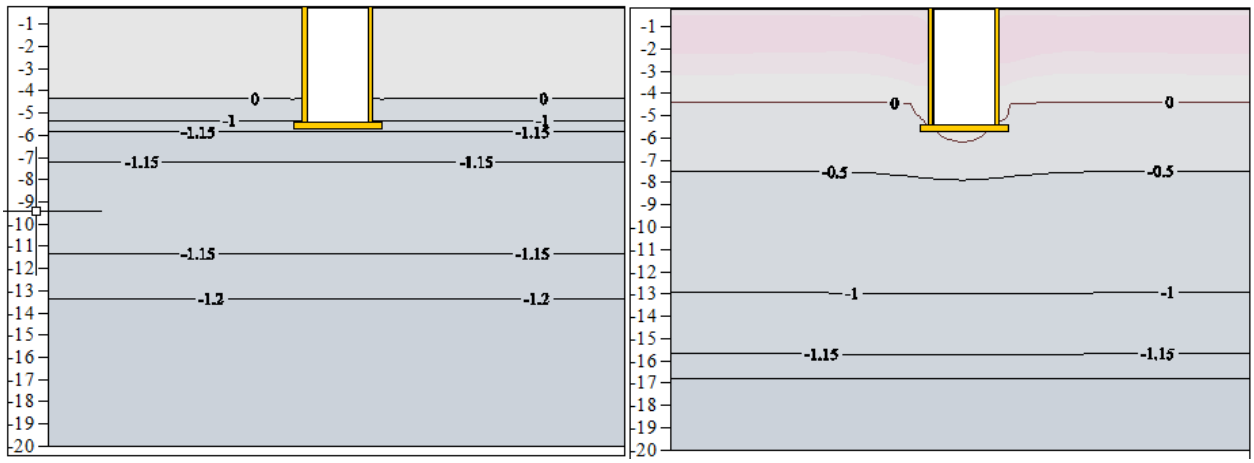


Рис. 2. фрагменты температурных полей по оси резервуара

По результатам прогнозных теплотехнический расчетов в процессе эксплуатации данного сооружения, вследствие положительных температур продукта в подземном резервуаре (+ 16ºС), происходит оттаивание его основания, что может привести к потере несущей способности основания и, как следствие, деформации сооружения [3-5].

Для сохранения мерзлого состояния оснований и обеспечения несущей способности свай под блок-бокс разработано техническое решение по термостабилизации грунтов (рис. 3). Данное решение предусматривает укладку теплозащитного экрана по периметру заглубленной части резервуара и установку термостабилизаторов пластичномерзлых грунтов.

Применены термостабилизаторы с теплоизолированной частью испарителя от поверхности планировки до днища резервуара в целях максимальной подачи холода в основание резервуара.

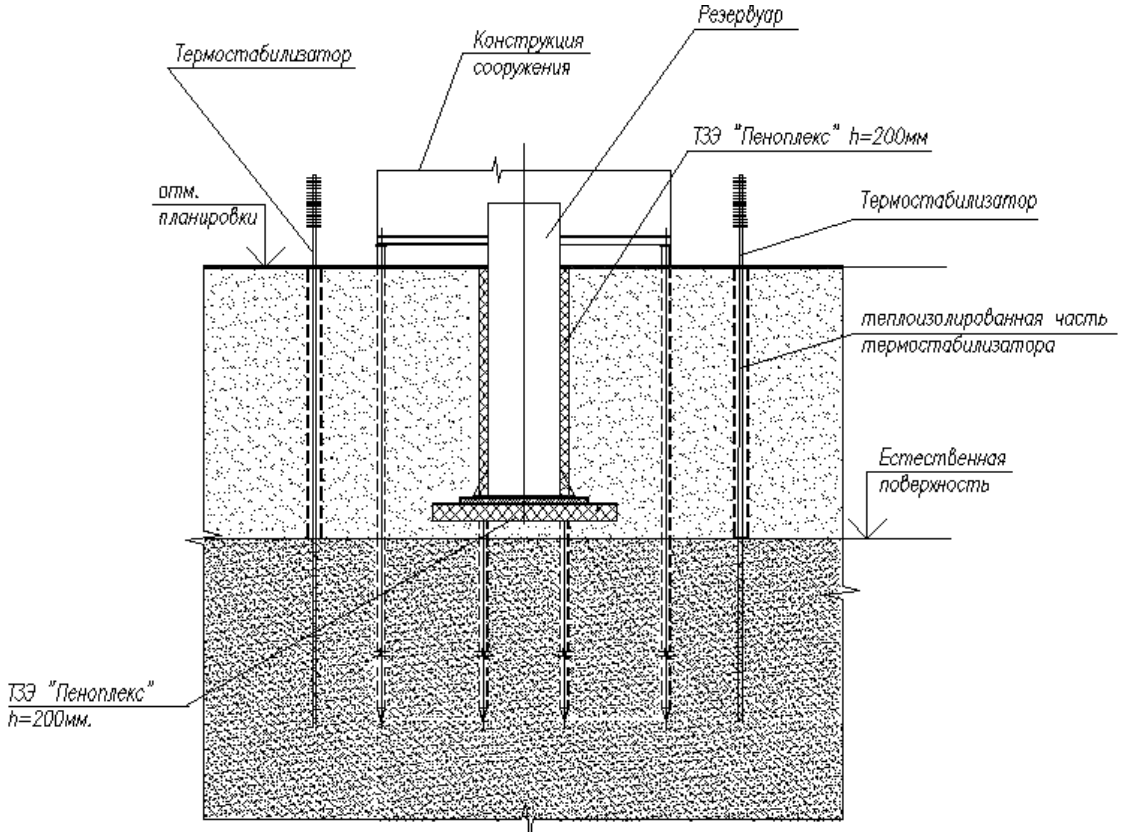


Рис. 3. Техническое решение термостабилизации грунта

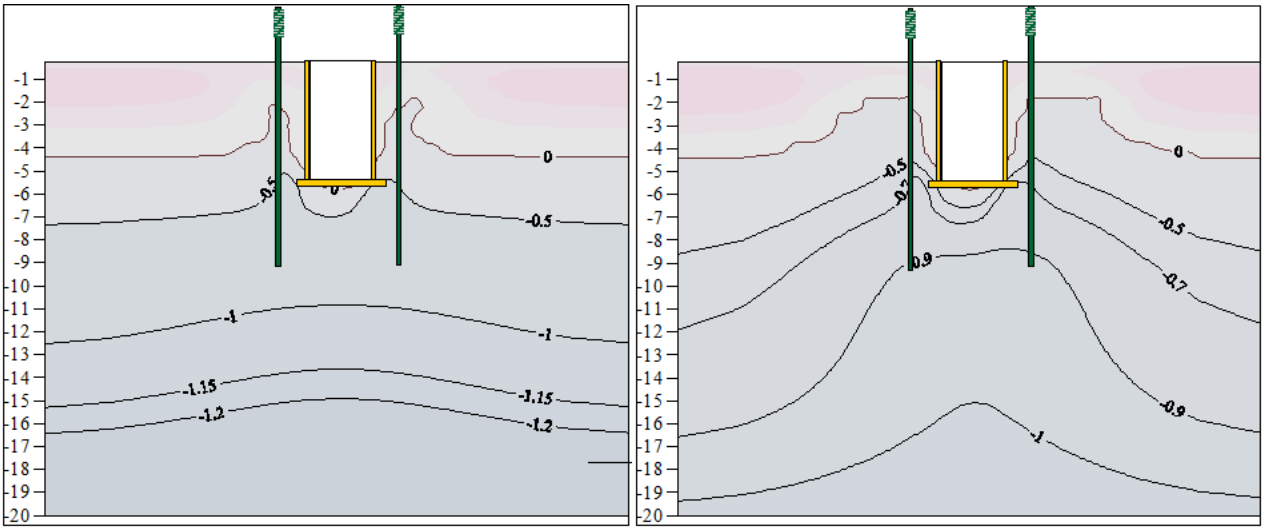


Рис. 4. Формирование температурного режима грунтов основания в процессе эксплуатации с применением технического решения по термостабилизации

Результаты расчетов показали, что применение данного технического решения эффективно, «растепление» под резервуаром не происходит и обеспечивается требуемый температурный режим грунтов, при котором несущая способность грунтов сохраняется. Результаты прогнозного теплотехнического моделирования состояния грунтов через 1 год и через 8 лет эксплуатации представлены на рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 25.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-85 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
2. Мальцев А.В. Определение нормативных и расчетных значений физико-механических характеристик грунтов. Методические указания, СГАСУ. Каф. инж. геологии, оснований и фундаментов. – Самара, 2010. – 20 с.
3. Гавриш Ю.Е. Теплофизика строительных процессов в условиях вечномерзлых грунтов. Л.: Стройиздат, 1993. – 96 с.
4. Далматов Б.И. Механика грунтов, оснований и фундаменты. Изд-во Лань, 2012. – 416 с.
5. Гриб С.И. Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 2005. – 85 с.

УДК 528.486.3

Г.И. Кашин, Л.С. Павлова, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ МЕТОДИК ВЫНОСА ОСЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Цель работы – исследование методик выноса осей зданий и сооружений в натуру, и выбор оптимальной из них.

Любой процесс возведения зданий или различных сооружений начинается с разбивочных работ на строительной площадке, что является одной из самых важных стадий подготовительных работ. К геодезическим разбивочным сетям относят разбивочную сеть строительной площадки и внешнюю разбивочную сеть сооружения [1-3].

Качественный вынос в натуру осей здания или сооружения обеспечивает правильность строительных работ, а впоследствии – безопасность несущих конструкций здания.

Координационная ось здания – линия, которая предназначается для указания положения несущих конструкций относительно друг друга и привязки здания к строительной геодезической сетке.

Каждому зданию или сооружению присваивают самостоятельную систему обозначения координационных осей [4]. Согласно руководящим документам [5] существуют следующие этапы и технологии выполнения разбивки основных осей здания:

1. Создание внешней геодезической сети объекта, которая представляет собой закрепленные реперы по установленным координатам и высотам, заведомо известным.
2. Привязка к геодезической основе красных линий и точек основных осей построек, которые выносят в натуру и закрепляют на местности с помощью специальных геодезических знаков.
3. Вынос в натуру продольных и поперечных осей здания, а также отдельных конструктивных элементов.
4. Вынос монтажных осей и осей фундамента.

Каждый из этих этапов имеет определённый вид погрешности, который регламентирует государственный стандарт [6]. Главной проблемой погрешностей при выносе внешней геодезической сети объекта является отсутствие чёткого регламента к точности топографических планов, так как в большинстве случаев привязка осуществляется к топографическим планам масштаба 1:500. Известно, что точность топографического плана характеризуется средней квадратической ошибкой определения положения точки, равной 0,1-0,2 мм на плане [7]. Учитывая вышеописанные погрешности, такая ошибка на местности составляет 5-10 см, что является достаточно высокой погрешностью, которую можно снизить, рассмотрев различные методики выноса осей в натуру.

1. Метод полярных координат. Данный способ используется на открытой местности, удобен для выноса фундамента и узлов, которые находятся на удаленном расстоянии от внешней геодезической сети. После определения опорных координат по формулам идет расчет расстояния и дирекционных углов. Пример метода полярных координат представлен на рис. 1.

2. Метод прямоугольных координат применяется при проведении разбивки основных осей здания, где планируется прямоугольная форма застройки. Пример метода прямоугольных координат представлен на рисунке 2.

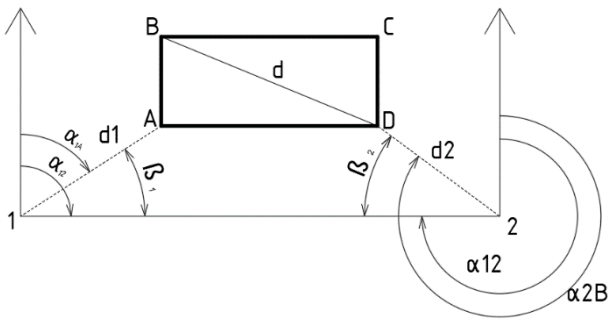


Рис. 1

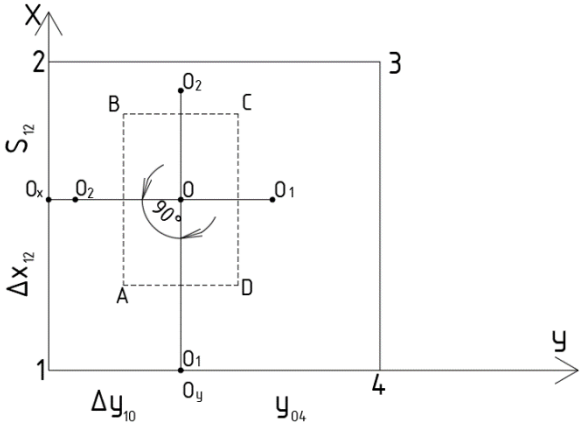


Рис. 2

1. Метод прямой угловой засечки. Главной основополагающей причиной выбора этого способа является невозможность измерить длины сторон по каким-либо причинам. Суть метода состоит в вычислении третьей точки по координатам известных точек. Пример метода прямой угловой засечки представлен на рисунке 3.

2. Метод линейной засечки представляет собой использование линейных засечек при выносе осей зданий в условиях ровной строительной площадки, если от пункта внешней

геодезической сети до разбиваемой точки длина не более измерительной ленты. Пример метода линейной засечки представлен на рисунке 4.

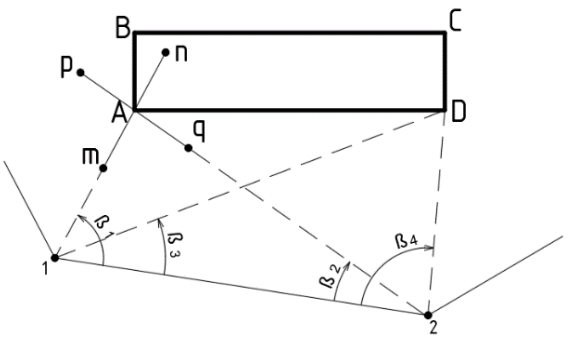


Рис. 3

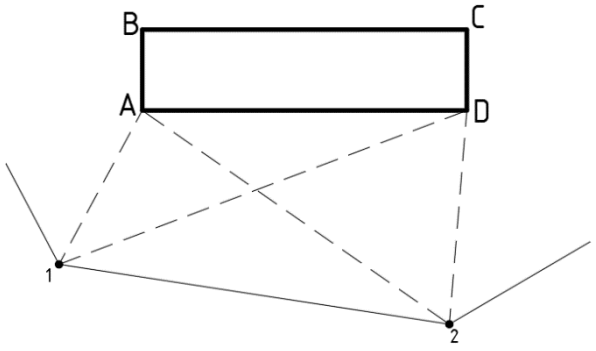


Рис. 4

3. Метод створной засечки широко применяется при выносе в натуру разбивочных осей зданий и представляет собой положение проектной точки на пересечении двух створов, задаваемых между исходными точками. Створ задают теодолитом, который центрируют над исходной точкой, а трубу ориентируют по визирной цели на другом исходном пункте. Пример метода створной засечки представлен на рисунке 5.

Основные методики выноса осей в натуру. На практике существуют случайные погрешности геодезических измерений, для их вычисления используют приближённую оценку погрешности, которую называют средней квадратичной погрешностью. Для оценки методов выноса осей в натуру используют формулу Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}},$$

где m – средняя квадратическая погрешность; Δ – случайная погрешность измерения; n – количество измерений.

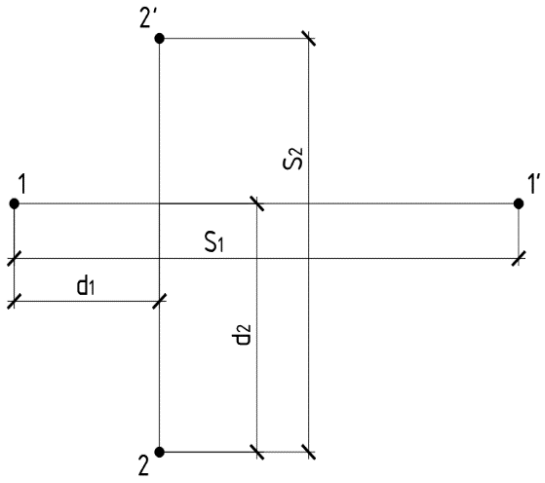


Рис. 5

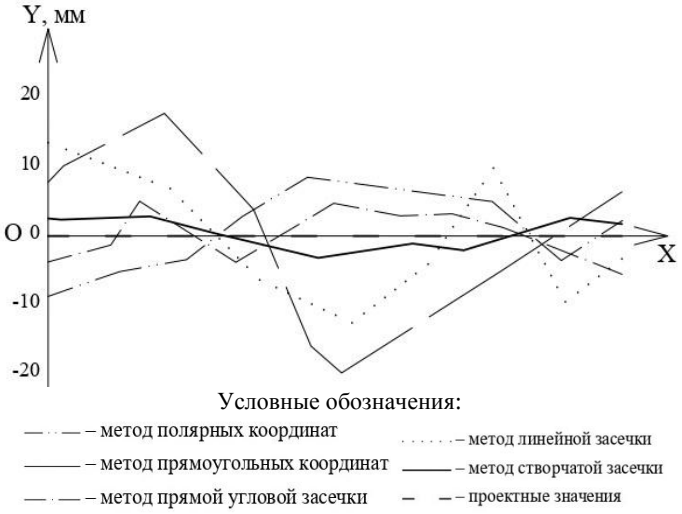


Рис. 6

На графике рис. 6 горизонтальная ось *OX* соответствует проектным значениям оси здания или сооружения, вертикальная ось *OY* – случайной погрешности выноса оси в натуру. Обработав представленные результаты, был сделан вывод, что для случая выноса в натуру нескольких точек пересечений осей здания от пунктов внешней геодезической сетки минимальная погрешность образуется в результате использования метода створной засечки.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Инженерная геодезия. Решение основных инженерных задач на планах и картах. Полевые геодезические работы: учеб. пособие/под науч. ред. Е.Б. Михайленко – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 179 с.
2. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д. Контроль качества строительства. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации водохозяйственных и гидротехнических сооружений. – СПб. : Изд-во Политехн., ун-та, 2014. – 143 с.
3. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д., Загрядская Н.Н. Инженерная геодезия. Наблюдения за техническим состоянием и деформациями при строительстве и эксплуатации сооружений. – СПб. : Изд-во Политехн., ун-та, 2014. – 80 с.
4. ГОСТ Р 21.101-2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2020 г. N 282-ст: Дата введения 2021-01-01.
5. СП 126.13330.2012. Геодезические работы в строительстве: утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/1 и введен в действие с 1 января 2013 г.
6. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 10.06.82 N 156: Дата введения 1983-01-01.
7. Михелев Д.Ш. Выбор необходимой точности геодезического обоснования для выноса в натуру основных осей зданий / Михалев Д.Ш., Мануэль Е.Б. Жозе // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – Москва: МИИГАиК, 1997. – 31-42 с.

УДК 69.003.13

К.А. Оникийчук
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ РИСКОВ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Цель работы – выявление рисков и анализ их влияния на возведение высотного здания в городе Санкт-Петербург.

Для снижения вероятности возникновения нежелательного результата при строительстве необходимо научиться управлять рисками. Одним из наиболее эффективных путей риск-менеджмента является классификация рисков. При последующем их анализе будет возможность установить, какие именно исходные параметры оказывают наибольшее влияние на создание неблагоприятных ситуаций.

Классификация рисков была основана на исследовании Габриеляна М.О., Третьякова О.Б. [1], в котором предлагается несколько вариантов систематизации. В первую очередь, необходимо выделить производственный риск (состоит из управленческого и строительного риска [2]), связанный с возникновением дополнительных издержек из-за увеличения расходов на материалы, их транспортировку, из-за роста фонда оплаты труда, из-за неправильного производственного планирования строительно-монтажных работ и поставки материалов. При возведении сооружений именно перечисленные события имеют доминирующее влияние на весь строительный цикл. Производственный риск повышается, если снижаются требования к качеству и срокам строительно-монтажных работ, квалификации персонала, производительности оборудования.

Инвестиционный риск также является основополагающим при оценке воздействия неопределенных событий на объект строительства, так как он определяет степень реализации, рентабельность инвестиционно-строительного проекта. Он проявляется в возможности иметь упущенную выгоду, возможности снижения доходности, возможности потери части ресурсов.

Не менее важен финансовый риск, связанный с проведением операций над активами предприятия, в том числе с банковской деятельностью, с покупательской способностью денежных единиц. Неблагоприятные последствия могут возникнуть из-за инфляции, дефляции, изменения курса валют, ликвидности активов.

Классификация также предусматривает политический, природно-естественный и экологический риски. Первый из них связан с изменением политики государства относительно производства и торговли в сфере строительства. Ко второму относят ситуации, в которых проявляются стихийные силы природы, такие как землетрясения, наводнения, тайфуны и другие. Третий риск непосредственно выражается в загрязнении окружающей среды. Возможность возникновения политического и природно-естественного рисков крайне мала в условиях города Санкт-Петербург. Их степень влияния будет незначительной. Экологический же риск будет существенен в связи со строительством уникального здания, которое подразумевает использование сложных технологий, увеличение количества отходов и изменение почвенного и биологического состава окружающей среды. Также растет тепловое, световое и шумовое загрязнение.

Для проведения оценки рисков используются качественный и количественный подходы [3]. Тоторкулова Л.К. в своей статье [4] более подробно останавливается на анализе чувствительности проекта. Выбранный базовый критерий оценки – чистый дисконтированный доход. Для проведения анализа уточняются исходные данные: строительство высотного бизнес-центра в городе Санкт-Петербург. Эффективность проекта подтверждается положительным NPV (чистый дисконтированный доход), который равен 16 252 946 руб. Качественный анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Качественный анализ

№	Вид риска	Описание	Опасность (максимум 10)	Вероятность (максимум 1)	Оценка
1	Управленческий риск (составляющая производственного риска)	Связан с неправильной организацией производственного процесса	9	0,4	3,6
2	Риск низкого качества строительных работ, строительный риск (составляющая производственного риска)	Связан с трудностью оценить качество выполненных строительных работ	9	0,2	1,8
3	Инвестиционный риск	Связан с потерей финансирования из-за возникновения проблем у банка	4	0,1	0,4
4	Финансовый риск	Связан с ростом инфляции – повышением общего уровня цен на длительный срок	2	0,9	1,8
5	Политический риск	Связан с изменением политики государства относительно производства и торговли в сфере строительства	2	0,1	0,2
6	Природно-естественный риск	Связан с ущербом от стихийных бедствий	9	0,1	0,9
7	Экологический риск	Связан с превышением норм загрязнения, неправильной утилизацией отходов	3	0,4	1,2

После проведения качественного анализа можно сделать вывод, что наибольшую опасность представляют производственный риск, включающий в себя управленческий и строительный риски, и финансовый риск. Для более конкретного понимания возникновения возможных проблем проводится анализ чувствительности данных по алгоритму, представленному в книге Грачевой М.В. [4], оценка показана в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ чувствительности

№	Вид риска	% измене-ния	NPV новое	NPV базисное	Изменение NPV, %	Чувствительность	Ранг
1	Управленческий риск	10	12 191 500	16 252 946	-25	2,5	1
2	Строительный риск	5	15 222 223	16 252 946	-6,3	1,26	3
3	Финансовый риск	3,7	15 425 838	16 252 946	-5,1	1,38	2

В ходе проведения количественной оценки риска определено, что наиболее высокой чувствительностью обладает управленческий риск, средней чувствительностью – финансовый риск, а низкой чувствительностью – строительный риск.

Таким образом, в работе были классифицированы риски, которые могут возникнуть при строительстве высотного административного здания в городе Санкт-Петербург. Были проведены качественный и количественный анализы по оценке неблагоприятных ситуаций. На основании данных исследований был сделан вывод, что наиболее опасные риски – управленческий, связанный с неправильной организацией производственного процесса, финансовый, связанный с повышением общего уровня цен на длительный срок, и строительный, выражающийся в возможности получения результата низкого качества строительных работ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Габриелян М.О., Третьяков О.Б. Классификация рисков в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник университета. 2016. №5. С. 60-67.
2. Куликова Е.Ю. Классификация рисков при строительстве городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №10. С. 32-35.
3. Макарова В.О., Арламов Е.А. Методические подходы к оценке строительных рисков // Молодой ученый. 2017. №3 (137). С. 364-367.
4. Тоторкулова Л.К. Анализ чувствительности проекта. Метод анализа чувствительности // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2016. №12-2. С.163-165.
5. Грачева М.В. Проектный анализ: учет рисков. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.

УДК 69

М.А. Павшукова, Г.А. Бардина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕГОРОДОК АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

В настоящее время в связи с необходимостью уменьшения затрат на устройство межкомнатных перегородок является актуальным вопрос выбора их конструкции, в том числе и для общественных зданий. Цель данной работы – выбор оптимальной конструкции перегородок для административного здания. Для достижения поставленной цели был произведен обзор существующих вариантов конструкций перегородок, расчет их себестоимости и анализ трудовых затрат и материальных ресурсов на монтаж. Для сравнения были выбраны пять конструкций перегородок, которые удовлетворяют минимальным требованиям по шумоизоляции и пожарной безопасности, а также подходят для рассматриваемого функционального назначения здания: каркасно-обшивные перегородки из

гипсокартонных листов и минеральной ваты, каркасно-обшивные перегородки из гипсоволокнистых плит и минеральной ваты, стеклянные, газобетонные и пазогребневые перегородки. Сравнение велось по следующим параметрам: толщина, индекс звукоизоляции, предел огнестойкости. Также были выявлены положительные физические свойства указанных конструкций перегородок.

На следующем этапе работы был произведен расчет себестоимости и выявлены особенности монтажа рассматриваемых перегородок. Выявленные характеристики конструкций перегородок сведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип перегородок / Параметры	Каркасно-обшивные из гипсокартонных листов и минеральной ваты	Каркасно-обшивные из гипсоволокнистых плит и минеральной ваты	Стеклянные	Газо-бетонные	Пазо-гребневые
Толщина	100 мм (75 мм каркас с двусторонней обшивкой по 12,5 мм) [8]	100 мм (75 мм каркас с двусторонней обшивкой по 12,5 мм) [8]	10 мм	150 мм	100 мм (двуслойная с воздушным зазором 40 мм)
Индекс звукоизоляции (минимальный 45 дб) [2]	45 [7]	51 [7]	46 [4]	45 [9]	46 [5]
Пожарная безопасность (класс К0, предел огнестойкости ≥ EI 45 (EIW 45)) [10]	К0 EI45	К0 EI60	К0 EIW45	К0 EI240	К0 EI160
Физические свойства	Легкие, экологичные, имеют довольно высокую прочность (для ГКЛ – 850 кг/м^2) [3]	Легкие, экологичные, имеют высокие жесткость и прочность (для ГВЛ – 1200 кг/м^2) [3]	Устойчиво к механическим повреждениям [4]	Имеют высокую прочность	Легкие, имеют высокую прочность
Монтаж	Быстрая и легкая установка; для нанесения окраски требуется нанесение слоя шпаклевки с последующим грунтованием; необходимо нанесение грунтовки для обоев [1]; стоимость монтажа 800 руб./м^2	Самая быстрая и легкая установка; минимальные затраты на финишную отделку; допустимо использование любых красок [1]; грунтовка необязательна; стоимость монтажа руб./м^2	Все операции могут быть выполнены быстро и без остановки работы в помещении [4]; стоимость монтажа 400 руб./м^2	Скорость монтажа самая низкая; газоблоки необходимо штукатурить; стоимость монтажа 800 руб./м^2	монтаж занимает больше времени чем для ГКЛ и ГВЛ; после установки перегородка готова к чистовой отделке [6]; стоимость монтажа 860 руб./м^2
Себестоимость (цена за 1 м^2)	530	650	3000	2600	1200
Стоимость 1 м^2 (с монтажом)	1330	1450	3400	3400	2060

В результате проведенного исследования имеется пять конструкций перегородок и шесть факторов, оказывающих наибольшее влияние на их выбор. Сопоставление факторов и конструкций проведено с помощью метода «Матрица парных сравнений» [11].

Баллы по критериям расставлялись следующим образом:

- балл «3» назначен конструкциям с явным преимуществом по данному критерию;
- балл «2» назначен конструкциям с хорошими показателями;
- балл «1» назначен конструкциям с удовлетворительным показателем;
- балл «0» назначен конструкциям с отсутствием преимущества по критерию.

Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Матрица парных сравнений

	1. Каркасно-обшивные перегородки из ГКЛ и минеральной ваты	2. Каркасно-обшивные перегородки из ГВЛ и минеральной ваты	3. Стеклянные перегородки	4. Газобетонные перегородки	5. Пазогребневые перегородки
1. Толщина (экономия площади)	1	1	2	0	1
2. Звукоизоляция	1	3	2	1	2
3. Пожарная безопасность	1	2	1	3	3
4. Физические свойства	2	3	2	2	2
5. Монтаж	3	3	3	1	2
6. Стоимость	3	2	0	0	1
Итого	11	14	10	7	11

В результате сравнения показателей определено, что для бизнес-центра оптимальными будут каркасно-обшивные перегородки из ГВЛ и минеральной ваты. Данная конструкция соответствует требованиям пожарной безопасности и шумоизоляции, а также имеет наилучшие показатели почти по всем критериям.

Таким образом, подбор оптимальной конструкции перегородок для административного здания позволит обеспечить должную звукоизоляцию и пожарную безопасность, при этом сэкономить строительные материалы и сократить сроки строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаева Н.А. Анализ звукоизоляционных качеств каркасно-обшивных перегородок // Строительные науки. 2018. С. 137-141.
2. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
3. Герасимов А.И. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и их применение в строительстве // Строительные науки. МГСУ. 2009. С. 209-215.
4. Паскин А.П., Паскина О.А. Стеклянная перегородка. // Строительные науки. 2009. С1-10
5. СП 55.103.2004. Конструкции с применением гипсовых пазогребневых плит
6. Минаева Н.А. Экспериментальные исследования звукоизоляции пазогребневых плит, обшитых гипсокартонными плитами // Строительные науки. 2010. С. 194-197.
7. СП 163.1325800.2014. Конструкции с применением ГКЛ и ГВЛ листов. Правила проектирования и монтажа
8. КНАУФ-Акустика // Строительные материалы. 2012. С. 60-61.
9. СП 339.1325800.2017. Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования
10. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты
11. Саати Т.Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений //Cloud of Science. 2015. Т.2. № 1

УДК 69.055.2

А.П. Ракова, М.Д. Терех
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ СОРТИРОВКИ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ КАК ЭТАП МЕТОДА «5С» КОНЦЕПЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Актуальность. Направление адаптации системы менеджмента «Бережливого производства» для строительной области является одним из самых популярных в исследовательских работах в строительной области в настоящее время. Адаптация концепции бережливого производства для строительной отрасли предполагает ориентацию на повышение эффективности использования ресурсов и как следствие сокращение количества трудовых ресурсов, а также уменьшение расхода временных и материальных ресурсов для производства строительной продукции без потери качественных показателей готовых зданий и сооружений.

Цель работы – поиск способов адаптации инструментов бережливого производства для внедрения данной концепции в производство процессов, осуществляемых на строительной площадке.

Бережливое строительство (БС) – комплекс современных управленческих инструментов и методов, позволяющих обеспечить высокое качество возводимых объектов, сокращение сроков и затрат на строительство [4].

Для организации работы сотрудников в бережливом производстве используется инструмент 5С. Это комплекс мероприятий по организации рабочего пространства, который состоит из пяти этапов. Этот инструмент направлен на создание комплексной качественной рабочей среды, целью создания которой является повышение производительности труда, качества производимой продукции и безопасности производства работ [5].

В процессе реализации концепции создается безопасное рабочее место, организация которого настроена на эффективное использование рабочего пространства и инструментов [2].

Для реализации данной концепции необходимо разработать простые принципы организации рабочего пространства исполнителя чтобы получить максимальные выгоды в реализации рабочего процесса. Организация труда каждого работника по системе 5С является основой для введения всей концепции бережливого производства для предприятия. Реализация данного метода не только повышает производительность работников, но и несет функцию психологического двигателя формирования мышления в рамках введения концепции бережливого производства на предприятии, отражая основные идеи и смыслы данной теории [1].

Первый этап реализации метода 5С на местах – сортировка предметов в рабочей зоне и на рабочем месте сотрудника. Сортировка заключается в делении всех предметов, находящихся на рабочем месте на три категории:

1) инструменты, которые нужны в данный момент, используются постоянно;

2) материалы, которые используются в работе, но не востребованы в данный момент;

3) ненужные предметы, которые не используются в процессе производства работ, так же бракованные, сломанные предметы, оставшиеся после выполнения завершенных процессов, с истекшим сроком службы, потерявшие свои потребительские свойства [3].

Процесс сортировки разделяется на следующие этапы:

1. Определение области сортировки предметов (рабочей зоны).

2. Определение частоты проведения мониторинга предметов на рабочем месте.

3. Сортировка предметов на нужные и ненужные, используя перечень нужных предметов.

4. Сортировка ненужных предметов:

1) утилизация мусора и ненужных предметов, решение по которым можно принять сразу. Это предметы с браком, с истекшим сроком службы, у которых выявлена поломка, не подлежащая восстановлению, по которым составляется акт несоответствия и списания;

2) выделение места под локальную «зону карантина». Оборудование карантинной зоны (места временного хранения) ненужных предметов. Сообщение сотрудникам о расположении карантинной зоны. Выявление неиспользуемых предметов на данном рабочем месте и предметов, назначение которых непонятно, помещение данных предметов в зону карантина.

Зона карантина – это зона расположения предметов для их дальнейшей оценки. Для работников эта зона является гарантией невозможности принятия неверного решения о назначении предмета. При переносе предмета в зону карантина, он маркируется табличкой, называемой красным ярлыком. Навешивание красного ярлыка означает, что предмет ждёт дальнейшего оценивания степени его необходимости.

Так как красный ярлык является инструментом бережливого производства, схема его заполнения должна быть четкой, понятной, автоматизированной. Для этого необходимо создание макета красного ярлыка (таблица №1) для каждого подразделения организации, а также понятной инструкции заполнения шаблона красного ярлыка для оперативной маркировки предметов, помещаемых в зону карантина (таблица №2).

Принцип работы системы красных ярлыков:

- Работник выявляет неиспользуемый предмет на рабочем месте, от которого невозможно немедленно избавиться;
- Работник помещает предмет в карантинную зону и заполняет шаблон красного ярлыка;
- Работник помещает красный ярлык в «Входящие заявки»;
- Начальник участка собирает входящие заявки красных ярлыков с определённой периодичностью (например, один раз в неделю);
- Начальник участка определяет ответственного за удаление предмета из зоны карантина и дату удаления предмета из зоны карантина и заполняет соответствующие строки бланка красного ярлыка;
- Начальник участка помещает красный ярлык в часть «Обработанные заявки»;
- В течении времени до наступления даты удаления предмета из зоны карантина работник может вернуть предмет на рабочее место в случае возникновения необходимости его использования;
- В противном случае ответственный за удаление предмета из зоны карантина определяет место его дальнейшего хранения;
- Ответственный за удаление предмета из зоны карантина вносит данные об удаленном предмете из зоны карантина в журнал регистрации результатов кампании красных ярлыков. После этого красный ярлык может быть удален.

Рассчитаем ожидаемую эффективность внедрения зоны карантина на строительной площадке на примере процесса укрупнительной сборки рам из легких металлоконструкций по формуле:

$$ЭФ_{общ} = ВЫР_{вр} + ВЫР_{потери} - С_{обуч} - С_{вр} - С_{техн},$$

где $ВЫР_{вр}$ – экономия от сокращения времени выполнения операций; $ВЫР_{потери}$ – экономия от снижения потерь ненадлежащего места нахождения инструментов и предметов; $С_{обуч}$ – временные затраты на обучение технологии рабочих; $С_{вр}$ – временные затраты на реализацию метода; $С_{техн}$ – затраты на техническое оснащение реализации метода.

Количество рабочих, задействованных в укрупнительной сборке рамы-4, укрупнительная сборка рамы каркаса промышленного одноэтажного здания размерами 78×48 м в среднем ведется 17 ч. Экономия времени поиска предметов при их целесообразном расположении составляет по усредненным показателям около 5%, то есть 51 мин. Таким

образом, для 14 рам каркаса экономия составляет: 51×14×4 = 2856 мин. ≈ 50 ч рабочего времени. Оплата труда монтажника составляет 250 руб./ч, то есть окончательная экономия по этому показателю составляет 12500 руб.

Для $ВЫР_{потери}$ примем укрупненную сумму в 12 тыс. руб., в которую входят сэкономленные средства от потерь инструмента и отсутствия лишних покупок вследствие хранения инструмента в месте, где он не нужен, но может пригодиться для выполнения другой операции.

В среднем на $С_{обуч}$ уходит 240 мин., то есть 4×240 = 960 мин. ≈ 16 ч оплаты труда для 4-х рабочих. В стоимостном эквиваленте это 4000 руб.

временные затраты на реализацию метода.

$С_{вр}$ состоит из мониторинга предметов на рабочем месте, который в среднем проводится 1 раз в неделю и занимает около 1 ч, т.е. за время монтажа рассматриваемого здания – примерно 8 раз, что равно 8 ч рабочего времени. В стоимостном эквиваленте 2000 руб.

В качестве $С_{техн}$ для реализации данного инструмента необходимо приобретение термопринтера стоимостью около 5 тыс. руб.

Таким образом, ожидаемая общая экономическая эффективность применения метода зоны карантина для операции укрупнительной сборки конструкций одного объекта такова:

$$ЭФобщ = 12\,500 + 12\,000 – 4\,000 – 2\,000 – 5\,000 = 13\,500 \text{ руб.}$$

В ходе исследования выполнена разработка элементов внедрения инструмента сортировки концепции «5С» на строительной площадке. В ходе рассмотрения внедрения инструмента зоны карантина метода бережливого производства «5С» была разработана концепция применения данного инструмента для организации рабочего места в рамках осуществления концепции бережливого производства для рабочих мест на строительной площадке и выявлена достаточная эффективность применения данного инструмента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хузиев Г.М., Сагитова Н.С. Модель внедрения бережливого производства в строительной отрасли // Управление устойчивым развитием. 2019. №1 (20). С. 24-28.
2. Галичина А.М. Внедрение бережливого производства на строительную площадку. Проблемы и перспективы // World science: problems and innovations. 2020. С. 21-26
3. Орлов В.Н., Безносов В.А. Система 5С – основа бережливого производства //
Инновационные технологии в автоматизированном машиностроении. 2010. С. 120-124
4. Антонова А.А. Снижение затрат строительства путем внедрения «Бережливого производства» // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки. 2017.
Часть 1. С. 46 – 47.
5. Петроченко М.В. Организация и планирование в строительстве. Том. Часть 1. Основы бережливого строительства. 2018. С. 35-63.

УДК 69.1418

М.Д. Рожина, Г.А. Бардина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ОБЪЕКТЫ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Историческое наследие России имеет колоссальное конкурентное преимущество в мировом масштабе, что дает нам возможность использовать его в качестве своего рода «туристического бренда», улучшить репутацию и экономику страны. На первый взгляд, реставрация и приспособление ОКН – очевидная необходимость и важная миссия, однако, это также и ряд обязанностей, ответственности и проблем. В связи с этим тема сохранения ОКН стоит очень остро в обществе.

Цель работы – определить причины низких темпов реставрации ОКН и сформировать предложения по изменению существующего законодательства и новые стимулирующие условия для частного бизнеса

Зачастую причиной низких темпов реставрации называют дефицит внешнего инвестирования, неподвижность ответственных государственных органов (в части согласования документации), высокие налоги на недвижимость, существенная стоимость содержания и низкая прибыль с такого объекта либо и вовсе ее отсутствие, по причине нехватки опыта эффективного управления приспособленными ОКН. Сейчас на территории России насчитывается около 144 тыс. ОКН, согласно отчету Министерства культуры РФ за 2012 – 2019 гг., и полное их число до сих пор неизвестно [1]. Очевидно, что для государственного бюджета реставрация всех памятников, находящихся в неудовлетворительном состоянии, задача неосуществимая, так как за 7 лет (2012-2019 г.) было отреставрировано только около 220 объектов. Важно отметить, что в 2015 году число ОКН составляло – 157 557, что больше, чем на конец 2019 г. Вероятно, что многие из них были утрачены, так как в хорошем состоянии находилось лишь 14,47% [1]. Таким образом, необходимо привлечение внешних инвестиций, в связи с чем, возникает потребность в создании для инвесторов преференций, льгот и других средств для привлечения к сохранению ОКН.

В мире существует несколько вариантов политики сохранения ОКН [2]:

1) приватизация памятников с наложением обременения на собственников;
2) девелопмент объектов;
3) развитие туризма и создание “брендов” на основе ОКН.

Данные методы нельзя назвать универсальными, но их применение в комплексе может быть достаточно эффективным. Однако наиболее предпочтительным способом сохранения ОКН в мировой практике является стимулирование частных инвесторов. Например, льготы по налогу на недвижимость, отсрочки по уплате налогов, применение ускоренной амортизации, налоговых вычетов, льготные условия предоставления кредитов и т.д. Для большинства стран характерен комплексный подход и наличие эффективного законодательства. Наиболее преуспевающими государствами в сохранении наследия являются Великобритания, Франция и Германия [2]. Самыми популярным средством является экономическое стимулирование, которое в каждой стране имеет свои особенности, но, в целом, его можно разделить на три основные группы: налоговые льготы, субсидии и гранты.

Иными словами, для эффективного сохранения объектов культурного наследия необходима прочная и рациональная законодательная база с отдельным органом управления наследием. При наличии данного ядра взаимодействие со всеми остальными сторонами будет более простым и эффективным, а также обеспечит интерес вовлечения в последующие проекты.

В России ситуация противоположная – жесткая система исполнительной власти, централизованное государственное финансирование реставрации и содержания ОКН и отсутствие льгот для инвесторов, закрепленных на государственном уровне.

В настоящее время в России разрабатывается ряд государственных и внебюджетных программ по инвестированию в ОКН. Например, программа аренды «1 рубль за 1 м^2», которая активно действует в Санкт-Петербурге, Москве и еще нескольких областях страны [3-4]. Данным законопроектом предусмотрен определенный порядок передачи ОКН неудовлетворительного состояния в руки арендатора на 49 лет с условием, что он в срок не более 7 лет должен провести работы по сохранению объекта. С момента окончания реставрации начинают действовать льготные условия аренды – 1 рубль за 1 м^2. Среди очевидных недостатков программы – ОКН остается во владении у государства. Поскольку, далеко не всех инвесторов привлекает вложение средств в чужое имущество, несмотря на долгосрочный период аренды. Также, арендная ставка 1 рубль за 1 м^2 начинает действовать лишь после реализации проекта реставрации, что возможно также может оттолкнуть ряд

вкладчиков так, как только на их средства полностью производятся работы по разработке проекта реставрации и организации строительных процессов. При этом, до вступления в силу договора организации (инвестора) необходимо заплатить обеспечительный платеж в размере годовой арендной платы за объект.

Иными словами, программа «1 рубль за 1 м^2» имеет ряд недостатков. Это значительные (для больших объектов) обеспечительные платежи, существенные арендные ставки до реализации реставрации, отсутствие налоговых льгот, сохранение объекта в собственности государства и необоснованность мотивации для инвесторов, при исключении меценатства, инвестирования в «неприспосабливаемые» объекты.

В Федеральном законе №73 «Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации» есть статья 14, в которой говорится об уменьшении арендной платы на сумму затрат (или их части) собственника на реставрацию объекта, а также инвестор имеет право на компенсацию произведенных им затрат [5]. Однако пояснений о том, как получить данные льготы, нет. Важно отметить, что точные параметры расчета реставрационных затрат сейчас отсутствуют (то есть реализация реставрации одного объекта может стоить по-разному), а не все инвесторы могут быть предельно честны в предоставляемом отчете.

Исходя из всего вышесказанного, можно утверждать, что существующие на сегодняшний день программы и льготы, установленные на государственном уровне, не решают проблемы сохранения ОКН в масштабах всей страны. Для этого необходимы иные стимулирующие условия и преференции для инвесторов.

По вопросам инвестирования в ОКН, инвесторы отмечают аналогичные проблемы [6-7]: низкую эффективность таких проектов, неповоротливость ответственных государственных органов и полное отсутствие налоговых льгот. Сданные в субаренду отреставрированные здания малоэффективны, так как данный бизнес является заведомо проигрышным по причине низкой покупательской способности населения, а обслуживание объекта культуры требует значительных затрат. В дополнение, для арендатора такой объект тоже является не самым привлекательным, так как при необходимости проведения внутреннего ремонта (под дизайн организации, например) снова требуется согласование с администрацией, а рекламные вывески на фасаде и вовсе не разрешаются.

Исходя из анализа действующих программ по сохранению ОКН предыдущих исследований и нескольких интервью инвесторов можно сделать определенные *выводы*:

1. Требуется создание в Российской Федерации действенного механизма государственно-частного партнерства за счет децентрализации управления культурной сферой по аналогии с политикой зарубежных стран. Данное решение поможет в регулировании финансовых потоков на реставрацию и обслуживание, сконцентрирует внимание государственного органа на определенной задаче по сохранению культурного наследия, а также создаст комфортные условия для взаимодействия между инвестором и структурами за счет упрощения соответствующих процессов;
2. Требуется установить на государственном уровне субсидии, гранты и налоговые льготы для инвесторов с целью стимулирования их интереса;
3. Требуется разработать процедуру передачи объекта во владение инвестора, при этом обеспечивая защиту наследия;
4. Требуется разработать специальные программы, обосновывающие необходимость инвестирования в ОКН с целью их сохранения и привлечения новых потенциальных инвесторов.

При осуществлении вышеописанных мероприятий в сфере сохранения культурного наследия увеличится объем частных инвестиций в памятники архитектуры, что благоприятно скажется на их техническом состоянии. Доказательством являются другие страны, Франция,

Германия, Великобритания, Италия, которые придерживаются данных правил и активно используют свое наследие в современном бизнесе и жизни.

В продолжении данного исследования планируется оценка рисков инвестирования в ОКН при условии действия данных программ и изменений в законодательстве.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Итоговый отчет 2011-2019 гг. Культура в России 2012-2019. Факты и цифры // Министерство культуры Российской Федерации. Годовой отчет – 2019: [сайт], 2019. – URL: https://culture.gov.ru/activities/reports/ (дата обращения 20.03.2021).
2. Митюнова И.Г. Модели сохранения объектов историко-культурного наследия: зарубежный опыт // Охрана объектов культурного наследия: национальный и международный опыт. 2018. 121-127 с.
3. Что такое программа “1 рубль за метр”? // Администрация Санкт-Петербурга. Официальный сайт: [сайт], – URL: https://stroi.mos.ru/infographics/proghramma-1-rubl-za-1-kvadratnyi-mietr (дата обращения 20.03.2021)
4. Программа 1 рубль за 1 квадратный метр // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы: [сайт], 2020 – URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_govcontrol/obrasheniya-grazhdan/faq/6260/ (дата обращения 20.03.2021)
5. Федеральный закон от 25.06.2002 №73-ФЗ “Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации”.
6. Зачем ресторатор Сергей Гутцайт строит коммуну «Хорошее время» под Гатчиной и открывает социальную столовую в Пушкине» // SOBAKA.RU: [сайт], 2019 – URL: https://www.sobaka.ru/bars/heroes/84218 (дата обращения 20.03.2021)
7. Дом Наркомфина: история здания и уникальный процесс реставрации // AD magazine Russia: [сайт], 2020 – URL: https://zen.yandex.ru/media/admagazine/dom-narkomfina-istoriia-zdaniia-i-unikalnyi-process-restavracii-5fb3c413268198734d5bb8ea (дата обращения 20.03.2021)

УДК 69.05

Т.В. Рубайло, Ю.С. Филатова, М.В. Петроченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Любая организация строительства, ремонта и реконструкции объектов нуждается при ее разработке и последующей реализации в оценке, в частности в интересах сравнения вариантов организации наиболее эффективного метода управления качеством строительства[1]. В статье проведено исследование по повышению качества строительного производства путем оценки критериев организации работ и вариантного моделирования различных строительно-монтажных процессов, влияющих на конечные плановые показатели [2].

Цель работы: разработка математической модели, которая позволит своевременно вносить корректировки для достижения требуемых критериев качества на этапе строительства объекта.

Основой системы контроля качества строительной продукции, которую сегодня применяют при проведении строительного контроля, являются критерии, содержащиеся в строительных нормах и правилах [3]. В настоящее время не разработана единая методика по оценке качества строительных процессов, которая учитывала бы, исходя из степени влияния того или иного критерия, специфику факторов, влияющих на качество строительно-монтажных работ [4]. В работах А.Х. Байбурин оценку качества строительства рассчитывается посредством оценки системы качества самого строительства, а также качества применяемых технологических процессов в строительно-монтажных работах и качества возведенных конструкций [5-6].

Предлагаемая математическая модель оценки качества общестроительных работ основана на построении многоуровневой иерархической структуры, позволяющей оценить качество каждой из работ в отдельности и затем прийти к обобщенному показателю каждого вида работ (рис. 1).

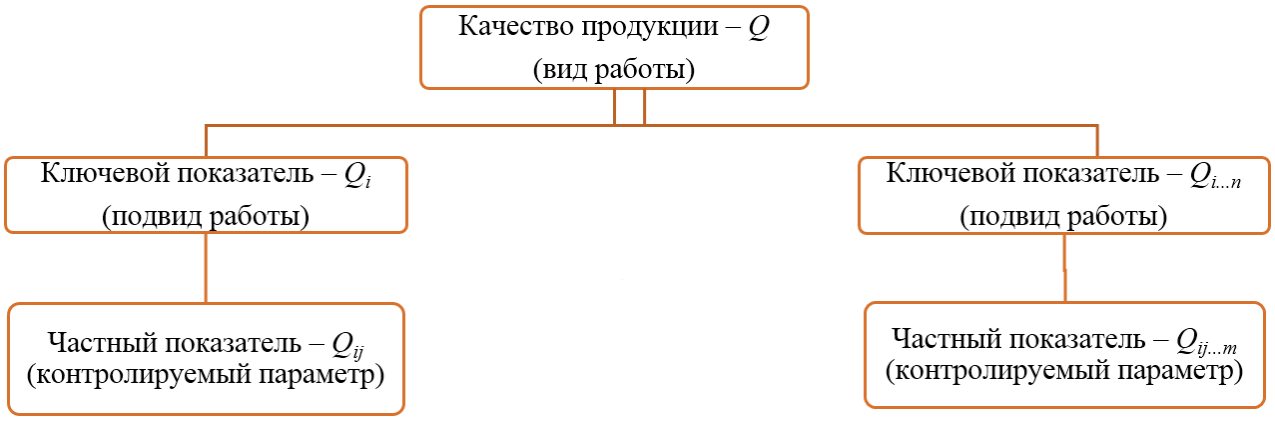


Рис. 1. Иерархическая структура критериев показателей качества

Математическая модель оценки качества состоит из трех этапов:

I этап – частный показатель Q_{ij} – (соответствие нормам контролируемого параметра);

II этап – ключевой показатель Qi – (качество выполнения работ);

III этап – итоговый показатель Q – (оценка эффективности работы в целом).

Для обоснования оценки эффективности предлагается использовать в составе исходных данных количественные характеристики в разрезе двух категорий текущее и эталонное состояние выполненных работ.

На первом этапе расчета эффективности производится определение значения относительных частных показателей на основе абсолютных значений для текущего и эталонного состояния выполненных работ. В случае если при увеличение частного показателя эффективность функционирования возрастает необходимо использовать соотношение текущего состояния на эталонное, в другом случае используется обратное значение.

$$Q_{ij} = \begin{cases} \dfrac{q_{ij}}{q_{ij}^{b}}, \text{if } \dfrac{\partial Q_i}{\partial q_{ij}} > 0; \\ \dfrac{q_{ij}}{q_{ij}^{b}}, \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

где Q_{ij} – частный показатель *i-го* вида работ к *j*-му контролируемому параметру; q_{ij} – текущее состояние выполненных работ; q^{b}_{ij} – эталонное состояние выполненных работ.

Важно отметить особенность вычисления значения Q_i. Необходимо учитывать зависимость весового коэффициента от относительного частного показателя. Учет данной зависимости регулируется с помощью пороговых или релевантных значений.

Получение развернутой математической модели на основании определённой функциональной зависимости, позволяющих получать значения Q_i:

$$Q_i = a_{ij} \sum_{j=1}^{m} Q_{ij}, \quad (2)$$

где $\sum$ – суммирование по всем *i*-ым свойствам, характеризующим качество оцениваемого объекта; m – полное количество контролируемых параметров, характеризующих качество оцениваемой работы; a_{ij} – весовой коэффициент, определяющий степень влияния качества контролируемого параметра на ключевой показатель, значение определяется с помощью значимости каждого параметра с точки зрения трудоемкости выполняемых работ [7].

При значении $Q_i \geq 0{,}7$ – качество работ считать соответствующим требованиям.

При значении $0{,}4 \leq Q_i < 0{,}7$ – для обеспечения необходимого качества работ требуются исправления и доработки.

При значении $0{,}4 < Q_i$ – качество не соответствует, требуется немедленно приостановить работы.

Таким образом, комплексная оценка качества общестроительных работ Q вычисляется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i b_i, \quad (3)$$

где $i = 1,2,..,n$; Q_i − ключевой показатель оценки качества проведения одного из видов контроля i; $\sum$ – суммирование по всем i-ым свойствам, характеризующим качество оцениваемого объекта; b_i – коэффициент значимости критериев, $(0 \leq b_i \leq 1)$ значение определяется на основе метода экспертных оценок; n – полное количество работ, характеризующих качество оцениваемого этапа.

Таким образом, разработана математическая модель комплексного показателя качества, которая позволяет оценивать качество строительно-монтажных работ.

При помощи предложенной методики, как комплексный показатель качества общестроительных работ у подрядчика есть возможность сравнивать возможные варианты по повышению качества, а также делать сравнительный анализ в пользу того или иного предложения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боброва Н.Е., Волкова Л.В. Системы менеджмента качества как основной вид контроля качества в строительстве//Молодой ученый, 2019 г. 57 с.
2. Гаврилов, В.А. Комплексный показатель качества для квалиметрической оценки процессов / В.А. Гаврилов, С.В. Дранишников // Методы менеджмента качества, 2004 г. 41-50 с.
3. Фомин Н.И., Бернгардт К.В. Основы организации контроля и учета в строительстве: крат. справ. мастера строит.-монт. работ. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015 г. 266 с.
4. Дмитриев А.С., Квитко А.В. Проблемы контроля качества работ в современном строительстве//Научно-исследовательские публикации, 2015 г. 78-83 с.
5. Байбурин А.Х. Научные и методологические основы оценки качества работ при возведении гражданских зданий: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.08 / Байбурин А.Х.– Санкт-Петербург, 2007 г. 385 с.
6. Байбурин А.Х. Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.08 / Байбурин А.Х.– Санкт-Петербург, 2012 г. 408 с.
7. МДС 81-28.2001. Указания по применению Государственных Элементных Сметных Норм на строительные и специальные строительные работы».

УДК 69.003

Д.А. Рыбаков, А.Е. Радаев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Современные условия развития отечественного жилищного строительства, характеризующиеся в том числе увеличением сложности строительных проектов, повышением требований к срокам строительства и качеству выполняемых работ вследствие повышения конкуренции на соответствующих рынках, определяют высокую значимость оценки взаимосвязей между параметрами соответствующих строительных объектов и

соответствующими показателями экономической эффективности. При этом результаты анализа научных работ по соответствующей тематике свидетельствуют об отсутствии инструментальных средств, использование которых позволило бы получать адекватные прогнозные значения показателей экономической эффективности для отдельных объектов жилищного строительства на основе соответствующих параметров. Вышеуказанное определяет целесообразность проведения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств, обоснование структурных параметров объектов жилищного строительства (далее ОЖС) на основе оптимизационного-моделирования.

Для достижения указанной цели в рамках исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1. Обзор и анализ научных разработок, соответствующих тематике исследования.
2. Обоснование состава параметров ОЖС, определяющих основные показатели экономической эффективности соответствующих строительных проектов
3. Формирование аналитических моделей зависимости объема капиталовложений и среднего денежного потока за элементарный временной период от параметров объектов строительства
4. Формирование оптимизационных моделей обоснования параметров объекта строительства на основе критериев, соответствующим показателям экономической эффективности соответствующего строительного проекта.

Объектом исследования является объект жилищного строительства, возводимый с целью получения дохода от продажи и сдачи в аренду соответствующих жилых и нежилых (коммерческих) помещений.

Предметом исследования являются характеристики объекта жилищного строительства в части параметров конструктивных решений и применяемых технологий строительства, а также показателей экономической эффективности.

В качестве основных методов исследования использовались следующие: методы статистической обработки информации, методы регрессионного анализа, методы линейной и дробно-линейной оптимизации. Выполнение основных задач исследования осуществлялось с использованием программных средств оптимизационного моделирования – программ «Microsoft Excel» (надстройка «Поиск решения»), «Mathcad», «Matlab».

На начальном этапе исследования был проведен обзор и анализ существующих научных разработок в области определения взаимосвязей между параметрами объектов жилищного строительства и показателями экономической эффективности, а также в области решения производных оптимизационных задач [1, 3–5]. На основе полученных результатов были сделан вывод о том, что подавляющее большинство научных разработок базируется на использовании аналитических методов с применением инструментов экспертного оценивания и потому имеет следующие недостатки:

- зависимость характера взаимосвязей между параметрами строительных объектов и соответствующими показателями экономической эффективности от результатов экспертного оценивания, характеризуемых в общем случае определенной долей субъективности;
- относительно невысокая адекватность результатов оценки вышеупомянутых взаимосвязей ввиду отсутствия полноценного учета альтернативных вариантов конфигурации значений параметров объекта жилищного строительства.

Вышеуказанные обстоятельства определили целесообразность формирования аналитических моделей взаимосвязи конструктивно-технологическими и экономическими характеристиками объектов строительства, для чего в рамках следующего этапа исследования был предложен состав параметров объекта жилищного строительства, оказывающих значительное влияние на показатели экономической эффективности соответствующего строительного проекта (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры объекта строительства, оказывающие значительное влияние на показатели экономической эффективности соответствующего строительного проекта

№ п.п.	Название	СИ	Обозначение
1	Количество этажей	ед.	$x_{j=1}$
2	Высота этажа	м	$x_{j=2}$
3	Общая площадь квартир на этаже	м^2	$x_{j=3}$
4	Значение нормированного показателя затрат для обустройства фундамента	-	$x_{j=4}$
5	Значение нормированного показателя затрат для обустройства наружных стен	-	$x_{j=5}$
6	Значение нормированного показателя затрат для обустройства перегородок	-	$x_{j=6}$
7	Значение нормированного показателя затрат для обустройства кровли	-	$x_{j=7}$

На следующем этапе были сформированы аналитические модели зависимости объема инвестиций и среднего денежного потока за элементарный период для проекта в области жилищного строительства от параметров соответствующего объекта строительства, состав которых соответствует информации, представленной в таблице 1. Аналитические модели определяются выражениями:

$$I = y^{\mathrm{I}} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_n x_n = a_0 + \sum_{j=1}^{n} a_j x_j; \quad (1)$$

$$CF_{\mathrm{aver}} = y^{\mathrm{II}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_n x_n = b_0 + \sum_{j=1}^{n} b_j x_j, \quad (2)$$

где I, CF_{aver} – значение соответственно объема инвестиций и среднего денежного потока за элементарный период для проекта в области жилищного строительства, руб.; y^{I}, y^{II} – альтернативные обозначения вышеуказанных показателей экономической эффективности; a_0, b_0 – денежная константа для соответственно объема инвестиций и среднего денежного потока за элементарный период – компонента значения показателя экономической эффективности, не зависящая от значений параметров объектов строительства, руб.; a_j, b_j – компонент пропорциональности параметра объекта строительства с индексом j значению соответственно объема инвестиций и среднего денежного потока за элементарный период; $j = 1, 2, ..., n$; n – общее количество параметров.

Собственно формирование аналитических моделей предполагало вычисление параметров моделей a_0, $\{a_j\}$, b_0, $\{b_j\}$ на основе исходных данных, в качестве которых использовались значения параметров для существующих объектов строительства в составе предварительно сформированной выборки $\{x_{ij}\}$, где i – индекс объекта строительства; $i = 1, 2, ..., m$; m – количество объектов строительства в составе выборки; j – индекс параметра; $j = 1, 2, ..., n$.

Вычисление параметров моделей a_0, $\{a_j\}$, b_0, $\{b_j\}$ производилось по методу Крамера, оценка адекватности сформированных аналитических моделей – по расчетной величине коэффициента детерминации [2].

На заключительном этапе исследования были предложены оптимизационные модели обоснования параметров объекта строительства на основе следующих критериев:

– чистая приведенная стоимость NPV (максимизируется);
– срок окупаемости в случае равномерного по периодам денежного потока PP

(минимизируется);

– индекс рентабельности (максимизируется).

Соответствующие вышеуказанным критериям целевые функции определяются выражениями:

$$NPV\left(\left\{x_j\right\}\right)=\sum_{t=1}^{T}\frac{\beta_t}{(1+r)^t}\cdot CF_{\text{aver}}\left(\left\{x_j\right\}\right)-I\left(\left\{x_j\right\}\right)\to \max;\ ; \tag{3}$$

$$PP\left(\left\{x_j\right\}\right)=\frac{I\left(\left\{x_j\right\}\right)}{CF_{\text{aver}}\left(\left\{x_j\right\}\right)}\to \min;\ , \tag{4}$$

$$PI\left(\left\{x_j\right\}\right)=\frac{\sum_{t=1}^{T}\frac{\beta_t}{(1+r)^t}\cdot CF_{\text{aver}}\left(\left\{x_j\right\}\right)}{I\left(\left\{x_j\right\}\right)}\to \max; \tag{5}$$

где β_t – коэффициент неравномерности денежного потока в рамках элементарного периода *t*, определяющий отношение денежного потока за период *t* к среднему значению денежного потока; $t=1,2,...,T$; T – количество элементарных периодов; r – ставка дисконтирования.

Ограничения оптимизационных моделей определяют соответствие неизвестных переменных – параметров объекта строительства – диапазонам допустимых значений:

$$\min_i\left\{x_{ij}\right\}\le x_j\le\max_i\left\{x_{ij}\right\},\ j=1,2,...,n. \tag{6}$$

Важно отметить, что в зависимости от рассматриваемого критерия модели имеют линейную или дробно-линейную структуру, и поэтому могут быть эффективно реализованы с использованием симплекс-метода, доступного в современных программных средах оптимизационного моделирования.

На дальнейших этапах исследования планируется разработка и реализации методики обоснования параметров объектов строительства, объединяющей в себе все вышесказанные научные результаты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Берёза А.Н., Жариков И.С. Математический подход к выбору наиболее эффективного инвестиционного проекта реновации // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 8. С. 204-214.
2. Гамаюнова О.С. Обоснование стоимости утеплителей от их теплофизических характеристик //
3. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 1 (76). С. 19-29.
4. Жариков И.С., Шибаева М.А. Инструментарий оценки инвестиционных проектов в строительстве // Цифровая и отраслевая экономика. 2020. № 3 (20). С. 52-58.
5. Околелова Э.Ю., Трухина Н.И. Строительство высотных зданий: оценка эффективности проектов в условиях рисков: монография. Воронеж, ВГАСУ, 2016. 136 с.

УДК 64.011.325

Д.В. Савватеев, А.Ю. Городишенина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНОГО ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Актуальность. На сегодняшний день строительство – одна из наиболее интенсивно развивающихся отраслей. В то же время строительство – отрасль наиболее затратная, реализующая множество видов работ и производящая множество видов строительной продукции, осуществляющая один из самых сложных с точки зрения технологии и организации производственных процессов во всем производственном секторе экономики. В

связи с этим вопрос стоимости строительства актуален не только для строительных организаций, но и для всех без исключения участников реализации инвестиционно-строительных проектов.

В процессе разработки инвестиционно-строительного проекта огромное внимание уделяется учету всех необходимых для строительства материальных ресурсов. Неточность в расчетах, поставках и использовании материальных ресурсов может привести к значимым проблемам:

– отсутствие или нехватка необходимых материалов для выполнения строительного процесса, что часто приводит к увеличению срока строительства и дополнительным расходам на производство и транспортировку необходимых материалов;

– чрезмерные излишки материалов также могут привести к денежным перерасходам и нерентабельности проекта для инвесторов.

Цели и задачи. Разработка методики определения оптимального уровня запасов материальных ресурсов.

Исследования и расчеты. Планирование запасов в строительстве имеет значимую роль, так как точное и грамотное планирование обеспечит непрерывность производственного процесса и позволит предотвратить образование излишних запасов материальных ресурсов.

Рассмотрим изучение процесса планирования запасов путем применения простейшей математической модели управления запасами – модели Уилсона для выявления резервов снижения затрат строительной организации [1].

Математически модель выражается формулой:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot \text{ОПП} \cdot \text{Срз}}{\text{Схр}}}, \quad (1)$$

где Q – размер партии поставки; ОПП – объем производственного потребления; Срз – средняя стоимость размещения одного заказа; Схр – средняя стоимость хранения одной единицы запаса.

Модель Уилсона позволяет выявить оптимальную величину заказа для повышения качества использования товарно-материальных ценностей.

Важным фактором управления запасами является то, что объем спроса на хранимый запас в единицу времени может быть детерминированным или вероятностным.

Детерминированный (достоверно известный) объем спроса [2] определяется неоднократным размещением и получением заказов заданных объемов продукции в определенные моменты времени. Объемы продукции определяется путем минимизации функции затрат, представленной на рис. 1.

$$\begin{pmatrix}\text{Суммарные}\\ \text{затраты системы}\\ \text{управления}\\ \text{запасами}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Затраты на}\\ \text{приобретение}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Затраты на}\\ \text{оформление}\\ \text{заказа}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Затраты на}\\ \text{хранение}\\ \text{заказа}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Потери от}\\ \text{дефицита}\\ \text{запаса}\end{pmatrix}.$$

Рис. 1. Функция затрат

Новые заказы при непрерывном контроле состояния запаса размещаются тогда, когда уровень запаса опускается до заранее определенного значения, называемого точкой возобновления заказа. Такие модели управления запасами характеризуются постоянным во времени спросом, мгновенным пополнением запаса и отсутствием дефицита. Уровень запаса изменяется в соответствии с функцией рис. 2.

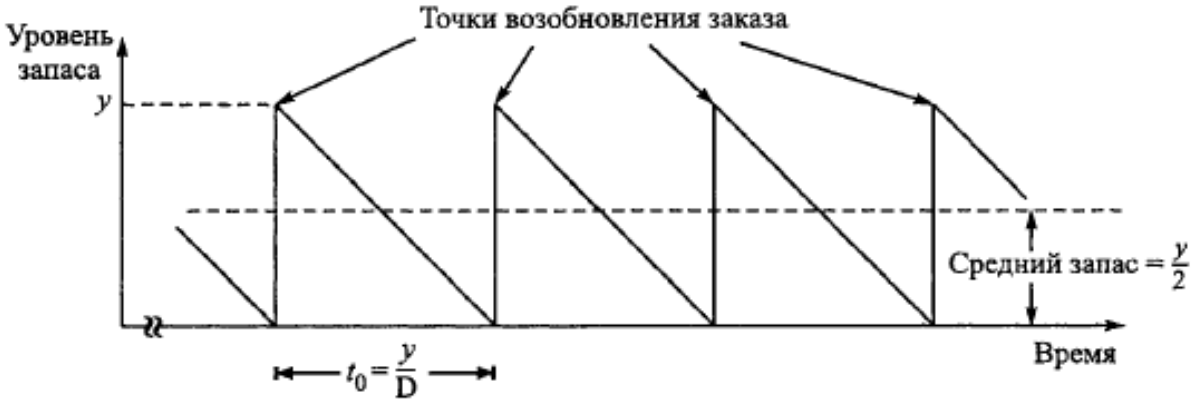


Рис. 2. График зависимости уровня запаса от времени при детерминированном объеме спроса

На рисунке y – объем заказа (количество единиц продукции); D – интенсивность спроса (измеряется в единицах продукции на единицу времени); t_0– продолжительность цикла заказа (измеряется во временных единицах).

Заказ объема y единиц размещается и пополняется мгновенно, когда уровень запаса равен нулю. Затем запас равномерно расходуется с постоянной интенсивностью спроса D. Продолжительность цикла заказа равен $t_0 = \frac{y}{D}$ единиц времени.

В случае, если значение спроса является случайной величиной, рассматриваются вероятностные модели управления запасами [3]. Размер резерва устанавливается таким образом, чтобы вероятность истощения запаса в течение периода выполнения заказа не превышала наперед заданной величины.

Основным предположением при построении модели является то, что величина спроса X_L на протяжении срока выполнения заказа L является нормально распределенной случайной величиной со средним μ_L и стандартным отклонением σ_L, т.е. имеет распределение $N(\mu_L,\sigma_L)$. На рис. 3 показана зависимость между размером резервного запаса B и параметрами модели экономического размера заказа с учетом экономического размера заказа y^*.

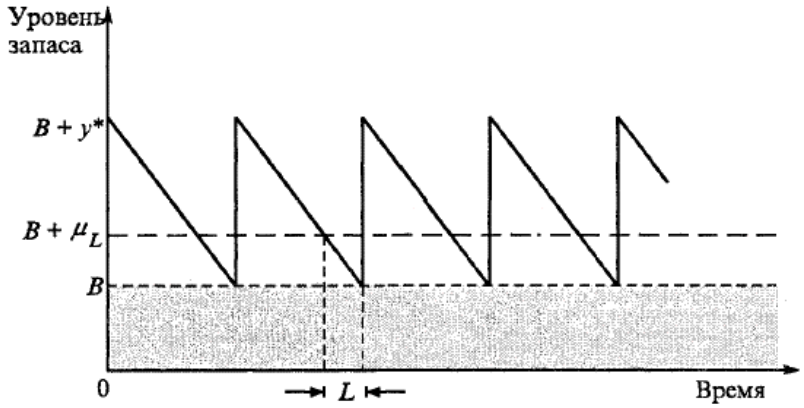


Рис. 3. График зависимости уровня запаса от времени при вероятностном объеме спроса

Величина спроса на протяжении срока выполнения заказа L описывается плотностью распределения вероятностей, отнесенной к единице времени, из которой можно определить распределение спроса на протяжении периода L.

Основная задача создания запасов заключается в устранении неизбежных «перекосов» в движении материальных ресурсов от поставщика до строительных организаций [4, 5]. В процессе движения по логистической цепи материальные потоки проходят стадии от

разработки и производства до продажи и послепродажного обслуживания, добавляя или снижая ценность продукции.

Анализируя цепочки добавленной ценности и издержек поставщиков, потребителей, а также движение потоков внутри компании, можно повышать рентабельность и снижать затраты ресурсов на различных стадиях жизненного цикла за счет их оптимизации и эффективного управления.

Вывод. Для оптимизации использования материальных ресурсов при строительстве высотного офисного здания был выбран метод с детерминированным объемом спроса на хранимый запас в единицу времени, т.к. этот вариант является наиболее стабильным и расчетно-прогнозируем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуляева Е.Л., Биджоян К.С., Планирование запасов на примере организации отрасли строительства // Конференция Экономический рост: проблемы, закономерности, перспективы. 2018. С. 231-233.
2. Хэмди А. Таха, Детерминированные модели управления заказами // Издание Введение в исследование операций. 2001. С. 439-442.
3. Хэмди А. Таха, Вероятностные модели управления заказами // Издание Введение в исследование операций. 2001. С. 574-576.
4. Романовская Е.В., Гарин А.П., Далидович К.Н., Лапыгин Ю.Н., Оптимизация управления запасами в цепи поставок на основе процессного подхода // Журнал Вестник Мининского университета. 2016. С. 13.
5. Царенкова И.М., Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог // Журнал Наука и Техника БНТУ. 2017. №6. С. 537-545.

УДК 69.003.13

В.В. Сергеев, Н.Б. Колосова, И.С. Птухина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОДСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ

Целью работы является сравнительное исследование существующих методов подсчета экономического ущерба от подтопления застроенных территорий.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует объективная достоверная информация об истинных размерах проявления подтопления, так как работы по выявлению, оценке и учету подтопления выполняются только в экстренных случаях при резком обострении экологической ситуации на отдельных локальных участках.

В российскую науку большой вклад в развитии прогнозирования и моделирования подтопления внес Сологаев В.И., который в своих научных трудах [1, 2] вывел авторский метод моделирования фильтрации с помощью электронных таблиц. При оценке ущерба от подтопления в соответствии с нормативным документом [3], величина удельного ущерба (риска) от подтопления (тыс. руб./га·год) рассчитывается по формуле:

$$R_i(D) = \sigma_{\text{ин}}\delta_{\text{рег}}\frac{erfc\left[\left(arcerfc2P_{H_i}+3\right)\frac{\ln D}{\ln D_{H_i}}-3\right]}{erfc\left[\left(arcerfc2P_{H_i}+3\right)\frac{\ln D_{\text{б}}}{\ln D_{H_i}}-3\right]}R_i(D_{\text{б}}), \qquad (1)$$

где $\sigma_{\text{ин}}-$ инфляционный коэффициент за период от базовых значений ущербов $R_i(D_{\text{б}})$ до расчетного момента; $\delta_{\text{рег}}-$ региональный коэффициент, учитывающий специфику ценообразования в том регионе, в котором находится территория; $erfcx = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^{\infty} e^{-x^2}dx$ – вероятностная функция; P_{H_i} –нормативные значения годовых ущербов от подтопления в долях

от максимальных (при D); D_{H_i} – нормативные значения доз вредного воздействия подтопления, до значения, которых не требуется проведение защитных мероприятий; $D_б$ – доза вредного воздействия подтопления, называемая базовой, для которой известно базовое значение ущерба от подтопления для разных уровней ответственности территорий $R_i(D_б)$.

$R_i(D_б)$ – оценка уровней риска с учетом уровней ответственности территорий, которая производится по формуле:

$$R_i(D_б) = 0{,}535erfc[-2{,}38\ln D - 3]\sigma_{ин}\delta_{рег}R_{бi},$$

где $R_{бi}$ – базовая величина ежегодного ущерба, наносимого подтоплением из расчета на 1 га территории. Для Северо-Западного федерального округа ущерб, наносимый населенным пунктам, промышленным предприятиям, линейным инженерным сооружениям составляет 5475 тыс. руб./га·год в ценах 2006 года.

Анализ приведенной зависимости показывает, что расчёт сводится к определению базовой величины ежегодного ущерба $R_б$, наносимого подтоплением из расчета на 1 га территории. Исследуя указанную зависимость, видим, что данный параметр зависит от характеристик подтапливаемой территории, а именно от количества жителей и уровня ответственности ГПТ – градопромышленной территории. Например, для среднего сельского поселения и нормального уровня ответственности здания величина $R_б$ будет составлять 965 тыс. руб./га в ценах 2006 г.

Остальная часть уравнения учитывает инфляцию и вероятностную оценку рисков. Таким образом данный метод не учитывает специфику рассматриваемого здания и его участка, для любого типа здания одного типа ответственности будет одна и та же величина ущерба. Также данный метод не учитывает параметры процесса подтопления.

Согласно методике [4], прямой экономический ущерб от вредного воздействия вод сводится к виду:

$$У^{н}_{п} = У_{оф} + У_{обф} + У^{г}_{п} + З_{ас} + З_{эв} + В^{н}_{у} + У_{лс} + З_{в} + У^{н}_{соц}, \quad (2)$$

где учитываются ущерб от повреждения и выбытия основных $У_{оф}$ и оборотных фондов $У_{обф}$, потерь готовой продукции $У^{г}_{п}$, затрат на проведение аварийно-спасательных работ $З_{ас}$ и эвакуацию населения $З_{эв}$, упущенная выгода из-за потери стоимости нереализованной продукции $В^{н}_{у}$, потеря личной собственности граждан $У_{лс}$, затраты на восстановление разрушенных зданий $З_{в}$ и социально-экономический ущерб $У^{н}_{соц}$. Данный способ предлагает поэлементное суммирование затрат, что в реальных условиях является трудоемким и в некоторых случаях невозможным [5, 6].

Для упрощения расчета данная методика предлагает свести расчет к поиску удельных расценок. Так для жилых 1 и 2 этажных домов на восстановление домов приходится 3600-5100 руб./м^2.

В зарубежной практике в Республике Кореи проводилось исследование [7], в котором сравнивались две цифровые модели рельефа разного разрешения получаемых данных – LiDAR-based 1×1 и mDEMи 10×10 mDEM. Эти модели были разработаны на основе данных аэросъемок, которые после их получения, обрабатывались и модернизировались (исключались растительность и другие объекты различного назначения, оставались только рельеф и здания). Затем, с помощью компьютерных программ, проводился анализ возможного подтопления при условиях наибольших осадков. В результате оценивался ущерб с помощью удельных расценок, из предположения, что все здания в городской среде сделаны из бетона.

Описанный метод позволяет при малых трудозатратах эффективно получать рельеф местности и рассчитывать вероятные зоны подтопления. Однако, при оценке ущерба здесь не учитываются объекты озеленения и используются удельные расценки. Такой подход позволяет получить только приблизительную оценку возможного ущерба.

Авторами была проведена сравнительная оценка описанных методов, которая отражена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов оценки ущерба

Характеристики	ГОСТ Р 22.8.09-2014	Методика Шпагиной		Зарубежная методика на основе цифровой модели
		Прямой экономический эффект	Удельные расценки	
Трудоемкость	×	✓	×	×
Наличие вероятностного характера	✓	×	×	×
Актуальность ценообразования	×	×	×	✓
Использование удельных расценок	✓	×	✓	✓
Учёт параметров процесса подтопления	×	×	×	✓
Учёт затрат на ликвидацию последствий от подтопления	×	✓	×	×

Таким образом, описанные выше методы оценки расчета экономического ущерба от подтопления сводятся к определению удельных расценок на единицу площади земли. При учете различных элементов, пострадавших от подтопления, возрастает трудоемкость подсчета ущерба. В следствие этого, по мнению авторов, расчет по существующим методам рационально производить только при подсчете ущерба от подтопления на больших подтопленных территориях. В противном случае, использование описанных методов при оценке ущерба других площадей, может привести к значительным искажениям реального ущерба.

В настоящее время активно разрабатываются BIM технологии, позволяющие минимизировать трудозатраты при подсчете объемов и планировании работ, которые, в свою очередь, непосредственно отразятся на расчетах оценки ущерба от подтопления территории. Авторами статьи выдвигается гипотеза о возможности создания алгоритма на основе цифровой модели рельефа и сооружений, который позволит спрогнозировать и смоделировать процесс подтопления с учетом величины ущерба от подтопления в актуальных расценках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сологаев В.И. Защита от подтопления в городском строительстве. Устройство и работа: Конспекты лекций. – Омск: Изд-во СибАДИ, 1999. – 56 с.

2. Сологаев В.И. Моделирование фильтрации с применением компьютерных OLE-технологий // Труды СибАДИ. – Омск: Изд-во СибАДИ, 1998. – Вып. 2, ч. 1. – С. 229-236.

3. Гост Р 22.8.09-2014.Требования к расчету уровня безопасности, риска и ущерба от подтопления градопромышленных территорий.

4. А.Н. Шпагина С.Ю. Питерская, А.В. Федорова «Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий». – Москва : [б.н.], 2005 г.

5. Ватин Н.И., Булатов Г.Я., Колосова Н.Б., Петроченко М.В. Технология возведения зданий и сооружений. Технологические решения земляных и бетонных работ. Учеб. пособие / Санкт-Петербург, 2018. (2-е издание, переработанное и дополненное).

6. Бойко О.Р., Птухина И.С. Оценка экономической эффективности внедрения BIM-технологий на примере модели проектной организации. 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. 5-8.

7. Kim, Y. Do, Tak, Y.H., Park, M.H., Kang, B. Improvement of urban flood damage estimation using a high-resolution digital terrain. Journal of Flood Risk Management.2019. DOI:10.1111/jfr3.12575.

УДК 621.383.51

В.И. Соколов, Д.В. Немова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ФОТОВОЛЬТАИКА В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Потребность в электроэнергии для обеспечения функционирования городов растет с каждым годом в связи с увеличением численности населения, расширением существующих и появлением новых городов, развитием технологий. Традиционные способы получения электроэнергии (к примеру, для отопления зданий), как правило, связаны с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ, что оказывает негативное влияние на экологическую ситуацию в мире.

Решением данной проблемы является развитие нетрадиционной альтернативной энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии (на трёх её основных частях: вода, воздух и солнечное излучение) [2]. Развитие во многих странах альтернативной энергетики в последние два десятилетия послужило импульсом для активизации инновационной деятельности и создания новых высокотехнологичных секторов промышленности [1].

На фоне динамичного развития солнечной фотоэнергетики одной из основных тенденций в мировых строительной и архитектурной практиках является использования солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ). Особенно актуально применение установок в общественных и административных зданиях, где пик потребления электроэнергии приходится на дневное/вечернее время суток – период максимальной нагрузки на сети [5].

Целью исследования является подбор наиболее подходящего варианта фотоэлектрических установок для высотного здания и определение объемов вырабатываемой энергии.

Для достижения данной цели, необходимо решить следующие *задачи*:

1. Рассмотреть существующие виды фотоэлектрических установок;
2. Подобрать систему, наиболее подходящую для сферы высотного строительства;
3. Определить объем вырабатываемой электрической энергии (на примере проектируемого здания бизнес-центра);
4. Сравнить полученный объем электроэнергии с требуемыми объемами для эксплуатации здания.

По способу установки фотоэлектрических модулей системы делятся на два вида:

– традиционная установка солнечных панелей;
– интеграция солнечных батарей в архитектуру здания.

Примером традиционной установки служат дома с солнечными панелями на кровле здания, а также на специальных конструкциях, расположенных на прилегающей территории. Такой способ установки в основном подходит для частного использования. Также, с точки зрения установки, он может быть применим к многоэтажным жилым домам посредством размещения панелей на кровле здания, но с позиции количества вырабатываемой энергии данный способ не является целесообразным, поскольку площадь кровельного покрытия мала по отношению к объему всего здания.

Необходимость использования солнечных панелей для многоэтажной застройки, в том числе и высотных офисных зданий, дала толчок к появлению новых технологий. Так возникли новые понятия, описывающие два основных подхода интеграции солнечных батарей в конструкцию зданий [3]:

– BAPV (Building Applied Photovoltaics) – добавление фотоэлектрических модулей
– поверх ограждающих конструкций здания (фасада или кровли) (рис. 1);
– BIPV (Building Integrated Photovoltaics) – замена части ограждающих конструкций здания (или конструкций целиком) специально созданными для данного проекта фотоэлектрическими модулями (рис. 2).



Рис. 1. BAPV-модули



Рис. 2. BIPV-модули

BIPV-модули могут заменять различные конструкции здания, например, кровельное покрытие (рис. 2). В настоящее время различными фирмами ведутся разработки, направленные на повышение КПД систем, что позволяет увеличить объем вырабатываемой энергии [4]. Таким образом, BIPV-системы являются наиболее передовыми и подходящими для высотного строительства.

Рассмотрим применение солнечных панелей типа BIPV для проектируемого здания бизнес-центра высотой 145 м. Для расчета выберем солнечные панели фирмы Хевел. Солнечные панели целесообразнее располагать на Южном, Юго-Западном или Юго-Восточном фасаде здания. На Юго-Восточном фасаде расположен преимущественно холл, выберем этот фасад для замены витражей фотоэлектрическими модулями.

Характеристики применяемых солнечных панелей отражены ниже:

– тип: Хевел тип А, фронтальная и задняя сторона – прозрачное закаленное стекло; мощность: 190 Вт/м^2 (значение рассчитывается как количество сгенерированной энергии при попадании 1000 Вт/м^2 солнечной энергии на поверхность панели);
– гарантийный срок службы– 50 лет;
– класс пожарной опасности конструкции – К0;
– максимальная высота установки фасадной системы – 150 м;
– период окупаемости – около 10 лет.

Среднемесячные теплопоступления от солнечного излучения для города Волгоград представлены на рис. 3. Ориентация солнечных панелей – вертикальная, на Юго-Восток.

Таким образом, суммарные теплопоступления за год:

$$I_{R\,sum} = 949{,}2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2.$$

Мощность солнечных панелей составляет 0,19 кВт/м^2, площадь Юго-Восточного фасада здания $S_{\text{Ю-В}}$ = 4635 м^2. Тогда объем вырабатываемой за год энергии:

$$Q_{sum} = 949{,}2 \cdot 0{,}19 \cdot 4635 = 835\,913 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Сравним полученные результаты с требуемыми затратами электроэнергии на эксплуатацию здания. Проектируемое здание было рассчитано в программном комплексе Autodesk Green Building Studio, результаты по затратам электроэнергии приведены на рис. 4 и 5.

Рассчитаем годовые затраты на освещение:

$$Q_{\text{осв}} = 5\,732\,063 \cdot 0.195 = 1\,117\,752 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Также можно рассчитать годовые затраты на потребление электроэнергии офисным оборудованием (в расчет берем среднее значение 43,2 кВт/м^2 электроэнергии в год):

$$\text{S}_{\text{оф}} = 19\,182 \text{ м}^2;\ Q_{\text{оф. оборуд.}} = 19\,182 \cdot 43.2 = 828\,663 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

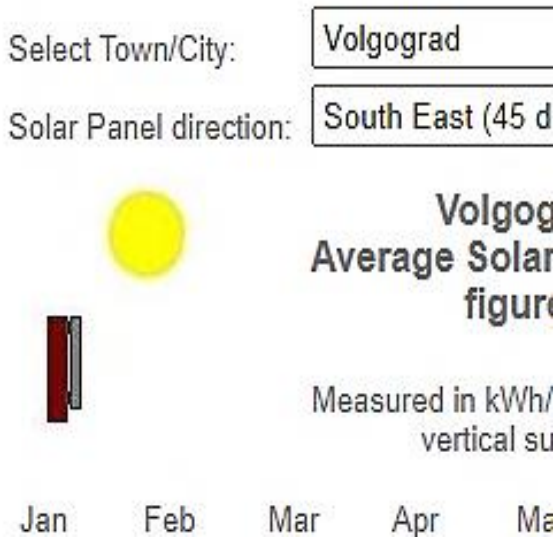


Рис. 3. Среднемесячные теплопоступления

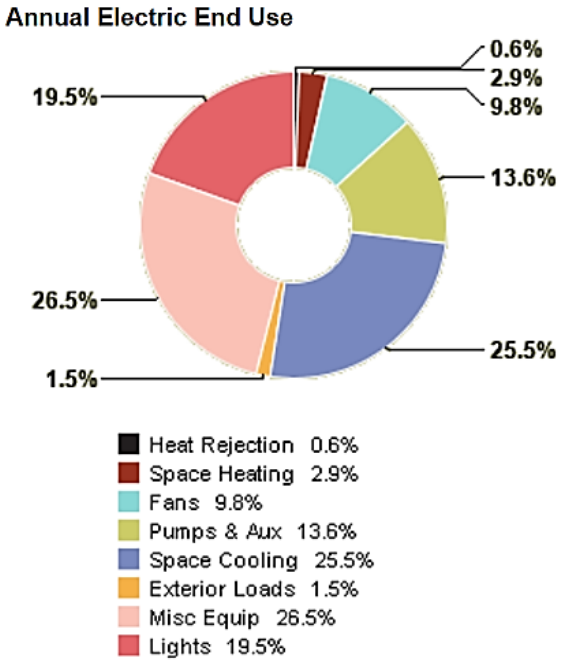


Рис. 5. Распределение затрат

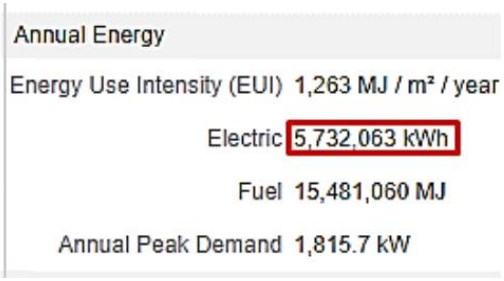


Рис. 4. Суммарные годовые затраты энергии

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение солнечных панелей позволяет снизить затраты на электроэнергию и полностью покрыть расходы энергии на работу офисного оборудования, или обеспечить большую часть затрачиваемой энергии, необходимой на освещение здания. Использование энергосберегающих ламп, датчиков движения и ламп с регулировкой яркости позволит снизить расходы на освещение и обеспечить питание данных систем исключительно от солнечной энергии.

Конструктивные особенности передовых интегрируемых систем, большой гарантийный срок службы и высокие показатели вырабатываемой энергии позволяют осуществлять эффективное внедрение панелей в высотное строительство, использовать возобновляемые источники энергии, а также снижать затраты на электроэнергию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ратнер С.В. Фотовольтаика на мировой энергетической арене: динамика и региональные особенности развития, 2015
2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008
3. Elistratov V.V., Petrov V.M., Active building-integrated solar systems for independent energy supply of buildings, 2014
4. Миличко В.А., Шалин А.С., Мухин И.С., и др. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития, УФН, 2016
5. Петров В.М., Елистратов В.В. Определение основных параметров фасадно-интегрированных фотоэлектрических установок в условиях городской застройки. Материалы Международного конгресса REENCON-XXI. Сколково, 2016, с. 229-234.

УДК 69.002.5

А.Ш. Спицкая, А.Е. Радаев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В современных условиях развития строительного производства наблюдаемое усложнение структуры строительных проектов и, как следствие, планов производства работ определяет особую важность решения задач рациональной организации технологических процессов, предполагающих использование сложных по составу комплектов строительных машин (в том числе ведущих и вспомогательных). При этом процесс решения указанных задач является достаточно трудоемким ввиду наличия большого количества вариантов (моделей) строительной техники, обуславливающего значительный диапазон значений производительности работы в заданных условиях выполнения работ. Также важно отметить, что результаты анализа литературных источников в области технологии и организации строительного производства свидетельствуют об отсутствии или ограниченности существующих инструментальных средств с точки зрения эффективного решения задачи организации функционирования сложных по составу комплектов строительных машин (СМ) с позиций трудоемкости разработки моделей и адекватности получаемых результатов.

На основе вышеизложенных особенностей был сделан вывод о необходимости проведения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств в области обоснования характеристик комплектов ведущих и вспомогательных машин с использованием элементов теории массового обслуживания.

Достижение указанной цели обеспечивается посредством выполнения основных следующих задач исследования:

1. Анализ существующих научных разработок по тематике исследования.
2. Разработка оптимизационной модели обоснования характеристик комплектов ведущих и вспомогательных машин, на основе обеспечиваемых технических и стоимостных параметров технологического процесса.
3. Реализация разработанной модели на практическом примере.

В процессе выполнения вышеуказанных задач использовались следующие методы исследования: методы системного анализа; методы статистической обработки информации; методы целочисленной линейной оптимизации (реализуемые в рамках надстройки «Поиск решения» программной среды «Microsoft Excel»).

На начальном этапе исследования был произведен обзор научных результатов в области обоснования характеристик комплектов строительных машин, используемых в процессе строительства, – в частности, методических разработок [1-3] и инструментальных средств [4, 5]. На основе результатов упомянутого обзора были сделаны следующие выводы:

– существующие методические рекомендации не обеспечивают эффективного решения задачи ввиду отсутствия конкретных математических инструментов для количественного описания наиболее предпочтительного решения по отношению к парку СМ;

– существующие инструментальные средства обладают относительно невысокой практической значимостью, поскольку не учитывают особенности совместного функционирования ведущих и вспомогательных СМ в рамках технологического процесса, а также взаимное влияние характеристик работы комплектов машин друг на друга.

Вышеуказанные выводы определили целесообразность разработки в рамках следующего этапа исследования оптимизационной модели обоснования характеристик комплектов ведущих и вспомогательных машин.

Основными положениями разработанной модели являются следующие:

- объектом рассмотрения является реализуемый в рамках определенного интервала времени технологический процесс строительства, предполагающий привлечение парка СМ, включающего в себя следующие технологические группы:
  - ведущие СМ, осуществляющие выполнение работ по преобразованию материала и/или его погрузке во вспомогательные СМ;
  - вспомогательные СМ, осуществляющие транспортировку материала и его выгрузку в локации назначения;
- процесс взаимодействия указанных групп СМ отождествляется с системой массового обслуживания с неограниченной длиной очереди в соответствии со следующими принципами:
  - ведущие СМ рассматриваются как каналы обслуживания, вспомогательные СМ – как заявки, каждая из которых при прохождении через систему единожды обслуживается в рамках определенного канала;
  - совокупность вспомогательных СМ, поступающих на загрузку и убывающих с нее отождествляется соответственно с входящим и выходящим простейшими потоками заявок (в частности количество вспомогательных СМ и конфигурация выполняемых ими технологических циклов обеспечивают непрерывность и относительную равномерность входящего потока заявок);
- необходимо определить количество единиц техники для указанных технологических групп СМ, соответствующее минимальным общим суммарным затратам на содержание ведущих СМ и ожидание вспомогательных СМ в очереди при условии выполнения машинами заданного объема работ в течение рассматриваемого интервала времени.

Поскольку основные расчетные характеристики систем массового обслуживания (вероятность отсутствия заявок в очереди, среднее количество заявок в очереди, средняя длительность ожидания в очереди и т.д.) являются дискретными и нелинейными функциями относительно количества каналов обслуживания (отождествляемого с количеством ведущих СМ – основной категорией неизвестных переменных), в качестве дополнительной категории неизвестных переменных было предложено рассматривать бинарные индикаторы, обеспечивающие возможность применения метода кусочно-линейной аппроксимации для описания вышеупомянутых функций с целью получения модели с линейной структурой, определяемой следующими выражениями:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(c_i\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\right)+\sum_{j=1}^{n}\left(c_j\sum_{s=1}^{S}r_{sj}y_{sj}\right)T\to\min; \quad (1)$$

$$x_{ij}\geq 0,\ i=1,2,...,m;\ j=1,2,...,n; \quad (2)$$

$$x_{ij}\in Z,\ i=1,2,...,m;\ j=1,2,...,n; \quad (3)$$

$$y_{sj}\in\{0;1\},\ s=1,2,...,S;\ j=1,2,...,n; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m}p_{ij}x_{ij}T\geq V_j^{\text{targ}},\ j=1,2,...,n; \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^{S}y_{sj}=1,\ j=1,2,...,n; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=\sum_{s=1}^{S}d_s y_{sj},\ j=1,2,...,n; \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\leq x_i^{\max},\ i=1,2,...,m; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}\leq\alpha_j,\ j=1,2,...,n, \quad (9)$$

где m – количество моделей ведущих СМ, ед.; n – количество фронтов работ, ед.; S – количество альтернативных вариантов количества ведущих СМ в рамках фронта, ед.; i – индекс моделей ведущих СМ; $i=1,2,...,m$; j – индекс фронтов работ; $j=1,2,...,n$; s – индекс альтернативных вариантов количества ведущих СМ в рамках фронта; $s=1,2,...,S$; x_{ij} – количество ведущих СМ модели i, функционирующих в рамках фронта j, ед. (неизвестные

переменные основной категории); y_{sj} – индикатор наличия варианта определенного количества ведущих СМ s на фронте j (неизвестные переменные дополнительной категории); T – элементарный фонд времени работы машин, ч; d_s – альтернативное количество СМ, соответствующее варианту s, ед.; c_i – затраты на содержание одной ведущей СМ модели i в течение фонда времени, д.е./ед.; c_j – удельные затраты на ожидание обработки вспомогательной СМ в рамках фронта j, д.е./ч.; $x_i^{\max}$ – максимально допустимое количество ведущих СМ модели i, ед.; V_j^{targ} – минимальный объем работ в рамках фронта j, м^3; p_{ij} – производительность единицы ведущих СМ модели i в рамках фронта j, м^3/(ч·ед.); r_{sj} – среднее количество транспортных средств в очереди на фронте j для варианта количества ведущих СМ s, м^3; α_j – коэффициент загрузки ведущих СМ (параметр системы массового обслуживания) в рамках фронта j, м^3/(ч·ед.).

В рамках заключительного этапа исследования была произведена реализация разработанной модели на практическом примере – решении задачи обоснования парка одноковшовых экскаваторов «Volvo» и самосвалов в рамках каменного карьера – с целью оценки адекватности модели. Исходные данные и результаты реализации модели в части оптимальных значений неизвестных переменных основной категории, а также значений компонент целевой функции и ограничений представлены на рис. 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	T	ч	8																			
3	i		1	2	3	4	5	6	7	8	c_i	$x^{\max}{}_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Sigma_j x_{ij}$	$c^0{}_i \cdot \Sigma_j x_{ij}$
4			p_{ij}=1	p_{ij}=2	p_{ij}=3	p_{ij}=4	p_{ij}=5	p_{ij}=6	p_{ij}=7	p_{ij}=8			x_{ij}=1	x_{ij}=2	x_{ij}=3	x_{ij}=4	x_{ij}=5	x_{ij}=6	x_{ij}=7	x_{ij}=8		
5	-		м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	м^3/(ч·ед.)	р.е./ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	ед.	д.е.
6	1		53	53	54	55	57	58	55	54	13000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2		45	45	47	47	47	46	46	44	10000	4	0	0	0	0	0	4	0	0	4	40000
8	3		40	41	41	42	44	44	43	44	10000	3	0	0	0	3	0	0	0	0	3	30000
9	4		60	61	62	65	666	59	58	58	16000	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	16000
10	5		42	42	43	43	46	45	44	44	12000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	6		55	56	56	57	57	55	54	55	14000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	7		38	39	38	40	41	40	38	37	10000	10	2	2	2	0	0	0	2	2	10	100000
13	8		62	61	61	60	60	62	61	61	14000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	9		53	54	57	58	60	62	57	55	15000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	10		41	42	44	45	45	45	44	42	11000	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	V^{targ}_j	м^3	540	560	600	1000	840	1420	500	480	$\Sigma_i x_{ij}$	ед.	2	2	2	3	1	4	2	2		
17	α_j	-	0,9816	0,8502	0,9543	0,9375	0,374	0,9967	0,9	0,7287	$\Sigma_i p_{ij} \cdot x_{ij} \cdot T$	м^3	608	624	608	1008	5328	1472	608	592		
18	c_j	д.е./ч	1000	1200	1200	1400	1400	1200	1000	1000	$\Sigma_s r_{sj} \cdot y_{sj}$	ед.	0,3115	0,1875	0,2813	0,0352	0,2234	0,0067	0,2285	0,1116		
20	$C^0 = \Sigma_i (c^0{}_i \cdot \Sigma_j x_{ij})$		д.е.	186000																		
21	$C^{tr} = \Sigma_j (c_j \cdot \Sigma_j r_{sj} \cdot y_{sj})$		д.е.	12674,72																		
22	C^0 + C^*		д.е.	198674,72																		

Рис. 1. Исходные данные и результаты реализации оптимизационной модели на практическом примере

Полученные результаты соответствуют реальным условиям функционирования парка СМ, что позволяет сделать вывод о высокой практической значимости разработанной модели.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Radaev, A., Leventsov, V. The methodology for substantiating the materials handling equipment of a unit load warehousing system // International Journal for Quality Research. 2018. 12(4). Pp. 989–1016.
2. Репин С.В., Бакланова Т.В., Монгуш С.Ч. Экономические критерии функционирования парка строительных машин. Вестник Тувинского государственного университета. 2016. №3. С. 113-120.
3. Hassan, B.A. Operational framework for recent advances in backtracking search optimisation algorithm: A systematic review and performance evaluation // Applied Mathematics and Computation. 2020. 370.
4. Айдын Е.В., Холомеева Н.В. Оптимизация парков, комплексов и комплектов строительных машин с учетом надежности их работы // Научно-исследовательские публикации. 2014. №3. С. 11-16.
5. Тускарева З.Р. Оптимизация состава парка строительных машин // Транспортное дело России. 2014. № 6. С. 34-35.

УДК 528.8.042

И.Д. Стугирёв, Н.С. Астафьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ КАК СПОСОБА СБОРА ДАННЫХ ПРИ СОЗДАНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Цель работы – описание и сравнительный анализ методов лазерного сканирования и выявление преимуществ данного метода при сборе данных для последующего создания информационной модели здания.

Лазерное сканирование – современный процесс сбора и обработки данных, включающий в себя проведение съемки исследуемого объекта с использованием лазерного сканера и полевого персонального компьютера или планшета, а также последующую обработку и анализ полученного массива с помощью специализированного программного обеспечения.

Наземный лазерный сканер (НЛС) – точный измерительный прибор, выполняющий высокоскоростное определение пространственного положения точек измеряемого объекта и последующее построение на основе этих данных трехмерной модели (скана) объекта в виде облака точек [1].

У лазерного сканирования есть ряд фундаментальных преимуществ по сравнению с классическими методами измерения и сбора данных, таких как тахеометрическая съемка или измерение геометрических габаритов с помощью лазерных дальномеров. Среди них следует отметить следующие:

- Большая точность измерений – в зависимости от характеристик сканера и условий проведения съемки – от нескольких мм до единиц см [2].
- Интеграция с САПР и BIM-инструментами.
- Высокая скорость проведения измерений (несколько минут на одну точку стояния).
- Для многих НЛС предусмотрен ночной режим съемки, что позволяет организовывать сменный график работы.
- Высокая степень детализации получаемых данных.

Наземные лазерные сканеры содержат в своей конструкции лазерный дальномер, способный работать на высокой частоте (до нескольких миллионов точек в секунду) и полигональное зеркало или призму. Зеркало связано с сервоприводом и в каждый момент времени задает уникальный вертикальный и горизонтальный угол направления лазерного луча [3].

В ходе представленной работы для выполнения сбора данных был использован НЛС Leica BLK 360 (рис. 1), использующий импульсный метод определения расстояния. Направление лазеру в вертикальной плоскости в диапазоне 300º задает зеркало, вращающееся вокруг горизонтальной оси. В процессе выполнения сканирования НЛС делает оборот 360º вокруг собственной вертикальной оси, таким образом распределяя лазерные импульсы по горизонтальному кругу в окружающее пространство.

Таблица 1 – Характеристики ЛНС BLK 360 [4]

Размеры, мм	165×100
Дальность измерений, м	60
Длина волны лазера, нм	830
Скорость измерений, точек/сек	360 000
Погрешность измерения, мм на 10 м	4



Рис 1. Основные элементы сканера Leica BLK 360

После проведения съемки полученный материал – облака точек с каждой отдельной точки стояния (станции) – экспортируются с носителя (непосредственно сканера либо полевого компьютера, планшета или смартфона) на персональный компьютер, где в полуавтоматическом режиме происходит процесс обработки данных и сшивки станций между собой. Качественными характеристиками сшивки являются три параметра:

- погрешность сшивки облаков (в мм) – максимальное отклонение геометрических величин облака точек от реальных значений.
- перекрытие облаков (в %) – процент общих точек для двух станций (чем выше перекрытие, тем точнее пройдет сшивка станций),
- совместимость облаков (в %) – характеристика геометрической привязки точек станций друг к другу в трех взаимно перпендикулярных плоскостях [5].

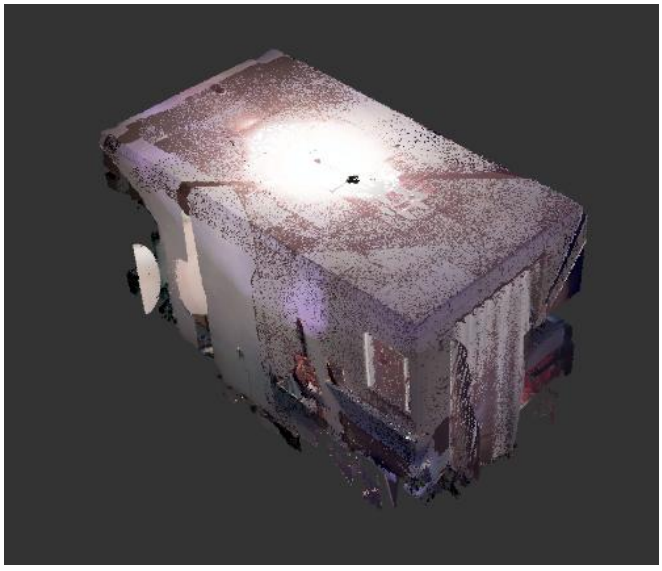


Рис. 2. Обработанное облако точек в поле программы Recap Pro 2019

Пример результата проведения лазерного сканирования – облако точек жилого помещения (комната в студенческом общежитии, рис. 2). Сканирование выполнялось в режиме средней плотности точек и с использованием фотопанорам. Время сканирования одной станции – 2:50 минут, всего помещения – 6 минут с учетом переноса прибора с одной станции на другую.

Характеристики сшивки: погрешность – 3 мм, перекрытие – 54 %, совместимость – 84%. Общее количество точек 14 712 152. Высокий показатель совместимости обусловлен тем, что обе станции физически находятся в пределах одного помещения и жестко привязываются друг к другу по пространственным плоскостям.

По результатам сканирования была в ПО Autodesk Revit была построена архитектурная модель и вычислены площадь и строительный объем помещения (табл. 2).

Второй способ измерения исходных данных помещения – с помощью лазерного дальномера Leica DISTO D510. Были в двух итерациях измерены длина, ширина и высота помещения.

Таблица 2 – Результаты вычислений

	Измерение по облаку точек		Расхождение, %
Длина, мм	5152,9	5146,8	0,12%
Ширина, мм	2502,9	2501,6	0,05%
Высота, мм	2990,0	2990,2	0,01%
Площадь, $м^2$	12,90	12,88	0,16%
Объем помещения, $м^3$	38,563	38,499	0,17%

При измерении небольшого прямоугольного помещения разница между значениями площади и объема получилась 0,16% и 0,17% соответственно, что в целом не является существенным. Однако при проведении замеров помещений более сложной конфигурации (с криволинейными стенами, разноуровневыми потолками, большим количеством мебели и оборудования) измерение лазерным дальномером представляет собой трудоемкую задачу, сильно зависящую от внешних факторов. При этом, помимо точности измерения габаритов помещений, следует учитывать также точность и детализацию наполнения объекта инженерными системами и оборудованием, которые при проведении сбора данных методом лазерного сканирования получаются значительно выше.

Таким образом, лазерное сканирование позволяет быстро получить точные исходные данные объекта, обладающие высокой степенью детализации. по сравнению с традиционными способами, такими как проведение измерений лазерными дальномерами или геодезическими приборами. Результат работы – облако точек, может быть использован для построения информационной модели здания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование \\ Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
2. Хахулина Н.Б., Черкасов А.А. Лазерное сканирование, как метод сбора пространственной информации для кадастра недвижимости \\ Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях. Материалы международной НПК факультета землеустройства и кадастров ВГАУ. 2018. С. 260-264.
3. Фрейдин А.Я. Трехмерное лазерное сканирование и его применение для съемки архитектурных сооружений и реставрации памятников \\ Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 8. С. 44-49.
4. Обзор 3D-сканера Leica BLK360 [Электронный ресурс] URL https://top3dshop.ru/blog/obzor-3d-skanera-leica-blk360.html#3d-skaner-leica-blk360 (дата обращения 28.03.2021)
5. Ноздрин, В.Н. Применение лазерного сканирования при посторении 3D-моделей / В.Н. Ноздрин, И.Ю. Зыков // Высокие технологии в современной науке и технике: Сборник научных трудов в 2-х томах, Томск, 27–29 марта 2013 года / Томск: Национальный исследовательский ТПУ, 2013. – С. 343-345.

УДК 697.97-5

Д.А. Терещенков; К.И. Стрелец, О.В. Аверьянова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА В КВАРТИРЕ

Цель работы –оценка эффективности энергоэффективной системы вентиляции с рекуперацией для элитного жилищного строительства на примере квартиры.

Поквартирная механическая приточно-вытяжная система вентиляции с пластинчатым рекуператором осуществляет механический приток и удаление воздуха с помощью двух вентиляторов – приточного и вытяжного. Тем самым система обеспечивает нормированный воздухообмен в помещениях вне зависимости от погодных условий, который не может быть

гарантирован при использовании естественной системы вентиляции [1-3]. Благодаря такой вентиляции работу системы отопления можно перевести в менее нагруженный режим за счет подогрева приточного воздуха в вентиляционной установке [6]. В сумме это позволяет получить оптимальный микроклимат в помещении, так как не происходит значительного охлаждения помещения из-за открытых окон или КИВ, а при применении эффективных теплоизолирующих материалов данная система приводит к значительному снижению теплопотерь через систему вентиляции [8]. Устройство приточно-вытяжной системы вентиляции с рекуперацией тепла показано на рисунке 1.

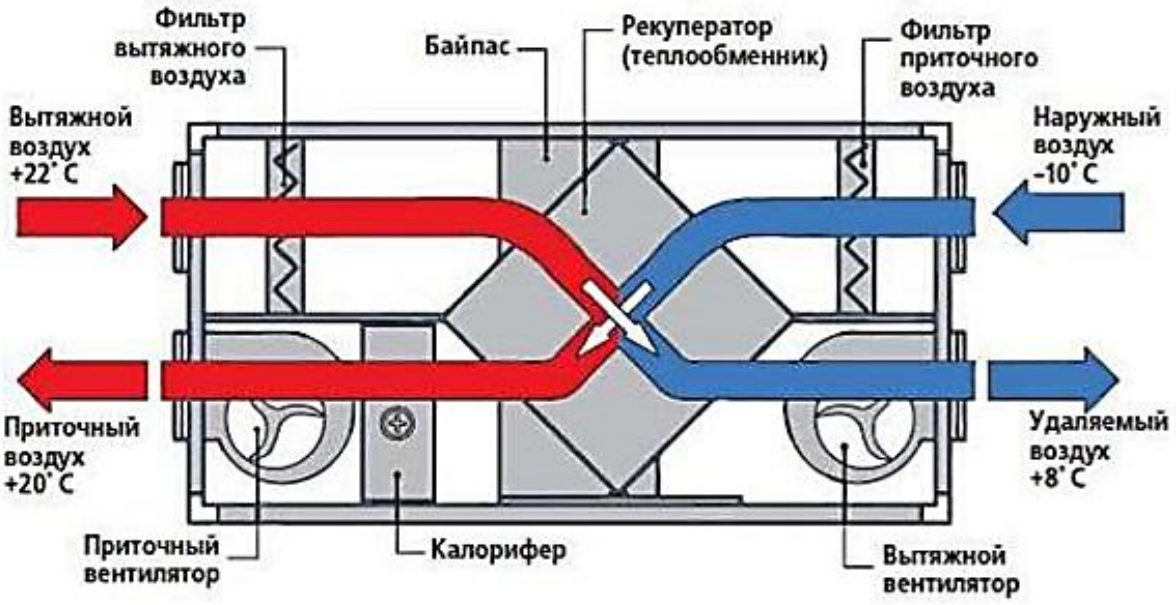


Рис. 1. Приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла

Рассмотрим энергоэффективность применения пластинчатого рекуператора в индивидуальной механической системе приточно-вытяжной вентиляции в условной квартире в городе Санкт-Петербург.

Определяемые параметры и методика расчета принята в соответствии с исследованием вентиляции жилых зданий с применением децентрализованных рекуператоров, проведенным в России в 2017 г. [7].

Для расчета показателей эффективности применения рекуператора зададимся условными характеристиками жилого помещения (квартиры) и параметрами воздуха, а также укажем основные технические характеристики вентиляционной установки с рекуператором:

- Площадь помещения (квартиры) S = 50 м^2;
- Нормируемый воздухообмен в соответствии с [8] $Q_{\text{уд.норм}}$ = 3 м^3/ч на 1 м^2 жилой площади;
- Температура удаляемого воздуха $t_{\text{пом}}$ = 21 °С;
- Средняя температура наружного воздуха самой холодной пятидневки в соответствии с [9] $t_{\text{нар}}$ = – 26°С;
- КПД рекуператора η = 0,82;
- Потребляемая мощность рекуператора N = 1220 Вт.

Для обоснования применения рекуператора рассчитаем следующие показатели:

1) показатель энергосбережения $\eta_{\text{эс}}$, %

$$\eta_{\text{эс}} = \frac{Q_{\text{возвр}}}{Q_{\text{треб}}} \cdot 100,$$

где:

а) $Q_{\text{возвр}}$ – тепловая мощность, возвращенная рекуператором, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{возвр}} = G_{\text{пр}} c (t_{\text{прит}}^{\text{факт}} - t_{\text{нар}}),$$

где $G_{\text{пр}}$ – массовый расход приточного воздуха, кг/с, определяется по формуле:

$$G_{\text{пр}} = S Q_{\text{уд.норм}},$$

c – теплоёмкость воздуха, 1005 Дж/(кг°С) = 0,28 Вт·ч/(кг°С); $t_{\text{нар}}$ – температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{прит}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура приточного воздуха после рекуператора, °С, определяется по формуле:

$$t_{\text{прит}}^{\text{факт}} = t_{\text{пом}} - t_{\text{нар}} \eta + t_{\text{нар}}.$$

Таким образом, получаем:

$$Q_{\text{возвр}} = (50 \cdot 3) \cdot 0{,}28 \cdot (21 - (-26 \cdot 0{,}82) + (-26)) - (-26)) = 1777 \text{ Вт}.$$

б) $Q_{\text{треб}}$ – тепловая мощность, которая необходима для нагрева приточного воздуха от наружной температуры до температуры воздуха помещения, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{треб}} = G_{\text{пр}} c (t_{\text{пом}} - t_{\text{нар}}).$$

Получаем:

$$Q_{\text{треб}} = (50 \cdot 3) \cdot 0{,}28 \cdot \big(21 - (-26)\big) = 1974 \text{ Вт}.$$

Далее рассчитываем показатель энергосбережения $\eta_{\text{эс}}$:

$$\eta_{\text{эс}} = \frac{1777}{1974} \cdot 100 = 90\%.$$

2) коэффициент энергоэффективности $\eta_{\text{ээ}}$,

$$\eta_{\text{ээ}} = \frac{Q_{\text{возвр}}}{N};$$

$$\eta_{\text{ээ}} = \frac{1777}{1220} = 1{,}46.$$

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- определено, что применение повышение пластинчатых рекуператоров в системе механической вентиляции в квартире положительно влияет на энергоэффективность системы и энрегосбережение здания, при обеспечении комфортного микроклимата;
- получено численное значение повышения энергоэффективности и энергосбережения системы вентиляции с применением пластинчатого рекуператора.

Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют рассматривать поквартирную вентиляцию с рекуперацией тепла как отличную альтернативу традиционной низкоэффективной и энергозатратной системе естественной вентиляции во вновь строящихся и реконструируемых многоквартирных жилых домах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китайцева Е.Х., Малявина Е.Г., 1999. Естественная вентиляция жилых зданий. // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика»
2. Кривошеин А.Д., Андреев И.В., 2008. Особенности проектирования систем естественной вентиляции с вертикальными сборными каналами //Проектирование и строительство в Сибири, №3.
3. Bady M., Kato S., Huang H., 2008. Towards the applicationи of indoor ventilation efficiency indices to evaluate the air quality of urban areas // Building and Environment. Vol. 43(12).
4. Пиир А.Э., Козак О.А., 2017. Влияние рекуператора на снижение теплопотерь жилого дома // Вестник поволжского государственного технологического университета. серия: материалы, конструкции, технологии, №3, стр. 73-39.
5. Мансуров Р.Ш., Мансуров А.Р., Рафальская Т.А., 2017. Энергосберегающие технологии вентиляции жилых зданий с применением децентрализованных рекуператоров // Энерго- и ресурсоэффективность

малоэтажных жилых зданий. Сборник докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием, стр. 142-151.
6. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003
7. СП 131.13330.2018. СНиП 23-01-99* Строительная климатология
8. Мерщиева И.П., Мерщиев А.А., 2013. Рекуперация тепла в здании // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения, №4, стр. 16-21.

УДК 624.012.35

Э.Р. Хасанова, М.Д. Стрелкова, К.И. Стрелец.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Цель работы – провести исследование и комплексное сравнение строительства жилого здания высотностью 10 этажей с индивидуальной эффективной планировкой и выразительной архитектурой с применением традиционного монолитного железобетона и сборных железобетонных элементов нового поколения.

В настоящее время строительные компании стремятся к индустриализации и ее сопутствующей цифровизации, чтобы повысить производительность, скорость работ, безопасность и качество возводимых объектов. Индустриальное крупнопанельное строительство – наиболее эффективный, не зависящий от времени года метод возведения зданий. Строительство здания из сборных железобетонных элементов считается привлекательной альтернативой, однако имеет низкое распространение из-за недостатка технической информации. Практически все ныне существующие методы соединения сборных железобетонных элементов заимствованы или были разработаны на основе зарубежных. Поэтому поиск результативного и экономичного метода соединения сборных железобетонных элементов является объектом множеств исследований.

Преимущества строительства из сборных железобетонных элементов:

- Низкая себестоимость, по данным специалистов на 20% дешевле монолитного строительства;
- Высокое качество изделий благодаря контролю дозирования и свойств бетона посредством использования специализированной рабочей силы в заводских условиях;
- Сокращение трудоемкости строительно-монтажных работ;
- Независимость от погодных условий (зима, мороз);
- Низкое воздействие на окружающую среду за счет уменьшения шумовых и пылевых нагрузок;
- Высокие сроки возведения здания, по данным специалистов в 1,5–2 раза быстрее монолитного строительства.

Недостатки строительства из сборных железобетонных элементов:

- Дорогая транспортировка из-за массивности и тяжести сборных элементов, также с учетом требований транспортировки возникают ограничения в размерах элементов;
- Стандартные типоразмеры элементов ограничивают возможности архитекторов;
- Высокая стоимость нестандартных элементов;
- Необходимость большого пространства на территории стройплощадки для складирования изделий;
- Высокие требования к поверхности железобетонных изделий.

Пример существующей зарубежной технологии сборно-монолитного каркасного строительства [1]: Delta (Разработчик Deltatek OY, Финляндия)

Элементы каркаса: сборные колонны поэтажно снабжены просечками, в которых выполнены консоли для установки ригелей, соединение колонн – сварное; балки сталежелезобетонные (ригель – цельносварной гнутый профиль трапециевидного сечения с перфорацией для пропуска арматурных стержней) опираются при монтаже на консоли колонн. По балкам уложены плиты пустотного настила. Омоноличивают ригель и просечки колонн, пропустив через них сквозную продольную арматуру.

Пример существующей отечественной технологии сборно-монолитного каркасного строительства [2]: «Универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных зданий АРКОС» (Серия Б1.020.1-7; разработчик НИЭП ГП БелНИИС; прототип югославская система IMS).

Каркас состоит из сборных одноярусных или многоярусных колонн, имеющих просечки в уровне перекрытий, и сборно-монолитного перекрытия, образованного из многопустотных плит перекрытий и монолитных ригелей, выполняемых в створе с колоннами. Шаг колонн сечением от 300×300 мм находится в диапазоне от 2,7 до 7,2 м. Колонны соединяются по высоте вне уровня перекрытия, при помощи сварки арматурных выпусков или соединительных шпилек и гаек (для варианта со стальными листами по торцам колонн). Проектирование каркаса предусмотрено по методике, изложенной в серии (выпуск 0–1), а также рекомендациям [3].

Принципиальная последовательность монтажа элементов системы: 1) установка колонн; 2) устройство вертикальных диафрагм жесткости; 3) монтаж поддерживающей оснастки для сборно-монолитного перекрытия (в серии рекомендована белорусская система МОДОСТР); 4) установка сборных плит перекрытий на оснастку; 5) армирование ригелей с пропуском арматуры через просечки колонны; 6) омоноличивание ригелей с устройством монолитных шпонок в теле сборных плит.

Конструктивный недостаток системы – техническое решение опорных узлов многопустотных сборных плит с использованием в них неармированных шпонок.

Пример существующего технического решения для железобетонной трехслойной панели системы «СТАЙРОДОМ».

Панели предназначены для возведения несущих и ненесущих наружных стен для зданий и сооружений высотой до 75 м (25 этажей) I, II и III уровней ответственности.

Два бетонных слоя толщиной как минимум 50мм, составляющие панель системы «СТАЙРОДОМ», должны быть скреплены только гибкими связями из СПА. Теплоизоляционный слой из STYROFOAM должен разделять все боковые, верхние и нижние кромки слоёв и не допускать контактов между ними по стали или бетону, а толщина STYROFOAM должна быть от 30 мм до 250 мм в один слой.

Соединение панелей осуществляется путем сварки закладных деталей, расположенных вне зоны замоноличиваемой полости стыка, а также установки соединительных скоб в петлевые выпуски панелей (рис. 1) или в штампованные закладные детали с последующим их бетонированием. Все металлические соединения защищаются слоем цементного раствора.

Стык панелей, с петлевыми выпусками, заполненный бетоном и термовкладышем состоит из 1 – панель наружной стены; 2 – панель внутренней стены; 3 – бетон; 4 – теплоизоляционный вкладыш STYROFOAM; 5 – арматурные выпуски с монтажными диафрагмами; 6 – соединительные детали; 7 – утеплитель STYROFOAM.

Для эскизных расчетов потребного количества гибких связей в трехслойной панели можно использовать упрощенную расчетную схему (рис. 2).

Упрощенная расчетная схема для определения усилий в гибких связях состоит из 1 – подвески; 2 – постоянно сжатые распорки; 3 – рядовые распорки.

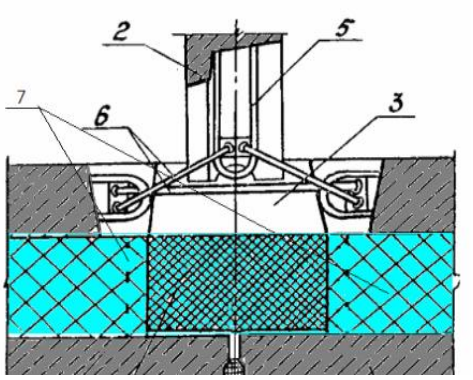


Рис. 1

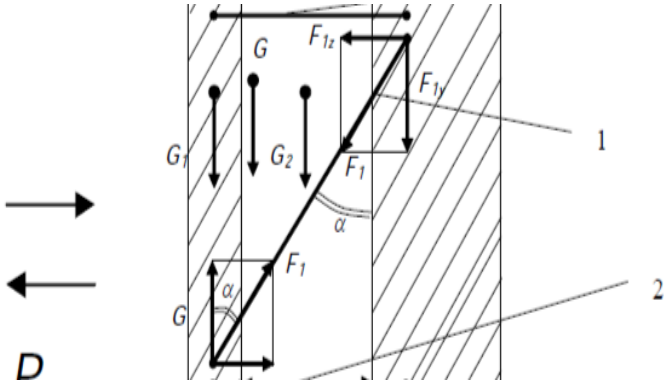


Рис. 2

Нормативные нагрузки от собственного веса элементов панели определяют по зависимостям, очевидным из расчетной схемы (рис. 2) с учетом принятых допущений:

$$G_n = G_{1n} + G_{2n}, \quad (1)$$

где G_{1n} – вес наружного железобетонного слоя; G_{2n} – вес слоя теплоизолирующего материала.

Нормативные усилия в связях – по формулам:

$$F_{1n} = \frac{G_n}{cos\propto}; \quad (2)$$

$$F_{1y} = G_n; \quad (3)$$

$$F_{1z} = \frac{G_n}{tg\propto}. \quad (4)$$

Расчетные нагрузки, возникающие от веса наружного железобетонного слоя и слоя утеплителя, рассчитывают по формулам:

$$G_1 = \gamma_n \gamma_{fg1} k(1+\mu) G_{1n}; \quad (5)$$

$$G_2 = \gamma_n \gamma_{fg2} k(1+\mu) G_{2n}; \quad (6)$$

$$G = G_1 + G_2, \quad (7)$$

где γ_n = 0,95 (0,90) – коэффициент надежности по назначению для зданий и сооружений нормальной (пониженной) ответственности, принимаемые по СП 20.13330.2016 [4]; $\gamma_{fg1}, \gamma_{fg2}$ – коэффициенты надежности по материалу, принимаемые по СП 20.13330.2016; k – коэффициент, учитываемый для железобетонных слабоармированных элементов, в которых их несущая способность исчерпывается одновременно с образованием трещин в бетоне растянутой зоне (см. СП 63.13330.2012 [5]): 1+μ – коэффициент динамичности, учитываемый при расчете элементов сборных конструкций на воздействие усилий, возникающих при эксплуатации. Значение коэффициента динамичности (в зависимости от стадии работы панели), в соответствии с рекомендациями СП 63.13330.2012 [6].

По результатам оценки строительных объемов и сроков строительства можно сделать следующие выводы: Объем требуемого бетона для сборно-монолитного каркаса снижается с 0,7 м^3 до 0,4 м^3 на 1 м^2 общей площади. Расход арматуры снижается в 1,5–2 раза. В среднем для зданий со сборными несущими опорами и монолитными перекрытиями срок возведения типового этажа составляет 9 дней, для зданий с монолитными опорами и перекрытиями – около 14 дней.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зотеева Е.Э. Системы сборно-монолитных зданий: зарубежный опыт строительства / Аллея науки. №12. 2017. С. 286–291.

2. Зотеева Е.Э. Системы сборно-монолитных зданий: отечественный опыт строительства / Аллея науки. №12. 2017. С. 291–294.

3. Рекомендации по проектированию зданий на основе унифицированного сборно-монолитного каркаса с плоскими перекрытиями из многопустотных плит и монолитных железобетонных ригелей, расположенных в их плоскостях / БелНИИС. – Минск, 1997. – 40 с.
4. Свод правил: СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
5. Свод правил: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
6. СТО 42903911-002-2008. Железобетонные трехслойные панели системы «СТАЙРОДОМ». Введен ООО «Дом Строй» с 31.03.2008. – URL: https://psk-holding.ru/upload/iblock/796/7965c5e195db81899c514fc4f45098c2.pdf (Дата обращения: 19.03.2021). – Текст: электронный.
7. Фомин Н.И., Исаев А.П., Зотеева Е.Э. Инновационный потенциал сборно-монолитных систем гражданских зданий / Академический вестник УралНИИпроект РААСН. №4. 2016. С. 66–71.

УДК 681.5

Д.Е. Цыпленков, О.С. Гамаюнова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОФИСНЫМ ЗДАНИЕМ

Актуальность. Осуществление мониторинга и управления инженерными системами и оборудованием современного офисного здания вручную практически невозможно, особенно если речь идет об объектах, включающих зоны различного функционального назначения. Кроме того, в настоящее время развиваются тенденции снижения эксплуатационных затрат и повышения энергоэффективности. Владельцы и арендаторы стремятся повысить степень безопасности и комфорта помещений, экономя ресурсы [1].

Уровень развития современных технологий позволяет осуществлять управление зданием, исключая человеческий фактор. Для этого используется специальная автоматизированная система управления зданием (АСУЗ) – аппаратно-программный комплекс, осуществляющий сбор, хранение и анализ данных от различных систем здания, а также управление работой этих систем через сетевые контроллеры. Риск возникновения аварийных ситуаций при использовании таких систем сводится к минимуму, при этом экономится значительная часть денежных и человеческих ресурсов. Однако затраты на такие автоматизированные системы достаточно велики, поэтому перед тем, как АСУЗ будет внедрена, необходимо произвести оценку эффективности ее применения.

Цель работы – оценить эффективность применения автоматизированной системы управления зданием на примере бизнес-центра. Для достижения поставленной цели с помощью теоретических и эмпирических *методов* исследования были решены следующие *задачи*:

- подобрать оборудование для АСУЗ спроектированного бизнес-центра;
- рассчитать стоимость внедрения автоматизированной системы;
- вычислить показатели экономической эффективности предлагаемого решения.

В различных зонах бизнес-центра должны соблюдаться конкретные требования по безопасности, параметрам микроклимата, освещения, теплоснабжения, вентиляции и т.д. Рабочее пространство, в котором сотрудники проводят значительную часть времени, должно быть удобным и комфортным, чтобы обеспечить высокую эффективность работы [2].

В связи с этим, АСУЗ будет включать в себя большое количество различных датчиков и устройств. Также такая система должна быть очень мощной для того, чтобы обрабатывать большой объем данных и быстро передавать сигналы оборудованию. В качестве шины (открытого протокола) была выбрана наиболее популярная на рынке шина KNX от

производителя ABB. Ее отличают высокая скорость передачи данных, совместимость решений разных производителей и низкое энергопотребление.

На следующем этапе необходимо было определиться с перечнем, количеством и стоимостью оборудования для предлагаемой АСУЗ. На основании данных из открытых источников стоимость оборудования и устройств в расчете на здание бизнес-центра высотой 26 этажей (23404 м^2) составила 36698 тыс. руб. Монтаж и пусконаладка системы обойдется в 25% от стоимости оборудования, соответственно, итоговая стоимость внедрения АСУЗ составит 45872 тыс. руб.

Эффективность внедрения автоматизированной системы управления зданием оценивается исходя из экономии средств на эксплуатационные затраты: водоснабжение, водоотведение, отопление и электроэнергию [3-5]. Так, например, в помещения, которые редко используются (технические, служебные помещения, гардероб), устанавливаются специальные датчики движения, передающие сигнал лампам, которые, в свою очередь, автоматически включают/выключают освещение в зависимости от факта присутствия человека. Это минимизирует риск того, что сотрудник забудет выключить свет, и электроэнергия будет расходоваться напрасно. Экономия на электричестве при использовании таких датчиков составит 35%.

Снижению расходов также способствуют использование специальных датчиков освещенности. В зависимости от времени суток и расположения помещений требуемое количество света в них различно. Помимо этого, уровень естественного освещения днем дает возможность снизить мощность искусственного света до 50%, а утром до 75%. Внедренные датчики учитывают все эти факторы и посылают необходимые команды устройствам, которые регулируют интенсивность освещения в помещении – диммерам, жалюзи на электроприводе.

Итоговая экономия на электроэнергии составит 40%.

Установка датчиков температуры и терморегуляторов позволяет постоянно поддерживать комфортную (требуемую) температуру в помещениях вне зависимости от внешних погодных условий или других причин. Сокращение расходов на теплоэнергию при их использовании составляет 30%.

Применение датчиков протечек воды с автоматическим перекрытием труб в случае неполадки и отправлением сигнала в необходимые службы, а также счетчиков водопотребления дает сэкономить до 30% на водоснабжении и водоотведении.

В таблице 1 приведены данные по тарифам, объему потребления и общей сумме расходов на коммунальные услуги в бизнес-центре. Общий размер затрат на коммунальные услуги в месяц составил 1913 тыс. руб.

Таблица 1 – Расчет расходов на коммунальные услуги

Вид услуги	Тариф	Объем потребления	Итого, тыс. руб.
Холодное водоснабжение	36,64 руб./м^3	0,225 м^3/чел	7,5
Горячее водоснабжение	1818,29 руб./Гкал	0,00675 Гкал/мес	15,7
Водоотведение	42,94 руб./м^3	0,36 м^3/чел	14,1
Электроснабжение	4,82 руб./кВт·час	213 МВт·час	1012,0
Отопление	1818,29 руб./Гкал	0,0203 Гкал/м^2	863,7

Средняя продолжительность отопительного периода для г. Санкт-Петербург, согласно табл. 3.1. СП 131.13330.2018 – 213 дней (приравняем к 7 месяцам). Значит затраты на коммунальные услуги за 7 месяцев (с отоплением) составят 13 391 000 руб., а за 5 месяцев без отопления – 5 245 000 руб. Итоговая ежегодная плата за коммунальные услуги: 18 636 000 руб.

После внедрения АСУЗ (с учетом экономии) плата составит: 11 832 000 руб.

В расчетах учтено ежегодное повышение стоимости коммунальных услуг (средний прирост в течение последних лет, согласно данным ФСГС РФ составлял 4%).

В таблице 2 приведены показатели эффективности внедрения АСУЗ.

Таблица 2 – Анализ эффективности внедрения АСУЗ (тыс. руб.)

	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год
Без использования системы								
Коммунальные платежи	-18636	-19381	-20157	-20963	-21801	-22674	-23580	-24524
Накопленный денежный поток	-18636	-38017	-58174	-79137	-100939	-123612	-147193	-171716
С использованием системы								
Установка системы	-45872							
Коммунальные платежи	-13045	-13567	-14110	-14674	-15261	-15871	-16506	-17167
Затраты на умный офис	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
Денежный поток	-58977	-13627	-14170	-14734	-15321	-15931	-16566	-17227
Экономия/расход	-40341	5754	5987	6229	6480	6742	7014	7297
Накопленный денежный поток	-40341	-34587	-28600	-22371	-15890	-9148	-2134	5163

Ставка дисконтирования, определяемая по формуле (1), составит 8,46%:

$$r = r_f + r_p + I, \quad (1)$$

где r_f – безрисковая процентная ставка, r_p – премия за риск, I – процент инфляции.

Чистый дисконтированный доход определяется по формуле (2):

$$ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \frac{(P_t - З_t)}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

где P_t – результаты (доходы), достигаемые на *t*-м шаге расчета, $З_t$ – затраты (капитальные вложения и текущие затраты) на *t*-м шаге расчета, E – норма дисконта.

Так как ЧДД = 1404 > 0, соответственно, проект можно считать эффективным.

Индекс доходности вычисляется по формуле (3):

$$ИД = \frac{1}{К} \sum_{t=0}^{T} \frac{(P_t - З^t_{ТЕК})}{(1+E)^t}, \quad (3)$$

где К – капитальные вложения, $З^t_{ТЕК}$ – текущие затраты на *t*-м шаге расчета.

Поскольку индекс ИД = 1,031 > 1, проект – эффективен.

На заключительном этапе был определен срок окупаемости рассматриваемого проекта АСУЗ, который составил 8 лет.

Выводы. По результатам оценки эффективности применения автоматизированной системы управления зданием можно сделать вывод о том, что несмотря на необходимость значительных финансовых вложений на начальном этапе, АСУЗ окупается через относительно небольшой промежуток времени. После окупаемости действие системы будет направлено исключительно на экономию денежных средств. Учитывая, что около 80% затрат приходится именно на обслуживание и эксплуатацию здания, при постоянно растущих тарифах использование рассматриваемой системы является несомненным преимуществом не только для жилых [6-9], но и для офисных зданий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гудко А.Н. Автоматизация инженерных систем. Опрос экспертов // Электронный журнал СОК – 2018. – №12. С. 35-42.

2. Тетушкин В.А., Герасимов Б.И. Система управления интеллектуальным зданием как инновационный элемент сервиса недвижимости // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика – 2015. С. 153-170.

3. Кривохатько В.А. Автоматизация инженерных систем предупреждения аварийных ситуаций на примере коммерческой недвижимости // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. №4. С.406-410.

4. Морозова Д.Г., Гамаюнова О.С. Экономическая эффективность системы "умный дом" // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2019. С. 15-18.

5. Salosin A., Gamayunova O., Mottaeva A. The effectiveness of the smart office system // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 2020. С. 012028.
6. Вавилова А.М. Эффективность внедрения технологии "умный дом" при проектировании объекта // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2019. С. 23-26.
7. Мохирева А.О., Логинова П.В., Мелехин Е.М., и др. Умный дом, как фактор преобразования строительства // AlfaBuild. 2018. № 3 (5). С. 7-19.
8. Вавилова А.М., Симанкина Т.Л. Повышение безопасности жилищного фонда на основе технологии "умный дом" // В сборнике: Дальневосточная весна – 2019. материалы 17-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. 2019. С. 165-166.
9. Бегич Я.Э., Шерстобитова П.А. Концепция Smart City как стратегия управления городской инфраструктурой // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 8 (59). С. 27-40.

УДК 697.1

Е.Ю. Чакин, О.С. Гамаюнова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

В настоящее время большое значение при проектировании и строительстве зданий уделяется энергоэффективности – комплексу мероприятий, который направлен на снижение потребляемой зданиями тепловой энергии и для поддержания требуемых параметров микроклимата.

Целью работы является анализ современных технологий и материалов, которые позволят уменьшить расходы на электроэнергию и тепловые ресурсы.

К основным способам повышения энергоэффективности здания можно отнести: улучшение теплоизоляции ограждающих конструкций; установка альтернативных источников энергии; улучшение систем вентиляции и отопления; использование энергосберегающих окон и др.

Немаловажным критерием при выборе энергосберегающих мероприятий являются климатические условия и местоположение относительно сторон света. Верно подобранное расположение здания позволяет использовать энергию ветра и солнца для обеспечения эксплуатации здания [1, 2, 8]. К главным преимуществам альтернативных источников относят возможность существования даже в условиях сильной нехватки нефти, газа и угля. Также при использовании альтернативных источников нет никаких вредных выбросов в окружающую среду, а полученная энергия имеет низкую себестоимость.

На текущий момент при выборе альтернативных способов отопления используют гелиосистемы и солнечные коллекторы. Гелиосистема – комплекс, который преобразует солнечную лучевую энергию в тепловую, для нагревания систем отопления и водоснабжения. Гелиоустановки являются экологически чистыми источниками возобновляемой энергии. Одна из составляющих частей гелиосистемы это солнечный коллектор, который используется для сбора тепловой энергии солнца. В сравнении с солнечными батареями, которые производят непосредственно электричество, а солнечный коллектор нагревает материал-теплоносителя.

Преимущества таких систем заключается в том, что энергия солнца является восполняемым источником получения тепла, а использования таких систем не наносит негативный эффект на окружающую среду.

В таблице 1 показана актуальная ситуация с использованием гелиосистем в России и в мире. Видно, что в настоящее время объем использования гелиосистем в России крайне незначителен.

Таблица 1 – Использование гелиосистем в России и мире

Страна	Площадь гелиосистем, тыс. м^2
Россия	20
Китай	10 000
Германия	6 200
Япония	8 000
США	10 000

Важный фактор для повышения энергоэффективности зданий – теплоизоляция всех ограждающих конструкций с использованием современных теплоизоляционных материалов. На смену уже классическим теплоизоляционным материалом приходят новые инновационные материалы такие как жидкая теплоизоляция, аэрогель и вакуумная теплоизоляция [4, 5].

Преимущества жидкой теплоизоляции (теплокраски): низкий коэффициент теплопроводности (0,0012 Вт/м·°С), огнеупорность, водонепроницаемость, водостойкость, экономичность занимаемой полезной площади.

Аэрогель имеет низкую теплопроводность (0,022 Вт/м·°С), а благодаря своим микроскопическим порам способен препятствовать проникновению холодного или теплого воздуха непосредственно в здание.

Достоинства вакуумной теплоизоляции: низкий коэффициент теплопроводности (0,006 Вт/м·°С), небольшая масса, экологичность, огнестойкость и долговечность. В таблице 2 приведены значения коэффициентов теплопроводности современных теплоизоляционных материалов.

Таблица 2 – Коэффициенты теплопроводности современных видов теплоизоляции

Теплоизоляционный материал	Коэффициент теплопроводности *I*, Вт/м·°С
Стекловата	0,052
Минеральная вата	0,045
Пенопласт	0,040
Пенополистерол	0,029
Пенополиуретан	0,025
Аэрогель	0,022
Вакуумная теплоизоляция	0,006

Для климатических условий Санкт-Петербурга по формуле (1) согласно СП 50.13330.2012 определим нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей стеновой конструкции:

$$R_{\text{о}}^{\text{норм}} = R_{\text{о}}^{\text{тр}} m_p, \quad (1)$$

где $R_{\text{о}}^{\text{тр}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (г. Санкт-Петербург, жилые здания, гостиницы и общежития $R_{\text{о}}^{\text{тр}} = 2{,}99$ Вт/м·°С); $m_{\boldsymbol{p}}$ – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства ($m_{\boldsymbol{p}}$ = 0,95).

$$R_{\text{о}}^{\text{норм}} = 2{,}99 \cdot 0{,}95 = 2{,}84 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}.$$

Требуемую толщину однородного материала можно найти по формуле (2):

$$d = R_{\text{о}}^{\text{норм}} \lambda. \quad (2)$$

Проведем сравнение основных современных теплоизоляционных материалов для того, чтобы наглядно показать какой толщины необходим материал для выполнения требования тепловой защиты: $R_{\text{тр}} \geq R_{\text{о}}^{\text{норм}}$. Сравним стоимость погонного метра данных материалов. Результаты сравнения приведены в таблице 3 [6].

Таблица 3 – Сравнение современных теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Требуемая толщина теплоизоляционного материала, м	Стоимость за м^2, руб.	Стоимость теплоизоляционного материала за погонный метр, руб.
Стекловата	0,148	160	23,68
Минеральная вата	0,128	150	19,20
Пенопласт	0,114	70	7,98
Пенополистерол	0,082	300	24,60
Пенополиуретан	0,071	500	35,50
Аэрогель	0,062	2500	155,00
Вакуумная теплоизоляция	0,017	6800	115,60

По сравнению с традиционными теплоизоляционными материалами преимущество современных – очевидно: уменьшение толщины слоя утеплителя при увеличении сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции. Применение таких современных теплоизоляционных материалов является дорогостоящим, но с развитием и распространением технологий оно станет более доступным [7].

Также для снижения потерь тепла используются энергосберегающие стекла. Такие стекла защищают помещения от перегрева, и не выпускают нагретый теплый воздух наружу. На поверхность окна наносят тонкий металлизированный слой, пропускающий видимые лучи солнечного света и задерживающий тепловые лучи. Благодаря такому разделению удалось без снижения светопропускной способности обеспечить окнам высокую энергоэффективность. Виды энергоэффективных стекол:

- k-стекло – обычное стекло, но с пониженным коэффициентом теплового излучения. Стекло покрыто пленкой, отражающей инфракрасные (тепловые) лучи. k-стекло отличается большим отражающим эффектом. K-стекло в отопительный период возвращает в квартиру до 70% тепловых волн, выделенных нагревательными приборами, а летом отражает тепловую, инфракрасную часть солнечного излучения.
- i-стекло. Обладает еще большей, чем у k-стекла, отражающей способностью. I-стекло по своим теплосберегающим свойствам в 1,5 раза превосходит k-стекло. Различие между k-стеклом и i-стеклом заключается в коэффициенте излучательной способности, а также технологии его получения. I-стекло в отопительный период возвращает в квартиру до 90% тепловых волн, выделенных нагревательными приборами.

Выводы:

1. Использование теплоизоляционных материалов для повышения энергетической эффективности строительных конструкций обусловлено необходимостью соблюдения нормативных требований по тепловой защите зданий. Кроме традиционных утеплителей (минеральная вата, пенополистерол и др.) стоит обратить внимание на новые инновационные материалы такие как: аэрогель, вакуумная теплоизоляция и др. Они обладают уникальными характеристиками, а также значительно уменьшают толщину строительных конструкций (с учетом теплоизоляционного слоя), что позволяет экономить площадь и получать дополнительный доход коммерческой эксплуатации помещений.

2. С учетом климатических условий района строительства сэкономить энергию в жилых зданиях можно также благодаря альтернативным источникам энергии, улучшению систем вентиляции, использованию энергосберегающих окон на основе i-стекла и k-стекла.

3. Большое количество инновационных энергоэффективных технологий из-за большой стоимости материалов пока только начинают использоваться на территории России. Однако научные исследования показывают их преимущества перед традиционными вариантами повышения энергоэффективности зданий, благодаря чему новые технологии и материалы совсем скоро будут более широко использоваться в строительстве и реконструкции зданий.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Чередниченко Т.Ф., Пушкалева Н.А. Современные технологические решения строительства энергоэффективных зданий // Инженерный вестник дона, № 3, 2018, с. 101.
2. Терех М.Д., Третьякова Д.В., Морозова Н.М. Первичная энергия как критерий оценки уровня тепловой защиты зданий // Неделя науки СПбПУ. материалы НК, лучшие доклады. 2019. С. 23-26.
3. Мусорина Т.А., Гамаюнова О.С., Петриченко М.Р. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1269-1277.
4. Васильева И.Л., Немова Д.В. Энергоэффективные материалы нового поколения в строительстве // Экология и строительство, № 4, 2018, с. 18-23.
5. Кирюдчева А.Е., Шишкина В.В., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций общественных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений, № 5, 2016, с. 19-30.
6. Винский П.В. Использование СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» при проектировании общественных зданий // Журнал С. О. К., 2018. No. 1. С. 84–87
7. Теплопроводность строительных материалов: какой материал самый энергоэффективный [Электронный ресурс]. URL: https://stroyday.ru (дата обращения: 30.03.2021).
8. Гамаюнова О.С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16 (68). С. 89-97.

УДК 624.138.41

В.А. Черненко, К.И. Стрелец
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИИ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ И ОСНОВАНИЙ ПОЛИМЕРНЫМИ СМОЛАМИ

Цель работы – рассмотреть технологии инъецирования слабых грунтов и оснований полимерными смолами, определить основные особенности каждого метода, выявить наиболее экономичный метод с точки зрения расхода инъекционного материала.

Существуют различные методы и оборудование для стабилизации грунта. Один из самых инновационных и перспективных методов – смолизация или инъецирование полимерных смол в пустоты внутри грунта с целью вытеснения из него газов и жидкостей. Некоторыми примерами метода смолизации грунтов может служить метод гидроразрыва [1], метод нагнетательного уплотнения грунта, метод струйной смолизации и т.д. Однако выбор правильного метода для глубинной стабилизации грунта зависит от нескольких условий, таких как тип грунта, последовательность напластования грунтов, величина и вид нагрузки на грунтовое основание, ситуация на объекте и тип сооружения [2].

В статье приведено исследование различных видов используемых инъекционных методов стабилизации и закрепления грунтов и их сравнение с точки зрения расхода материла. Данная информация поможет выбрать подходящий метод улучшения свойств проблемных грунтов и решить трудности, возникающие при возведении зданий и сооружений на слабых грунтах.

Смолизация, как правило, используется для заполнения пустот в грунте (трещин и пористых структур) с целью повышения сопротивления деформации (величины модуля деформации грунта), обеспечения когезии, прочности на сдвиг и одноосное сжатие или для уменьшения проводимости (коэффициента фильтрации грунта) и взаимосвязанной пористости в водоносном горизонте [3]. Методы инъекционной смолизации грунта для наземного строительства можно подразделить на следующие категории: инъецирование грунта полимерными смолами методом гидроразрыва, уплотнительное инъецирование грунта полимерными смолами, инъецирование грунта полимерными смолами методом пропитки, струйное инъецирование грунта полимерными смолами, инъецирование полимерными смолами в горных породах [4]. На рис. 1 эскизно изображены методы инъекционной смолизации грунта.

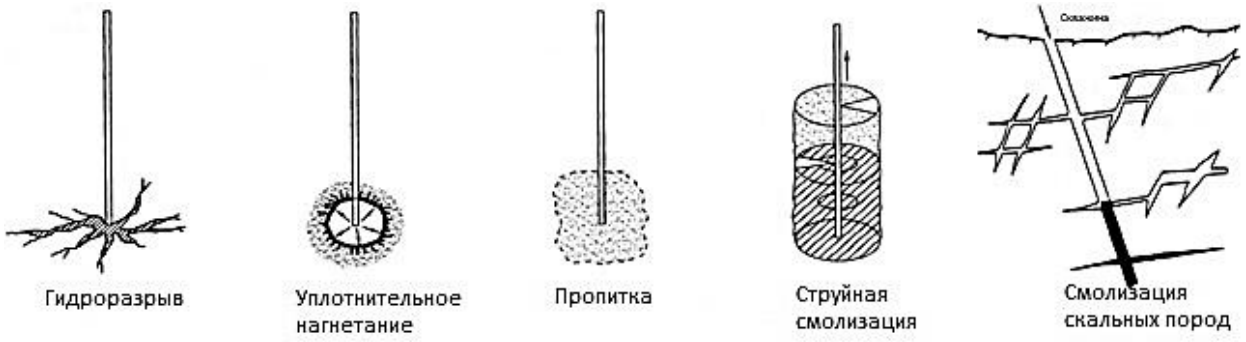


Рис. 1. Методы инъекционной смолизации грунта

Гидроразрыв грунта – это преднамеренное разрушение грунта или горной породы методом инъецирования под высоким давлением полимерной инъекционной смолы с высоким коэффициентом вспенивания [5]. Обычно он используется для уплотнения и придания жесткости грунту или для проникновения к труднодоступным пустотам, что снижает массовую проницаемость грунта и приводит к контролируемому подъему конструкций. При подаче раствора под высоким давлением грунтовая масса раскалывается и образуются искусственные заполненные раствором трещины, грунт уплотняется; в скальных породах существующие трещины могут увеличиться и могут возникнуть новые разрывы. В грунте создается связанная сеть армирующих ламелей, которая образует матрицу в грунте. Причем в процессе создания этой сети, материал, образующий ламели, расширяется в грунте, создавая уплотнения в образуемых ячейках грунта. Ячейки грунта окружены ламелями из легкого и высоко прочного пористого материала [6]. Данная технология позволяет производить укрепления грунта за счет сильнейшей реакции расширения материала в грунте под давлением в 10-30 раз. Во время инъекции контролируется скорость, давление и объем подачи материала. При этом сначала небольшая часть материала пенетрирует в грунт в течение времени жизни материала, а большая часть смолы сильно вспенивается (расширяется), раздвигая окружающую часть грунта. Следующие порции материала работают в условиях обжатия уже прореагированного материала. Расширение приводит к образованию контролируемых гидроразрывов в грунте. Это позволяет точно контролировать степень уплотнения грунта и достичь максимальной эффективности с минимальными затратами.

В методе уплотнительного инъецирования грунта полимерный инъекционный состав разрабатывается специально таким образом, чтобы не проникать в пустоты и не смешиваться с грунтом. Вместо этого он вытесняет грунт, в который его вводят. В зернистых отложениях, не достигших максимальной плотности, объем пустот уменьшается, и отложение локально уплотняется. При уплотнительном нагнетании полимерного инъекционного состава в рыхлые грунты вводится материал, который после реакции полимеризации создает очень жесткий конгломерат, формирующий шары в грунте, которые вытесняют и уплотняют окружающий грунт, не проникая в поры грунта.

Смолизацию грунта методом пропитки можно описать как процесс заполнения поровых пространств при помощи полимерного инъекционного материала без нарушения структуры грунта. Смолизация грунта методом пропитки предполагает замену воды и воздуха в пустотах между частицами грунта полимерным инъекционным составом при низком давлении нагнетания, чтобы предотвратить разрыв пласта. Это метод, который обычно используется для снижения проницаемости (коэффициента фильтрации) грунта и контроля потока грунтовых вод, но он также может быть использован для укрепления и стабилизации грунта.

Струйная смолизация основана на закреплении грунтов путем их размыва и перемешивания высоконапорной струей полимерной инъекционной смолы с большим

временем реакции. При использовании метода струйной смолизации полимерная инъекционная смола под высоким давлением используется для физического разрушения структуры грунта, в процессе которого происходит его модификация и улучшение физико-механических свойств. При нормальной работе буровая колонна проходит на требуемую глубину, затем подается смола под высоким давлением при одновременном извлечении буровой колонны, в результате чего происходит формирование грунтополимерной колонны заданного диаметра.

Смолизация скальных пород-это заполнение или частичное заполнение путем закачки полимерной инъекционной смолы разломов, трещин или пустот в горном массиве полимерными инъекционными составами без создания новых или изменения ширины раскрытия существующих трещин с целью снижения проницаемости и повышения жесткости связываемого массива скального грунта.

Расход полимерной смолы для инъецирования грунта приведенными методами определяется по формулам, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Формулы расчета расхода инъекционного материала

Технология инъецирования	Формула расчета расхода
Метод гидроразрыва	$V = ShnK_e taK_V$
Метод уплотнительного нагнетания	$V = \frac{ShnK_e}{K_V}$
Метод пропитки, струйной смолизации и смолизации скальных пород	$V = ShnK_e$

В таблице приняты следующие обозначения: S – площадь массива инъецируемого грунта, м^2; h – толщина массива инъецируемого грунта, м; n – пористость грунта; K_e – коэффициент заполнения (при отсутствии данных K_e = 0,85); t – толщина ламели, м; a – усредненный шаг ламелей, м; K_V – коэффициент расширения смолы.

Выводы:

1. Методы глубинного инъецирования грунтов полимерными смолами, применяемые для стабилизации и улучшения физико-механических свойств грунтов, получают все большее распространение и являются передовыми методами уплотнения и консолидации грунтов.

2. Приведенные методы могут быть применены для стабилизации грунтов и горных пород, обеспечения устойчивости откосов, гидроизолирования массивов грунтов, снижения вибраций, укрепления грунтов оснований дорожных, железнодорожных и мостовых фундаментов и насыпей, строительства систем крепления горных выработок или защиты сооружений вблизи мест выработок, ограждения и стабилизации загрязненных грунтов, ремонтных работ, связанных с восстановлением несущей способности грунтовых оснований зданий и сооружений.

3. При использовании технологии смолизации, в отличие от цементации, мы можем варьировать два параметра – материал и технологию подачи материала к месту дефекта, в то время как для цементации – только технологию подачи материала. Таким образом, при использовании метода смолизации, мы можем обеспечить выполнение наиболее широкого круга задач, оптимизировать процесс производства работ под конкретную задачу и достичь наибольшей эффективности с точки зрения затраченных материальных и временных ресурсов.

4. Исходя из анализа разработанных формул определения расхода инъекционного материала можно сделать вывод о наименьшем расходе инъекционного материла при использовании метода гидроразрыва, метод уплотнительного нагнетания требует значительно большего расхода материала. Наиболее материалоемкими являются методы пропитки, струйной смолизации и смолизации скальных пород.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Andromalos, K.B., Y.A. Hegazy and B. H. Jasperse, 2000. "Stabilization of Soft Soils by Soil Mixing". Proceedings of the Soft Ground Technology Conference, United Engineering Foundation and ASCE Geo-Institute, Noorwijkerout, Netherlands, May 28 – June 2, 2000.
2. Bergado, D.T., 1996. "Soil compaction and soil stabilisation by admixtures". Proceeding of the Seminar on Ground Improvement application to Indonesian Soft Soils. Indonesia: Jakarta, pp: 23-26.
3. Elias, V., Welsh, J., Warren, J. and Lukas, R, 1998."Ground Improvement Technical Summaries". Volume II, Demonstration Project 116. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-98-086, September 1998.
4. Hakan Bredenberg, 1999."Equipment for deep soil mixing with the dry jet mix method". Dry Mix Method for Deep Soil Stabilization. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 108 2.
5. Hebib, S. and E. R. Farrell, 2003."Some Experiences on the Stabilisation of Irish Peats".
Canadian Geotechnical Journal, No. 40, pp: 107-102.
6. Huat, B.B.K. 2004."Organic and Peat soils Engineering". University Putra Malaysia Press, Malaysia. ISBN 983 2871 08 5. pp: 86-121.

УДК 697.133

С.Е. Юрина, Д.В. Немова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительство зданий и сооружений оказывает непосредственное влияние на окружающую среду, что сформировало новый подход к проектированию – устойчивое развитие, способность объекта сохранять необходимый уровень своих экологических, социальных и экономических показателей для существующих и будущих поколений [1]. Согласно СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 «Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» категория «Энергосбережение и энергоэффективность» имеет наиболее высокую долевую значимость (18,5%) при определении общей величины устойчивости среды обитания для проектируемого или эксплуатируемого здания, а значит, снижение энергетических потерь является важной задачей современного строительства.

Одним из эффективных решений в устойчивом строительстве является установка «зеленых» фасадов. Помимо прочих преимуществ, применение вертикального озеленения фасадов повышает показатели энергоэффективности здания [2].

Целью данной работы является анализ влияния «зеленых» стен на теплопотери высотного здания, для чего необходимо выполнить следующие задачи:

- выполнить расчет сопротивления теплопередаче для типовой конструкции вентилируемого фасада (конструкция А) и фасада с озеленением (конструкция Б);
- выполнить расчет теплопотерь через ограждающие конструкции А и Б на примере высотного офисного здания в г. Белгород;
- сравнить полученные результаты и вычислить снижение теплопотерь, которых удалось достичь.

1. В данной работе расчет сопротивления теплопередаче равен суммарному термическому сопротивлению всех конструктивных слоев с учетом коэффициентов теплоотдачи поверхностей и коэффициента неоднородности. Для уточнения расчетов необходимо выполнять моделирование фрагмента стены с учетом всех теплопроводных включений.

В соответствии с теплотехническим расчетом для г. Белгород была подобрана конструкция вентилируемого фасада, изображенная на рис. 1.

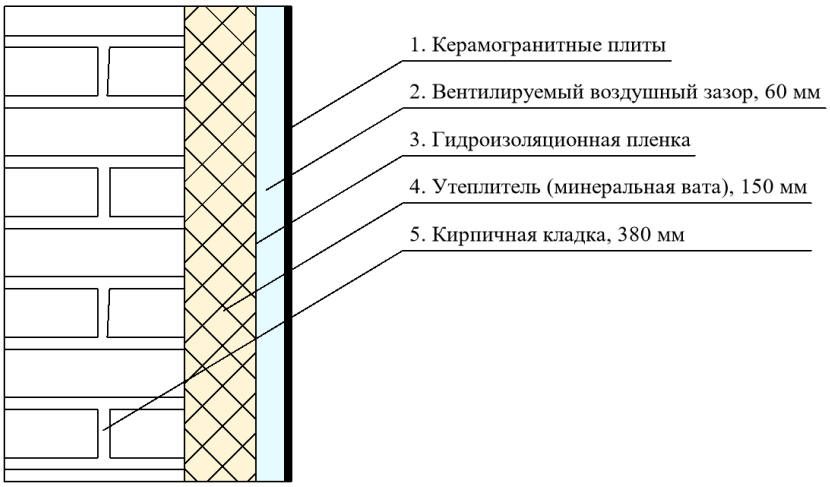


Рис. 1. Схема конструкции А

Сопротивление теплопередаче для конструкции А с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности составило $R_{\text{о}}^{\text{пр}} = 2{,}97$ м^2·°С/Вт, что удовлетворяет базовому значению для рассматриваемого здания, равному $R_{\text{о}}^{\text{норм}} = 2{,}32$ м^2·°С/Вт [3].

Наиболее удобной в установке и эксплуатации является модульная система озеленения, представляющая собой опорный каркас и установленные на него модули с заранее выращенными растениями [4].

Для конструкции «зеленого» фасада были взяты аналогичные конструкции А слои основы (кирпичная кладка) и утеплителя (минеральная вата). Для защиты стены от воздействия растительного слоя предусмотрена гидроизоляционная пленка, а также воздушный зазор, формирующийся за счет опорного каркаса из направляющих профилей для монтажа модульной системы. В модули установлен субстрат для гидропонной системы [5]. Растительный слой представлен из нескольких компонентов: листва, воздушный зазор и водяной пар на поверхности листьев [6]. Все физические свойства этих компонентов были отражены при расчете сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

Схема конструкции Б отражена на рис. 2.



Рис. 2. Схема конструкции Б

Сопротивление теплопередаче для конструкции Б с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности составило $R_{\text{о}}^{\text{пр}} = 5{,}57$ м^2·°С/Вт.

2. На примере высотного офисного здания в г. Белгород с площадью рассматриваемого западного фасада: $A = 3114{,}56\ м^2$ были рассчитаны удельные тепловые потери через ограждающие конструкции А и Б по формуле:

$$q_{тр} = n_t A \frac{1}{R_o^{пр}}, Вт/°C. \quad (1)$$

Для вентилируемого фасада удельные тепловые потери составили 1048,67 Вт/℃, для фасада с вертикальным озеленение – 559,17 Вт/℃.

3. Теплопотери через конструкцию Б на 47% меньше потерь через конструкцию А. В рассматриваемом проекте замена происходила только для одного фасада, площадь которого составляет 15% от общей площади ограждающих конструкций, поэтому снижение удельной теплозащитной характеристики для всего здания $k_{об}$ составило лишь 3,4%.

Выводы. Выполненные расчеты сопротивления теплопередаче рассматриваемых схем позволили провести сравнительный анализ теплопотерь зданий с разными ограждающими конструкциями, одной из которых являлась «зеленая» стена. Сравнение результатов показало, что фасады с вертикальным озеленением имеют более высокие показатели энергоэффективности, чем типовые фасадные конструкции со схожим основанием, и способствуют сохранению тепла в здании. С увеличением площади озеленения эта разница будет увеличиваться, что позволит значительно снизить затраты на отопление помещений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 57274.1-2016/EN 15643-1:2010. Устойчивое развитие в строительстве. Часть 1. Общие положения. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 ноября 2016 г. N 1722-ст, дата введения: 01.12.2017.
2. Tasić, D., Chowdhury, A., Igrec, D. Analytical Modelling of Achieving Energy Efficiency with Green Walls, 29th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2020, Portorož, Slovenia.
3. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 265 и введен в действие с 1 июля 2013 г., дата введения: 01.07.2013.
4. Хуснутдинова А.И., Александрова О.П., Новик А.Н. Технология вертикального озеленения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №12 (51). С. 20-32.
5. Ищук Н.В., Внуков Е.В., Есков Д.В., и др. Вертикальное озеленение панели с автономным поливом, как вариант озеленения городской среды // В сборнике (Инновации природообустройства и защиты окружающей среды, 23-24 января 2019 г. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова). Саратов: Изд-во ООО Издательство «КУБиК». 2019. С. 129-131.
6. Yoshimi, J., Altan, H. Thermal Simulations on the Effects of Vegetated Walls on Indoor Building Environments. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011. Pp. 1438–1443.

УДК 69.001.5

Ю.Э. Чиркова, М.В. Бабаев, И.С. Птухина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДАНИЯХ

Цель работы – выбор энергоэффективных технологий при строительстве зданий с экономической точки зрения.

Технология «пассивный дом» представляет собой комплекс решений по введению дополнительных мероприятий, специальных материалов и оборудования, для экономии энергии в процессе эксплуатации здания. С таким домом можно будет сократить затраты на теплоснабжение, по сравнению с обычным зданием, в котором не принимаются такие технологии.

Энергоэффективные свето-прозрачные конструкции – окна. Энергосбережение оконных проемов достигается путем использования стеклопакетов (к примеру: многофункциональных, с заполнением пространства внутри аэрогелем или вакуумные), увеличения количества камер, улучшения качеств монтажа и замены стекол на энергосберегающие (к примеру: с фотоэлектрическим эффектом, низкоэмиссионных и т.п.). Так же при проектировании если делать окна, находящиеся на южной стороне фасадов здания, больше по размерам. Такое решение будет давать больше солнечного света (затраты на освещение в светлое время суток будут минимизированы) и приносить больше тепла, чем отдавать. В таблице 1 приведены затраты тепловой энергии на отопление зданий с учетом потерь через оконные конструкции.

Таблица 1

Типы оконных конструкций	Годовой расход тепловой энергии, Гкал/год [1]	Затраты тепловой энергии на отоплений, руб./год*
Двухкамерный стеклопакет 32 мм 4М1-10-4М1-10-4М1	8072,7	14 464 744,6
Двухкамерный стеклопакет 40 мм 4М1-14-4М1-14-4М1	7452,1	13 352 747,3
Двухкамерный стеклопакет 40 мм с заполнением внутреннего пространства аэрогелем 4М1-14П(Ar)-4М1-14П(Ar)-4В	4808,5	8 615 918,4
*из расчета стоимости за 1 Гкал 1791,81 руб./Гкал по Санкт Петербургу за 2020 год, согласно Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 18.12.2013 № 527-р "Об установлении тарифов для расчета размера платы за коммунальную услугу по отоплению и коммунальную услугу по горячему водоснабжению в открытой и закрытой централизованной системе, предоставляемые гражданам, и тарифов на тепловую энергию и горячую воду для граждан, проживающих в индивидуальных жилых домах, на территории Санкт-Петербурга на 2014 год"		

Стоимость установки и производства окон с двухкамерным стеклопакетом 40 мм с заполнением внутреннего пространства аэрогелем колеблется от 50 до 60 тыс. руб. по Санкт-Петербургу (без учета размеров и дополнительных услуг таких как монтаж, доставка и т.п.). Таким образом экономия энергии дойдет до 50%, в сравнении с обычным остеклением.



Рис. 1

Энергоэффективное утепление. Под энергоэффективным утеплением понимается полное утепление здания – не только наружных стен, но и любых других ограждающих конструкций (перекрытий, крыши, окон, наружных дверей). Такое утепление здания называется сплошной непрерывной теплоизоляционной оболочкой. На рис. 1 представлен для наглядности часть потерь тепла в доме из разных точек здания.

При такой технике теплоизоляции здания снижаются до минимума теплопотери за счет устройства теплоизоляционного материала без щелей в местах стыков.

За счет отсутствия мостиков холода теплоотдача здания стремится к нулю. В таблице 2 приведены стоимости по устройству данной технологии.

Таблица 2

Наименование работы	Стоимость работы, руб./м^2
Утепление перекрытия	от 1000
Утепление оконных проемов	от 550
Утепление дверных проемов	от 450
Утепление кровли	от 1300

Утилизаторы теплоты вытяжного воздуха в системах вентиляции – рекуператоры. Суть технологии состоит в установлении специального оборудования в трубы приточно-вытяжной системы. Таким образом происходит утилизация теплоты вытяжного воздуха, за счет которого грелось помещение, из которого воздух удаляется. В таблице 3 приведены сравнение затрат при использовании данной технологии и традиционной вентиляции.

Таблица 3

Оборудование	Электрическая мощность, кВт·ч	Время работы, ч	Стоимость 1 кВт, руб.	Затраты на эксплуатацию, руб.
Установки с рекуперацией тепла	4,55	8 760	4,65	185 339,70
Традиционные канальные приточно-вытяжные вентиляционные установки (с учетом установок для нагревания воздуха)	99,01			4 033 073,34

Автоматизированные системы управления (АСУ) техническими устройствами – «Умный дом». Для ещё большей экономии энергии во многих зданиях и вокруг них устанавливают системы: комплекс аппаратов и программного обеспечения. Результаты оценки экономического эффекта системы «Умный дом» с классической системой приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основная комплектация системы «Умный дом»	Экономический эффект
Датчики уровня освещенности	Позволяют экономить до 25%
Датчики движения	Экономия составляет 33%
Установка термосчетчиков и терморегуляторов	Позволяют экономит до 35%
Датчик присутствия	Экономия составляет 15%

Результаты расчета снижения эксплуатационных затрат за год приведены на рисунке 2.

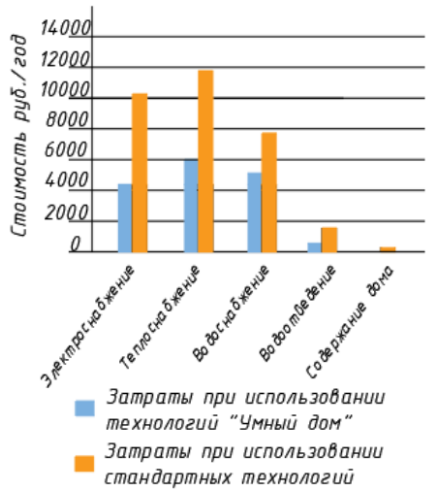


Рис. 2. Эксплуатационные затраты

Сокращение затрат на эксплуатацию составило 17700 руб./год. Также была определена сметная стоимость, она составила 88600 руб. (1700 руб./м^2).

Расчет годового экономического эффекта произведен по формуле:

$$Э = \Delta С_{экс} - Е_н \Delta КВ_i,$$

где $\Delta С_{экс}$ – снижение эксплуатационных затрат, руб.; $Е_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15 год$^{-1}$; $\Delta КВ_i$ – разница капитальных вложений по вариантам системы.

Таким образом, с учетом капитальных вложений во внедрение системы «умный дом» и снижения эксплуатационных затрат была рассчитана экономическая эффективность данной системы:

$$Э = 17700 \text{ руб/год} - 0{,}15^{-1}_{\text{год}} \cdot 93600 \text{ руб.} = 4410 \text{ руб./год.}$$

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что, применение энергоэффективных технологий в строительстве обладает огромным потенциалом. Однако, большая проблема заключается в том, что их срок окупаемости составляет 10-15 лет. Для инвесторов такие проекты – непривлекательны. Следовательно, для внедрения энергоэффективных технологий, должно быть сформированы условия правового, организационного и финансово-экономического регулирования деятельности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5. С. 112-128.
2. Засыпкин Г.К. Роль энергосберегающих технологий и малого предпринимательства при строительстве малоэтажных домов // Известия Иркутской Государственной экономической академии. 2012. № 4. С. 12.
3. Вилинская А.О., Немова Д.В., Давыдова Е.И., Гнам П.А. Повышение класса энергоэффективности общественного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 9 (36). С. 7-17.
4. Кирюдчева А.Е. Шишкина В.В. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 248-262.
5. Комитет по тарифам Санкт-Петербурга // Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 18.12.2013 № 527-р. Об установлении тарифов для расчета размера платы за коммунальную услугу по отоплению и коммунальную услугу по горячему водоснабжению в открытой и закрытой централизованной системе, предоставляемые гражданам, и тарифов на тепловую энергию и горячую воду для граждан, проживающих в индивидуальных жилых домах, на территории Санкт-Петербурга на 2014 год. СПб. 2013. С. 3-9.
6. Гаранин А.В. Разработка систем динамического микроклимата и создание на их основе энергосберегающих режимов работы оборудования // Диссертация. 2010.

СЕКЦИЯ «ДОРОГИ АВТОМОБИЛЬНЫЕ, МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ»

УДК 630.383.2

Г.А. Аверченко, Е.А. Зорина, Д. Ким, Д.Н. Наборщикова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОРОГИ НА БОЛОТАХ

Цель исследования – раскрыть особенности использования разных видов конструкций покрытия на конкретных типах болот. Временные дороги способствуют доставке необходимых техники, оборудования и материалов на строительные объекты, доступ к которым является самым удобным или возможен лишь на автомобильном транспорте. Кроме того, они обеспечивают транспортировку полезных ископаемых, иных природных ресурсов, а также вывоз строительного мусора. В сравнении с постоянными, временные дороги выигрывают не только в стоимости строительства, но и в экологичности. Так как значительную часть нашей страны занимают леса и болотистая местность, то ясна актуальность и целесообразность данного исследования.

В статье была выявлена область применения различных конструктивных решений используемых дорог, проанализирована их несущая способность.

В исследовании в первую очередь обращено внимание на типы болот, так как это является одним из основных критериев для выбора необходимого вида покрытия для проезда автомобилей. Далее были рассмотрены непосредственно сами виды покрытий, проанализированы конструкция покрытия, ее несущая способность, в соответствии с этим определена область использования каждого вида. В заключении сделаны выводы об использовании разных видов покрытий в болотистой местности.

В связи с высокой стоимостью и огромными затратами сооружения дорог постоянного типа в болотистой местности при освоении лесных массивов или строительстве и эксплуатации трубопроводов в настоящее время разработаны и находят применение различные конструктивные решения покрытий временных дорог [1].

Болота по своему строению, которое влияет на выбор технологии производства земляных работ, подразделяются на три типа:

- I тип – торфяные, состоящие из одного или нескольких торфяных пластов в устойчивой консистенции, лежащие на твердом минеральном дне;
- II тип – сапропелевые, заполненные торфом в неустойчивой консистенции, расположенном на илах – сапропелях;
- III тип – сплавинные, заполненные до минерального дна болотным илом и водой, с плавающей торфяной коркой различной толщины.

Рассмотрим разновидности покрытий, подходящие как к конкретным типам болот, так и универсальные:

1. Настилы из бревен в виде сланей с засыпкой сверху грунтом или продольные лежневые покрытия, в которых используется лес без предварительной обработки и спиленный в зоне с расходом на 1 км дороги более 1000 м^3 древесины и трудозатратами 800-1200 чел./сут. Покрытие можно сделать многоярусным [2], что делает его достаточно универсальным, простым, а значит и часто используемым.

2. Инвентарные сборно-разборные дорожные покрытия в виде колейных щитов (СРДП). Щиты заводского изготовления отличаются размерами и конструкциями замковых соединений и выполняются из бруса, досок, двухкантных или круглых бревен, бакелизированной фанеры, металлических сплавов с весом от 120 до 700 кг. Такие типы

покрытия не обладают достаточной несущей способностью для универсального использования [3].

3. Сборно-разборные несущие покрытия (СРНП) состоят из сквозного поперечного настила, выполненного из брусьев, концы которых закреплены между нижними продольными и верхними колесоотбойными брусьями. Продольные брусья по длине покрытия обжаты специальными хомутами и объединены в стыках металлическими обоймами. Покрытие обладает высокой несущей способностью, которая может регулироваться количеством продольных брусьев. Максимальная масса монтажного элемента не превышает 85 кг. Средний расход древесины – 0,35 м^3, металла – 2,14 кг/м.

4. Сверхпрочный полиэтиленовый пластиковый настил, состоящий из сборных панелей, которые крепятся пластиковыми либо металлическими звеньями друг к другу. Каждая панель сконструирована из прочного листа литого материала, что обеспечивает более высокую стойкость и прочность на сдвиг по сравнению с многослойными, полыми или ламинированными системами. Все панели имеют на своей поверхности узор, обеспечивающий усиленное сцепление транспорта с настилом.

5. Композитный настил представляет собой полотно, закрепленное замковым соединением и состоящее из полимерных композиционных материалов. Данный вид настила не имеет достаточной несущей способности для повсеместного использования [3,4].

6. Настил из фашин, то есть настил из перевязанного хвороста диаметром от 50 до 60 см в диаметре и до 6 м в длину. Каждые фашины закрепляются кольями с двух сторон. Колья имеют длину 75-85 см и диаметр 6-7 см. Фашины связывают друг с другом. Данный вид настила является одним из самых недолговечных и ненадежных. Благодаря настилу можно транспортировать технику небольшого веса.

7. Сборные покрытия из железобетонных плит. Данные плиты являются надежными и долговечными, выдерживают большую нагрузку. Также нет больших затрат времени на их установку. В плитах стоит стальная арматура, что позволяет увеличить сопротивление изгибу, сохранить прочность и твердость плит, что влечет за собой увеличение времени эксплуатации до нескольких лет [5,6,7,8]. Использование каждого из видов покрытий приведено в табл.1.

Таблица 1 – Применение видов покрытий в зависимости от типа болот

№ п/п	Вид покрытия	Тип болот		
		I	II	III
1	Настилы из бревен в виде сланей с засыпкой сверху грунтом (продольные лежневые покрытия)	+	+	+
2	Инвентарные сборно-разборные дорожные покрытия в виде колейных щитов (СРДП).	+	-	-
3	Сборно-разборные несущие покрытия (СРНП)	+	+	+
4	Сверхпрочный полиэтиленовый пластиковый настил	+	+	+
5	Композитный настил	+	+	-
6	Настил из фашин	+	-	-
7	Сборные покрытия из железобетонных плит	+	+	+

Несущая способность каждого из настилов представлена на рис. 1. Самой высокой несущей способностью обладает сверхпрочный полиэтиленовый пластиковый настил, самой низкой – настил из фашин. При этом временный настил на болотах считается универсальным для использования при несущей способности от 25 т.

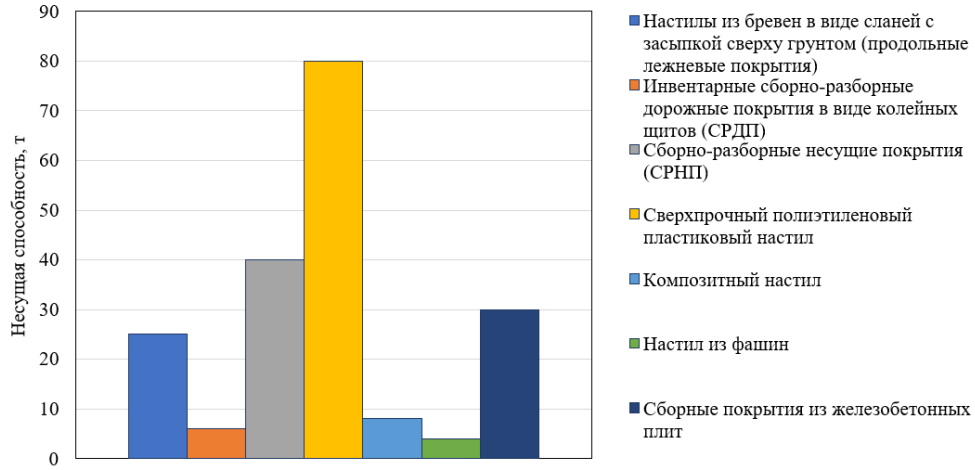


Рис. 1. Несущая способность дорожных покрытий

Таким образом, временные лесохозяйственные дороги являются неотъемлемой частью строительства, так как обеспечивают быстрый и удобный подъезд к объекту. Для покрытия же необходимо использовать только тот тип материала, который позволяет производить круглогодичный подъезд к площадке и при этом прослужит достаточное количество времени.

В результате исследования можно сделать следующие выводы:

1. Болота первого типа являются самыми малотребовательными – для них подходят все исследуемые виды дорожного покрытия;
2. По причине неустойчивой консистенции второго типа болот на них используются настилы из бревен, сборно-разборные несущие покрытия, полиэтиленовый пластиковый настил, композитный настил и сборные покрытия из железобетонных плит;
3. Благодаря универсальности почти всех видов покрытий, разрешенных для второго типа болот, их использование, за исключением композитного настила, разрешено также и на третьем типе болот;
4. Сборно-разборная система, а также самая большая несущая способность делают сверхпрочный полиэтиленовый пластиковый самым прочным и удобным в использовании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рыбников П.С. Размещение временных автомобильных дорог в лесосеках. Лесотехнический журнал. 2011. №3. С. 88-89.

2. Вырко Н.П., Мытько Л.Р., Насковец М.Т., Танкович Н.И. Временные дороги на заболоченной местности. Лесная промышленность. 1986. №12. С. 20.

3. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.

4. Колотилов Ю.В., Ермаков В.К., Щепин Н.Ф., Короленок А.М. Особенности использования синтетических материалов при строительстве временных технологических дорог в заболоченной местности. Транспорт и подземное хранение газа. 1995. С. 5-14.

5. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., Вепринак И.А., Алексеев С.В., Ярошенко С.В., Зуев А.Н. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.

6. Егоров А.В., Бадертдинов Р.А., Бухаров Е.Н. Обзор сборных конструкций временных дорог из композитных материалов. Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса. 2016. С. 231-232.

7.Аверченко Г.А., Мухаррямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6-16.

8. Mukharryamov I., Averchenko G. Improvement of analysis and design of road pavements using nepheline sludge. Architecture and Engineering. 2020. № 3(5). Pp. 63-69.

УДК 60.07

Г.А. Аверченко, А.П. Баланин, В.А. Борисов, К.А. Васильев, Н.А. Гуга
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕСТКОЙ НИТИ В КАЧЕСТВЕ НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПОКРЫТИЙ БОЛЬШИХ ПРОЛЕТОВ

Введение. В качестве несущих элементов покрытий больших пролетов используются металлические или железобетонные фермы, реже пространственные структуры [1]. Общеизвестно, что в фермах часть элементов подвержены сжатию, часть растяжению [2]. Первое не желательно для металла, второе железобетона, так как не позволяет полностью реализовать весь запас прочности материала. Структурные покрытая также не технологичны, вследствие наличия узлов [3].

Применение ферм и структур увеличивает объем здания, что отрицательно сказывается на эксплуатационных затратах (отопление, вентиляция, освещение) [4].

Цель работы. Определение конструкции, наиболее подходящей для использования в качестве несущего элемента больших пролетов.

Исследовательская часть. В нашей работе мы предлагаем использование жесткой нити. При использовании жесткой нити удается полностью освободиться от вышеупомянутых недостатков и полностью использовать запас прочности металла.

Особенность работы жесткой нити заключается в том, что она сочетает положительные рабочие характеристики, присущие балке и гибким вантам.

Существует несколько вариантов подвески нити: жесткое, шарнирное, упругое [5]. Каждый из вариантов обладает существенным недостатком, в первом случае значительные моменты в точке подвеса нити, во втором недопустимая перерезывающая сила на опоре, что потребует изменения приопорного поперечного сечения нити в сторону увеличения [6]. И наконец упругое закрепление потребует значительного усложнения опорного узла.

Предложена следующая конструкция подвески и крепления нити.

Жесткая нить шарнирно подвешивается к двум рамам-пилонам. Считаем, что рамы-пилоны абсолютно жестки [7]. Под действием собственного веса нить приобретает начальный прогиб. При достижении наиболее оптимального прогиба f шарнир глушится и характер работы узла изменяется на жесткое закрепление [8]. Комбинация двух способов подвески позволяет установить наиболее оптимальную зависимость между изгибающим моментом M, перерезывающей силой Q и силой натяжения N и, как результат, использовать нить постоянного сечения. В качестве нити использован балочный двутавр.

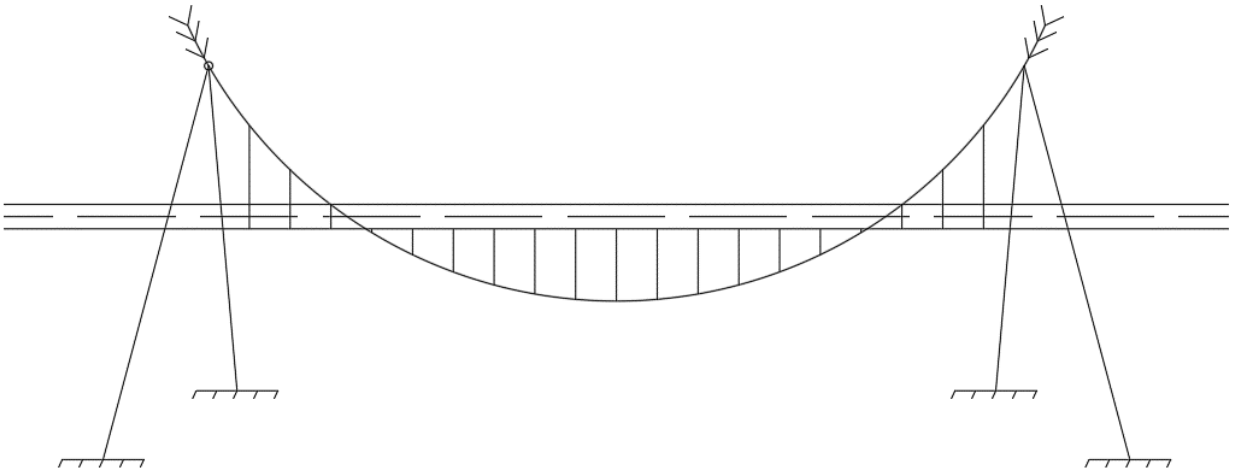


Рис. 1. Конструкция подвески и крепления нити

Расчеты производим в следующей последовательности

– Вычисляем параметры u по формуле:

$$\frac{384}{5}\frac{EI}{ql^1}\frac{W}{Fcos(\varphi)} = \frac{1-\frac{2+uth(u)}{2ch(u)}}{\frac{5}{24}u^1}.$$

– Определяем стрелу провисания нити и ее удлинение:

$$f = \frac{5}{384}\frac{\frac{ql^2}{EI}\left(\frac{u^2}{2}-1+\frac{1}{ch(u)}\right)}{\frac{5}{24}u^1}; \quad L = l\left[1+\frac{8}{3}\left(\frac{f_o}{l_u}\right)^2\right].$$

– Находим распор и опорные реакции:

$$H^o = \frac{4u^2EI}{l}; \quad R_A = \frac{ql}{2}+H^o tg(\varphi); \quad R_B = \frac{ql}{2}-H^o tg(\varphi).$$

– Определяем максимальное осевое усилие на опорах:

$$S^A = \sqrt{H^{o2}+R_A^2}; \quad S^B = \sqrt{H^{o2}+R_B^2}.$$

Приняв начало координат в точке опоры, получив ряд точек, заданных по нашему усмотрению, для каждой из которых, в зависимости от вида загружения (в данном примере – равномерно распределенная нагрузка) получим:

$$y = h\xi + \frac{5}{384}\frac{ql^4}{EI}\frac{42}{5u^4}\left[u\xi(1-\xi)-\frac{sh(u\xi)sh\big(u(1-\xi)\big)}{ch(u)}\right].$$

$$tg\alpha = tg\varphi + \frac{ql^3}{24EI}\frac{5}{u^3}\left[u^o\left(\frac{1}{2}-\xi\right)-\left(\frac{th(u)}{2}-\frac{sh(u\xi)ch\big(u(1-\xi)\big)}{ch(u)}\right)\right].$$

$$M = \frac{ql^2}{8}\frac{4}{u^\xi}\frac{sh(u\xi)sh\big(u(1-\xi)\big)}{ch(u)}.$$

$$Q = \frac{ql}{2}\frac{2}{u}\left(-\frac{th(u)}{2}-\frac{sh(u\xi)ch\big(u(1-\xi)\big)}{ch(u)}\right).$$

Определяем напряжение в нити в каждой искомой точке:

$$\sigma = \frac{H}{Fcos\varphi 10}\pm\frac{M}{W10},$$

где левая часть const, а правая часть знакопеременная и может в результате изменения условий работы нити принимать как положительные, так и отрицательные величины.

Таблица 1 – Сравнение фермы и жесткой нити

Металлоемкость	Сквозная ферма	Жесткая нить
При пролете 153 м	4257 т	1628 т
При пролете 128 м	3642 т	1299 т

Вывод. Преимущества конструкции заключается в том, что в качестве жесткой нити использован балочный двутавр. По экономическим показателям металлоемкость нити почти в три раза меньше по сравнению с металлической фермой на аналогичный пролет.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Михайлов Г.Г. Несущий элемент покрытия здания. Авторское свидетельство SU 447489 A1, 25.10.1974. Заявка № 1789636/29-4 от 29.05.1972.

2. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов. Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
3. Kozel D.I., Kirillova D.Yu., Klimovskiy I. The needs assessment of reconstruction of bridge «Zelenyj most». В сборнике: Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 371-373.
4. Пискун А.С., Ганец Г.В., Аверченко Г.А. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаша. Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 957-967.
5. Шимановский В.Н. Висячие системы. Будівельник, 1984 г. – 208 с.
6. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.
7. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., и др. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.
8. 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.

УДК 351.811.11

Г.А. Аверченко, В.А. Борисов, К.А. Васильев, А.П. Баланин; Н.А. Гуга
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Статистика аварий и катастроф на строящихся и эксплуатируемых железобетонных мостах, без учета обрушений от стихийных бедствий, превышает 200 случаев за последние 20 лет. В большинстве своем они связаны с ошибками при проектировании и монтаже, применением некачественного материала и конструкций, коррозией и оползневыми процессами [1]. Иногда аварии происходили без заметных предвестников, в ряде случаев ими пренебрегали или не могли оценить степень опасности. Чаще всего не было резерва времени для анализа признаков надвигающейся катастрофы из-за отсутствия способов раннего прогнозирования разрушения [2].

Хотя причины аварий разнообразны, накопленный нами опыт обследования крупных внеклассных мостов позволяет рекомендовать свести их диагностику к следующему [3]:

- поиску зон аномального звучания;
- выяснению природы источника звука;
- оценке уровня напряжений в конструкции;
- сопоставлению результатов измерений с расчетными значениями контролируемых величин и определению состояния конструкции.

Исходя из предложенной схемы контроля (рис.1), выполняется "прослушивание" конструкции или отдельных ее элементов. При этом в силу эффекта Кайзера нагруженные рабочей нагрузкой железобетонные конструкции в нормальном состоянии не излучают сигналов АЭ [4]. Появление эмиссии свидетельствует о накоплении повреждений, низком качестве материала, локальных перенапряжениях, развитии трещин, коррозии.

С целью изучения природы источника звука осуществляют его локализацию, например, методом сейсмической триангуляции, а затем проверяют версию накопления повреждений. Определяют соответствие реальной прочности бетона требованию проекта путем склерометрии, испытаниями керна, методами отрыва и скалывания и другими [5].

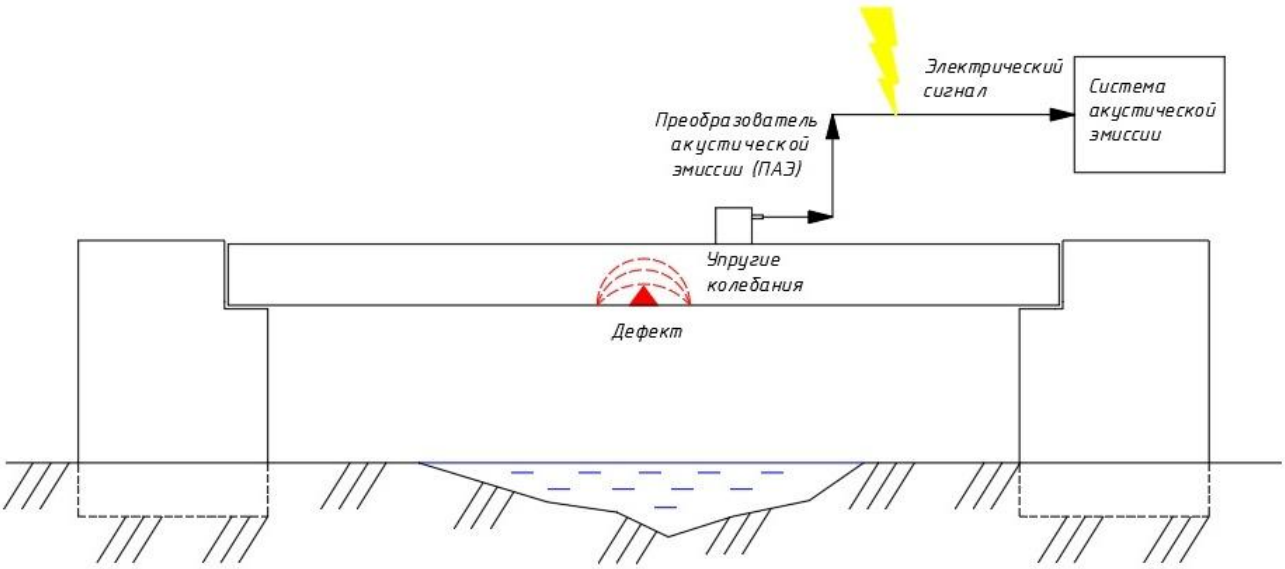


Рис. 1. Схема установки системы акустической эмиссии

Ультразвуковыми испытаниями проверяют наличие невидимых дефектов, раковин, пустот, трещин. Пенетрацией в сочетании с АЭ-дефектоскопией определяют уровень фактических напряжений. Методами идентификации источников звука диагностируют развитие силовых трещин в бетоне, коррозию арматуры и тросов под напряжением.

Помимо очевидных преимуществ АЭ-метода контроля и мониторинга, заключающихся в высокой чувствительности, разрешающей способности, относительно невысокой трудоемкости, чрезвычайно полезной, на наш взгляд, является возможность исследования технологии монтажа и получения технического паспорта объекта при завершении его строительства [6]. Так, метод АЭ был применен для отыскания причин возникновения и развития трещин при сборке коробчатых блоков и натяжении тросов пролетных строений мостов. В результате проведенных измерений АЭ отмечено существенное (в 4 – 5 раз) увеличение энергии излучения при нарушении юстировки конструкций в процессе стыковки. Выполненные расчеты энергоемкости развития трещин по механизмам нормального отрыва и сдвига установили, что затраты на разрушение в последнем случае по крайней мере в 1,3 раза меньше. Для устранения причин возникновения трещин рекомендовано осуществлять тщательную юстировку стыкуемых блоков, обеспечивая их демпфирование при натяжении тросов. Одновременно была осуществлена оценка эффективности демпфирования эпоксидной клеевой подложки, наносимой при склейке блоков. В идентичных условиях (качество и количество смолы, пластификатора, температуру не меняли) варьировали время предварительной выдержки клея [7]. Было установлено рациональное время предварительной полимеризации, обеспечивающее монтаж без трещин.

Метод АЭ использован нами и для оценки состояния железобетонных мостовых конструкций, содержащих трещины, залеченные путем инъецирования. Существовало опасение, что при недостаточно качественном инъецировании трещины остаются зонами повышенной концентрации напряжений. Испытания более 100 конструкций с трещинами и без них позволили установить, что качественное инъецирование приводит к залечиванию трещин, исчезновению АЭ, сопутствующей накоплению повреждений.

Накопленный пятилетний опыт использования метода АЭ при диагностике, контроле и испытании железобетонных мостов позволяет авторам рекомендовать его как действенный и перспективный способ неразрушающего контроля.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Барат В.А., Елизваров С.В. и др. Автоматическая проверка качества акустического контакта преобразователей акустической эмиссии при акустико-эмиссионном контроле. Научная статья. 2011 г. №8. – 36 с.
2. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов. Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
3. Пискун А.С., Ганец Г.В., Аверченко Г.А. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаша. Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 957-967.
4. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., Егошин 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.
5. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., Веприняк И.А., Алексеев С.В., Ярошенко С.В., Зуев А.Н. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.
6. Kozel D.I., Kirillova D.Yu., Klimovskiy I. The needs assessment of reconstruction of bridge "Zelenyj most". В сборнике: Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 371-373.
7. 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.

УДК 624.15

С.В. Алексеев[1,2], А.А. Трифонова[1], С.А. Вуколов[2], А.А. Озорнин[2], А.М. Егошин[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]Военная академия материально-технического обеспечения
им. генерала армии А.В. Хрулёва

СПОСОБ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙНО-ВИНТОВОГО АНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

С широким развитием конструкций винтовых свай и механизмов для их погружения находят применение в транспортном строительстве и свайно-винтовые анкерные устройства. Винтовые сваи являются сравнительно новой и перспективной конструкцией. По сравнению с обычными сваями (как висячими, так и стойками) они обладают рядом преимуществ [1, 2].

Методика расчета несущей способности заключается в определении значений несущей способности конструктивных элементов свайно-винтового анкера на выдергивание и сжатие по грунту при воздействии горизонтальной нагрузки (Рис. 1) [2, 3, 4].

Расчеты по предлагаемой методике производится в три этапа:

1. Расчет винтовой сваи анкера на выдергивание

Несущую способность F_d, кН, винтовой сваи диаметром лопасти $D \leq 1{,}2$ м и длиной $l \leq 10$ м, работающей на выдергивающую нагрузку, следует определять по формуле (1), а при диаметре лопасти $D > 1{,}2$ м и длине сваи $l > 10$ – только по данным испытаний винтовой сваи статической нагрузкой [1, 2. 4, 5]:

$$F_d = \gamma_c[(a_1 c_1 + a_2 \gamma_1 h_1)A + u f_i (h - D)], \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи, определяется таблица 7.8 (СП 50-102-2003); a_1, a_2 – безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблице 7.9 (СП 50-102-2003); c_1 – расчетное значение удельного сцепления грунта в рабочей зоне, кПа; γ_1 – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи (при водонасыщенных грунтах с учетом взвешивающего действия воды), кН/м^3; h_1 – глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, м; A – проекция площади лопасти,

определяемая по наружному диаметру, при работе винтовой сваи на сжимающую нагрузку, и проекция рабочей площади лопасти, за вычетом площади сечения ствола, при работе винтовой сваи на выдергивающую нагрузку, м^2; u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м; f_i – расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи, кПа, принимаемое по таблице 7.2 (СП 50-102-2003); h – длина ствола сваи, погруженной в грунт, м; D – диаметр лопасти сваи, м.

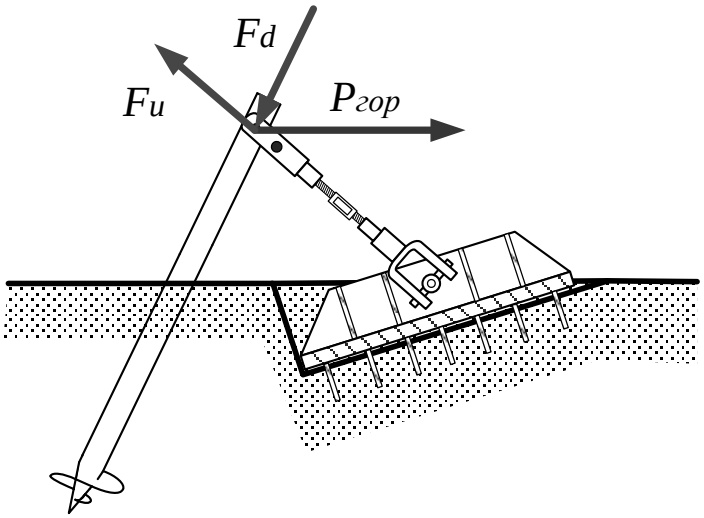


Рис. 1. Расчетная схема свайно-винтового анкерного устройства:
$P_{гор}$ – расчетная горизонтальная нагрузка на анкер;
F_d – расчетная нагрузка на выдергивание винтовой сваи;
F_u – расчетная нагрузка на сжатие грунта под опорной плитой

2. Расчет упорной плиты на сжатие

Несущую способность упорной плиты, приближенно определяют из расчета передачи усилия на упорную плиту [3, 4, 5, 6, 7] по зависимости:

$$F_u \le K_з A R_{сж\,гр}, \qquad (2)$$

где $K_з$ – коэффициент, принимаемый 15; A – опорная площадь плиты, м^2; $R_{сж\,гр}$ – расчетное сопротивление грунта на сжатие, кгс/см^2

3. Расчет свайно-винтового анкера на горизонтальную нагрузку

Расчётная схема свайно-винтового анкера (рис. 2), принимается с допущениями, и предлагается с учётом приведения нагрузок к основанию [3, 4-7]: предполагаем, что при воздействии на свайно-винтовой анкер горизонтальной силы, возникает опрокидывающий момент относительно точки *«О»,* являющейся проекцией узла сопряжения сваи с талрепом опорной плиты на плоскость дневной поверхности грунта [1-5].

Определение допустимой расчетной горизонтальной нагрузки на свайно-винтовой анкер предлагается осуществлять в следующей последовательности.

Сумма моментов относительно точки O:

$$\sum M(O) = 0, \qquad (3)$$

$$P_{гор} h_1 - F_d h_2 - F_u h_3 = 0, \qquad (4)$$

где $P_{гор}$ – расчетная горизонтальная нагрузка на анкер; h_1 – плечо расчетной горизонтальной нагрузки; F_d – расчетная нагрузка на выдергивание винтовой сваи, определяемая по формуле (1); h_2 – плечо расчетной нагрузки на выдергивание винтовой сваи; F_u – расчетная нагрузка на сжатие грунта под опорной плитой, определяемая по формуле (2); h_3 – плечо расчетной нагрузки на сжатие грунта под опорной плитой.

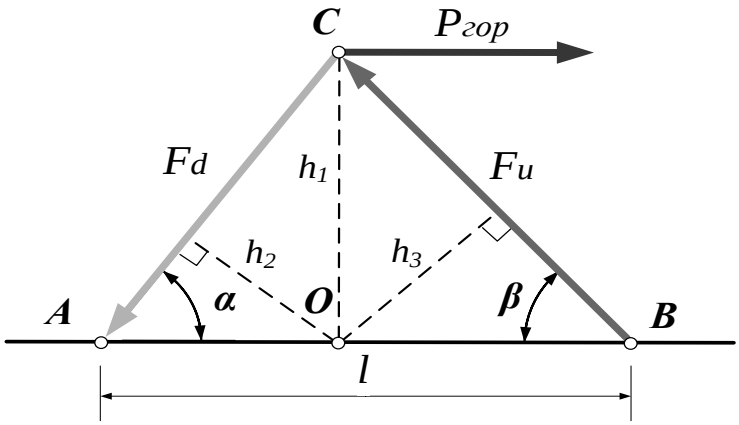


Рис. 2. Расчетная схема действия сил
в конструктивных элементах свайно-винтового анкера

В результате преобразований формулы (4) получаем расчетную горизонтальную нагрузку на анкерное устройство:

$$P_{гор} = \frac{F_d(AO)\cos\alpha + F_u(OB)\cos\beta}{(CB)\sin\beta}. \quad (5)$$

Допустимая расчетная горизонтальная нагрузка на свайно-винтовой анкер с учетом коэффициента запаса γ, равного 0,85 составит:

$$P^A_{гор} = 0{,}85P_{гор}. \quad (6)$$

Данный способ расчета несущей способности винтового анкерного устройства [3, 6, 7], позволяет теоретически определить возможную максимально допустимую горизонтальную нагрузку на свайно-винтовой анкер горизонтальной устойчивости.

Данную методику можно считать теоретическим предположением по обоснованию несущей способности свайно-винтового анкерного устройства, при этом, необходимо экспериментальное подтверждения работы данного устройства в различных грунтах и гидрологических условиях.

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 научно-теоретической конференции – СПб.: ВАМТО, 2017.
2. Озорнин А.А., Вуколов С.А. Кравец Д.Ю. Патент на полезную модель «Свайно-винтовой анкер повышенной горизонтальной устойчивости» № 157792, 19.11.2015.
3. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.
4. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., и др. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.
5. Пискун А.С., Ганец Г.В., Аверченко Г.А. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаша. Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 957-967.
6. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного дорожного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
7. 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 625.725

Д.А. Баранова, Д.С. Ершова, Я.Э. Бегич
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великова

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА В ОБЛЕГЧЕННЫХ НАСЫПЯХ НА УЧАСТКАХ АВТОДОРОГ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Цель работы – анализ и актуализация информации по применению геосинтетических материалов из пенополистирола в облегченных насыпях на участках автодорог общего назначения в Российской Федерации.

С конца 1960-х годов при строительстве дорог стали использовать геосинтетические материалы из пенополистирола – вспененный пенополистирол (ESP) и экструзионный пенополистирол (XSP) [1, 2]. Они выпускаются в виде блоков и плит различных размеров и благодаря таким свойствам, как низкая теплопроводность, малое водопоглощение, морозостойкость, высокая прочность на сжатие, долговечность и относительно небольшой вес, применяются при строительстве дорог на мерзлых, пучинистых и слабых грунтах в качестве теплоизоляционного слоя или заполнителя облегченной насыпи [3, 4].

В статьях [5, 6] говорится, что экструзионный пенополистирол, используемый в качестве теплоизоляционного слоя, позволяет регулировать водно-тепловой баланс земляного полотна. Благодаря этому увеличивается продолжительность работоспособности теплоизоляционного слоя и долговечность дорожной одежды, более того, экструзионный пенополистирол остается эффективен в качестве теплоизоляционного материала как при продолжительном воздействии высоких и низких температур, так и при переменных температурах [1, 7-9].

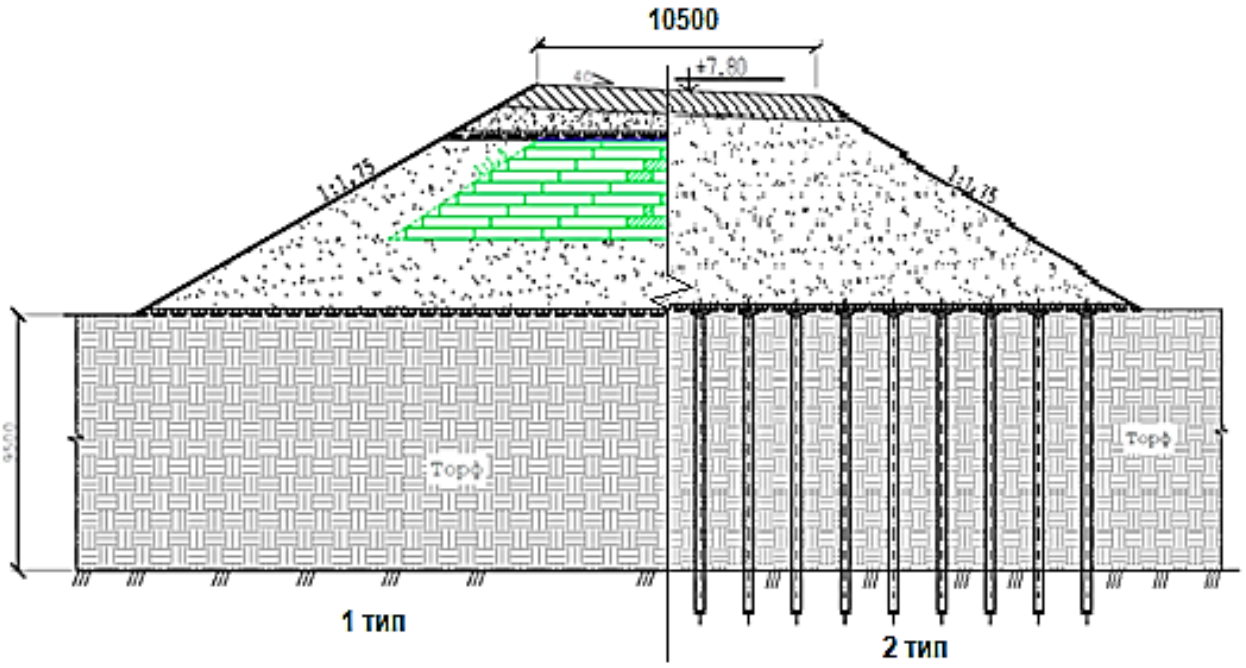


Рис. 1. Земляное полотно из пенополистирольных блоков

Еще одним преимуществом применения геосинтетических материалов в дорожных конструкциях является применение в облегченных насыпях на слабых грунтах [4, 10, 11]. Использование пенополистирольных блоков позволяет снизить нагрузку на грунт, обеспечивает устойчивость насыпи и позволяет получить меньшую конечную осадку насыпи, чем при использовании обычного грунта, более того, скорость работ по возведению насыпей ускоряется,

что влияет на весь срок строительства объекта в целом за счёт снижения время консолидации слабого основания (рис. 1, 1 тип). Использование геосинтетических материалов экономически целесообразно, так как при устройстве дорожных конструкций на слабых грунтах, таких как сапропели и торф, необходимо организовывать свайные основания, которые являются дорогостоящими конструкциями (рис. 1, 2 тип). При применении геосинтетических материалов общая стоимость конструкции снижается за счёт исключения свайных работ.

Впервые в России технологию облегченных насыпей применили в г. Санкт-Петербург при строительстве развязки Пискаревского проспекта с Кольцевой Автомобильной Дорогой (КАД). Взамен грунта был применен экструзионный пенополистирол (XPS), как элемент, облегчающий насыпь. Компанией ООО НТЦ «ГЕОТЕХНОЛОГИИ СПБ» был проведен мониторинг участков с применением экструзионного пенополистирола, в результате которого было сделано заключение, что прогибы конструкции не превышают расчетных прогибов. При этом было сэкономлено около 20% от сметной стоимости.

После подтверждения экономического эффекта применения технологии облегченных насыпей и подтверждения безопасности данного решения в дорожном строительстве в России начали часто использовать геосинтетические материалы из пенополистирола, например, в г. Санкт-Петербург при строительстве продолжения Софийской лице в сторону Колпино были применены блоки из вспененного пенополистирола (EPS) общим объемом 45 000 м^3.

Одним из последних объектов, в котором был применен экструзионный пенополистирол (XSP) является дорога федерального значения А-291 «Таврида» (рис. 2). Примерный объем материала на объекте составил около 15 000 м^3. Данный объект является отличным примером применения технологии облегчённой насыпи как альтернативы дорогостоящей технологии свайных оснований под дорогами общего назначения.



Рис. 2. Земляное полотно из экструзионного пенополистирола

В 2020 году ФДА «РОСАВТОДОР» выпустило отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.103-2020 «Методические рекомендации по применению вспененного полистирола при проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах» Данный документ является рекомендательным, но он включает в себя основные положения по проектированию и расчету облегченных насыпей.

Более того сейчас находится на стадии разработки ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования блоки из полистирольных вспененных экструзионных изделий (XPS блоки). Общие технические условия» и ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования блоки из полистирольных вспененных экструзионных изделий (XPS блоки)», разрабатываемые ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб», ЗАО Институт «Трансэкопроект» и ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

В свою очередь государственные стандарты по вспененному пенополистиролу уже вступают в силу с 01.08.2021. (ГОСТ Р 59171-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования» и ГОСТ Р 59172-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Насыпи облегченные и комбинированные из вспененных полистирольных блоков (ППС блоков). Правила проектирования и применения»).

Благодаря вышеуказанным нормативам и государственным стандартам в Российской Федерации может появиться больше автомобильных дорог общего пользования с применением геосинтетических материалов из пенополистирола, которые смогут сократить капитальные расходы на строительство автомобильных дорог на слабых грунтах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. John S. Horvath. Lessons Learned from Failures Involving Geofoam in Roads and Embankments. Manhattan College Research Report No. CE/GE-99-1.
2. Лазарев Ю.Г., Уголков С.В. Факторы, определяющие требования к автомобильным дорогам оборонного значения. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 5-6 (95-96). С. 71-74.
3. Павлова Л.В., Кондрашов С.А. Утеплители и их влияние на качество дорожной одежды. Сборник статей «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство». 2017 г. 146 с.
4. Путивский А.Е. Выбор заполнителей облегченных насыпей в дорожном строительстве. Статья в сборнике трудов конференции, неделя науки СПбПУ. 2019 г. 70 с.
5. Ярцев В.П., Иванов Д.В., Андрианов К.А. Прогнозирование долговечности экструзионного пенополистирола в дорожных конструкциях. Журнал «Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура». 2010 г.
6. Ярцев В.П., Владимирович И.Д. Прогнозирование работоспособности утеплителя (на примере экструзионного пенополистирола Пеноплэкс) в дорожных одеждах. Журнал «Вестник Тамбовского государственного технического университета», 2013 г. 426 с.
7. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., Егошин 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.
8. Мамонтов А.А., Ярцев В.П. Физико-технические основы работоспособности эктрузионного пенополистирола "Пеноплэкс". Журнал «Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности», 2017 г. 104 с.
9. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
10. Евтюков С.А., Медрес Е.П. Строительство дорожных насыпей на слабых грунтах: подходы и методы. Журнал «Наука и транспорт. Транспортное строительство». 2012 г. 31 с.
11. Евтюков С.А., Медрес Е.П., Медрес Е.Е., Матюсова Е.Ю. О проблеме проектирования и расчета конструкции облегченных насыпей из пенополистирольных блоков на слабых грунтах. Журнал «Вестник гражданских инженеров». 2019 г. 271 с.

УДК 624.26

С.В. Алексеев, Г.Л. Огурцов, А.А. Трифонова, Г.А. Аверченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОПОРАХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Современный мир требует современных решений, так и возникла тема использования взамен стандартной стальной арматуры более легкого и прочного материала, как стекловолокно, базальт и так далее. У стальной арматуры имеется ряд недостатков, которые могут привести конструкцию в непригодное для эксплуатации. Одним из данных недостатков является коррозия металла, что довольно часто встречается в опорах мостовых сооружений, находящихся в морфостворе реки [1, 2].

Основной целью исследования является изучение свойств композитного материала при использовании его в конструкции дорожных мостовых сооружений.

Композитные материалы находят все больший круг применения в строительстве. Ввиду того, что композитные материалы не подвержены коррозии и имеют малые потери несущей способности от срока службы, то они становятся идеальным материалом для замены стальной арматуры [3].

Композитная арматура, выполненная из базальта, стеклопластика и углеволокна, имеет большие несущие характеристики чем арматура, но меньшую пластичность. В таблице 1 приведено сравнение характеристик металлической и арматуры из композитных материалов.

Таблица 1 – Характеристики металлической и композитной арматуры

Характеристики	Металлическая арматура	Композитная арматура
Материал	Сталь 35 ГС, 25Г2С и др.	АНК-СП – стеклянные волокна диаметром 13-16 микрон, связанные полимером
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	1200
Модуль упругости, МПа	200 000	55 000
Относительное удлинение, %	25	2,2
Характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение – деформация)	Кривая линия с площадкой текучести под нагрузкой	Прямая линия с упруголинейной зависимостью под нагрузкой до разрушения
Плотность, т/м^3	7,0	1,9
Коррозийная стойкость к агрессивным средам	Коррозирует с выделением продуктов ржавчины	Нержавеющий материал первой группы химической стойкости, в том числе к щелочной среде бетона
Теплопроводность	Теплопроводна	Нетеплопроводна
Электропроводность	Электропроводна	Диэлектрик
Выпускаемые профили	6-80	4-18
Длина, м	6-12	Любая длина
Экологичность	Экологична	Не выделяет вредных
Долговечность	По строительным нормам	Не менее 80 лет
Замена арматуры по физико-механическим свойствам	6А-III, 8А-III, 12А-III, 14F-III 16А-III	АНК-СП 4, АНК-СП 6, АНК-СП 8, АНК-СП 10, АНК-СП 12
Параметры равнопрочного арматурного каркаса при нагрузке т/м^2	При использовании 8А-III размер ячейки 14×14 см. Вес 5,5 кг/м^3	При использовании АНК-СП 8 размер ячейки 23×23 см. Вес 0,61 кг/м^3. Уменьшение веса в 9 раз
Область применения	По строительным нормам	Применение по рекомендации

Изготовление композитной арматуры имеет ряд сложностей: необходимость в специализированном оборудовании, особых условий и качественного сырья. Ввиду малой теплопроводности полимерный материал имеет меньшее тепловое расширение.

Преимущества применения композитных материалов в строительстве опор мостов.

Главным преимуществом использования композитного армирования в строительстве опор мостов – это вес самой арматуры [4-5]. Масса композитного армирования значительно меньше стального армирования, что значительно сказывается при восстановлении несущих элементов, где увеличение массы элемента играет главную роль.

Недостатком стального армирования является плохое сопротивление коррозии, в то время как композитная арматура не коррозирует, а время износа от условий окружающей среды составляет 70 лет и более. Также композитное армирование невосприимчиво к агрессивным средам и высокой влажности, что сильно характерной для промежуточных опор мостовых сооружений. Использование композитного армирования может увеличить срок эксплуатирования сооружения.

Несущая способность композитного армирования значительно выше, чем у стального армирования (рис 1, 2).

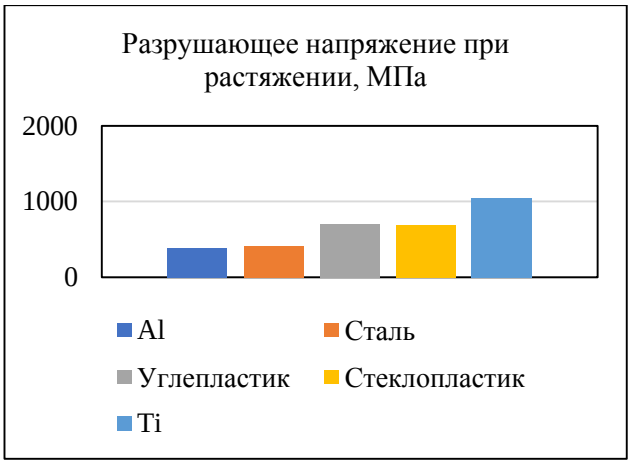


Рис. 1. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа

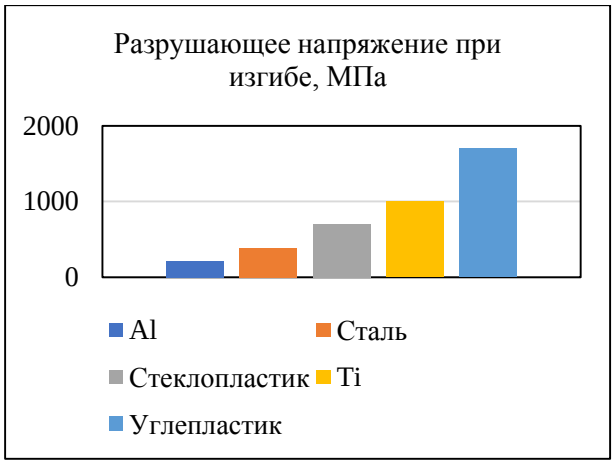


Рис. 2. Разрушающее напряжение при изгибе, МПа

Заменой стальной арматуры на композитную можно увеличить несущую способность на изгиб почти на 70 процентов [2, 6, 7]. Грамотное использования композитного материала способно увеличить пластичность элементов.

Холсты композитной арматуры обладают хорошей гибкостью, ей можно армировать сложные архитектурные формы. Длина армирования композитными материалами не имеет ограничений по применению [7], в то время как стальная арматура ограничена длиной транспортного средства для доставки на объект строительства. Доармирование композитными материалами колонн незаметно, что может сыграть огромную роль в сохранении архитектурного облика сооружения [8, 9]. Усиление композитными материалами требуют меньшее количество времени и сил для монтажа.

Применение полимерных композитных материалов в строительстве становится возможным, в связи с ростом количества производителей композитных материалов. Несущая способность и стойкость к окружающей среде делает данный материал доступным для использования в мостовых опорах.

Из рассмотренного материала можно сделать выводы, что композитное армирование возможно применять для восстановления несущей способности опор мостовых сооружений (или устранения проектной ошибки, когда неверно посчитано армирование) и для строительства новых искусственных сооружений на автомобильных дорогах.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Огурцов Г.Л., Аверченко Г.А. Композитный материал в мостостроении – путь к совершенству. В сборнике: Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития. материалы международной научно-практической конференции. Тюмень, 2020. С. 353-355.
2. Юстикова Л.Н., Стройков В.А., Бирюков О.Р., Лесной А.П. Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении // Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии). Материалы научно-практической конференции. Под редакцией М. П. Клековкиной. 2019. С. 127-133.
3. 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. 2019. С. 42-44.
4. 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.
5. Аверченко Г.А., Квитко А.В. Развитие композитов в мостостроении. Научные исследования: от теории к практике. 2016. № 4-2 (10). С. 10-16.
6. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
7. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., Вепринак И.А., Алексеев С.В., Ярошенко С.В., Зуев А.Н. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.
8. Кириллов С.В., Кутин Д.А. Оценка возможности трещинообразования ростверка мостовой опоры на основании расчета термонапряженного состояния // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.. 2019. С. 50-51.
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.

УДК 625.861

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

ВОДОНАСЫЩЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Цель работы – сравнить зависимость водонасыщения асфальтобетона от типа и состава асфальтобетонной смеси на стадии проектирования.

Исследование состоит из трех этапов. На первом этапе проводятся лабораторные испытания. На втором – обработка результатов испытаний, расчет основных характеристик асфальтобетона. Заключительный этап включает в себя оформление и графическое представление полученных закономерностей. В работе используются теоретические и экспериментальные методы исследований.

В процессе экспериментальных исследований образцы взвешиваются, затем погружаются на 30 мин в воду при температуре 20±2°С. Затем образцы взвешиваются в воде, и после извлечения и высушивания взвешиваются на воздухе. Определяется средняя плотность асфальтобетона. Далее образцы помещаются в емкость с водой температурой 20±2°С. После этого они помещаются в вакуум – прибор, где создается и поддерживается остаточное давление, равное 2000 Па (15 мм рт.ст.) в течение 1 ч 30 мин.

В последующем давление доводится до атмосферного и выдерживается в течение 1 ч. После этого образцы взвешиваются в воде и на воздухе. По результатам взвешивания определяется водонасыщение. По окончании испытаний вычисляется среднее арифметическое значение водонасыщения одного образца. За результат определения

водонасыщения принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение трех определений одного образца.

Предлагаемый способ определения водонасыщения асфальтобетона за счет более полного заполнения пор и микротрещин водой при раздельном вакуумировании воды и образцов, позволяет, по сравнению с прототипом, повысить точность определения водонасыщения асфальтобетона, сократить время выдержки образцов асфальтобетона (из смесей с вязкими органическими вяжущими) в вакуумной камере, снизить время проведения испытаний, а, следовательно, сократить расходы электропотребления и затраты. Это определяет новизну экспериментального метода исследования водонасыщения и плотности асфальтобетона.

Объемная плотность определяется уравнением (1).

$$P_m = \frac{g\rho^{\text{В}}}{g_2 - g_1}, \quad (1)$$

где g – масса образца, в сухом состоянии, взвешенного на воздухе, г; $\rho^{\text{В}}$ – плотность воды, равная 1 г/см^3; g_2 – масса образца, выдержанного в течение 30 минут в воде и вторично взвешенного на воздухе, г; g_1 – масса образца, взвешенного на воздухе, после вакуумирования, г.

Результаты испытаний по определению плотности и водонасыщения изготовленных асфальтобетонных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

№	Тип смеси	Тип вяжущего	Масса сух.	Масса вода	Масса вакуум.	Масса насыщ.	Плот-ность	Водона-сыщение
1.1	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1026	602	1031	1051	2,39	6
1.2	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1042	619	1048	1065	2,43	5
1.3	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1058	624	1060	1080	2,42	5
2.1	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1717	1013	1733	1760	2,38	6
2.2	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1606	945	1618	1645	2,39	6
2.3	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1598	937	1609	1636	2,38	6
3.1	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1422	837	1429	1462	2,40	7
3.2	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1377	814	1386	1419	2,41	7
3.3	Тип А МІ, м/з, пористая	ПБВ 60	1410	830	1420	1452	2,39	7
4.1	ЩМА 20	ПБВ 60	1448	870	1455	1474	2,48	4
4.2	ЩМА 20	ПБВ 60	1429	851	1436	1459	2,44	5
4.3	ЩМА 20	ПБВ 60	1454	872	1462	1483	2,46	5
5.1	ЩМА 20	ПБВ 60	1160	668	1166	1198	2,33	8
5.2	ЩМА 20	ПБВ 60	1127	648	1132	1164	2,33	8
5.3	ЩМА 20	ПБВ 60	1146	657	1155	1191	2,30	9
6.1	ЩМА 20	ПБВ 60	1315	767	1328	1354	2,34	7
6.2	ЩМА 20	ПБВ 60	1359	795	1371	1395	2,36	6
6.3	ЩМА 20	ПБВ 60	1282	757	1295	1315	2,39	6

На рисунках 1–6 приведены диаграммы, характеризующие выявленные закономерности изменения водонасыщения для образцов асфальтобетонной смеси конкретного состава от их плотности и пористости.

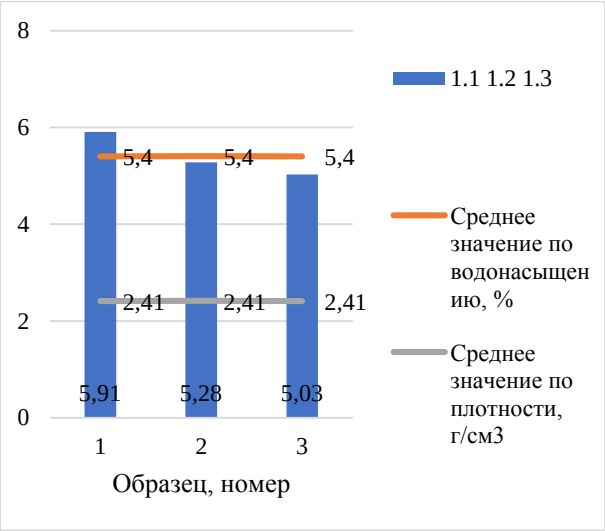


Рис. 1. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 1 от плотности и пористости

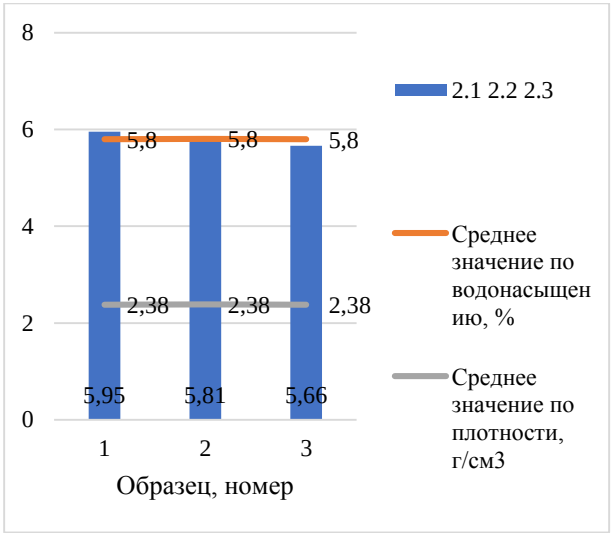


Рис. 2. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 2 от плотности и пористости

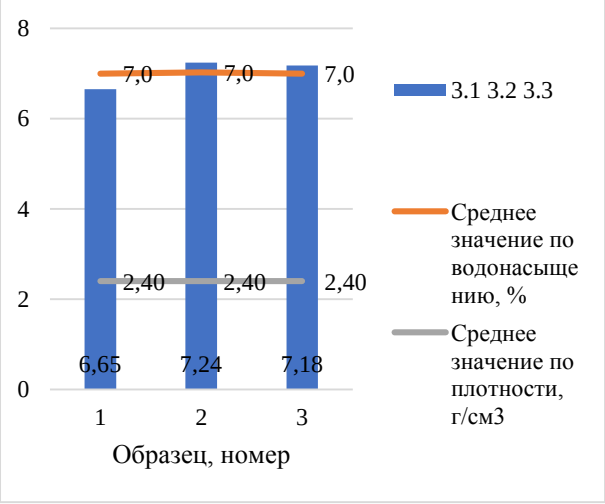


Рис. 3. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 3 от плотности и пористости

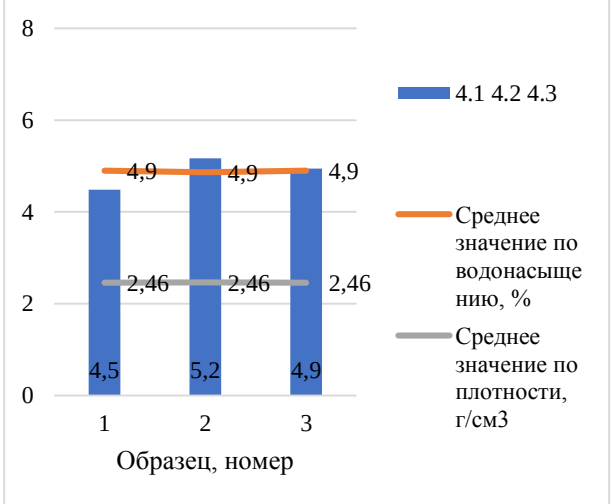


Рис. 4. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 4 от плотности и пористости

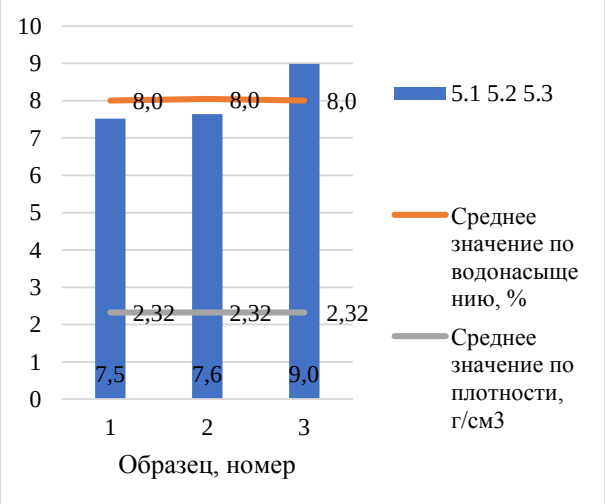


Рис.5. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 5 от плотности и пористости

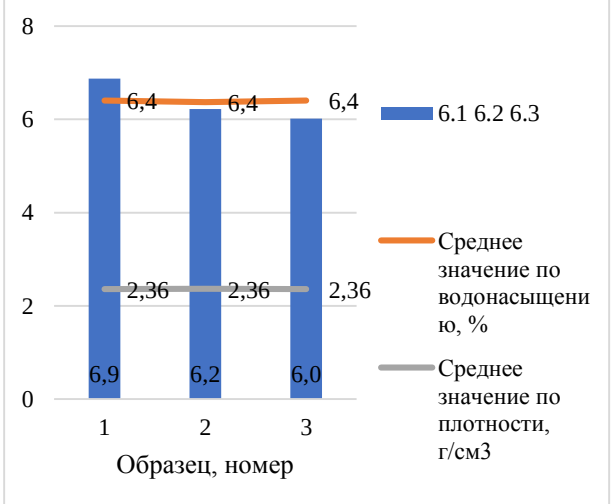


Рис. 6. Диаграмма изменения водонасыщения для образца 6 от плотности и пористости

В работе предложен экспериментальный метод исследования водонасыщения асфальтобетона, который позволяет выявит закономерность изменения водонасыщения от плотности. В целях повышения межремонтных сроков службы асфальтобетонных дорожных покрытий направлением дальнейших исследований является установление вида аналитической зависимости водонасыщения асфальтобетонов от их плотности и пористости.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей по методу Суперпейв. «Дорожная Техника», 2007, 86 – 99.
2. Радовский Б.С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв // Дорожная индустрия. -2008. С. 12–22.
3. Лазарев Ю. Г., Собко Г. И. Реконструкция автомобильных дорог: Учебное пособие. СПб. 2013.
4. Telegina M.E., Averchenko G.A., Mukharryamov I.R., et al. On the Use of Asphalt Concrete Mixes (according to the PNST)// IOP: Materials Science and Engineering: Digital Solution for Automobiles, Roads and Traffic». M. – 2021.
5. Ermoshin N.A. Predicting the risk of road pavement premature destruction / Journal of Physics: Conference Series. Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. 2020. С. 012142.

УДК 624.21.8

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПОРОВ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOFISTIK

Цель работы – моделирование и расчет упоров сталежелезобетонного моста, и сравнение результатов с методом расчета, представленным в СП35.13330 [1].

В работе рассматривается гибкий стержневой упор на примере упора Нельсона (шпилька-упор SD). Конструкция упора принята в соответствии с ГОСТ Р 55738-2013 (ИСО 13918:2008) [2, 3]. Моделирование упоров осуществлялось на примере конструкции в виде защемленных пружин с заданными упругими характеристиками. Определение сдвигающих усилий в упоре производилось по расчетной схеме на рис.1.

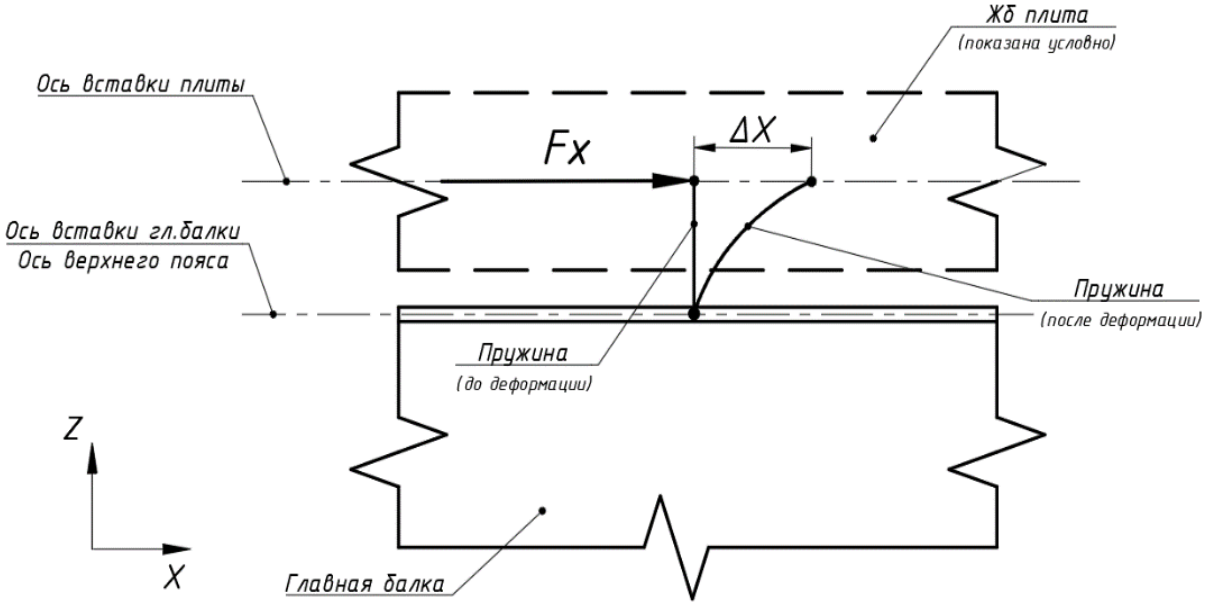


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема упоров плиты сталежелезобетонного моста

Коэффициент жесткости вдоль направления силы определяется по формуле:

$$k = F/\Delta; \quad (1)$$

где F – сосредоточенная сила (эквивалентное давление), приложенная к анкеру, кН; Δ – величина упругой деформации от воздействия силы F, м.

Статический анализ деформационных характеристик упоров с целью определения статистических параметров жесткости упора выполнен в программном комплексе Autodesk Inventor 2020. Результаты расчета статистических параметров с доверительной вероятностью $P_d = 0{,}95$ приведены в таблице 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Результаты статического анализа упора

Приложенное усилие:	$F_X = 1$ кН
Математическое ожидание смещения по оси X:	$\Delta_X = 13{,}34$ мм $= 13{,}34 \cdot 10^{-3}$м
Математическое ожидание коэффициента жесткости k_X	$k = \frac{1 \cdot 10^3}{13{,}34 \cdot 10^{-3}} = 74962{,}5$ Н/м

На следующем этапе была сформирована расчетная модель пролетного строения длинной 42 м, с габаритом пролетного строения Г8 по типовому проекту [4-8]. Моделирование производилось с помощью SOFIPLUS X. Упоры задавались (имитировались) с помощью структурной точки Point link (рис. 3, 4) с шагом 0,5 м по всей длине пролетного строения. Количество упоров в поперечном сечении равно трём, поэтому структурной точке задавалась поперечная жесткость одного упора (табл. 1), увеличенная втрое. Для корректного расчета работы плиты структурные точки соединялись структурными линиями с отсутствующими механическими характеристиками.

а) *б*)

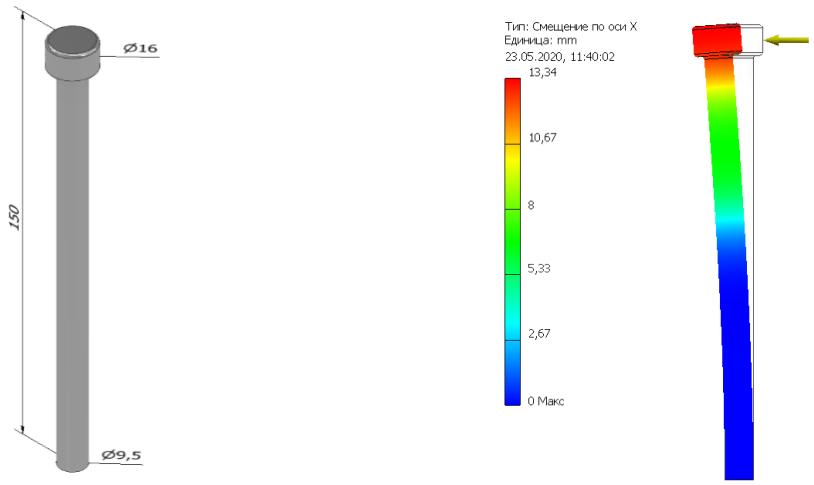


Рис. 2. Резудьтаты расчета: *а* – общий вид упора; *б* – результат статического анализа

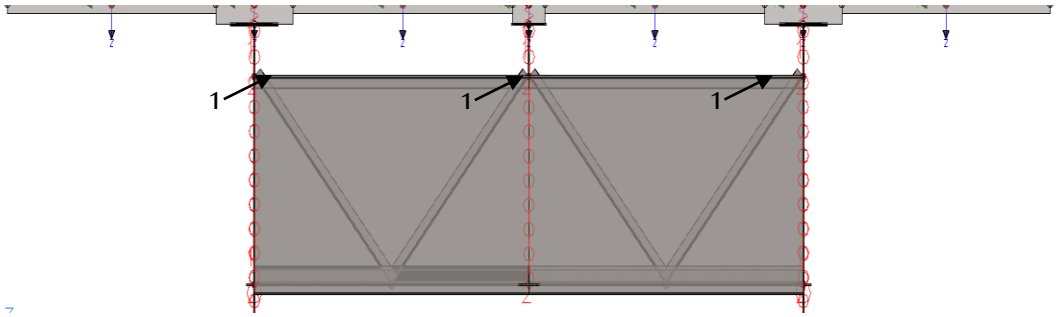


Рис. 3. Поперечное сечение расчетной модели пролетного строения:
1 – структурные точки

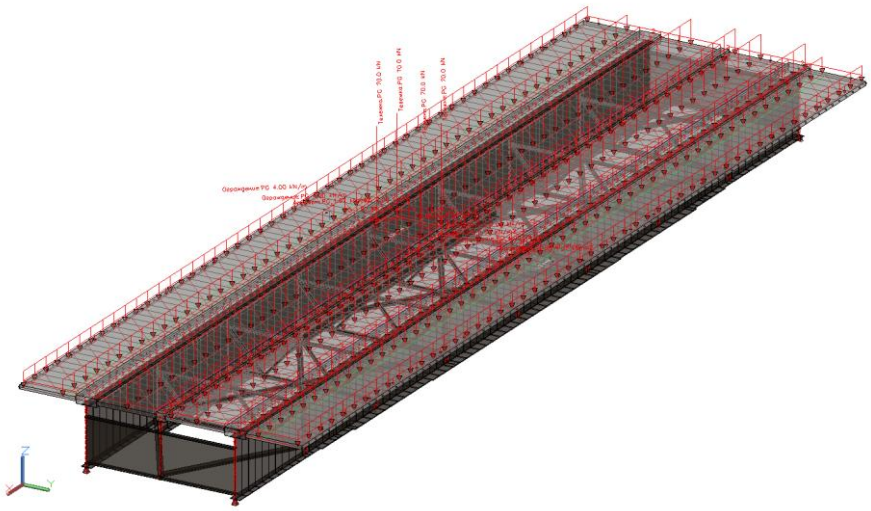


Рис. 4. Общий вид расчетной модели пролетного строения

По результатам расчета определялись сдвигающие усилия, приходящиеся на один гибкий штыревой упор. Максимальное усилие вдоль оси X (по направлению движения транспортных средств) составило:

$$F'_{X\max} = F_{X\max}/n = 6{,}1/3 = 2{,}03(3) \text{ кН}, \quad (2)$$

где $F_{X\max}$ – сдвигающее усилие вдоль оси X, возникающее в структурной точке, кН; n – количество упоров в поперечном сечении.

Сравним полученный результат с расчетом по прочности объединения железобетона и стали гибкими упорами по Приложению Я в СП 35.13330 [1]. Для гибких упоров в виде круглых стержней при $l/d > 4{,}2$ сдвигающее усилие S_h должно отвечать следующему условию:

$$S_h \leq d^2\sqrt{10R_b} \leq 0{,}95^2\sqrt{10 \cdot 15{,}5} \approx 11{,}24 \text{ кН}. \quad (3)$$

Расчетное значение усилия S_h практически в 6 раз превышает расчетное значение $F'_{X\max}$.

Вывод. Несущая способность гибких упоров, вычисленная с использованием программного комплекса SOFISTIK, превышает расчетные значения по СП [1]. Объяснением этому может служить то, что при составлении расчетной модели были учтены не все факторы. Также можно сделать вывод, что усилия, возникающие в гибких упорах при реальной работе конструкции, оказываются меньше, чем требует СП 35.13330.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1). – М., 2011.
2. ГОСТ Р 55738-2013 (ИСО 13918:2008). Шпильки и керамические кольца для сварки. – М., 2014.
3. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия. – М., 2015.
4. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. – Актуализированная редакция СНиП II-23-81. – М., 2012.
5. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 3.503.9-110.93. Пролетные строения сталежелезобетонные автодорожные, разрезные и неразрезные с ездой поверху под габариты г-8, г-10 и г-11,5 в обычном и северном исполнении. Выпуск 1. Пролетное строения Lp = 42 м. Габарит Г-8. Чертежи КМ – ОАО «ТРАНСМОСТ», 1998.
6. Огурцов Г.Л., Аверченко Г.А. Композитный материал в мостостроении – путь к совершенству. В сборнике: Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития. материалы международной научно-практической конференции. Тюмень, 2020. С. 353-355.
7. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.
8. Корнеев М.М. Сталежелезобетонные мосты: теоретическое и практическое пособие по проектированию. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 400 с.

УДК 625.738

Д.Ю. Лютый, Г.И. Кашин, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ

Цель работы – рассмотрение новых типов ограждающих конструкций на автомагистралях.

Вопрос аварийности на автомобильных дорогах, учитывая все растущее количество автомобилистов, стоит очень остро. Необходимо обеспечить безопасность каждому участнику движения посредством грамотно разработанной инфраструктуры. Важной частью дорожной инфраструктуры являются ограждающие конструкции, безопасность и эффективность которых требует внимания.

Часть аварий происходит по причине того, что ограждающие конструкции не выполняют своего назначения в полной мере ввиду недостаточной прочности, что приводит к серьёзным последствиям как для автомобилистов, так и для городской инфраструктуры. По данным ГИБДД, в 2017 году более четверти от общего числа погибших стали жертвами встречных столкновений, хотя это лишь десятая часть от всех дорожно-транспортных происшествий. Помимо вылета автомобилей на встречную полосу, стоит вопрос о слете автомобилей с автодорожных мостов.

Сегодня на российских дорогах устанавливают три вида ограждений. Наиболее распространены барьерные ограждения из стали (рис. 1), иногда можно встретить бетонные (рис. 2), также существуют тросовые ограждения (рис. 3), являющиеся на сегодня инновационной технологией [5]. Как показывает практика, все три технологии не являются достаточно безопасными для участников дорожного движения. Что касается стальных отбойников, они гасят удар посредством деформации конструкции, но в некоторых ситуациях их задерживающей способности оказывается недостаточно, чтобы удержать автомобиль. О тросовых ограждениях в этом ключе говорить не приходится, так как они вовсе не способны выдерживать нагрузки, оказываемые грузовыми автомобилями. Именно по этой причине барьеры такого типа не применяются для ограждения правого ряда, что не позволяет использовать их в качестве боковых отбойников на мостах. Бетонные ограждения сегодня используются на некоторых трассах, являясь самыми небезопасными за счет того, что они не деформируются и, соответственно, не амортизируют удар.



Рис. 1. Барьерное ограждение



Рис. 2. Бетонное ограждение



Рис. 3. Тросовое ограждение

При столкновении с бетонным ограждением автомобилю и пассажирам наносится колоссальный урон в сравнении с аналогичным столкновением с альтернативными ограждениями.

12 февраля 2021 года в поселке Фроловское с моста на железнодорожные пути слетел автомобиль (рис. 4), повредив железнодорожные коммуникации, вагон электропоезда, городскую инфраструктуру и задержал несколько поездов «Сапсан», следующих из Петербурга в Москву [3]. Установленные на мосту ограждения не выполнили свою функцию, удерживающей способности оказалось недостаточно. Как видно из данного случая,

существующий ГОСТ 26804–2012 [1], нормирующий условия и стандарты установки ограждающих конструкций требует доработки.

Для мостовых ограждений необходима максимально прочная и в то же время амортизирующая конструкция. Ввиду больших высот, на которых проходит автомобильный поток на мостах, их края должны быть надежно ограждены.

В качестве альтернативы используемым конструкциям стоит рассмотреть отбойник роликового типа (рис. 5), разработанный Южно-Корейской компанией ETI CO LTD. Его преимущество заключается в том, что при ударе его конструкция деформируется и смягчает удар, а ролики, являющиеся его отличительной особенностью, вращаясь преобразуют энергию удара в энергию вращения и направляют транспортное средство обратно на дорожное полотно [2]. Основным отличием является наличие роликов, расположенных между двумя горизонтальными направляющими стального каркаса.



Рис. 4. Место аварии



Рис. 5. Роликовое ограждение

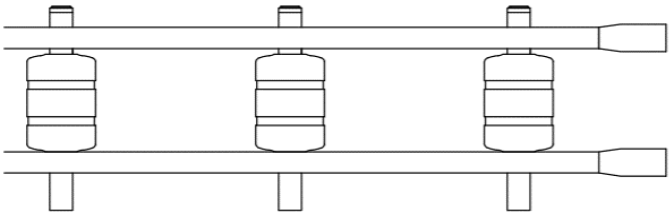


Рис. 6. Конструкция каркаса роликового ограждения

Конструкция каркаса (рис. 6) состоит из вертикально расположенных стальных труб высотой 960 мм и горизонтальных направляющих, между которыми закреплены ролики высотой 490 мм, выполненные из этилена винилацетата – высокоэффективного вспененного каучука. На сегодняшний день уже разработано два варианта барьера: для обычных дорог и для высокоскоростных. Отличие заключается в разном расстоянии между роликами. Для обычных дорог оно составляет 1000 мм, в то время как для скоростных 700 мм [4]. Сделано это для эффективной работы технологии при ударе автомобиля на большой скорости. Большее количество роликов будет преобразовывать большее количество энергии.

В настоящее время отбойники нового типа экспериментально устанавливают в Малайзии на наиболее опасных участках дорог. В Южной Корее они уже прошли все испытания, и были одобрены департаментом безопасности дорожного движения. Такая технология также применима и в России. Учитывая богатую разновидность рельефов множество дорог пролегают в опасных условиях. Такие дороги, как горные серпантины, путепроводы на больших высотах могут быть ограждены роликовыми отбойниками, что снизит количество пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях.

ЛИТЕРАТУРА:
1. ГОСТ 26804–2012. Ограждения дорожные металлические барьерного типа. Технические условия: Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. N 2165-ст введен в действие в качестве национального стандарта РФ с 1 ноября 2013 г. – URL http://docs.cntd.ru/document/1200101296. Режим доступа: свободный – (дата обращения: 25.03.2021). – Текст: электронный.
2. Барьерные ограждения: [Электронный ресурс] // Plastmass Group. URL: https://plastmass-group.ru/roller-crash-barriers/. Режим доступа: свободный – (Дата обращения: 25.03.2021).
3. «Сапсаны» остановились между столицами из-за упавшего с путепровода автомобиля: [Электронный ресурс] // Fontanka.ru. URL: https://www.fontanka.ru/2021/02/12/69764369/. Режим доступа: свободный – (Дата обращения: 25.03.2021).
4. Роликовое барьерное ограждение: [Электронный ресурс] // ТрансТехнология. URL: https://transotboy.ru/catalog/rolikovoe-barernoe-ograzhdenie. Режим доступа: свободный – (Дата обращения: 25.03.2021).
5. На российских дорогах появятся новые виды ограждений: [Электронный ресурс] // Парламентская газета. URL: https://www.pnp.ru/social/gibdd-predlagaet-innovacionnyy-sposob-razdelit-potoki-na-rossiyskikh-dorogakh.html/. Режим доступа: свободный – (Дата обращения: 25.03.2021).

УДК 625.72

М.С. Олейник, Д.Л. Симонов, Д.Ю. Кириллова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕКТНОГО КЛАССИФИКАТОРА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПРИМЕРЕ НАСЫПИ

Цель работы – сформировать объектный классификатор насыпи автомобильной дороги на основании существующей нормативной технической документации, посвященной проектированию автомобильных дорог.

Информационное моделирование – это технология сбора, производства и использования информации об автомобильной дороге на всех стадиях жизненного цикла, основанный на широком применении информационно-телекоммуникационных технологий и предполагающий сбор, и комплексную обработку проектной, технологической, экономической и иной информации о дороге со всеми ее взаимосвязями и зависимостями в единых информационных моделях или комплексах взаимосвязанных моделей.

Информационная модель – это модель данных, описывающая расположение, размеры, конструкцию и технические характеристики автомобильной дороги, ее конструктивные частей, элементов инженерного обустройства и искусственных сооружений, а также изменения автомобильной дороги в течении ее жизненного цикла [1].

В тот моменты, когда мы говорим об информационной модели, автомобильная дорога перестает представлять из себя набор чертежей продольных, поперечных профилей. Мы начинаем рассматривать ее, как физическую сущность.

Применение информационного моделирования невозможно без действующего классификатора строительной информации.

Для формирования объектного классификатора необходима систематизация существующей нормативной документации.

Если говорить о создании классификатора автомобильной дороги, то начинать нужно с задания на проектирование. Там обычно прописаны вид строительства, класс и категория дороги, строительная длина, расчетная скорость, число полос движения и т.п. Заданную трассу или объект разделяем на участки, обобщая их между собой в общие группы с одинаковыми характеристиками. Каждый участок имеет конструктивные участки – минимальные неделимые элементы -, которые объедены в одну группу с одной категорий дороги и одним

количеством полос. Каждый конструктивный участок определяет количество полос движения, ширину полосы движения, наличие и размер разделительной полосы, наличие и размер обочины, расчетная скорость. Конструктивным участком могут быть насыпь на слабом основании до 6 метров, выемка глубиной до 3 метров, мостовое сооружение, подпорная стенка, транспортная развязка и др. [2, 3].

На рисунке 1 показана схема разделения трассы на участки с количеством полос и конструктивные участки.

Рассмотрим конструктивный участок в виде насыпи. По ТП 503-0-48.87 «Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования» и СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» можно выделить такие характеристика, как высота насыпи и заложение откосов насыпи. Из нормативных документов разделяем высоту насыпи на 6 групп: до 2 м, до 3 м, от 2 до 6 м, от 3 до 6 м, от 6 до 12 м, от 12 м и заложение откосов на 7 групп: 1:1, 1:1.5, 1:1.75, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5. В п.7.26, п.7.27 СП 34.13330.2012 и на стр.18, 19, 20 ТП 503-0-48.87 прописаны зависимости грунта насыпи, высоты насыпи и наибольшей крутизны откосов.

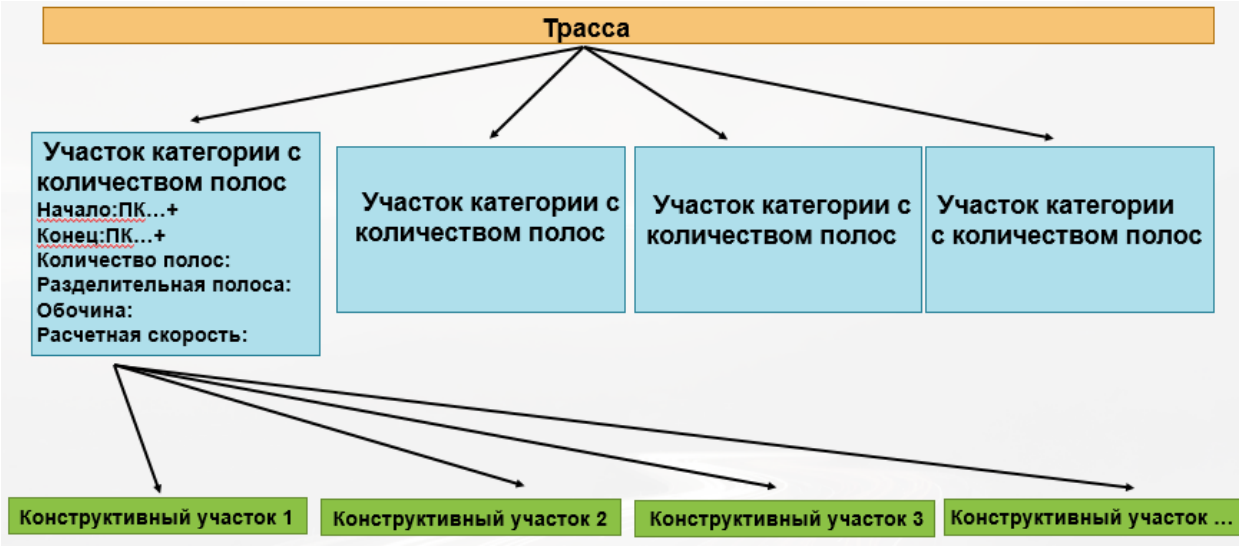


Рис. 1. Схема разделения трассы на участки

Таблица 1 – Объективный классификатор насыпи автомобильной дороги

Параметр	Насыпь
ТП 503-0-48.87. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования / СП 34.13330.2012	
Высота насыпи, м	< 2 / < 3 / 2-6 / 3-6 / 6-12 / > 12
Заложение откосов	1:1/ 1:1,5/ 1:1,75/ 1:2/ 1:3/ 1:4/ 1:5
ОДМ 218.2.07–2016	
Вид укрепления откосов	Защитные/ несущие/ -
Тип укрепления откосов [4]	Биологические (растительные)/ с применением геосинтетических материалов в виде рулонных полотен включая комбинации с биологическим типом/ с применением железобетонных решетчатых конструкций с заполнением решеток традиционными материалами/ с применением геосинтетических материалов в виде ячеистых конструкций/ конструкции со сплошным покрытием из грунтовых материалов/ габионные конструкции/ конструкции со сплошным покрытием из бетонов [5, 6]

По ОДМ 218.2.078-2016 «Типовые конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования», п.5.1 можно выделить характеристики насыпи – вид и тип укрепления откосов. По восприятию временных и постоянных нагрузок конструкции укрепления откосов разделяются на следующие виды: защитные и несущие. Рекомендуемые типы, подтипы (разновидности подтипов) конструкций укрепления, скомбинированные по видам применяемых для укрепления откосов материалов и технологий, приведены в таблице 1 ОДМ 218.2.07-2016 «Типовые конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования».

В таблице 1 приведен объектный классификатор насыпи, где левый столбец обозначает характеристику или параметр насыпи, правый – определяет значения. В шапке таблицы показаны, какие нормативные технические документы были задействованы для указания того или иного параметра.

Исходя из всего вышесказанного, можно создать классификатор автомобильной дороги полностью, используя ту нормативную техническую документацию, которая необходима для разных элементов объекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СТО АВТОДОР 8.6-2016. Организационная технологическая поддержка процессов формирования информационных моделей автомобильных дорог на всех этапах жизненного цикла от 07.04.2016 г.
2. 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.
3. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
4. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., Вепринак И.А., Алексеев С.В., Ярошенко С.В., Зуев А.Н. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002
5. Уськов В.В. Компьютерные технологии в подготовке и управлении строительных объектов /учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 320 с.
6. Grilo A., Jardim-Goncalves R. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments // Automation in Construction. 2010. Vol. 19. Issue 5. Pp. 522-530.

УДК 625.06

А.А. Тепкина, Е.Д. Коробова, А.А. Морозов, Д.Л. Симонов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ПРИ СОЗДАНИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Изготовление изделий из полимера весьма популярно. Гибкость, универсальность и долговечные свойства этого материала позволили использовать его в производстве автомобильных деталей, игрушек и бытовой техники [1]. Однако в результате постоянно растущего населения наблюдается пропорциональное увеличение производства пластиковых отходов, что создает серьезную угрозу для окружающей среды.

В связи с этим современные ученые все чаще стараются внедрить передовые технологии по применению переработанного пластика. На сегодняшний день технология рециклинга пластика применяется во многих сферах нашей жизни, одной из которых является создание дорожных покрытий.

На данный момент на нашей планете проложено около 40 млн км дорог, и на расширение дорожных сетей, а также создание новых ежегодно отводится около 1,6 трлн т

асфальтобетонной смеси по всему миру. Одним из компонентов асфальтобетонной смеси является битум, его содержание варьируется примерно от 2,5 до 9 % (ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия) Мировой опыт показывает, что с помощью современных технологий можно произвести частичную замену данного материала переработанным пластиком. Такая манипуляция способна улучшить качество и характеристики дорожного покрытия, а также решить проблему загрязнения окружающей среды [2].

Технология применения пластиковых отходов для производства асфальтобетонной смеси была запатентована индийской компанией KK Plastic Waste Management с 2002 года, которая владеет заводом в городе Бангалор, перерабатывающем 30 тонн пластика в день. Благодаря полимерной смеси KK PolyBlend, замещающей 8% битума, срок эксплуатации дорог увеличился. На данный момент компанией переработано свыше 8000 тонн пластиковых отходов, с помощью которых построено 2000 км дорог [3, 4].

При помощи данной технологии инженеры шотландской компании MacRebur вывели высокоэффективные добавки в виде гранул на основе переработанных пластмасс. В результате смесь становится прочнее на 60%, а дорожное полотно служит дольше обычного.

Сам процесс создания асфальтобетона с добавлением пластиковых отходов состоит из нескольких этапов: сбор, сортировка, очистка, измельчение, последующее добавление измельченного и расплавленного пластика в битум. В результате данных манипуляций получается асфальтобетонная смесь, укладывающаяся на подготовленное основание классическим способом.

Существует несколько способов переработки пластика. Во-первых, механический рециклинг – вторичная переработка (способ не требует дорогого специального оборудования и может быть реализован в любом месте накопления отходов). Гидролиз происходит под действием экстремальных температур и давления. Следующий методом переработки пластиковых отходов является гликолиз. Деструкция пластика протекает при высоких температурах и давлении в присутствии этиленгликоля и катализатора до получения чистого продукта. Этот способ более экономичен, по сравнению с гидролизом. Самым распространенным термическим способом переработки пластика является метанолиз – расщепление отходов с помощью метанола.

В России технология использования переработанных полимерных отходов в дорожном строительстве была разработана компанией ОАО «Роснано». Этой компанией была разработана программа «Инновационная дорога», благодаря которой новые дорожные покрытия с добавлением пластика должны были быть использованы в таких городах, как Москва, Казань и Рязань. Однако программа осталась на стадии разработки в связи с необходимостью корректировки ГОСТов, СП и различных технических регламентов [4-6]. На сегодняшний день в РФ улучшают качество асфальтобетонного покрытия с помощью пластиковых добавок, разрабатываемых компанией «Сибур Холдинг», где полимербитумные вяжущие выпускаются из нефтепродуктов. В «Сибур Холдинг» рециклинг пластика пока не внедряется ввиду высоких затрат и отсутствия в стране реализованных и современных технологий по массовому сбору полимерных отходов. Планируется применение смесей асфальтобетона с добавлением переработанного пластика сначала для ремонта дорог, а на следующем этапе – для прокладки автомагистралей [7].

Существует технология создания дорожной одежды на основе переработанного пластика, которая разрабатывается голландской компанией VolkerWessels. Данная технология представляет собой сборные плиты из пластика и геотекстиля для дорожного полотна. В пустотах плиты планируется прокладывать различные коммуникации, такие как водоснабжение, канализация и т.д. Также в пустотах образован естественный отвод сточных вод, обеспечивающий здоровый

водный баланс почвы. Основным преимуществом данной технологии является использование большого количества отходов, легкий вес и быстрый монтаж.

Основные достоинства и недостатки дорог с использованием переработанного пластика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки дорог с использованием переработанного пластика

Достоинства	Недостатки
Низкая стоимость	Скольжение во время дождя и других осадков (возможно решить за счет добавления дополнительных веществ)
Высокие темпы производства	
Утилизация мусора в окружающей среде	Попадание воды в полость плиты и последующая заморозка может привезти к разрыву плиты (решается с помощью герметизации плит)
Плотность, износостойкость, стойкость к перепадам температур	
Легкость в уходе, долговечность	Малая огнестойкость покрытия (существуют полимеры, которые обладают негорючими свойствами)
Сокращение выбросов углекислого газа при монтаже	
Монтаж подземных коммуникаций	Микропластик

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что на сегодняшний день дорожные покрытия, созданные на основе переработанных пластиковых отходов, – это одно из наиболее перспективных направлений для развития строительства дорог. Но несмотря на все трудности внедрения технологии использования переработанного пластика в асфальтобетонной смеси, она является актуальной для России. Значительное количество переработанного пластика, может быть расходовано на создание новых материалов для дорожного покрытия, что может решить актуальные в наши дни проблемы, такие как загрязненность окружающей среды и низкое качество дорожного покрытия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Миронкина А.Ю. Экономические и экологические плюсы от переработки выброшенного пластика // Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, проводимой в рамках Сибирского экологического форума «Эко-ВООМ». 2016. С. 224-228.
2. Литвиненко Н.А., Козырева Е.А. Современные технологии строительства автомобильных дорог // Научная мысль. – 2017. – № 2. – С. 117–120.
3. Огурцов Г.Л., Аверченко Г.А. Композитный материал в мостостроении – путь к совершенству. В сборнике: Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития. материалы международной научно-практической конференции. Тюмень, 2020. С. 353-355.
4. Юстикова Л.Н., Стройков В.А., Бирюков О.Р., Лесной А.П. Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении. Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии). Материалы НПК. 2019. С. 127-133.
5. Поезжаева Е.В., Иванов Н.К., Шаякбаров И.Э. Диагностирование дороги из пластика // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 1. – С. 47–49.
6. 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.
7. Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Волков Г.Н., Мальцев А.В. // Оценка негативного воздействия на окружающую среду строительных материалов, содержащих отходы черной металлургии // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 257.
8. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
9. 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.

УДК 625.712.28

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

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Компьютерное моделирование становится все более распространённым во всех областях науки. Интегрирование и использование компьютерных мощностей решает различные научные проблемы. Для детального изучения и проработки специалисты моделируют искусственную среду для экспериментов, а затем используют эти смоделированные среды для тестирования научных моделей, чтобы доказать или опровергнуть их осуществимость, корректность, оптимальность и т. д.

Высокая производительность компьютеров дает людям возможность моделировать среду со скоростью, намного превышающей скорость любой реальной среды, поэтому эксперимент, проведенный в моделируемой среде, даст результаты на несколько минут, часов, дней, а иногда даже недель, месяцев и лет раньше, чем любой другой натурный эксперимент.

Одной из систем, которая отлично подходит для изучения с помощью компьютерного моделирования, является транспортная сеть. Имитационное моделирование транспортных потоков в среде, смоделированной компьютером, намного целесообразнее экспериментов с трафиком в реальной среде. Однако одной из важных проблем в имитационном моделирования дорожного движения в программных комплексах – это выбор модели, которая будет использоваться в моделировании [1].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ и определение основных возможностей программных комплексов по реализации имитационных моделей с разным уровнем детализации системы.

Чтобы обозначить задачи, доступные для реализации, были описаны различные стратегии моделирования дорожного движения и рассмотрена возможность их реализации в программных комплексах по моделированию дорожного движения.

Модели дорожного движения можно классифицировать по разным критериям, но наиболее популярной является классификация по уровню детализации транспортного потока. На сегодняшний день обычно выделяют следующие уровни детализации транспортной модели:

- макроскопические модели;
- мезоскопические модели;
- микроскопические модели;
- субмикроскопические модели [2].

Макромоделирование описывает движение транспортных средств как физического потока на высоком уровне агрегирования (изучаются характеристики потока – плотность, средняя скорость, интенсивность) без учета его составных частей (транспортных средств). Динамические макроскопические модели описывают процесс изменения транспортного потока во времени и пространстве с помощью дифференциальных уравнений, для составления которых применяют законы гидродинамики – по аналогии с жидкостью в трубе [2].

Микромоделирование в деталях описывает поведение и взаимодействие отдельных автомобилей, создающих транспортный поток. В микромоделировании каждый автомобиль задается индивидуально, описывается взаимодействие автомобилей друг с другом и дорожной сетью. Как правило, характер поведения автомобиля описывается с помощью правил, которые определяют, когда автомобиль ускоряется, замедляет скорость, перестраивается в другой ряд, а также когда и как автомобиль выбирает и меняет свой маршрут следования [2].

Субмикроскопические модели, так же, как и микроскопические модели, детально описывают характеристики транспортного средства. Однако, кроме этого, в моделях учитывается функционирование отдельных частей транспортного средства. Кроме привычных для микроскопических моделей исходных данных, требуются и дополнительные. Например, вид топлива, используемого автомобилем; вид двигателя; использование навигационных систем и т.д. Большинство этих дополнительных параметров используются для расчетов специфических исходящих данных модели, например, для оценки влияния транспортного средства на окружающую среду [2].

Мезоскопические модели находятся на среднем уровне детализации. Они описывают автомобили на высоком уровне детализации (как в микроскопическом моделировании), а их поведение и взаимодействие – на низком уровне (как в макромоделировании). Мезоскопическое моделирование применяется там, где использование микроскопических моделей желательно, но невозможно из-за большого размера транспортной сети или ограниченности ресурсов, которые требуются на создание и отладку сети [2].

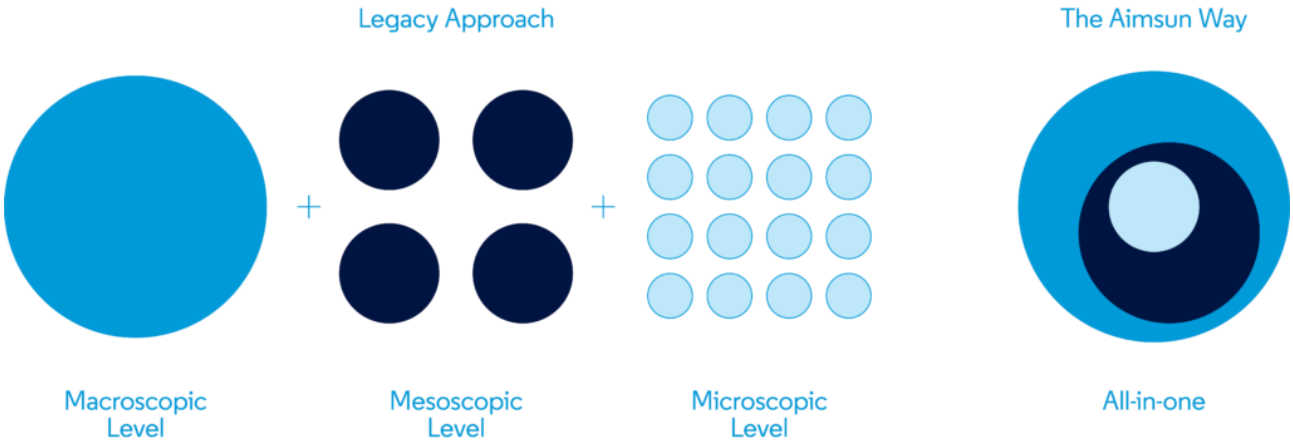


Рис. 1. Визуальная интерпретация уровней детализации моделей транспортного потока и интегрированного решения от Aimsun

Основное сравнение программных комплектов проводилось по возможности реализовывать в них различные варианты имитационных моделей [3-5]. Помимо этого, дополнительно были рассмотрены следующие параметры:

1. Графическое представление моделирования дорожного движения;
2. Возможность моделирования общественного транспорта;
3. Моделирование пешеходных потоков;
4. Графический пользовательский интерфейс;
5. Открытый исходный код;
6. Возможность бесплатного использования;
7. Кроссплатформенность;
8. Доступность руководства пользователя и наличие графического интерфейса.

Сравнительный анализ рассматриваемых программных комплексов приведен в табличном виде (табл. 1).

Таким образом, имеется достаточное широкий выбор инструментов для имитационного моделирования дорожного движения [3-5], и при необходимости реализации моделей важно на начальном этапе выбрать, во-первых, модель, которая необходима в конкретном случае, во-вторых, определиться с программным комплексом, который сможет предоставить возможность реализовать данную модель [6-8].

Таблица 1 – Сравнительный анализ программных комплексов

ПК / Параметр	Aimsun	SUMO	PTV Vision	Autodesk InfraWorks
Основные критерии сравнения				
Макромоделирование	+	–	+	–
Мезомоделирование	+	–	–	–
Микромоделирование	+	+	+	+
Дополнительные критерии сравнения				
Графическое представление моделирования дорожного движения	+	–	+	+
Возможность моделирования общественного транспорта	+	+	+	–
Моделирование пешеходных потоков	+	–	+	+
Графический пользовательский интерфейс	+	–	+	+
Открытый исходный код	–	+	–	–
Возможность бесплатного использования	– (Demo ver.)	+	– (Demo ver.)	+– (Student ver.)
Кроссплатформенность	Mac OS Windows Linux	Mac OS Windows Linux	– Windows –	– Windows –

Из характеристик комплексов, приведенных в данной работе, видно, что наиболее удобным и универсальным решением является подход Aimsun, которые интегрировали в единый комплекс три модели моделирования. Кроме того, пользователь может контролировать, какие из этих моделей будут использоваться для конкретного моделирования и на каком уровне будет исследоваться поток трафика.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kotusevski G., Hawick K.A. A Review of Traffic Simulation Software // Research Letters in the Information and Mathematical Sciences. 2009. No. 13, Pp. 35–54.

2. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Шадрин А.В., Гаврилюк М.В. Имитационное моделирование в проектах ИТС. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.

3. Афанасьев А.С., Егошин А.М., Алексеев С.В. Обоснование применения логистического подхода в моделях управления безопасностью дорожного движение // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сборник тезисов международной научно-практической конференции. 2018. С. 218.

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

5. Кириллов С.В., Романов Н.Н. Совершенствование методологии обоснования геометрических характеристик восстанавливаемых участков автомобильных дорог. Технико-технологические проблемы сервиса. 2019. № 4 (50). С. 16-19

6. Afanas'ev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. С. 33021.

7. Кириллов С.В., Романов Н.Н. Обоснование рациональной потребности в автобусах для организации международных автобусных перевозок. Технико-технологические проблемы сервиса. 2017. № 2 (40). С. 81-84.

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.

УДК 625.855.3

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

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА СВОЙСТВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Цель работы – повышение характеристик асфальтобетонного покрытия путем использования стабилизирующих добавок в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Современные специалисты постоянно работают над тем, чтобы усовершенствовать, укрепить дорожное покрытие и в особенности верхние слои дорожной одежды, сделать их устойчивее ко внешним воздействиям и условиям современного и быстро меняющегося транспортного потока, при этом уделяют внимание различным добавкам, которые призваны укрепить и прочнее связать составляющие дорожного покрытия.

Применение стабилизирующих добавок позволяет значительно улучшить характеристики асфальтобетонного покрытия и наиболее характерно для щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), который является разновидностью асфальтобетона каркасного типа для устройства дорожных покрытий.

Основные отличия ЩМА от других асфальтобетонных смесей [1]:

- содержание щебня больше на 20-30%, чем в обычном составе;
- повышенное содержание битума в массе;
- форма и размер щебня строго контролируются;
- в составе присутствуют различные стабилизирующие добавки.

Активное применение стабилизирующих добавок в ЩМА связано с повышенным, по сравнению с другими горячими смесями, содержание битума (от 5,5 до 8%). Он заполняет все доступное пространство, что снижает пористость массы: каменные минеральные материалы образуют каркас, а мастика заполняет получившиеся пустоты (около 20%). Но повышенное наличие в смеси свободного битума приводит к расслаиванию щебеночно мастичной асфальтобетонной смеси.

Расслаивание в ЩМА – это стекание вяжущего с поверхности каменного материала при высоких технологических температурах приготовления, хранения, транспортировки и укладки [1].

Для препятствия этому, требуется использование специальных добавок, которые стабилизуют массу и, главное, предотвращают ее расслаивание. Использование стабилизирующих добавок позволяет сделать покрытие более шероховатым, сохранить однородность массы, насытить раствор требуемыми качествами и удержать горячий раствор на поверхности основы из щебня.

Современные стабилизирующие добавки в виде гранул и волокон выпускаются из следующих материалов: резина, полимеры, акрил, асбест, целлюлоза, различные минеральные компоненты и термопластичные полимеры.

Наиболее распространены стабилизирующие добавки на основе целлюлозы в ЩМА. Компоненты из целлюлозы находятся в доступной ценовой категории и способны необходимое время удерживать битумный раствор на щебневой основе, что в свою очередь гарантирует защиту от расслаивания массы.

Целлюлозное волокно в стабилизирующей добавке также улучшает адгезию каменных зерен с битумом и между собой, а в процессе эксплуатации связывает попадающую в массив покрытия влагу внутри капилляров целлюлозы, не давая воде замерзнуть и расшириться [1].

Целлюлозное волокно должно иметь ленточную структуру нитей одной длины от 0,1 мм до 2,0 мм. Именно из такого материала получится стабилизирующая добавка требуемого качества и с необходимым набором свойств и характеристик [1].

Основные свойства добавки [3]: влажность – 8%; термостойкость при температуре 220°с – 7%; содержание волокон длиной 0,1-2,0 мм – 80%.

Однако, добавки в виде волокон имеют несколько отрицательных качеств – они впитывают воду из окружающей среды, в том числе воздуха, поэтому необходимо внимательно отнестись к герметичности упаковки. Так же волокно плохо распределяются по смеси, а это в свою очередь увеличивает время на перемешивание, что в некоторой степени увеличивает время приготовления [3, 4].

Механизм действия стабилизирующей добавки описывается таким явлением, как хемосорбция. Хемосорбция – поглощение жидкостью или твердым телом веществ из окружающей среды с образованием химических соединений [4, 5].

Схема данного процесса приведена на рис. 1.

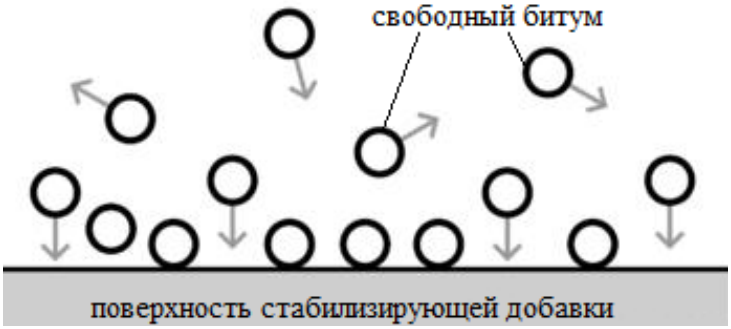


Рис. 1. Схема адсорбции свободного битума на поверхности стабилизирующей добавки

Изменение физико-механических свойств асфальтобетонных смесей, в зависимости от разных применяемых стабилизирующих добавок, приведено в табл.1. Для анализа физико-механических показателей во всех образцах используется ЩМА-15 с различными добавками [2, 5].

Таблица 1 – Физико-механические показатели ЩМА-15 с различными стабилизирующими добавками

Наименование показателей	Без добавок	Показатели свойств с использованием стабилизирующих добавок			ГОСТ 31015-2002
		VIATOP 66	TOPCEL	ХРИЗОТОП	
Средняя плотность, г/куб. см	2,40	2,38	2,38	2,38	-
Пористость минерального состава, %	17	17	17	17	15-19
Остаточная пористость, %	2,49	2,49	2,49	2,49	1,5-4,5
Водонасыщение, % по объему	2,52	2,77	2,8	2,86	1,0-4,0
Предел прочности при сжатии, МПа					
при температуре 20°С	5,01	5,26	5,44	4,93	Не менее 2,2
при температуре 50°С	1,46	1,57	1,41	1,86	Не менее 0,65
Коэффициент внутреннего трения	0,93	0,95	0,94	0,93	Не менее 0,93
Сцепление при сдвиге, МПа	0,26	0,28	0,26	0,35	Не менее 0,18
Прочность на растяжение при расколе при 0°С, МПа	3,72	5,09	4,7	3,3	2,5-6,0
Стекание вяжущего, %	0,88	0,161	0,159	0,20 (0,07)	Не менее 0,2
Водостойкость	0,94	0,96	0,92	0,92	-

Экспериментальным путем было установлено, что применение ЩМА, в состав которых добавляются стабилизирующие добавки, при устройстве верхних слоев дорожных одежд обеспечивает высокую устойчивость к колееобразованию по сравнению с плотным и литым асфальтобетоном. График зависимости глубины колей от количества проходов колеса для разных видов асфальтобетонов [4] приведен на рис. 2.

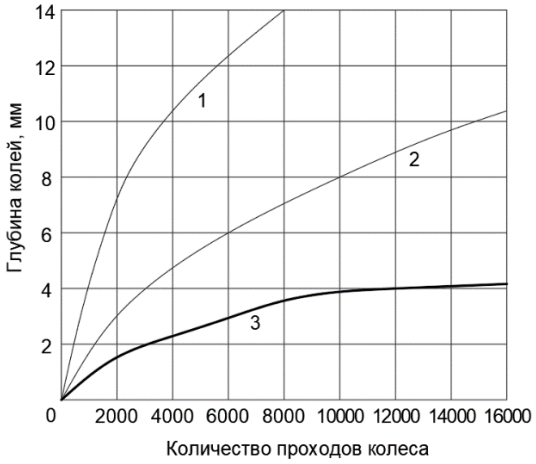


Рис. 2. Колееобразование в образцах асфальтобетона:
1 – литого; 2 – плотного; 3 – ЩМА

Для улучшения свойств ЩМА, а также эксплуатационных характеристик в современном производстве из импортных производителей достаточно часто используются добавки VIATOP, TOPCEL, отличающиеся процентным содержанием целлюлозного волокна, битума и содержанием иного наполнителя [5-7]. Из отечественных стабилизирующих добавок выделяется добавка СТИЛОБИТ и его аналог ХРИЗОТОП. Эти гранулированные добавки, изготовленная из высококачественного минерального волокна, пропитанного дорожным битумом. Состав: 55% – хризотиловое волокно, 30% – базальтовое волокно, 15% – битум [5, 7, 8].

Таким образом, в работе представлено влияние стабилизирующих добавок на физико-механические свойства ЩМА, позволяющие повысить его прочность, трещиностойкость, сдвигоустойчивость, а также устойчивость к колееобразованию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий. Учебное пособие – Н. Новгород, издание ННГАСУ, 2009. – 65 с.
2. Баранов И.А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Орел, 2015.
3. Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества //Современные наукоемкие технологии-2019. –№ 11-2. – С. 170-279.
4. Герасимов А.И. Устойчивость к колееобразованию асфальтобетонных покрытий // Статья в сборнике трудов конференции. 2020. С. 653-656.
5. 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
6. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси // Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2019. С.37-39.
7. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. №1 (1070). С. 94-97.
8. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41-50.

УДК 625.8

Н.В. Глебов, С.В. Алексеев, А.А. Трифонова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ ДОРОЖНО-ПРОПИТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

С увеличением числа транспорта и ростом интенсивности движения на дорогах общего пользования к транспортно-эксплуатационному состоянию автомобильных дорог предъявляются все более жесткие требования. Темпы роста строительства и реконструкции участков автомобильных дорог требуют одновременного повышения уровня содержания существующей сети дорог [1].

Асфальтобетонное покрытие, как и любой другой материал, разрушается под влиянием внешних и внутренних факторов, таких как погодно-климатическое воздействие, транспортные нагрузки, нарушение технологии укладки асфальтобетона, накопление остаточных деформаций и т.п. Битум со временем теряет свою эластичность, отслаивается от каменного материала, вследствие чего образуются микротрещины. Также при интенсивном движении транспортных средств происходит износ поверхности, начинается шелушение. В период неустойчивой погоды, при переходах температуры через ноль, вода попадает в образовавшиеся микротрещины, что впоследствии приводит к образованию более серьезных повреждений [2, 3].

Безопасность дорожного движения во многом зависит от качества дорожного покрытия. Обеспечение безотказной работы автомобильной дороги в течение межремонтного периода возможно за счет принятия мер по защите покрытия от воздействия климатических и эксплуатационных факторов или снижения их роли в старении покрытия.

Существует множество способов защиты асфальтобетона. Одним из них является использование дорожно-пропиточных материалов, которые применимы на ранних этапах развития дефектов, а также для предупреждения их возникновения.

Целью работы является рассмотрение дорожно-пропиточных материалов для продления срока службы асфальтобетонного покрытия.

Дорожный пропиточный материал (ДПМ) – материал, предназначенный для нанесения на поверхность асфальтобетонного покрытия, служащий для изменения свойств органического вяжущего и/или защиты покрытия от воздействия внешних факторов, проникающий внутрь покрытия (рис. 1).



Рис. 1. Асфальтобетонное покрытие без применения пропитки (слева) и с применением пропитки (справа)

ДПМ классифицируются по составу: на основе эмульсий и на основе растворителей (содержащие или не содержащие минеральный материал). По воздействию пропитки на покрытие выделяют: омолаживающие, защищающие и комбинированные, сочетающие омолаживающие и защитные свойства.

Рекомендации по классификации, области применения пропиточных составов, требуемым физико-механическим свойствам, технологии выполнения работ и контролю качества сформулированы в ОДМ 218.3.073-2016.

В данной работе рассмотрен ряд пропиток [4-10], представленных на российском рынке от российских и зарубежных производителей, а также произведен анализ пропиток по ряду показателей (табл. 1).

Пропиточные материалы с омолаживающими составами являются профилактическим средством, замедляющим старение асфальтобетона, предназначены для восстановления первоначальных свойств асфальтобетонного покрытия. Пропитка служит для устранения мелких дефектов (трещин и т.д.), затормаживает появление на асфальтобетонном покрытии выкрашивания и др. Омолаживающие составы должны хорошо совмещаться с битумом, обладать малой летучестью и достаточной стабильностью во времени.

Защищающие ДПМ выполняют функцию защиты поверхности дорожного покрытия из асфальтобетона от внешних воздействий. После нанесения защищающей пропитки, на покрытии закупориваются трещины и микротрещины.

ДПМ в России на данный момент распространены не так широко. Количество исследований по данной теме несколько ограничено.

Таблица 1 – Характеристики ДПМ, представленных на российском рынке

Характеристики	БРИТ ПП-1	БРИТ ЗВС-Р	БРИТ ЗВС-В	ПАБ «Дорсан»	Силкоут	ПС-1	Bornit Асфатоп	LAS-320
Производитель	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Германия	США
Назначение	З	З	З	О	О	К	О	К
Основа	Р	Р	В	Р	Р	РМ	РМ	В
Стоимость (ориентировочно), руб./кг	97	97	97	125	140	156	260	472,5
Стоимость пропитки для обработки 1 м^2, руб.	73	97	97	88	112	78	260	189
Норма расхода, кг/м^2	0,75	1,0	1,0	0,7	0,8	0,5	1,0	0,4
Температура применения, ℃	-35 и выше	5 и выше	5 и выше	5 и выше	5 и выше	-10 и выше	5 и выше	5 и выше
Время полного высыхания, не более	0,5	1	3	3	2	0,5	2-4	1,5
Увеличение межремонтного периода, лет	3-5	2-3	2-3	2-3	2-3	3-5	2-3	3-5
Срок хранения пропитки со дня изготовления, мес.	36	24	24	12	12	12	6	12
Снижение коэффициента сцепления колеса с поверхностью покрытия (заявленное), %	не сниж.	не сниж.	не сниж.	на 19	н/д	н/д	не 15	н/д

РМ – на основе растворителя, (с минеральным материалом); Р – на основе растворителя, (без минерального материала); В – на водной основе; К – комбинированная; О – омолаживающая; З – защищающая.

Состав пропиток крайне различен, назначение ДПМ, в соответствии с заявлениями производителей, широкое. Но, методик оценки, позволяющих в полной мере оценить эффективность заявляемых производителем решений: омоложение, восстановление упругих свойств асфальтобетона, эластичности битума и т.д. – нет.

Для определения эффективности пропиточных материалов в ОДМ 218.3.073-2016 предложена методика, в основе которой лежит коэффициент эффективности пропитки ($К_{эф}$), определяемый по формуле (1), которая представляет собой отношение между водонасыщением образца (керна) из асфальтобетонного покрытия до обработки пропиточным материалом (W_1) и после проведения работ (W_2):

$$К_{эф} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (1)$$

Однако редко ДПМ характеризуется полным перечнем показателей, изложенным в руководящем документе ОДМ 218.3.073-2016. Производители не предоставляют полный перечень показателей, и организации эксплуатирующие автомобильные дороги выбирают их на свое усмотрение, что не дает полного представления о свойствах их продуктов. Например, не всегда указывается значение степени ухудшения коэффициента сцепления колеса с покрытием при нанесении материала.

Выводы. Обобщая результаты исследования, можно предположить, что первостепенной задачей в области ДПМ является систематизация, а также доработка методик оценки эффективности ДПМ. При выборе того или иного пропиточного материала целесообразно опираться на статистические данные о поведении материала в условиях реальной работы. При отсутствии таких данных рекомендовать покрывать одним и тем же пропиточным составом объекты, расположенные в разных дорожно-климатических зонах нельзя. Необходимо проведение полноценных лабораторных исследований с созданием условий работы ДПМ, приближенных к реальным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г.Лазарев, С.В. Алексеев, и др. СПб.: ВАТТ, 2015. 312 с.
3. Руссу М.В., Портных М.Д., Гамаюнова О.С. Исторический аспект строительства мостов Санкт-Петербурга // Творчество и современность. 2020. № 1 (12). С. 44-53.
4. «Брит ПП-1». [Электронный ресурс]: http://www.brit-r.ru/products/pronikayushchiypropitochnyy-sostav-brit-pp-1.php.
5. «Брит ЗВС-Р». [Электронный ресурс]: http://www.brit-r.ru/products/zashchitnovosstanovitelnye-sostavy-brit.php.
6. Пропитка асфальтобетонная ПАБ «ДОРСАН». [Электронный ресурс]: http://дорсан-юг.рф/.
7. Пропитки дорожных покрытий «Силкоут» – Selena. [Электронный ресурс]: https://www.npfselena.ru/additions/road-surface-impregnation/.
8. Пропиточный состав ПАБ «ПС-1 «ЭЛМОДОР». [Электронный ресурс]: https://интехноплюс.рф/.
9. БОРНИТ Асфатоп. [Электронный ресурс]: http://aeroplan-pro.ru/bornit-asfatop-propitka-dlya-asfalta/.
10. Защитно-восстановительная пропитка асфальтобетонных покрытий «ПАРАГОН Асфальтовит»/LAS-320. [Электронный ресурс]: http://www.paragongroup.ru/las.html.

УДК 691.175.3

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИБРОАРМИРОВАННОГО ПЛАСТИКА В КОНСТРУКЦИИ ОПОР МОСТОВ

Целью работы является анализ использования композиционных материалов в конструкциях опор мостов.

В данной статье на основе анализа научных публикаций рассмотрен опыт использования полимерных композитных (композиционных) материалов (ПКМ) в строительстве, выявлены преимущества и недостатки применения полимеров.

В последние десятилетия композитные материалы, армированные волокнистыми пластиками, широко используются в строительной области. Они обладают такими уникальными качествами как: низкий удельный вес; высокая прочность и способность к восприятию ударных нагрузок; высокая химическая и коррозионная стойкость; стойкость в УФ-излучению; низкая теплопроводность; отличное качество поверхности и красивый внешний вид, на протяжении всего жизненного цикла изделий, составляющего не менее 100 лет [1].

В результате анализа применения полимерных композитных материалов в мостостроении в России и за рубежом можно выделить четыре направления их использования в конструкциях мостов [2]:

1. Композиционные материалы используются в изготовлении целых мостовых сооружений или их элементов (пролетных строений, плит проезжей части, тротуарных настилов, и т.д.).

2. Использование неметаллической композитной арматуры для армирования бетонных конструкций. Арматура может быть стержневая, полосовая и трубчатая, жесткая и гибкая.

3. Применение композиционных материалов для усиления существующих металлических и железобетонных мостовых сооружений.

4. Применение полимерных композиционных материалов в малонагруженных изделиях и конструкциях (перильное ограждение, водоотводные лотки, мачты освещения и т.д.).

Мостовые конструкции из полимерных композиционных материалов имеют следующие достоинства: отсутствие деформаций при действии рабочего диапазона температур; коррозионная стойкость, легкость содержания и помывки водой; достаточно высокая огнестойкость; меньшая высота пролетного строения и меньшее его давление на опоры и как результат, более легкие и эффективные опоры.

Достаточно простой монтаж при использовании менее грузоподъемной техники; большая простота доставки более легким транспортом монтажных единиц мостовых конструкций; возможность снижения затрат рабочей силы с возможностью выполнения ручной сборки в труднодоступных местах.

Заслуживает внимания оценка возможности применения стеклопластика, в качестве композиционного материала, используемого в различных мостовых конструкциях, который состоит из стекловолокнистого наполнителя и связующего вещества (термореактивных и термопластичных полимеров). Наполнитель выполняет армирующую функцию и обеспечивает необходимую прочность, а связующее вещество придаёт материалу монолитность, способствует эффективному использованию прочности стекловолокна и распределению усилий между волокнами, защищает стекловолокно от агрессивных сред [3].

Сравнивая конструкции из стеклопластика с аналогичными из бетона и металла, очевидно, что по ряду отдельных характеристик последние превосходят данный композитный

материал. Однако, общая совокупность свойств стеклопластика, таких как легкость и прочность, устойчивость к коррозии и химическая стойкость, низкая теплопроводность, делает конструкции мостов из данного материала крайне востребованными.

Наибольшей прочностью обладают стеклопластики, содержащие ориентированно расположенные непрерывные волокна. Такие стеклопластики подразделяются на однонаправленные, у которых волокна расположены параллельно, и перекрёстные, у которых волокна под заданным углом друг к другу. Изменяя ориентацию волокон, можно в достаточно широких пределах регулировать механические свойства стеклопластиков и конструкций из данного материала [4].

Сравнительные характеристики стеклопластика, стали, алюминиевых сплавов представлена в таблице 1.

Коэффициент линейного расширения стекловолокна составляет от 11 до 13*10-^{6} /°С (является близким к стеклу), что делает его наиболее подходящим материалом для изготовления светопроницаемых конструкций.

Плотность данного вещества, полученного путем намотки или прессования, достигает от 1,8–2,0 г/см³. Стеклопластик считается одним из самых недорогих и доступных композиционных материалов, при этом устойчив к действию химикатов и обладает отличными эксплуатационными показателями [4, 5].

Таблица 1 – Физико-механические свойства различных материалов

Материал / Характеристика	Сталь	Алюминиевые сплавы	Стеклопластик
Плотность, кг/м$_3$	7800	2640-2800	1800-1900
Модуль упругости, ГПА	210	70-71	55
Разрушающее напряжение при растяжении, МН/м^2	410-480	80-430	410-1180
Предел прочности (для металлов предел текучести) при растяжении, МПа	240	50-440	1700
Удельный предел прочности (для металлов предел текучести), м^2/с^2	3,1	1,8-16,7	89-94
Отношение усталостной прочности к статической (число циклов 10^7)	0,26	0,27	0,29
Теплопроводность при 20 °С, Вт/м °С	64	105-200	0,75
Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом·м	Проводник	Проводник	$1{,}0\times10^{10}$
Коэффициент линейного расширения, 10^{-6}/°С	11,9-14,2	19,6-26,9	0,45-8,3
Стойкость к воздействию химически агрессивных сред, солевых растворов	Не стоек. Требуются мероприятия по защите от коррозии	Подвержен электро-химической коррозии. Требуются специальные меры по защите	Стоек
Эксплуатационные затраты	Требуются регламентные работы не реже 1-2 раза в год	Требуются регламентные работы не реже 1 раза в год	Восстановление цветовой окраски по мере снижения её интенсивности

Анализ данных таблицы свидетельствует, что стеклопластик обладает низкой теплопроводностью (как у древесины), высокой прочностью (как у стали), а также влагостойкостью, биологической стойкостью и атмосферостойкостью полимеров, трудногорючестью, а при пожаре не выделяет сильнодействующий газ диоксин в отличии от

поливинилхлорида. При изготовлении аналогичных изделий из стали и стеклопластика стеклопластиковые конструкции будут весить в 2-3 раза меньше.

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 и обусловливает необходимость расширения области применения композитных материалов в отечественном мостостроении посредством разработки и внедрения новых конструктивных решений несущих конструкций, соответствующих особенностям применяемых материалов, а также разработки и совершенствования методик их расчёта [6-8].

Таким образом, применение полимерных материалов в мостостроении и необходимость обоснования технических решений мостовых конструкций является одним из направлений изменения важных технических характеристик для мостов, а именно уменьшению общей массы конструкций, увеличению скорости монтажа и мобильности конструкций, увеличению срока службы и хранения конструкций и сведение к минимуму расходов на обслуживание.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б., Михалдыкин Е.С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве. Интернет-журнал «Науковедение», 2016 г. Том 8, №6 (2016).
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Проблемы внедрения современных инновационных решений в транспортном строительстве. Вестник Волгоградского государственного университета, 2012 г. с. 105-109.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра. Металлы Евразии, 2015. №1, 36-39 с.
4. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.
5. Аверченко Г.А., Кириллова Д.Ю. Исследование работы стеклопластобетонных балок. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. 2019. С. 42-44.
6. Юстикова Л.Н., Стройков В.А., Бирюков О.Р., Лесной А.П. Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении. Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии). Материалы научно-практической конференции. 2019. С. 127-133.
7. Перфильев Л.В., Петров К.В., Квитко А.В., и др. Конструкция грунтового основания устоя моста и примыкающей к нему насыпи. Патент на полезную модель RU 25194 U1, 20.09.2002. Заявка № 2002101072/20 от 14.01.2002.
8. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении. Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229-231.

УДК 625.861

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

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИСТИРАЕМОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Ежегодный прирост интенсивности движения в условиях дорожно-уличной сети предъявляет высокие требования к физико-механическим характеристикам асфальтобетонных покрытий [1]. Средняя интенсивность потока автомобилей в будние дни на 2019 год составляет 11500 приведенных автомобилей в сутки. Использование шипованной резины в протекторах шин

приводит к истираемости дорожного покрытия до 0,3-1,0 мм/год. Устойчивость асфальтобетонного покрытия к истиранию шипованными шинами может быть снижена за счет структуры и типа асфальтобетона, а также свойств компонентов асфальтобетонной смеси [2, 3]. В работе представлены результаты лабораторных исследований истираемости асфальтобетонных проб методом Prall test от вида вяжущего вещества.

Цель работы заключается в выявлении зависимости истираемости асфальтобетона от типа вяжущего вещества. Методы, используемые в работе, экспериментально-расчетные.

Исследование состоит из трех этапов:

- На первом этапе проводятся лабораторные испытания.
- На втором – обработка результатов испытаний, расчет основных характеристик асфальтобетона.
- Заключительный этап включает в себя оформление и графическое представление полученных закономерностей.

Истирание представляет собой один из видов износа асфальтобетона, выражающийся в изменении объема верхнего слоя дорожной одежды под воздействием шипованной резины. Механическое свойство асфальтобетона, характеризующее способность сопротивляться воздействию истирания, называется истираемостью асфальтобетона [4]. Чем меньше показатель истираемости, тем дольше срок эксплуатации дорожного покрытия [5,6].

Оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к истиранию шипованными шинами производится по ГОСТ Р 58406.5-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон».

Метод определения истираемости. Принцип действия Prall test: образец асфальта, помещенный в камеру вибропривода обрабатывается стальными шариками при постоянном орошении водой, охлажденной до 5°С. Стальные шарики имитируют шипованную резину шин. Устойчивость к истиранию оценивается по уменьшению объема образца.

Все процедуры, кроме установки образца, выполняются автоматически по заданной оператором программе. Установка имеет два резервуара для воды. В первом вода охлаждается от комнатной температуры до ~5°С за 15-20 мин. и переливается во второй (рабочий резервуар). Скорость подачи воды 2 л/мин. После перелива воды запускается рабочий цикл испытания. Частота колебаний вибропривода – 950 кол/мин. Амплитуда колебаний составляет 43 мм. Все этапы отображаются на экране компьютера. Одновременно, первый резервуар вновь заполняется водой, которая охлаждается до рабочей температуры.

Истираемость асфальтобетона определяется выражением (1) в соответствии с ГОСТ Р 58406.2-2020. Вычисления проводятся по зависимости и округляются до целого числа.

$$И_{аб} = \frac{m_1 - m_2}{G_{mb}}, \quad (1)$$

где m_1 – масса образца перед испытанием, г; m_2 – масса образца после испытания, г; G_{mb} – объемная плотность образца, г/см^3.

Объемная плотность определяется уравнением (2)

$$G_{mb} = \frac{m_2}{m_3 - m_4}\ \rho_в, \quad (2)$$

где m_2 – масса сухого образца на воздухе, г; m_3 – масса образца на воздухе после выдерживания его в воде в течение (4±1) мин., г; m_4 – масса образца в воде после выдерживания его в воде в течение (4±1) мин., г; $\rho_в$ – плотность воды, равная 0,997 г/ см^3.

Данные испытаний представлены в таблице 1. Зависимость истираемости ЩМА-15 от вида вяжущего вещества представлена на рис.1.

Таблица 1 – Результаты лабораторных исследований

№	Тип смеси	Тип битумного вяжущего	G_{mb}, г/см^3	m_1	m_2	$И_{аб}$
1	2	3	4	5	*6*	*7*
1.1.	ЩМА-15	ПБВ60 + Viatop 66	2,66	637	583	20
1.2.	ЩМА-15	ПБВ60	2,66	640	587	20
1.3.	ЩМА-15	ПБВ60	2,67	637	586	19
1.4.	ЩМА-15	ПБВ60	2,67	640	586	20
2.1.	ЩМА-15	БНД 60/90 + Viatop 66	2,66	644	576	25
2.2.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,66	646	586	23
2.3.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,67	635	571	24
2.4.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,67	648	585	24
3.1.	ЩМА-15	ПБВ60	2,67	666	617	18
3.2.	ЩМА-15	ПБВ60	2,67	699	649	19
3.3.	ЩМА-15	ПБВ60	2,66	672	621	19
3.4.	ЩМА-15	ПБВ60	2,66	673	623	19
5.1.	ЩМА-15	БНД 60/90 + Sasobit	2,67	667	600	25
5.2.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,67	635	571	24
5.3.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,67	663	603	22
5.4.	ЩМА-15	БНД 60/90	2,67	664	599	24

Класс асфальтобетона по истираемости подразделяют в соответствии с ГОСТ Р 58406.2-2020. В столбце 7 таблицы 1 указаны показатели истираемости, значения которых ниже 25 см^3 соответствует 1 классу по истираемости.

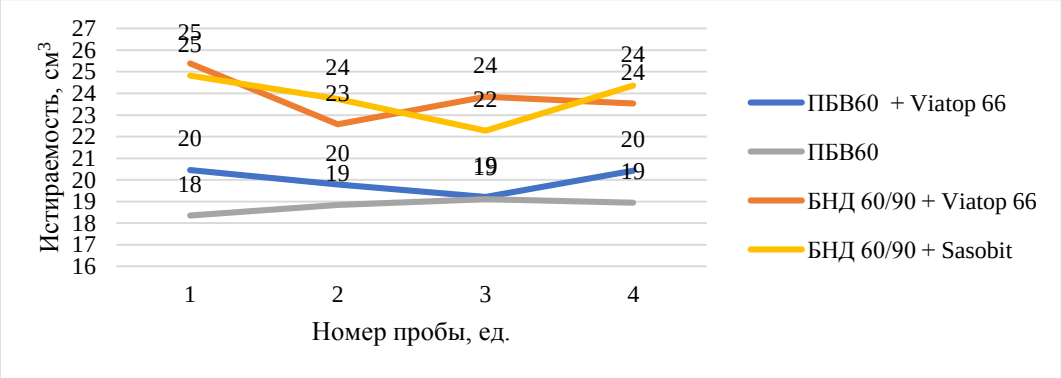


Рис. 1. Зависимость истираемости ЩМА-15 от вида вяжущего вещества

Как видно из рис. 1, истираемость щебеночно-мастичного асфальтобетона зависит от типа используемого вяжущего вещества. Асфальтобетоны, приготовленные на основе ПБВ60 имеют меньший показатель истираемости по сравнению с асфальтобетонами, приготовленными на БНД 60/90, в среднем на 4-5 см^3. В долгосрочной перспективе разница в истираемости может иметь значительный эффект с точки зрения материальных затрат.

Таким образом устойчивость асфальтобетонного покрытия к истиранию шипованными шинами зависит от вида вяжущего материала, используемого при проектировании состава асфальтобетонной смеси. Наиболее высокой износостойкостью характеризуется асфальтобетон, изготовленный на полимер-битумном вяжущем – ПБВ60. Использование в смеси ПБВ 60 увеличивает истираемость в сравнении БНД 60/90 на 4-5 см^3, что обусловлено большим сцеплением зерен минеральной составляющей с битумом за счет когезионных и адгезионных показателей вяжущего.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Леонович И.И. Инновации в системе эксплуатации автомобильных дорог, направленные на предупреждение и ликвидацию поверхностных дефектов / И.И. Леонович, И.С. Мельникова // Журнал «Труды БГТУ». – 2012. – № 2 (149). – С. 130-133.
2. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, и др. СПб: ВАТТ, 2015. 312 с.
3. Веренько, В.А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В.А. Веренько. – Минск: Белорусская Энциклопедия имени Петруся Бровки, 2008. – 304 с.
4. Радовский Б.С. Методы проектирования состава асфальтобетонных смесей в США. «Дорожная Техника», 2006, 68 – 81.
5. Telegina M.E., Barabash A.V., Naumova E.A., et al. Predicted temperature dependence of the road surface on the air temperature in a variety of road-climatic zones of the Russian. Construction of Unique Buildings and Structures. – 2017 – № 11-71 – 82 с.
6. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси // Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С.37-39.
7. Лазарев, Д.Л. Симонов, А.Н. Новик. Формирование потребительких и эксплуатационных свойств автомобильных дорог // Технико-технологические проблемы сервиса. СПб.: 2016. №1(35). С. 43-47.

УДК 625.75

К.А. Лукина, П.Н. Полудницына, А.Н. Новик
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДОРОЖНЫЕ ПРОПИТОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – СВОЙСТВА И ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Цель работы – обоснование применения дорожных пропиточных материалов, представленных на российском рынке.

Асфальтобетон – один из наиболее распространенных материалов для устройства дорожного покрытия. Он образует плоскую, бесшумную грубую поверхность, обеспечивающую хорошее сцепление колес автомобиля с дорогой, обладает высокой упругостью, хорошей гидроизоляцией и не требует сложных ремонтных работ. Однако, с течением времени и под влиянием внешних факторов, асфальтобетон теряет свои эксплуатационные свойства. Например, битумный компонент подвергается окислению, в результате воздействия окружающей среды и эксплуатационных факторов, что приводит к старению и хрупкости материала [1]. Продление срока службы дорожного покрытия одна из первоочередных задач в дорожном строительстве. Полная замена покрытия не всегда является экономически выгодным решением [2]. Поэтому были созданы специальные пропиточные составы, защищающие поверхность асфальтобетонного покрытия от внешних воздействий.

Дорожные пропиточные материалы (ДПМ) наносятся на поверхность асфальтобетонного покрытия. Они предназначены для изменения свойств органического вяжущего и для защиты всего покрытия в целом от внешнего воздействия. Все ДПМ можно разделить на три типа: омолаживающие, защитные и комбинированные. Первые изменяют свойства вяжущего, находящегося в асфальтобетоне, и тем самым замедляют его старение. Вторые используется только для защиты полотна. После их нанесения, трещины и микротрещины заполняются и тем самым закрываются (герметизируются). Третий же тип сочетает в себе первые два. Также дорожные пропитки классифицируют по составу на два типа: составы, созданные на основе эмульсий и те, в основе которых – растворитель. После нанесения защитных составов на дефектные участки дороги и равномерного распределения по всей поверхности (вручную или при помощи специальной установки, используемой при масштабных работах), растворитель испаряется и образуется плотная пленка толщиной до 1 мм. В результате, образовавшаяся пленка отлично герметизирует поверхностные дефекты и отрытые поры верхнего слоя асфальтобетонного покрытия, однако это

не ухудшает сцепление. Принцип действия составов представлен на рисунке 1. В ОДМ 218.3.073-2016 «Рекомендации по применению пропиточных составов для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий» прописаны все рекомендации, область применения, технология выполнения работ по нанесению составов и требования к контролю качества.

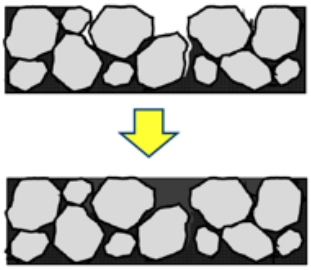


Рис. 1. Принцип действия

На российском рынке представлен достаточно большой выбор дорожных пропиточных материалов: «ASP Chem-Crete» (Словакия), «BORNIT-Асфатоп», «Брит ПП», «Брит ЗВС-Р», «Брит ЗВС-В», пропитка асфальтобетонная ПАБ «Дорсан» производства ООО НПК «Базис», пропиточный состав «Силкоут» (три марки в зависимости от содержания минеральных наполнителей), «BORNITWerk Aschenborn GmBH» (Германия), «Crafco Superseal AC» (США), пропиточные составы от производителя ООО «Компания Би Эй Ви» и другие [3].

Выделим пять наиболее распространенных материалов, применяемых в дорожном строительстве для защиты и «омоложения» поверхности дороги, и проведем их сравнительный анализ по следующим характеристикам: расход материала, массовая доля нелетучих веществ в составе, плотность и время полного высыхания при температуре 20 °С. Данные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик дорожных пропиточных материалов

Сравниваемые характеристики	Наименование ДПМ				
	Силкоут Р-50	БРИТ ПП-1	БРИТ ЗВС-Р	БРИТ ЗВС-В	ДОРСАН
Расход материала, мл/м^2 (г/м^2)	300-1200 (280-1100)	380-830 (350-750)	350-1000 (700-1200)	350-1000 (700-1200)	230-700 (400-1200)
Массовая доля нелетучих веществ, не менее, %	50	12	75	75	80
Плотность, г/см^3	0,95±0,05	0,9±0,05	1,65±0,05	1,45±0,05	1,7±0,05
Время полного высыхания при 20ºС, ч, не более, ч	3	0,5	3	12	3
Средняя цена, руб/кг	140	390	145	172	119

«Силкоут Р-50» – жидкий пропитывающий, герметизирующий и гидрофобный состав на основе органического растворителя с введением синтетических модифицирующих добавок, применяется для защиты асфальтобетонных покрытий от воздействия погодно-климатических факторов и агрессивных сред, повышения устойчивости органических вяжущих к термоокислительному старению в асфальтобетоне. Расход пропитки определяется в зависимости от состояния покрытия, пористости и шероховатости асфальтобетона. Средний эффективный расход, рекомендуемый производителем, составляет 600 мл/м^2 [4].

Российская компания ООО «НОВА-Брит» занимается производством битумной продукции широкого спектра, в том числе и, так называемых, защитно-восстановительных составов «ЗВС-Р», «ЗВС-В» и проникающих пропитывающих составов «Брит ПП-1», применяемых к асфальтобетонному покрытию. Оба, выпускаемых защитных состава являются комбинированными дорожными пропиточными материалами согласно ОМД 218.3.073-2016. Они обеспечивают адгезию к асфальтобетону, износоустойчивость, устойчивость к УФ-лучам и коэффициент сцепления дороги с автомобилем. ЗВС-Р представляет из себя дисперсию минерального наполнителя и неорганических соединений в растворе полимерно-битумного вяжущего в органическом растворителе. В то время, как ЗВС-В – это дисперсия минерального наполнителя и неорганических соединений в полимерно-битумной эмульсии [5]. «Брит ПП-1» – это однокомпонентный материал промышленного

применения для гидрофобизации асфальтобетонных и цементобетонных покрытий аэродромов, а также автомобильных дорог. Состав, проникая более чем на 5 мм вглубь асфальтобетона, устойчив к вымыванию атмосферной влагой и к воздействию противогололедных реагентов. Наносится на сухое покрытие распылением или розливом. Пропиточный состав не окрашивает и не изменяет фактуру покрытия, не снижает коэффициента сцепления и допускает открытие движения сразу после нанесения [6].

Пропитка асфальтобетонная ПАБ «ДОРСАН» предназначена для «омоложения» асфальтобетонного покрытия, предотвращает термоокислительное старение асфальтобетона и возникновение эрозии, блокирует процессы шелушения и выкрашивания. Активные газовые компоненты материала проникают внутрь тела асфальтобетона на глубину до 3-4 см, в зависимости от пористости покрытия, вступают в химическое взаимодействие с битумом, «омолаживают» его и образуют сополимерную битумную композицию, обладающую необходимым для асфальтобетона пластичными и упругими свойствами [6, 7].

На рисунке 2 представлены затраты, требуемые для обработки одного квадратного метра асфальтобетонного покрытия. Расход состава принимаем равным 600 мл/м^2. В результате, наиболее экономически выгодным является применение пропитки ПАБ «ДОРСАН».

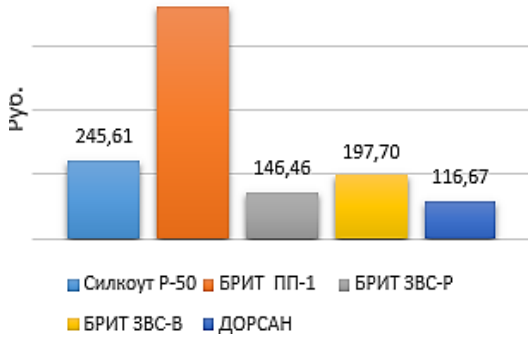


Рис. 2. Стоимость ДПМ, требуемая при обработке 1 м^2 асфальтобетонного покрытия

Таким образом, защита дорожного покрытия от разрушений и продление его сроков службы достаточно актуальная задача в наши дни. Дорожные пропиточные составы, согласно заявлениям производителей, – это одно из простых, выгодных и эффективных решений. Однако, несмотря на широкий спектр данной продукции, представленной на российском рынке, выбрать лучший затруднительно. В ходе анализа пяти наиболее распространённых составов, наименьшие затраты потребуются при использовании пропитки асфальтобетонной ПАБ «ДОРСАН».

Однако, для оценки эффективности применения данного материала следуют провести несколько лабораторных, натурных экспериментов, при которых необходимо учитывать климатические условия, характеристики конкретной дороги, используемые материалы при строительстве и другие факторы, которые могут повлиять на эффективность применения защитных составов. Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что в зависимости от типа повреждения, требуемых свойств, бюджета и, после тщательного обследования и анализа дороги, согласно ОМД 218.3.073-2016, принимается решение о способе обработки, типе состава и его количестве.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ярцев, В.П. Эксплуатационные свойства и долговечность битумно-полимерных композитов/ В.П. Ярцев, А.В. Ерофеев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. 81 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. Высоцкая М. А. Обзор состояния сегмента пропиточных материалов для покрытий автомобильных дорог/ Высоцкая М. А., Власова Е. А., Кузнецов Д.А., и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 8. С. 6–12.
4. Пропитка дорожных покрытий «Силкоут». [Электронный ресурс]: https://www.npfselena.ru/additions/road-surface-impregnation/
5. Проникающий пропиточный состав «БРИТ ПП-1». [Электронный ресурс]: https://www.brit-r.ru/products/pronikayushchiy-propitochnyy-sostav-brit-pp-1.php
6. Отчет о применении пропитки «Дорсан». [Электронный ресурс]: https://www.ador.ru/data/files/docs/dorsan.pdf
7. Пропитка асфальтобетонная ПАБ «ДОРСАН». [Электронный ресурс]: http://дорсан-юг.рф/

УДК 625.855.31

А.Н. Козлов, В.А. Новик, А.Н. Новик
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЯЖУЩЕГО

Причины более глубокой проработки влияния модификатора на физико-механические свойства, вяжущего возникли в США в восьмидесятых годах прошлого столетия. Осенью 1973 года произошел нефтяной кризис, это привело к удорожанию нефти в четыре раза за последующий год и, соответственно, к удорожанию битума и асфальтобетонной смеси. Под влиянием нефтяного кризиса страны расширили источники импорта нефти, и нефтеперерабатывающие заводы стали производить битумы из примерно 200 разных источников сырой нефти. В прежние годы нефтеперерабатывающие компании редко меняли свои источники сырья. Такая практика приводила к тому, что битум, поступавший из одних и тех же источников, имел постоянные свойства из года в год. После нефтяного кризиса возникла ситуация, когда крупные нефтеперерабатывающие предприятия могли менять источники сырья каждые несколько дней. Такая ситуация вызвала заметные колебания свойств битума, как химических, так и физических.

В результате при одной и той же паспортной марке по пенетрации (глубине проникания стандартной иглы) битумы существенно отличались друг от друга по свойствам. Накопленный дорожниками опыт, позволявший интуитивно принимать нужное решение, стал почти бесполезным [1]. Чтобы разрешить возникшие проблемные вопросы качества битумного вяжущего и доведения его свойств до требуемых значений были предприняты шаги по исследованию влияния различных модификаторов на физико-механические свойства вяжущего.

Для проведения исследований по данному вопросу были применены методы сравнительного анализа и натурного испытания.

Цель работы настоящей работы – обоснование использования модификатора для вяжущего с учетом действующих нормативных документов.

Таблица 1 – Результаты испытаний БНД 70/100

№ п/п	Показатели	До старения	После старения
1	КиШ	49,1	55,9
2	Пенетрация	61	46
3	Растяжимость	>100	40,03
4	Вязкость	-18	-12
5	Хрупкость	297,5 Па·с	912,5 Па·с

Старение					
№ п/п	Масса колбы	Масса колбы + масса навески	Масса навески	Масса колбы + масса навески после старения	Потеря массы после старения, %
1	156,91	192,46	35,55	191,60	0,39
2	164,69	200,01	35,32	199,84	0,34
3	161,42	196,95	35,53	195,82	0,37
4	161,73	196,98	35,25	196,87	0,31

Для достижения поставленной цели были произведены испытания одного из представленных на рынке модификаторов с последующим сравнительным анализом полученных результатов [2, 3]. Рабочая гипотеза, выдвигаемая перед началом испытаний, предполагала, что рассматриваемый модификатор будет оптимальный, а именно его применение:

- значительно увеличит физико-механические свойства вяжущего;
- экономически будет эффективен, по сравнению с готовыми ПБВ и PG.

На первом этапе практического исследования были произведены испытания БНД 70/100 Киришского НПЗ до и после старения. Испытания проводились в соответствии с требованиями, изложенными в ГОСТ [4-10]. Полученные результаты отражены в таблице 1.

На втором этапе были проведены испытания с добавлением модификатора Вискобит в процентном отношении 0,8%. Полученные результаты отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний БНД 70/100 + Вискобит 0,8%

№ п/п	Показатели	До старения	После старения
1	КиШ	55,7	62,4
2	Пенетрация	62	42
3	Растяжимость	79,95	26,2
4	Вязкость	-20	-19
5	Хрупкость	740,0 Па·с	1,355 Па·с

Старение					
№ п/п	Масса колбы	Масса колбы + масса навески	Масса навески	Масса колбы + масса навески после старения	Потеря массы после старения, %
1	161,58	196,83	35,25	196,81	0,06
2	161,43	196,74	35,31	196,72	0,06
3	165,38	200,79	35,41	200,78	0,03
4	158,85	194,26	35,41	193,25	0,03

Таким образом, на основании полученных результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Рассматриваемый модификатор является оптимальным с позиции технологии модификации вяжущего так как исключает модернизацию АБЗ и закупку дополнительного оборудования в отличии от ПБВ.
2. Физико-механические свойства возросли по сравнению с «чистым» вяжущим, но не дали колоссального эффекта, тем самым возникает необходимость проведения дополнительных испытаний. В частности, применения гибридных рецептур при модификации БНД и проведения испытаний на определение показателей качества битума в соответствии с методологией Superpave.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радовский Б.С. Суперпейв: требования к вяжущему // Автомобильные дороги – 2014. – №6.
2. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8(71). С. 41-50. DOI: 10.18720/CUBS.71.4
3. 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. DOI: 10.18720/CUBS.69.3
4. ГОСТ EN 12593-2013. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы и битуминозные вяжущие. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу.
5. ГОСТ 33134-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Определение индекса пенетрации.

6. ГОСТ 33137-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие Метод определения динамической вязкости ротационным вискозиметром.
7. AASHTO T 240. Standard Method of Test for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt Binder (Rolling Thin-Film Oven Test.
8. Белихин С.В., Лабусов Н.В., Греян А.А., и др. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. 2019. С. 44-46.
9. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси //Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С.37-39.
10. 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.

УДК 625.724

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

МЕРОПРИЯТИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА КРУТОМ ПОВОРОТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Цель работы – установление последовательности выполнения работ по снижению аварийности на крутом повороте автомобильной дороги с учетом значений вероятности снижения количества ДТП в результате реализации данных работ на основе анализа существующих мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения на крутом повороте дороги.

Для достижения поставленной цели был приведен перечень мероприятий, обеспечивающих безопасность дорожного движения на крутом повороте дороги [1, 2] и произведена оценка вероятности снижения количества ДТП в результате реализации комплекса мероприятий на крутом повороте [2].

Общая оценка вероятности снижения аварийности на крутом повороте дороги путем проведения комплекса мероприятий по повышению БДД рассчитывается на основе значений средней вероятности снижения количества ДТП в год после проведения каждого из применяемых мероприятий, определяемых по формуле [ОДМ 218.4.004-2009]:

$$P_M = \frac{\sum_{m=1}^{M}\left(\frac{1}{1-P_m}-1\right)}{1+\sum_{m=1}^{M}\left(\frac{1}{1-P_m}-1\right)}, \quad (1)$$

где P_m – средняя вероятность снижения числа ДТП; M – число мероприятий по повышению безопасности движения.

Для расчета общей вероятности снижения аварийности на крутом повороте был составлен ранжированный перечень работ, проводимых в рамках реконструкции и капитального ремонта (таблица 1), текущего ремонта и содержания (таблица 2) [3, 4], с соответствующим коэффициентом снижения доли общего числа ДТП и числа ДТП с пострадавшими (ОДМ 218.4.004-2009).

Таблица 1 – Работы по реконструкции и капитальному ремонту на крутом повороте дороги

№ п/п	Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения на крутом повороте	Реконструкция	Капитальный ремонт (приведение в нормативное состояние)	Коэффициенты снижения доли ДТП (P_m), доли единицы	
				Общего числа ДТП	ДТП с пострадавшими
1.1.3	Улучшение видимости на кривых в плане (обрезка веток, подсадка деревьев и т.д.)	+	+	0,22	0,65
1.1.1	Увеличение радиуса кривой в плане	+	+	0,67	0,63
1.1.7	Установка или обновление предупреждающих дорожных знаков	+	+	0,44	0,55
1.1.5	Установка (замена) дорожных ограждений	+	+	0,16	0,32
1.1.6	Установка направляющих устройств	+	+	0,14	0,16
1.10.1	Устройство поверхностной обработки дорожного покрытия	+	+	0,24	0,32
3.1*	Устройство автоматизированных систем по борьбе с зимней скользкостью	+	+	0,28	0,28
1.1.2	Устройство недостающих виражей	+	+	0,36	0,27
1.1.9	Нанесение осевой и краевой разметки	+	+	0,52	0,25
1.7.5.1	Устройство электроосвещения	+	+	0,26	0,25
1.10.3	Устройство нового слоя покрытия	+	+	0,24	0,21
1.7.1.2	Установка знака «Ограничение скорости движения»	+	+	0,50	0,20
1.7.1.6	Установка информационных панно «Аварийно-опасный участок» **	+	+	0,20	0,15
	Итого при реконструкции	13	-	0,8853	0,8893
	Итого при капитальном ремонте (приведение в нормативное состояние)	-	13	0,8853	0,8893

Примечания:

1. Нумерация пунктов мероприятий принята в соответствии с табл. 10.2 [ОДМ 218.4.004-2009].

2. * Нумерация мероприятия принята произвольно. Коэффициенты снижения доли ДТП (P_m) приняты на основании пункта 8 табл. 10.1 (ОДМ 218.4.004-2009).

3. ** Устанавливается в случае невозможности приведения участка крутого поворота в нормативное состояние после проведения работ по реконструкции и капитальному ремонту.

Таким образом, в работе определена очередность выполнения работ по реконструкции, капитальному ремонту, текущему ремонту и содержанию крутых поворотов, которая определяется в зависимости от коэффициента снижения доли ДТП с пострадавшими P_m. [5].

Наибольший коэффициент снижения общего числа ДТП и числа ДТП с пострадавшими на крутых поворотах автомобильных дорог обеспечивается путем проведения работ по реконструкции и капитальному ремонту, приведенных в таблице 1. Полученный результат свидетельствует о том, что автомобильная дорога полностью соответствует нормативным требованиям в соответствии с технической категорией [5].

Таблица 2 – Работы по текущему ремонту и содержанию на крутом повороте дороги

№ п/п	Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения на крутом повороте	Текущий ремонт	Содержание		Коэффициенты снижения доли ДТП P_m, доли единицы	
			Летнее	Зимнее	Общего числа ДТП	ДТП с пострадавшими
1.1.3	Улучшение видимости на кривых в плане (обрезка веток, подсадка деревьев и кустарников и т.д.)	+	+	+	0,22	0,65
1.1.7	Установка или замена предупреждающих дорожных знаков	+	+	+	0,44	0,55
1.1.5	Установка (замена) дорожных ограждений	+	+	+	0,16	0,32
1.1.6	Установка направляющих устройств	+	+	+	0,14	0,16
1.10.1	Устройство поверхностной обработки дорожного покрытия	+	+		0,28	0,31
3.2*	Распределение противогололедных материалов			+	0,21	0,21
1.1.9	Уход за разметкой, нанесение новой и восстановление изношенной разметки	+	+		0,52	0,25
1.7.5.1	Устройство электроосвещения	+			0,26	0,25
1.7.5.1	Восстановление электроосвещения	+	+	+	0,26	0,25
1.10.3	Устройство нового слоя покрытия	+			0,24	0,21
1.10.3	Восстановление слоя дорожного покрытия		+	+	0,24	0,21
1.10.4	Ямочный ремонт дорожного покрытия	+	+	+	0,17	0,22
1.7.1.2	Установка знака «Ограничение скорости движения»	+	+	+	0,50	0,20
3.3*	Механизированная снегоочистка, расчистка автомобильных дорог от снежных заносов, уборка снежных валов с обочин			+	0,21	0,21
1.7.1.6	Установка информационных панно «Аварийно-опасный участок»	+	+	+	0,20	0,15
	Итого при текущем ремонте	12	-	-	0,8411	0,8608
	Итого при летнем содержании		11		0,8317	0,8541
	Итого при зимнем содержании			11	0,8029	0,8480

Примечания:

1. Нумерация пунктов мероприятий принята в соответствии с табл. 10.2 [ОДМ 218.4.004-2009].

2. *Нумерация мероприятия принята произвольно. Коэффициенты снижения доли ДТП P_m приняты на основании пункта 9 табл. 10.1 (ОДМ 218.4.004-2009).

При невозможности проведения работ по реконструкции и капитальному ремонту на крутом повороте, снижение аварийности на данных участках производится путем проведения работ по текущему ремонту и содержанию:

- улучшение видимости на кривых в плане;
- установка (замена) предупреждающих дорожных знаков;
- установка (замена) дорожных ограждений, сигнальных столбиков;
- устройство защитных слоев, слоев износа и поверхностной обработки дорожного покрытия;
- распределение противогололедных материалов (осенне-зимне-весенний период);
- нанесение (восстановление) разметки;
- устройство (восстановление) электроосвещения;
- укладка выравнивающего слоя требуемой ровности и сцепных свойств покрытия;
- ямочный ремонт;
- установка знака «Ограничение скорости движения».

ЛИТЕРАТУРА:
1. Методические рекомендации по проведению мероприятий по улучшению условий дорожного движения и повышению безопасности дорожного движения в целях ликвидации мест концентрации дорожно-транспортных происшествий, включающие типовые решения (утв. протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 31.07.2019 N 5).
2. 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
3. Об утверждении Классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Приказ Минтранса России от 16.11.2012 N 402 (ред. от 12.08.2020).
4. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон от 08.11.2007 N 257-ФЗ.
5. 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. 2019. С.37-39.

УДК 699.822

А.Н. Новик, К.А. Пахомов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ МАСТИЧНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы – определение параметров теплоустойчивости мастичных гидроизоляционных материалов из каталога ООО «Гидрозо» – «ДэнсТоп ПС 391», «ДэнсТоп МС 351», «ДэнсТоп ЭП 710 Мастик» для использования в дорожном строительстве [1-5].

Для достижения поставленной цели в виду специфики материалов была разработана методика испытаний на основе метода определения температуры размягчения термопластов по Вика (ГОСТ 15088-2014). Температура размягчения по Вика (VST – Vicat softening temperature) – температура, при которой стандартный индентор с плоской нижней поверхностью под действием нагрузки проникает в испытуемый образец, нагреваемый с постоянной скоростью, на глубину 1 мм. Индентор воздействует перпендикулярно поверхности образца.

В рамках работы за температуру размягчения принимается температура, при которой игла-индентор под действием нагрузки проникает в состав насквозь до бетонного основания. Нагрузка устанавливается в зависимости от свойств и структуры материала. Для ДэнсТоп ПС 391 в виду толщины слоя и значения твердости по Шору, равному 33, нагрузка принята 5 Н. Для ДэнсТоп МС 351 в виду толщины слоя и значения твердости по Шору, равному 55 нагрузка принята 5 Н. Для ДэнсТоп ЭП 710 Мастик в виду толщины слоя и значения твердости по Шору, равному 62 нагрузка принята 35 Н.

Конструктивная схема прибора Вика, представленная на рис. 1, состоит из цилиндрического металлического стержня 1, обоймы станины 2, стопорного устройства 3, указателя 4, шкалы перемещений 5, иглы 6, груза 7.

Стержень с соответствующим грузом, укрепленный на жесткой металлической раме и размещенный таким образом, чтобы он мог свободно перемещаться в вертикальной направлении. Основание рамы служит опорой для испытуемого образца, помещенного под наконечником индентора на конце стержня.

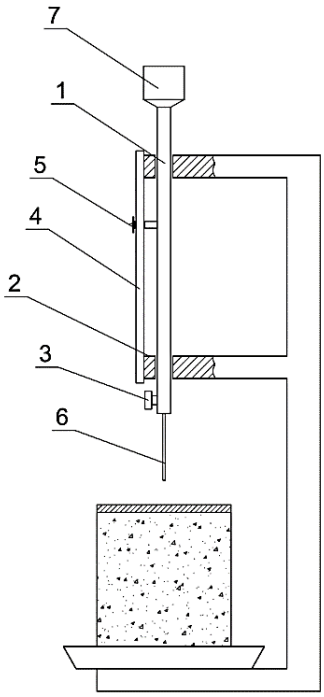


Рис. 1. Конструктивная схема прибора Вика

Образец помещается в нагревательную камеру в регулировку температуры. Для имитации воздействия асфальтобетонной смеси на испытываемый состав воссоздаются температурные условия укладки. В камере устанавливается температура 220(±10) ºС (ГОСТ-Р 55401-2020 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси литые асфальтобетонные дорожные горячие и асфальтобетон литой дорожный. Технические условия). Нагревание происходит поэтапно. На протяжении всего времени испытаний с интервалами не более 10 минут вручную производится контроль температуры. С повышением температуры уменьшаются интервалы времени. Предусмотрено два варианта испытания образцов – в комбинированной оболочке-рубашке из фиброцементных плит и базальтового волокна (рис. 2), для предотвращения интенсивного прогревания бетонного основания. В ходе испытаний фиксировались возникающие при повышении температуры реакции. Результаты испытаний приведены в таблице 1.



Рис. 2. Образец в комбинированной оболочке-рубашке

Таблица 1 – Возникающие реакции состава при повышении температуры

Наименование материала	Температура состава, ºС	Реакция состава
ДэнсТоп ПС 391	<60	Нет изменений, упругие деформации
	100-115	Размягчение испытываемого состава
	115-125	Продавливание состава индентором
ДэнсТоп МС 351	<100	Нет изменений, упругие деформации
	100-150	Размягчение испытываемого состава
	150-190	Отслаивание от бетонного основания, крошение испытываемого состава интенсивное образование вздутий, «выстреливание» частиц песчаного заполнителя
	190-210	Раскрытие вздутий, плавление испытываемого состава, местами жидкое состояние материала
ДэнсТоп ЭП 710 Мастик	<160	Нет изменений
	>160	Снижение прочности состава, продавливание состава индентором

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований и анализа результатов испытаний были предложены рекомендации по устройству дорожной одежды с использованием данных мастичных гидроизоляционных материалов и литого асфальтобетона [1-5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазарев Ю.Г. Строительство автомобильных дорог и аэродромов. Учебное пособие. Лазарев Ю.Г., Новик А.Н., Шибко А.А., и др. СПб, 2013. С.528.
2. Новик А.Н. Строительные материалы для транспортного строительства. Учебное пособие. Новик А.Н., Шибко А.А., Трепалин В.А., и др. СПб., 2014.
3. Белихин С.В., Лабусов Н.В., Греян А.А., и др. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков. Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 44-46.
4. Новик А.Н., Лабусов Н.В., Дроздецкий И.С. Некоторые подходы к выбору эффективной гидроизоляции мостовых сооружений. Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской НПК. 2019. С. 379-382.
5. Ермошин Н.А. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог: Учебное пособие / Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В., и др. СПб., 2018.

УДК 69.059.22

Р.А. Пашовкин, А.Н. Новик
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ВРЕМЕННЫХ МОСТОВ С УЧЕТОМ МНОГОКРАТНОЙ ОБОРАЧИВАЕМОСТИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы – определение положительного эффекта от применения универсальных быстровозводимых сборно-разборных пролетных строений временных мостов в сравнении с применением конструкций пролетных строений временных мостов индивидуального проектирования в условиях многократной оборачиваемости материалов временных искусственных сооружений, возводимых с целью организации движения автомобильного транспорта на период проведения капитального ремонта и реконструкции мостовых переходов на автомобильных дорогах Алтайского края.

В настоящее время определение сметной стоимости в строительстве устанавливает коэффициенты оборачиваемости для конструкций временных искусственных сооружений (РДС 82-201-96), возводимых на период проведения работ по капитальному ремонту и реконструкции мостовых переходов [1, 2]. Коэффициент оборачиваемости для металлических пролетных строений временных мостов равен 0,1 (десятикратная оборачиваемость), соответственно, в состав цены контракта входит лишь десятая доля от настоящей стоимости металлоконструкций.

Подрядные организации, осуществляющие деятельность, связанную с проведением капитального ремонта и реконструкции автомобильных мостов на автомобильных дорогах, часто сталкиваются с необходимостью возведения временных мостов. Конструкции пролетных строений временных мостов разрабатываются индивидуально проектной организацией (на основании технического задания Заказчика), в результате чего каждый новый временный мост конструктивно значительно отличается от предыдущего.

В рамках исследования рассмотрены различные конструкции пролетных строений временных мостов, на трех объектах реконструкции и капитального ремонта мостовых переходов Алтайского края, выполненных подрядной организацией ООО «Альянс» с 2018 по 2020 годы и сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики временных мостов

Объект, год	Параметры моста	Конструкция ПС	Сметная стоимость 1 кв. 2021
2018 г. Временный мост через р. Поперечная в Поспелихинском районе Алтайского края	Схема 15+18+15 м Длина 48,7 м Г-4,5+Т×1,5 м	Металлические ПС с деревянной проезжей частью индивидуального проектирования. Металлические балки из двутавра №55Б1 с поперечными связями из уголка 80×80×8 мм	2706115 руб. С учетом $К_{об}$ = 0,1 270611,5 руб.
2019 г. Временный мост через р. Чарыш в Усть-Канском районе Республики Алтай	Схема 4×22 м Длина 88,2 м Г-4,5+2Т×1,0 м	Пролетное строение запроектировано индивидуально из труб диаметром 1020 мм с толщиной стенки 10 мм, длиной 22,0 м, объединенных металлическими поперечными диафрагмами	9825488 руб. С учетом $К_{об}$ = 0,1 982548,8 руб.
2020 г. Временный мост через р. Чумыш в Кытмановском районе Алтайского края	Схема 6х18 м Длина 108 м Г-4,5+2Т×0,75 м	Пролетные строения длиной 18 м из металлических двутавровых балок №70Ш1 с деревянной проезжей частью запроектированы применительно к типовому проекту серии 3.503.9-84	16116691 руб. С учетом $К_{об}$ = 0,1 1611669,1 руб.

По окончании работ по реконструкции или капитального ремонту, временные мостовые переходы, рассмотренные выше, были демонтированы и складированы на производственной базе организации, однако, дальнейшего применения их по назначению не предвидится.

Проанализировав данные, представленные в таблице 1, можно сделать вывод, что в период с 2018 по 2020 годы подрядная организация понесла убытки на 25,7 млн руб. в связи с применением конструкций пролетных строений временных мостов индивидуального проектирования с учетом коэффициента многократной оборачиваемости, но повторное их применение не представлялось возможным, в связи с отсутствием универсального подхода.

Вариантом выхода из подобного положения является применение универсальных сборно-разборных быстровозводимых пролетных строений временных мостов, конструкция которых отвечает следующим требованиям:

1. Максимальная длина пролетного строения не менее 60 м;
2. Длина пролета переменная и кратна 3 м;
3. Максимальный вес отдельного элемента пролетного строения не превышает одной тонны, что позволит ограничиться легким крановым оборудованием;
4. Конструкция пролетного строения должна обеспечивать возможность изменять его геометрические характеристики, в зависимости от массы и габарита пропускаемой нагрузки;
5. Конструкция должна быть многократно применяемой.

Самое распространенное такое решение – САРМ (средний автодорожный разборный мост). САРМ состоит из готовых типовых элементов и проектировался для решения тактических задач в военных целях, однако конструкция была разработана еще во времена СССР и «морально» устарела – максимальная длина одного балочного разрезного пролетного строения составляет 33 м, конструкции неизменны по длине и по величине пропускаемой нагрузки [3, 4].

Более подходящим и универсальным вариантом является быстровозводимый сборно-разборный мост «Тайпан» (рис. 1). Его основная идея состоит в том, что мост собирают подобно конструктору из отдельных элементов (панель, поперечная балка, ортотропная плита, опорная стойка) максимальной массой 800 кг (рис. 2). Сборка не требует применения спецтехники: собирается жесткий каркас посредством различных сборно-разборных соединений. Применение коротких блоков позволяет получить мосты практически любой длины, как с разрезными, так и неразрезными балочными пролетными строениями, рассчитанными на пропуск автомобильной нагрузки АК и НК или колонны специальной техники массой до 50 т каждая [5-8].



Рис. 1. Общий вид моста «Тайпан»

В Алтайском крае, где региональные автомобильные дороги состоят на балансе КГКУ «Алтайавтодор», которое выступает Заказчиком при проведении работ по реконструкции и ремонту мостовых сооружений, возможно рассмотреть вариант приобретения в собственность Заказчика комплекта универсального пролетного строения типа «Тайпан».

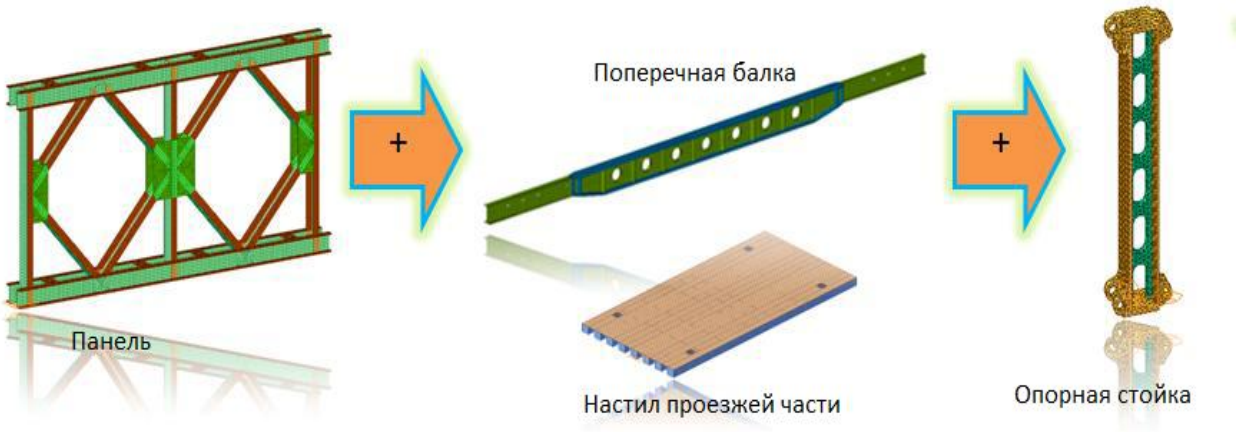


Рис. 2. Конструктивные элементы пролетного строения моста «Тайпан»

Таким образом, Заказчик получит возможность указывать в Техническом Задании на проектирование временного моста применение универсальных пролетных строений, имеющихся в его собственности, что позволит значительно сократить убытки подрядных организаций, сталкивающихся с рассмотренной проблемой и способствовать качественному развитию транспортной инфраструктуры региона.

Для внедрения вышесказанных предложений проводится дальнейшее развитие исследования в рамках магистерской диссертации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кручинкин А.В. Сборно-разборные временные мосты. М.: Транспорт, 1987 г, – 191 с;
2. Андрушко С.Б., Вуколов С.А., Бирюков О.Р., и др. Транспортные сооружения. Учебное пособие. СПб., 2019. – 284 с.
3. Дианов Н.П., Милородов Ю.С. Табельные автодорожные разборные мосты: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2009. – 236 с.

4. Вуколов С.А., Бирюков О.Р. Пути повышения живучести мостов на транспортных коммуникациях. В сборнике: Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. 2019. С. 156-162.
5. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, В.Г. и др. /СПб: ВАТТ, 2015. 312 с.
6. Бокарев С.А., Проценко Д.В. О предпосылках создания новых конструкций временных мостовых сооружений. «Науковедение». Выпуск 5(24), сентябрь – октябрь 2014.
7. Беликов И.П., Бахтиаров И.П. Временные мосты //Транспортное строительство. 1989 г. №3, с. 15-16.
8. Белихин С.В., Лабусов Н.В., Греян А.А., и др. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков. Неделя науки СПбПУ. Материалы НК с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 44-46.

УДК 625.745.8

И.А. Литвинова, А.С. Соколова, Д.В. Лунёв
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель работы – анализ влияния освещенности автомобильных дорог на динамику аварийности на них.

Для достижения поставленной цели были изучены документы, нормирующие различные показатели освещения на дорогах. Далее приведена статистика дорожно-транспортных происшествий с распределением по времени суток за последние 3 года. Сделан вывод о взаимосвязи недостаточной освещенности на дороге в темное время суток и аварийности.

Для обеспечения безопасности на автомобильных дорогах необходимо соответствие существующих условий предъявляемым требованиям, описанным в нормативной документации. Основным документом, регламентирующим освещенность на автомобильных дорогах, является ГОСТ Р 58107.1-2018 «Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета» [1, 2]. Согласно данному документу нормы освещения отличаются в зависимости от категории дороги. Так, для дорог со стандартной геометрией и асфальтобетонным покрытием нормируются минимальные значения следующих показателей:

- средняя яркость (от 0,40 до 1,6 кд/м^2);
- общая равномерность яркости дорожного покрытия (от 0,35 до 0,40 кд/м^2);
- продольная равномерность яркости дорожного покрытия (от 0,40 до 0,70 кд/м^2);
- средняя освещенность (от 8 до 20 кд/м^2);
- равномерность освещенности на дорожном покрытии (от 0,25 до 0,35 кд/м^2).

Пороговое приращение яркости (не более 10-15%) и коэффициент периферийного освещения (не менее 0,35) нормируют для проезжей части дорог независимо от их геометрии и типа покрытия.

При снижении интенсивности движения транспорта соответственно до 1/3 и 1/5 максимального значения в ночное время для дорог категорий I и II допускается снижение нормы средней яркости или освещенности в это время суток на 30% и 50% соответственно.

Одновременно со снижением трафика снижается и количество дорожно-транспортных происшествий, на рисунке 2 показана статистика произошедших ДТП за последние 3 года на территории России [3]. Минимальное число ДТП, около 1700, происходит в период с 4 до 5 часов утра. Это в 6,82 раз меньше, чем в период с максимальным числом ДТП, то есть с 18 до 19 часов, в среднем 11500 случаев. На рисунке 3 приведена статистика распределения по времени суток общего числа дорожно-транспортных происшествий, погибших и раненых в них за 2020 год. Число погибших в ДТП за один час колеблется от 318 до 1198. В ночное время

значительно возрастает доля ДТП с погибшими (рис. 4), что является наиболее важным показателем безопасности на дорогах. Процент раненых во время ДТП в ночное время меняется в различные часы, однако заметно выше по сравнению с дневным (рис. 5). В целом доля аварий, происходящих в темное время суток, составляет 34,6% от всех [2].

Одной из причин травматизма на автодорогах является неправильное освещение, в том числе в зоне пешеходных переходов. Отсутствие пешеходного освещения нарушает требования ГОСТ Р 52766-2007 и не дает водителю заранее увидеть пешехода, чтобы вовремя снизить скорость. Также проезжая часть должна быть освещена светильниками вдоль, чтобы водители имели возможность хорошо рассмотреть дорогу и увидеть встречную машину даже в ночное время [4].

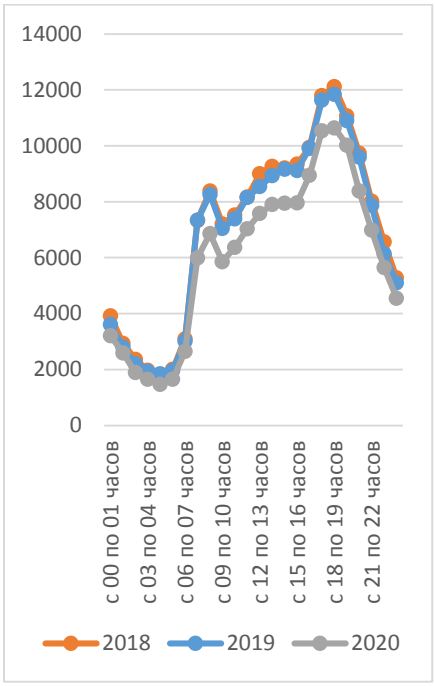


Рис. 2. Общее число ДТП за 2018-2020 гг.

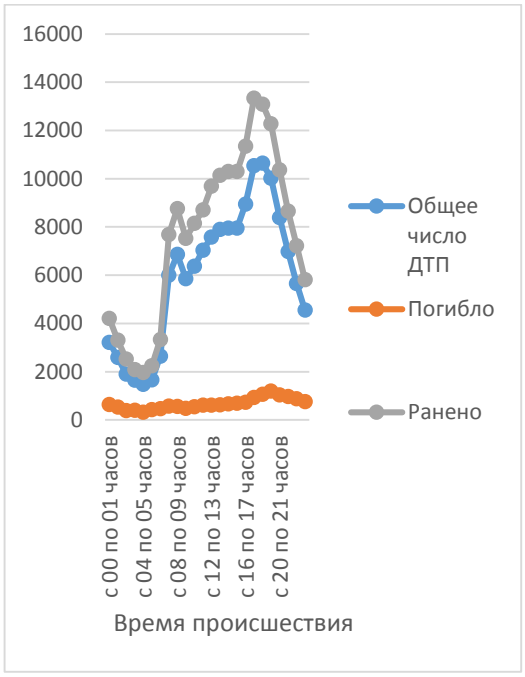


Рис. 3. Статистика ДТП за 2020 г.

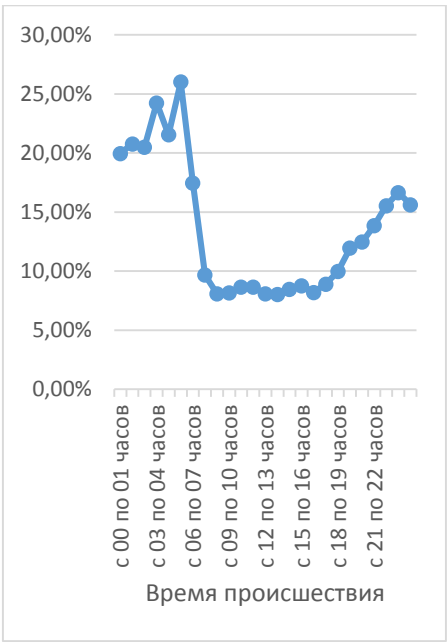


Рис. 4. Процент числа погибших от общего числа ДТП

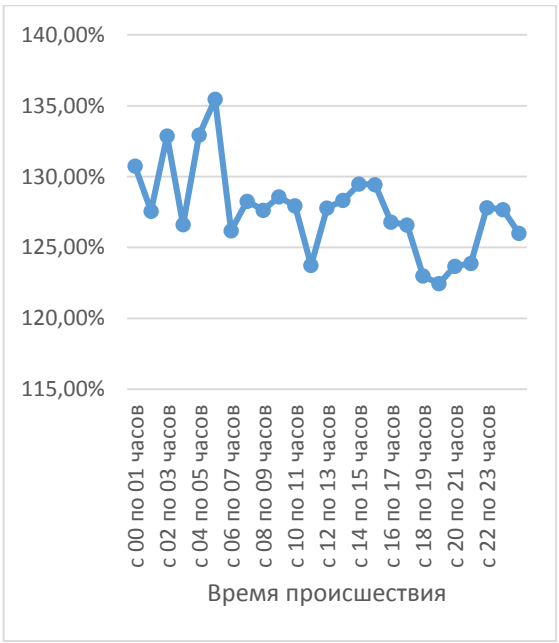


Рис. 5. Процент числа раненых от общего числа ДТП

На городских улицах одним из основных факторов, приводящим к высокому уровню аварийности в темное время суток является недостаточное обеспечение яркости и горизонтальной освещенности приезжей части улицы [5].

По ряду исследований тяжесть последствий ДТП увеличивается на 30-40% в темное время суток. Количество летальных исходов ночью по данным статистики ДТП на дорогах в зонах застройки и пригородов составляет около 45% при снижении интенсивности движения в 3 раза [6, 7].

Таким образом, недостаток освещенности напрямую влияет на высокую долю аварийности в ночные и, в частности, предрассветные часы. Для ее снижения необходимо доведение требуемых показателей до нормативных, прописанных в указанных выше документах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, и др. СПб.: ВАТТ, 2015. 312 с.
2. Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В. и др. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог. Учебное пособие. СПб.: ВАМТО, 2018. с.182
2. Показатели состояния безопасности дорожного движения – URL http://stat.gibdd.ru/ – (дата обращения: 20.02.2021).
3. Доброгорская Л.В., Лазарев Ю.Г., Федотов В.В. Применение информационного моделирования при диагностике и обследовании мостовых сооружений. / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 223-227.
4. Пестерева А. А., Повышения безопасности автомобильного движения в населенном пункте с учетом факторов освещенности автомобильных дорог. Современные научные исследования: теория, методология, практика. с. 76-84.
5. Коновалова Т.В., Афанасьев О.В., Влияние освещенности и яркости проезжей части на безопасность дорожного движения в городах в темное время суток. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности – №2, с.61-71 – 2013
6. Недосекина В.В., Айыдов Д.Н. Анализ влияния уличного освещения на ДТП. Символ науки. №7 2018.
7. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий. Технико-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56-60.

УДК 691.168

П.Н. Полудницына, А.В. Бердник, К.А. Лукина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА В НОВЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

В настоящее время использование вторичных и восстановленных материалов набирает популярность на фоне возрастающего внимания к проблемам ограниченности ресурсов и утилизации отходов. Асфальтобетонный гранулят (АБГ) – материал, который образуется в процессе фрезерования отработавшего асфальтобетонного покрытия. Актуальность использования АБГ заключается в том, что его регенерация является ресурсосберегающей технологией, которая снижает стоимость новых асфальтобетонных смесей и исключает затраты на утилизацию.

В зарубежных странах регенерированный асфальт известен как «RAP» (сокращенно от «reclaimed asphalt pavement» – восстановленное асфальтовое покрытие). Переработка снижает потребность в не возобновляемых природных ресурсах и также снижает энергию и выбросы, связанные с добычей и транспортировкой исходного сырья. Экономическая выгода достигается за счет снижения затрат на строительные ресурсы в результате замены части заполнителей и вяжущих возвратными материалами.

Для того чтобы наиболее наглядно сравнить развитие технологии использования RAP в разных странах, были составлены сводные диаграммы. Данные о проценте возвращения АБГ в состав новых смесей в России отсутствуют.

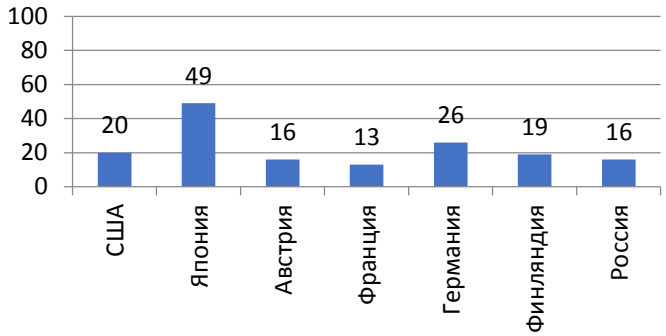


Рис. 1. Сравнительные процентные показатели содержания RAP
в составе новых асфальтобетонных смесей

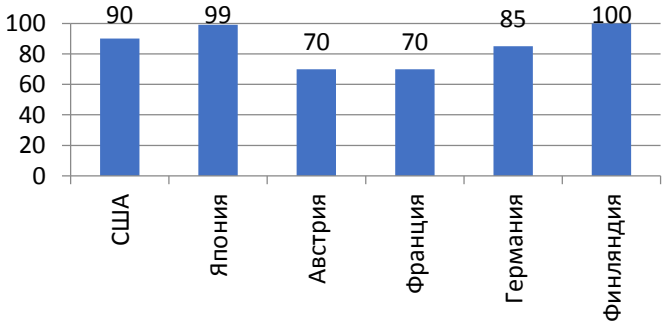


Рис. 2. Сравнительные процентные показатели объема АБГ,
возвращенного в состав новых асфальтобетонных смесей

1. США

RAP – самый перерабатываемый материал в Соединенных Штатах Америки. Еще с 1970-х годов из-за увеличения стоимости вяжущего стали проводиться исследования смесей со степенью содержания RAP от 30 до 70%. Но в ходе испытаний были выявлены проблемы с эксплуатационными характеристиками материала, его однородностью и другими показателями, что привело к значительному снижению интереса и доверия к асфальтобетону с высоким содержанием RAP. Поэтому после проведенных испытаний, процентное содержание RAP для проведения новых исследований было снижено до 10-25% [1].

Недавние исследования Национальной ассоциации асфальтовых покрытий (NAPA) показали, что в США среднее по стране содержание RAP в последние годы неуклонно растет, и в настоящее время его содержание составляет около 20% [2].

Согласно статистике за 2017 г., общее количество RAP, используемого в асфальтовых смесях, составило 76,2 млн т и возросло приблизительно на 36% по сравнению с 2009 г. Процент материала, возвращенного в состав новых смесей, составил более 90%. В общей сложности повторное использование RAP сэкономило более 2,1 млрд долл. США (159 млрд руб.) [3].

2. Япония

В отличие от США, в Японии RAP занимает собой в среднем 49% в составе смеси, так как переработка старого асфальтового покрытия является стандартным технологическим процессом. Но началась переработка асфальтогранулята в Японии практически в то же время, что и в США, а именно в 1970-1980х годах. Японские разработки оказались более успешными с точки зрения повышенного содержания RAP в составе асфальтобетона [4].

На данный момент в Японии около 1150 асфальтовых заводов, которые производят около 50 млн. тонн горячей асфальтобетонной смеси ежегодно, из которых смеси с RAP составляют около 38 млн. тонн. Среднее содержание RAP в асфальтобетонных смесях увеличилось с 33% до 47% с 2000 по 2013 год. Его итоговое среднее содержание варьируется в среднем от 20% до 60% в зависимости от расположения регион [4].

3. Европа

Европейская ассоциация асфальтовых покрытий (EAPA) работает над тем, чтобы асфальт использовался с точки зрения его ценности, а исследования, касающиеся разработки новых технологий, имели достаточную поддержку. На данный момент в эту организацию входят национальные промышленные ассоциации из 15 европейских стран. Ежегодно готово к использованию около 50 млн. т регенерированного асфальта. За последние 25 лет развития технологии содержание RAP в новых смесях может достигать 90% [5].

По данным EAPA за 2017 год, в таких странах, как Австрия и Франция, процент возврата RAP в смеси составлял около 70%, в Германии около 85%, а в Финляндии практически 100% регенерированного асфальтогранулята вернулось в состав смесей [6].

Отдельно следует обратиться к опыту ФРГ. RAP в Германии в экономически значимых масштабах применяется с 1978 г. В 1994 году был достигнут максимальный объем производства в 69 млн т. Количество используемого в составе асфальтобетонных смесей RAP увеличилось с 0,3 млн т в 1982 г. до приблизительно 11,5 млн т в наши дни [7].

4. Россия

На данный момент существует большое количество предпосылок для развития технологии регенерации асфальтогранулята в нашей стране. Во-первых, это общемировой положительный опыт. Во-вторых, нарастание объемов строительства и ремонта дорог требует совершенствования методик, благодаря которым количество отходов, требующих утилизации, снизится, а потребность в новых материалах частично покроется за счет повторной переработки возвратных материалов. Чтобы успешно применять АБГ в объеме 30-40 % от общего объема смеси, необходимо использовать омолаживающие добавки, которые восстанавливают и модифицируют свойства битума.

Несмотря на отставание российских технологий от Японии, США и Европы, к 2015 году на базе АБЗ-1 были спроектированы асфальтобетонные смеси со средним содержанием RAP 10%, а к 2017 году его процентное содержание выросло до 16% [6].

По данным информационного портала «ДорИнфо» в 2019 году был проведен ремонт двух дорог с применением RAP. На первом опытном участке было выполнено устройство нижнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси SP-19 по ПНСТ 114-2016 (с 2019 недействующий, заменен на ГОСТ Р 58401.1-2019) с применением 10 % и 20 % RAP толщиной 6 см. Верхнее покрытие устроили из ЩМА-12 по ПНСТ 127-2016 (с 2019 недействующий, заменен на ГОСТ Р 58401.2-2019) с применением 10 % RAP толщиной 4 см. На втором опытном участке нижний слой выполнен из асфальтобетона SP-19 с применением 20 % RAP по ГОСТу Р 58401-1-2019 толщиной 6 см. Верхний слой выполнен из ЩМА-19 с применением 10 % RAP по ГОСТ Р 58401.2-2019 толщиной 5 см [8]. Ведется мониторинг работы конструкции дорожного покрытия.

В настоящее время разработана стратегия развития инновационной деятельности в области дорожного хозяйства на период 2021-2025 гг. В области исследований асфальтобетона

поставлена цель усовершенствовать нормативную базу на асфальтобетонные смеси путем мониторинга применения разработанных систем проектирования АБС, лабораторных исследований и натурной апробации новых видов асфальтобетонов. Даная инициатива напрямую стимулирует развитие новых технологий, применяемых для проектирования асфальтобетонных смесей [9]. Она напрямую пересекается с областью экологии и ресурсосбережения, где также сделан акцент на разработку методических пособий на правила проектирования асфальтобетонных смесей с применением RAP и отработку технологий повторного использования асфальтобетона для дорожного строительства [10].

Мировой опыт показывает, что применение RAP в производстве асфальтобетонных смесей – это оптимальный вариант утилизации АБГ. Покрытие с RAP лучше сопротивляется пластическому колееобразованию из-за более жесткого состаренного битума в составе, в результате сокращается величина колейности. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что использование RAP в составе горячих АБС будет только возрастать.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Zaumanis M., Mallick R.B., Frank R. 100% hot mix asphalt recycling: challenges and benefit. // 6th Transport Research Arena April 18-21, 2016. 3493 – 3502.
2. Randy C. West. Best Practices for RAP and RAS Management. Quality Improvement Series 129 – NAPA. USA. 2015.
3. Крупнин Н.В. Теория и практика повторного применения дорожного асфальтобетона. // Круглый стол №9 Ассоциации «Р.О.С.АСФАЛЬТ». Казань. 16-18 октября 2018 года.
4. West, C.R.; Copeland, A. High RAP Asphalt Pavements–Japan Practice–Lessons Learned–NAPA, Information Series 139; National Asphalt Pavement Association (NAPA): Lanham, MD, USA, 2015.
5. European Asphalt Pavement Association–EAPA. The use of secondary materials, by-products and waste in asphalt mixtures. EAPA Position Paper; EAPA: Brussels, Belgium, 2020.
6. Калинин В.В. Применение RAP при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей. Опыт ГК АБЗ-1. // IV конференция «Безопасная дорога. Стратегия безопасности дорожного движения до 2024 года». Москва. 23-24 апреля 2019 года.
7. Майданова Н.В., Мельник К.И., Покровский А.В., Шибалов С.А. Инновационные асфальтобетонные смеси. // Дороги России. № 1 (115). С. 44-55. 2020.
8. Современные технологии производства асфальтобетона в России: опыт применения на трассах Таврида, М-4 Дон и М-1 Беларусь. URL: https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=79940
9. Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества //Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11-2. С.170-179.
10. Об утверждении стратегии развития инновационной деятельности в области дорожного хозяйства на период 2021-2025 годов. Распоряжение № 771-р от 03.03.2021.

УДК 691.175.3

Г.В. Жаворонков, В.А. Трепалин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМА ИЗНОСА ВЕРХНИХ СЛОЕВ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Целью работы является анализ эксплуатации дорог и проблемы износа верхних слоев дорожного покрытия.

В статье на основе анализа научных публикаций рассмотрен опыт восстановления дорог методом пропитки в поверхностном распределении вяжущего и щебня.

Во время эксплуатации дорог часто возникает проблема износа верхних слоев дорожного покрытия, образования мелких трещин на нем, и потеря шероховатости покрытия [1]. Одним из способов восстановления исходных характеристик дороги является замена верхнего слоя асфальтобетона, но такой метод решения проблемы дорог и ремонт дороги занимает

продолжительное время. Выходом из сложившейся ситуации является поверхностная обработка покрытия способом пропитки (ОДМ 218.3.054-2015).

Одиночная поверхностная обработка сводится к одиночному розливу вяжущего на подготовленную поверхность и распределению щебня по его поверхности тонким слоем. При этом интервал между розливом битума и укладкой щебня должен быть сведен к минимуму, до момента загустевания вяжущего. В противном случае качество выполненных работ резко падает, из-за отсутствия адгезии между битумом и щебнем. Для повышения адгезионных свойств битума в период недостаточных температур требуется предварительный прогрев битума и эмульсии до требуемых значений по [3-5]. Россыпь щебня производиться сразу после розлива эмульсии, равномерным слоем, без наличия пропусков и проплешин.

Одиночная поверхностная обработка с двукратной россыпью щебня сводиться к тому, что количество проходов щебнераспределителя возрастает, фракция распределяемого щебня уменьшается и происходит эффект «расклинцовки».

Технология двойной поверхностной обработки поверхности сводиться к тому, что сначала производятся работы по распределению 30% эмульсии от требуемого значения, после выполняется распределение щебня в количестве 70%, затем разливается оставшееся эмульсия по поверхности и производиться россыпь оставшегося щебня. После выполнения работ, на ремонтируемом участке, скорость ограничивается до 40 км/ч на 2-3 суток, по истечению временного промежутка весь не закрепившийся щебень удаляется.

Требования к материалам и погодным условиям. Обрабатываемая поверхность должна быть чистой и сухой, при необходимости грунтуется жидким битумом. Температура окружающей среды должна быть не ниже +15˚С при обработке битумам и не ниже +5˚С при обработке эмульсиями [4-6].

Решение по предварительной обработке щебня вяжущим в установке (черненного) принимается по результатам лабораторных исследований сцепления щебня с вяжущим. Для чернения рекомендуется применять битумы марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, МГ 130/200, МГ 70/130.

Для подготовки основания к выполнению работ, как правило, используются подметательные, подметально-уборочные машины, реже вакуумные подметально-уборочные машины (рис.1). Подбор техники ведется исходя из ширины полосы и емкости бункера.

Автогудронаторы (рис. 2) для распределения, вяжущего подбираются исходя из условий ширины дорожной полосы и вместимости бункера.



Рис. 1 Вакуумная подметально-уборочная машина МВП-50121-К20-02



Рис. 2. Автогудронатор АС-43253

Машины с большим объемом бункера являются предпочтительнее, так как минимизируются временные потере связанные с дозаправкой, следовательно, возрастает производительность дорожной техники и качество выполняемой работы.

Щебнераспределительная спецтехника может быть представлена в трех исполнениях. В качестве самостоятельной единицы, прицепного оборудования и как навесное оборудование к

каткам, автосамосвалам (рис. 3 и 4). Также есть отличия по типу хода (движения), он может быть прямой и обратный. Основной задачей техники является равномерной распределения щебня на требуемую ширину, с установленным расходом по ширине покрытия.



Рис. 3. Щебнераспределитель MASSENZA GRIT SPREADER



Рис. 4. Прицепной щебнераспределитель БЦМ-70

Для укатки слоя щебня используются катки массой 6-8 тонн, с гладковальцовыми катками. Существуют строительные машины, замещающие по своему функционалу несколько операции, например, розлив вяжущего и распределение битума (рис. 5).



Рис. 5. Битумощебнераспределитель ДС-180

В статье была рассмотрена новая технология проведения ремонта дорог, которая является перспективной, в сравнении с традиционными способами ремонта. Она дешевле, быстрее и менее трудоемкая.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н. А., Лазарев Ю.Г., Алексеев С. В., Симонов Д. Л. и др. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог (учебное пособие) СПб.: ВА МТО, 2018 г.
2. Аверченко Г.А., Мухаррямов И.Р. Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10 (11). С. 6-16..
3. Mukharryamov I., Averchenko G. Improvement of analysis and design of road pavements using nepheline sludge. Architecture and Engineering. 2020. № 3(5). Pp. 63-69.
4. 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.37-395.
5. Лазарев Ю., Медрес С., Рати Ж., Бондаренко А Метод оценки и прогнозирования температурного режима дорожного покрытия как фактор безопас.ности дорожного движения, 2017. Transportation Research Procedia; С. 396-400.
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.

УДК 656.056.4

А.А. Черных, Д.А. Серебров, Е.П. Мясникова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Актуальность. По современным требованиям при разработке улично-дорожной сети на крупных магистралях и дорогах необходимо предусматривать АСУДД, но не всегда это представляется возможным в условиях существующей застройки. Поэтому существует необходимость выявить наиболее эффективную систему управления дорожным движением и внедрять ее с минимальным количеством потерь.

Цель работы – выявить наиболее эффективную систему автоматизированного управления дорожным движением.

С каждым днем число автомобилей неуклонно растет, и то, что в больших городах на дорогах образуются километровые пробки уже, становится обыденным. Технологии также не стоят на месте, в современном мире существует возможность управлять огромным количеством систем дистанционно. С помощью гаджета можно управлять бытовой техникой, находясь за сотни километров от дома. Подобно технологии «Умный дом», в которой преобладает беспроводное управление предметами, в системах улично-дорожной сети применяются так называемые «умные» светофоры. Такие светофоры оснащены промышленными интерфейсами, что позволяет использовать их в составе автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД), которая в свою очередь повышает эффективность организации дорожного движения.

АСУДД состоит из центрального пункта управления (ЦПУ), точек адаптивного управления дорожным движением, снабженных интеллектуальными контроллерами и детекторами транспорта, обеспечивающих реализацию специфических технологических алгоритмов управления дорожным движением, информационное взаимодействие с ЦПУ, системных детекторов, сообщающих в ЦПУ сведения о транспортных потоках, системных контроллеров, управляемых из ЦПУ непрерывно или периодически [1].

Система АСУДД дает возможность автоматически управлять режимами работы светофоров, и, анализируя обильность транспортных потоков, изменять фазу работы светофоров по команде из управляющего центра. Всё это возможно в режиме реального времени. Сбор информации для анализа дорожной ситуации происходит средствами периферийного оборудования, такими как детекторы транспорта и камеры видеонаблюдения, а также светофорные объекты.

Данные о транспортных потоках накапливаясь в течение продолжительного времени позволяют определить максимальную пропускную способность улично-дорожной сети, что является основой для построения математической модели движения транспорта по улично-дорожной сети [2].

Обработанная информация о транспортных потоках позволяет разработать программно-аппаратный инструментарий [3], который дает обоснованные решения по управлению транспортными потоками современного крупного города.

Разработка АСУДД в составе проекта УДС необходима в городах-миллионниках, т.к. значительно упрощается организация дорожного движения, сокращается количество транспортных заторов и движение становится более безопасным [4].

Большое значение имеет способ подключения оборудования АСУДД. Для функционирования автоматической системы управления и взаимодействия периферийного оборудования чаще всего возникает необходимость в создании линий связи и прокладке

кабельных линий (оптоволоконных или медных). Такой способ подключения АСУДД обеспечивает бесперебойную и стабильную работу системы.

Но иногда затруднительно внедрить АСУДД в условиях существующей застройки, где уже проведены все инженерные сети, ведь прокладка кабельных линий требует места, изучения условий прокладки, согласований с проектировщиками существующих сетей. Конечно, в настоящее время существуют беспроводные модули связи, которые позволяют сэкономить множество ресурсов при установке АСУДД [5]. Но при таком подключении в работе системы часто случаются сбои, близко стоящие здания могут служить помехами для связи, дальность связи ограничена расстоянием до 1,5 км. Наглядное сравнение способов подключения системы АСУДД приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства АСУДД, подключенной беспроводным и проводным способами

Основные показатели	Подключение с прокладкой оптоволоконного кабеля	Беспроводное подключение с помощью роутера
Необходимость в поиске места для прокладки линий связи	Нужно место для КЛ	Нет необходимости
Вероятность механических повреждений (обрыв кабеля связи)	Высокая	Низкая
Стоимость работ (рытье траншей, подключение)	Высокая	Низкая
Мобильность (простота перемещения с места на место)	Низкая	Высокая
Простота эксплуатации	Сложно	Просто
Надежность	Высокая	Низкая
Устойчивость к помехам	Высокая, помех не возникает	Электромагнитные помехи случаются
Расстояния	Большие	Небольшие

Проанализировав свойства автоматизированной системы управления дорожным движением и способы ее подключения, можно сделать вывод, что дистанционное управление светофорными объектами – это неотъемлемая часть современной организации дорожного движения и необходимо прикладывать множество усилий для развития данных систем. Становится понятно, что будущее за беспроводными сетями, и необходимо стремиться создавать удалённое управление режимами работы светофора при отсутствии выделенной линии связи от центрального диспетчерского пункта до светофорного контроллера, но такая система требует доработок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кушнарева И. В., Панкратова В. А. Внедрение АСУДД на базе программы интеллектуальных транспортных сетей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 5-3 (25-3). С. 262-267.

2. Шумков А.Г., Бояршинов М.Г., Васькина Е.В. Характеристики транспортного потока на основе данных камер видеофиксации нарушений правил дорожного движения // Прогрессивные технологии в транспортных системах. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. Оренбургский государственный университет. 2019. С. 699-705.

3. Okhota A.S. Application of modern simulation methods in the automated systems of traffic management // Youth. Society. Modern science, technologies & innovations. 2017. №16. Pp. 302-303.

4. Морозов В.В., Карнаухов В.Н., Ярков С.А. Совершенствование модели влияния концентрации транспортного потока на интенсивность движения автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 1. С. 98-105.

5. Беспроводные модемы и роутеры на службе у автоматических систем управления дорожным движением // ИСУП. 2015. № 5(59).

UDC 624.21/.8

K. Saif, S.V. Alekseev
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

BRIDGE SAFETY IS NOT FOR GRANTED-APPROACH TO BRIDGE MANAGEMENT

Bridges are crucial points of connection in the transport system, underpinning economic vitality, social well-being, and logistics of modern communities. Bridges have also strategic relevance, since they support access to emergency services (hospitals) and utilities (water supplies). Bridges are mostly exposed to natural hazards, in particular riverine bridges to flooding, and disruption could lead to widespread negative effects. Therefore, protecting bridges enhances the resilience of cities and communities.

Currently, most of the countries are not able to identify bridges at higher risk of failure, due to the unavailability of high-quality data, the mix ownership of the assets or the lack of a risk-based assessment. This paper introduces a risk-based approach to bridge management, alongside the gaps of current methodologies.

Bridge Management Systems (BMSs) are used to systematically control the bridge stock, and ensure both safety and performance. BMSs are functional at a range of levels (executive, planning, administrative, maintenance) for: (i) collecting inventory data in a systematic and organised way; (ii) carrying out inspections and damage assessment; (iii) planning repair and maintenance schedule; (iv) allocating funds.

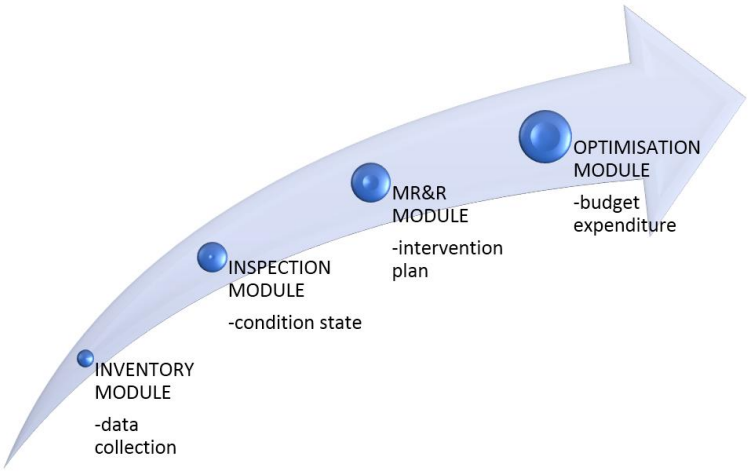


Fig. 1. The traditional modular structure of a Bridge Management System (BMS)

A BMS traditional structure includes four standard modules [1] (Fig. 1).

1. The Inventory Module collects data regarding the bridge stock;
2. The Inspection Module collects inspection data to classify the condition state;
3. The Maintenance, Repair and Rehabilitation (MR&R) Module monitors short-term and long-term plans for intervention;
4. Finally, the Optimisation Module integrates the previous modules for budget-expenditure forecasts.

The specific benefits from implementation of a BMS are as follows: 1. Improved organized knowledge of the condition of bridges in a network. 2. Structured comparisons of bridge condition across the network. 3. Prioritized or optimized lists of bridges needing MR&R actions. 4. Life-cycle cost estimates associated with projected MR&R activities. 5. Mechanisms for improving historical predictions. 6. Projections of bridge performance and deterioration (improved models). 7. Data to quantify the effectiveness of MR&R strategies. 8. Better scheduling of minor bridge maintenance. 9. More rational programming of limited funds.

A risk based approach for bridge assessment. The last decades have witnessed the shift from "fighting" natural hazards to "managing" the risk from them [1]. These risk-based approaches provide a methodological framework formed by three elements: hazard, exposure, and vulnerability. Such methods are particularly suitable for low-probability high-impact events, such as floods.

All riverine bridges are subjected to the risk of flooding, as naturally located upon rivers. Different consequences arise from floods depending from the hazard intensity and the vulnerability of the bridge. The vulnerability does not come from the type of structure alone (e.g. bridge design, material), but includes a range of influential factors, such as the catchment topography or the load intensity.

It is of note that existing BMS modules differ from the "risk modules", probably because the notion of risk is relatively recent; environmental considerations (e.g. an "environmental module") is then missing from current management systems.

- Hazard assessment

The hazard module deals with simulating a range of flooding scenarios and each event is defined by a specific Intensity Measure (IM e.g. flood depth, velocity, etc.), location and probability of occurrence based on historical data. The river flow is governed by rainfall duration and intensity, as well as by ground conditions (saturation, permeability); saturated grounds can amplify impacts, especially in the case of storm clusters. The type of drainage and the catchment topography can deeply influence the flooding impact on structures; for example, steep catchments are characterised by high velocity floods and debris, while open catchment are likely to be impacted more by inundations rather than water velocity.

- Exposure of the bridge stock

An optimal asset management starts with complete data of the assets, i.e. the exposure [2], [3]. The exposure contains details of the location, value and characteristics of the "assets at risk", i.e. bridges potentially subjected to damage or disruption. Information can be derived from geo-information systems, inspections, and other available datasets; these are objective properties, independent from the hazard.

The US National Bridge Inventory (NBI, see Sec. 2) is a good example of a modern database with a standard format.

In England, multiple authorities are responsible for the bridge stock: (i) Network Rail, for railway bridges; (ii) Highways England, for most motorways and few A road bridges; (iii) local authorities, for few highway bridges, most A road bridges and local bridges at county level. Each authority has his own method of data collection and risk assessment; although some best-practice is shared through national forums (e.g. the Bridge Owner's Forum; the Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport – ADEPT), the consistency and quality of record is not satisfying [4]. Well-known relations, local knowledge and expert opinion can support assumptions for covering some gaps in the datasets (for example, assuming the structure type based on material and age); however, this type of reasoning is not always reliable and generally time-consuming.

- Vulnerability and damage modelling

The vulnerability is the susceptibility of exposed elements of being damaged by adverse events. The damage estimation consists of evaluating costs and losses, under different load conditions of hazard. Worldwide, Damage Functions (DFs) are recognised as the standard method for urban flood assessment, and a wide range of research is present in the literature [5, 6]. DFs relate hazard IMs to the damage experienced by the object at risk, representing its susceptibility to the hazardous event.

Traditionally, DFs presents the monetary damage for buildings affected by floods according on the building use and typology (e.g. similar buildings have the same DF). Less research has been done for infrastructure; models such as HAZUS-MH computes physical damages of roads and bridges [7, 8], while very limited research investigates on their functionality loss. This area requires more research, but such development is out of the scope of this study.

Conclusion

The current unavailability of high-quality data and the consequent lack of understanding of bridge performance jeopardise bridge safety, and hinder the ability to prioritise resources. The UK, as for many other countries, should not take bridge safety for granted and should take precautionary preventative action for defining a new programme for bridges at risk of floods.

Within a risk-based approach, being aware of the exposure condition (i.e. assets state) is fundamental to control and manage local and national infrastructure threatened by natural hazards. Currently, a range of authorities manages bridges and their in-house systems have different degrees of sophistication and methods, preventing the possibility of drawing a clear and coherent picture across the country. There is a consensus in advancing a consistent methodology, and a formal procedure, for conforming information, aiming at better analysis and assessment. In particular, the creation of a national bridge database would enable the meaningful identification and comparison of risks to bridges across the country, building a deep knowledge of the national bridge stock.

REFERENCES:

1. IPCC-Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), NY, USA (2012)
2. Herath S. Flood damage estimation of an urban catchment using remote sensing and GIS International training program on total disaster risk management (2003)
3. Robert W.E., Marshall A.RShepard., R.W., Aldayuz J. Pontis bridge management system 9th international bridge management conference transportation research. Circular Number E- C049: Orlando, Florida (2003)
4. Penning-Rowsell E., Priest S., Parker D., et al. Flood and coastal erosion risk management: A Manual for Economic Appraisal Routledge, Middlesex (UK); 2013.
5. Smith D.I. Flood damage estimation–a review of urban stage damage curves and loss functions; Water SA, 20 (1994), pp. 231-238
6. Pregnolato M., Galasso C., Parisi F. A compendium of existing vulnerability and fragility relationships for flood : preliminary results; T. Haukaas (Ed.), (2015). Proceedings of the 12th international conference on applications of statistics and probability in civil engineering (ICASP12), Vancouver, Canada, July 12-15 (2015)
7. Scawthorn C., Blais N., Seligson H., et al. HAZUS-MH flood loss estimation methodology. I: overview and flood hazard characterization; Nat Hazard Rev, 7 (2006), pp. 72-81
8. Scawthorn C., Flores P., Blais N., et al. HAZUS-MH flood loss estimation methodology. II: damage and loss assessment Nat Hazard Rev (2006)

УДК 624.21.095

А.А. Трифонова, С.В. Алексеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВИДЫ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Деформационные швы автодорожных мостов предназначены для свободного перемещения пролетных строений под воздействием транспортных, температурных и иных воздействий.

Выделяют три типа конструкций швов: Д.Ш. закрытого типа, Д.Ш. заполненного типа, Д.Ш. перекрытого типа [1].

Основной элемент, воспринимающий напряжения от силовых воздействий на конструкцию Д.Ш. в закрытых и заполненных типах – заполнитель шва. В статье рассматриваются основные виды заполнителей с оценкой их эффективности с точки зрения обеспечения прочности и надежности конструкции Д.Ш. и отсутствия негативного влияния на эксплуатационные свойства прилегающих частей моста [2, 3].

Наиболее эффективные виды заполнителей по критерию обеспечения прочности и надежности среди Д.Ш. закрытого типа – щебеночно-мастичный заполнитель с металлической

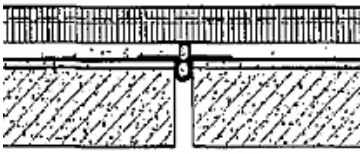
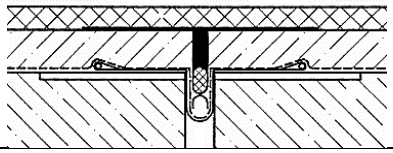
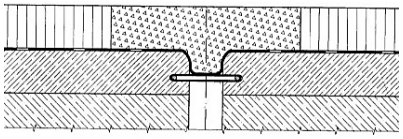
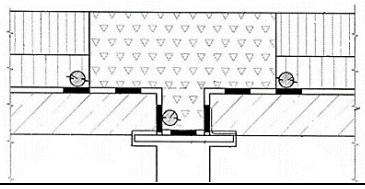
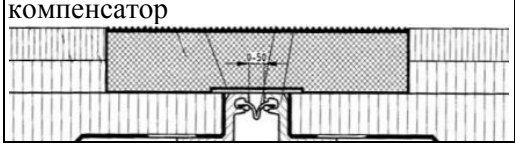
опорной пластиной и дренажными элементами; среди швов заполненного типа: V-образный компенсатор в виде двойной ленты; V-образным компенсатором с перекрывающим листом.

Для реализации требуемой надежности конструкции моста необходимо, чтобы деформационные швы в течение длительного периода сохраняли заложенную конструктивную прочность [4]. Основной элемент Д.Ш., воспринимающий напряжения от нагрузок, – заполнитель.

В статье рассматриваются заполнители для Д.Ш. закрытых и заполненных типов, применяемые при строительстве мостов с малыми и средними пролетами [1, 5]. Для этого выбираются типовые [1] и новые модернизированные модели Д.Ш [5].

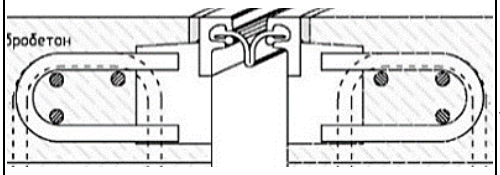
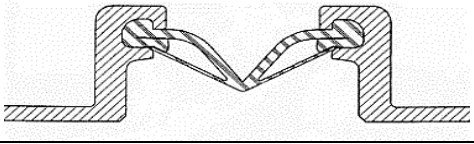
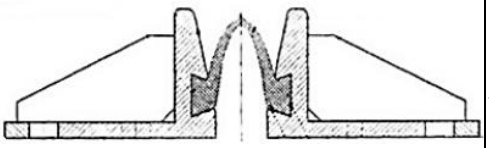
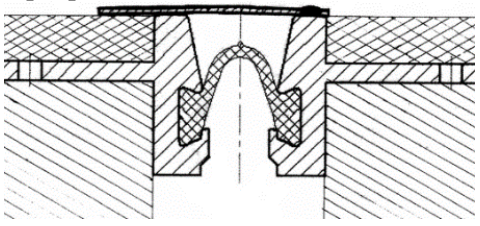
Цель статьи – рассмотрение основных видов заполнителей деформационных швов и их анализ по критерию обеспечения прочности и надежности.

Таблица 1 – Деформационные швы закрытого типа

Элементы заполнителя	Анализ конструкции
1. Битумно-мастичный заполнитель и АБ-покрытие 	1. Прочность рабочего материала (покрытие, битумно-мастичный заполнитель) и морозостойкость обеспечены при использовании дополнительного армирования (стальное, полимерное). 2. Герметичность не обеспечена: при возникновении трещин в асфальтобетоне – просачивание влаги, влагонакопление в бетоне пролетных строений и опор, потеря прочности данных элементов.
2. Битумно-мастичный и пористый заполнитель, АБ-покрытие, металлический компенсатор 	1. Прочность рабочих материалов обеспечена при армировании. 2. Герметичность: дополнительный выпуклый компенсатор обеспечивает сток влаги при трещинообразовании, вентиляцию и просушивание конструкции. 3. Негативное влияние на прочностные свойства прилегающих элементов моста минимально.
3. Щебеночно-мастичный заполнитель, металлическая опорная пластина 	1. Прочность основного заполнителя (щебеночно-мастичная смесь) обеспечена благодаря металлической пластине. Конструкция способна воспринимать значительные сжимающие и растягивающие напряжения. 2. Основной заполнитель не обеспечивает герметичность, необходимо устройство слоя гидроизоляции.
4. Щебеночно-мастичный заполнитель, металлическая опорная пластина, дренажные элементы 	1. Прочность основного заполнителя (щебеночно-мастичная смесь) обеспечена благодаря металлической пластине. 2. Заполнитель и смежные слои асфальтобетона содержат дренажные элементы, обеспечивающие герметичность заполнителя при образовании трещин.
5. Заполнитель: щебеночно-мастичная смесь, V-образный полимерный компенсатор 	1. Прочность основного заполнителя (щебеночно-мастичная смесь) увеличена за счет металлической опорной пластины и V-образного полимерного компенсатора (восприятие растягивающих напряжений). 2. Основной заполнитель не обеспечивает герметичность, необходимо устройство слоя гидроизоляции.

За основу анализа заполнителей Д.Ш. взяты следующие факторы: прочность рабочего материала заполнителя на основные нагрузки (растяжение, сжатие от температурных перемещений), морозостойкость (асфальтобетонные, битумно-мастичные, щебеночно-мастичные заполнители); стойкость к трещинообразованию, герметичность, конфигурация заполнителя, прочность креплений (полимерные материалы) [5-10]. Анализ конструкций основных и модернизированных деформационных швов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 2 – Деформационные швы заполненного типа

Элементы заполнителя	Анализ конструкции
1. V-образный компенсатор из полимерных материалов 	1. Прочность материала компенсатора достаточна. 2. Герметичность не обеспечена. Причины: быстрое образование трещин из-за засорения острыми частицами мусора и грязи; проколы полимера рабочим оборудованием снегоочистительной машины. 3. Подверженность атмосферным и химическим воздействиям – снижение прочности. 4. Слабое крепление: быстрый выход компенсатора из зажимающих устройств.
2. V-образный компенсатор в виде двойной ленты 	1. Прочность материала компенсатора достаточна. 2. Двойная лента значительно увеличивает прочность и надежность компенсатора: – стойкость к трещинообразованию за счет двойного слоя полимера; – более надежная анкеровка благодаря утолщенным концам. 3. Герметичность обеспечена.
3. Выпуклый V-образный компенсатор 	1. Прочность материала компенсатора достаточна. 2. Выпуклая форма повышает прочность и надежность компенсатора: возможность самоочищение компенсатора – снижение трещинообразования; увеличение общей прочности за счет наличия утолщений на концах; надежная анкеровка концов ленты. 3. Подверженность атмосферным и химическим воздействиям: тонкая часть ленты компенсатора не защищена. 4. Герметичность обеспечена.
4. V-образный компенсатор и перекрывающий лист 	1. Прочность материала компенсатора достаточна. 2. Выпуклая форма повышает прочность и надежность компенсатора (см. п.3). 3. Металлический лист – повышение прочности: защита полимерной ленты от атмосферных и химических воздействий; защита от попадания острых частиц мусора и грязи; частичное восприятие и распределение нагрузки от подвижного транспорта. 4. Герметичность обеспечена.

Рассмотрены типовые и модернизированные виды заполнителей Д.Ш. На основе анализа данных таблиц можно сделать вывод, что среди конструкций швов закрытого типа наиболее эффективный заполнитель: щебеночно-мастичный заполнитель с металлической опорной пластиной и дренажными элементами; среди конструкций швов заполненного типа:

- V-образный компенсатор в виде двойной ленты;
- V-образным компенсатором с перекрывающим листом.

ЛИТЕРАТУРА:
1. ОДМ 218.2.015-2012. Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах: нормативно-технический материал. – разраб. ООО «Деформационные швы и опорные части», 2012. № 561-р.
2. Ветошкин А.Г. Надежность и безопасность технических систем: Учебное пособие / А.Г. Ветошкин, В.И. Марунин. – П.: Изд-во ПГУАиС, 2003. С. 9.
3. 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
4. Федотов В.В., Лазарев Ю.Г., Новик А.Н., Доброгорская Л.В. Требования к деформационным швам и факторы, способствующие их разрушению // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 355-359.
5. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
6. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. /Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
7. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении // Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229-231.
8. Лазарев Ю.Г. Показатели обеспечения безопасности транспортных систем в интересах реальной экономики // Технико-технологические проблемы сервиса. 2018. № 1 (43). С. 61-65
9. Ерёмин В.Г. Расчёт Температурных Перемещений Неразрезных Пролётных Строений / В.Г. Ерёмин, Д.В. Фомин // Инженерные Системы И Сооружения. Воронеж: Изд-о ВГТУ, 2011. С. 127-132.
10. Tsareva O. Estimation of absolute deformations by changes in distances between the reference points and deformation marks / O. Tsareva, I. Dmitriev, Yu. Kornilov // MATEC Web Conferences. – 2018. V. 245, 04013. – 13 p. – ISSN 2261236X.

УДК 625.855.3

С.В. Кириллов, Б. Эрдоган
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Цель работы – организация движения на маршрутах эвакуации из крупных городов в чрезвычайных ситуациях.

Маршруты эвакуации населения из крупных административно-промышленных центров подготавливаются и в случае необходимости развертываются с использованием улично-дорожной сети в определенных направлениях. Как правило, они включают множество различных улиц, площадей, искусственных сооружений (мосты, путепроводы и др.) дорог, имеющих различные типы покрытий и ширину проезжей части, множество различных ограничений движению потоков, оборудованных и оснащенных различными системами управления движением потоков [1].

Сложным составом на маршрутах эвакуации характеризуется также транспортный поток из районов чрезвычайных ситуаций. В этой связи для концептуального выражения взаимодействия дороги и потока представляется целесообразным использовать математические методы, позволяющие оперировать множествами взаимодействующих элементов. Выражать такое взаимодействие наиболее удобно языком теоретико-множественного аппарата, в терминах которого принято формировать идеи и методы системных исследований [2].

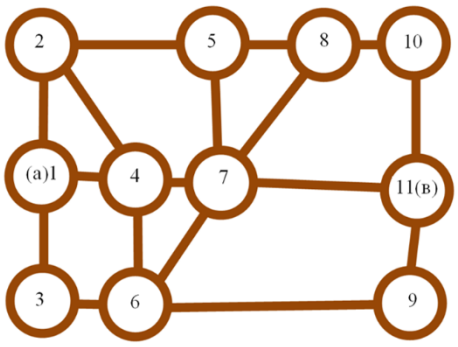


Рис.1. Фрагмент сети городских дорог, представленный в виде неориентированного графа

В системном представлении целесообразно улично-дорожную сеть города выразить в виде графа G (A; D), где A – множество вершин (перекрестов); D – множество дуг (уличных перегонов).

Для удобства изложения методики вместо сложного реального графа сети города следует показать абстрактный фрагмент (рис. 1).

Последовательность дуг i_1i_2, i_2i_3, ..., i_{n-1}, i_n образуют маршруту эвакуации из района чрезвычайных ситуаций.

Будем использовать символ d_{ij} для обозначения длины дороги (перегона) из точки i в точку j.

Для обозначения длины пути P из узла $а$ в узел $в$ употребим символ $d^{\text{Рав}}$.

$$d^{\text{Рав}} = \sum_{ij \in D}^{ij \in \text{Р}} d_{ij}\,, \tag{1}$$

где P – путь из $а$ в $в$; запись $ij \in D$ означает что дуга ij принадлежит множеству D всех дуг.

Среди множества всех возможным путей из $а$ в $в$ $P_{ав}$ можно отыскать путь P кратчайшей длины. Употребим символ $d^{*ав}$ для обозначения кратчайшего пути:

$$d^{*\text{ав}} = \min_{P \in P\text{ав}} d^{P\text{ав}}. \tag{2}$$

Иногда удобно длину кратчайшего пути определять способом:

$$d^{*\text{ав}} = \min_{a,i,b \in D} (d^{*\text{a}i} + d^{\text{P}i\text{в}}). \tag{3}$$

Введем две важные характеристики: пропускную способность C_{ij} дуги и интенсивность транспортного потока на дуге X_{ij}.

Предполагается, что обе характеристики задаются неотрицательными действительными числами:

$$\text{C}_{ij} \geq 0, \text{для всех } ij \in D; \tag{4}$$
$$X_{ij} \geq 0, \text{для всех } ij \in D;$$

Обязательным условием нормального функционирования системы является:

$$\text{C}_{ij} \geq X_{ij}. \tag{5}$$

Для эвакуационного маршрута АДЧС множество вершин графа делится на два непересекающихся между собой подмножества $A_{\text{о}}=\{a_i^{\text{о}}\}$ и $A_{\text{т}}=\{a_i^{\text{т}}\}$. Вершины $A_{\text{о}}$ соответствуют районам формирования эвакуационных транспортных потоков и районам их предназначения, а вершины $A_{\text{т}}$ соответствуют промежуточным, транзитным узлам дорог. Множество дуг D также делятся на пересекающиеся между собой подмножества $D_{\text{о}}$ и $D_{\text{т}}$. Дуги множества $D_{\text{о}}$ соединяют вершины $a_i^{\text{о}}$ с $a_i^{\text{т}}$, а множества $D_{\text{т}}$ вершины $a_i^{\text{т}} \in A_{\text{т}}$ между собой. Тогда в общем виде график улично-дорожной сети города можно представить выражением:

$$G' = \{A_{\text{о}}, A_{\text{т}}, D_{\text{о}}, D_{\text{т}}\} = \{d_i\}_{i=1}^{i=n}\,, \tag{6}$$

где: $i = \overline{1,n}$, а n – число элементарных участков (перегонов).

В общем представлении каждый участок может быть описан многомерным массивом геометрических и конструктивных характеристик:

$$|d_i| = \left|X_{ijkt}\right|\,, \tag{7}$$

где: $i = \overline{1,n}$ – номер элементарного участка (перегона); $j = \overline{1,m}$ – номер технической характеристики участка (ширина проезжей части,) тип и состояние покрытия и др.); $k = \overline{1,r}$ – фиксированное значение j-й характеристики; $t = \overline{1,\tau}$ – период времени.

Описанный вариант (7) участок имеет эксплуатационные качества, которые проявляются при движении по дороге только одиночных машин. Своего рода, это потенциальные

возможности участка дороги, на основе которых базируется функционирование маршрутов эвакуации.

По мере загрузки маршрута транспортными средствами возрастает интенсивность транспортного потока, растет плотность движения, значительно снижается скорость потока [3-5]. Один и тот же участок при разной интенсивности и составе потока имеет различное функциональное качество, то есть различную степень удовлетворения потребностей в передвижениях по дороге [6, 7].

Здесь в качестве входных приняты технические характеристики $X = \{X_{i1}\}$, параметры транспортного потока $N = \{N_{i2}\}$, параметры, характеризующие силы и средства дорожных организаций и территориальных сил $Q = \{Q_{i3}\}$, параметры окружающей среды $E = \{E_{i4}\}$.

Совокупность данных векторных характеристик определяет качественное состояние элементарного участка дороги (уличного перегона), которое может быть выражено зависимостью:

$$S_i = \{X, N, Q, E\}_{i=1}^{i=n}. \quad (8)$$

В процессе функционирования каждый i-й элементарный участок маршрута проходит от своего начального S_o к конечному состоянию S_π через ряд промежуточных состояний:

$$\{S_0, S_1, S_\beta, \dots, S_{\pi-1}, S_\pi\}. \quad (9)$$

При этом каждому состоянию элементарного участка (перегона) в тот или иной момент времени соответствует определенная совокупность значений входных параметров, то есть:

$$\begin{gathered} S_0 = \{(x_1^{t0}, \dots, x_{n1}^{t0}), (n_1^{t0}, \dots, n_{n2}^{t0}), (q_1^{t0}, \dots, q_{n3}^{t0}), (e_1^{t0}, \dots, e_{n4}^{t0})\}. \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ S_\beta = \left\{\left(x_1^{t\beta}, \dots, x_{n1}^{t\beta}\right), \left(n_1^{t\beta}, \dots, n_{n2}^{t\beta}\right), \left(q_1^{t\beta}, \dots, q_{n3}^{t\beta}\right), \left(e_1^{t\beta}, \dots, e_{n4}^{t\beta}\right)\right\}. \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ S_\pi = \{(x_1^{t\pi}, \dots, x_{n1}^{t\pi}), (n_1^{t\pi}, \dots, n_{n2}^{t\pi}), (q_1^{t\pi}, \dots, q_{n3}^{t\pi}), (e_1^{t\pi}, \dots, e_{n4}^{t\pi})\}, \end{gathered} \quad (10)$$

где $x^{t\beta}, n^{t\beta}, q^{t\beta}, e^{t\beta}$ –значения соответствующих параметров на момент времени t_β.

В процессе функционирования системы АДЧС – ТП ЧС определяющие ее параметры часто изменяются и вступают друг с другом в сложные причинно-следственные взаимодействия, уловить влияние которых на изменение пространства состояний достаточно сложно. В этой связи возникает необходимость состояние системы выражать через совокупность выходных параметров. По аналогии с изложенным выше можно записать:

$$\begin{gathered} S_0 = \{Y_1^{t0}, \dots, Y_{is}^{t0}, \dots, x_{ns}^{t0}\}, \\ \dots\dots\dots\dots \\ S_\beta = \{Y_1^{t\beta}, \dots, Y_{is}^{t\beta}, \dots, x_{ns}^{t\beta}\}, \\ \dots\dots\dots\dots \\ S_\pi = \{Y_1^{t\pi}, \dots, Y_{is}^{t\pi}, \dots, x_{ns}^{t\pi}\}, \end{gathered} \quad (11)$$

Следовательно, состояние системы АДЧС-ТПЧС в любой момент времени t_β определяется совокупностью значений выходных параметров $Y_{is}^{t\beta}$, которые дают возможность обоснованно назначать мероприятия организации движения, направленные на достижение поставленных целей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методические рекомендации по планированию, подготовке и проведению эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы. М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016 г. 97 с.

2. Фон Берталанфи Л. Общая теория систем. Основы, развитие, применение. 1969 г.

3. Афанасьев А.С., Егошин А.М., Алексеев С.В. Обоснование применения логистического подхода в моделях управления безопасностью дорожного движение // В книге: инновации и перспективы

развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сборник тезисов международной научно-практической конференции. 2018. С. 218.
4. Afanas'ev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. Justification of logistical approach application in road safety management. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Issue 7 Transportation of Mineral Resources. 2018. С. 072001.
5. 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.
6. Кириллов С.В., Романов Н.Н. Совершенствование методологии обоснования геометрических характеристик восстанавливаемых участков автомобильных дорог. Технико-технологические проблемы сервиса. 2019. № 4 (50). С. 16-19.
7. Кириллов С.В., Романов Н.Н. Обоснование рациональной потребности в автобусах для организации международных автобусных перевозок. Технико-технологические проблемы сервиса. 2017. № 2 (40). С. 81-84.

УДК 351.811.11

К.А. Васильев, О.Р. Бирюков, С.В. Алексеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР СПОСОБА УСТРОЙСТВА ПОПЕРЕЧНОГО УКЛОНА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Цель работы – экономическое обоснование выбора способа устройства поперечного уклона при проведении ремонта проезжей части автомобильной дороги.

Транспортные средства воздействуют па дорогу обычно одновременно с факторами, зависящими от природно-климатических условий (водой, температурой, ветром, солнечной радиацией). Под совместным воздействием многократно повторяющихся нагрузок от автомобилей и природных факторов в дорожной одежде возникают напряжения и деформации, которые, постепенно накапливаясь, приводят к разрушению дорожной одежды [1, 2].

Трещины, выбоины и особенно колейность являются наиболее распространенными видами дефектов дорожного покрытия. Основной причиной этого является возникновение растягивающих и изгибающих напряжений в слоях дорожной одежды, возникающих под действием нагрузки от автомобилей и температурных колебаний, особенно при совместном действии этих факторов.

Опыт показывает, что среднегодовая площадь ямочности на 8-й год эксплуатации дорожной одежды капитального типа с асфальтобетонным покрытием при коэффициенте запаса прочности 1,5 составляет около 0,1 % от общей площади, а при коэффициенте запаса прочности 1,0 составляет около 2 %, т.е. в 20 раз больше [1, 2].

Для бесперебойного и успешного функционирования автомобильной дороги на протяжении всего жизненного цикла (в среднем 25-30 лет) необходимо, чтобы характеристики автомобильной дороги удовлетворяли всем условиям для непрерывного и безопасного проезда автотранспортных средств.

Главным потребительским свойством и транспортно-эксплуатационным показателем является обеспеченная дорогой скорость движения, которая может быть оценена эксплуатационным коэффициентом обеспеченности расчетной скорости:

$$К_{р.с.э.} = \frac{V_{фmax}}{V^{б}_{расч}}.$$

Данный коэффициент показывает отношение фактической максимальной скорости движения одиночного легкового автомобиля к базовой расчетной скорости на участке автомобильной дороги и зависит, прежде всего, от состояния дорожного покрытия [3,4]. При несоответствии величины данного коэффициента, который определяется в ходе проведения диагностики автомобильной дороги и определения ее транспортно-эксплуатационного состояния, назначаются необходимые мероприятия по ремонту дорожного покрытия.

Одним из основных требований к состоянию дорожного покрытия после его ремонта является не только ликвидация ямочности, колейности, обеспечения ровности и прочности дорожного покрытия, но и обязательное наличие поперечного уклона проезжей части для отвода воды с поверхности дороги [5, 6].

Для проведения ремонтных работ применяют дорожные фрезы, которые используются для послойного удаления, изношенного асфальтобетонного, цементобетонного слоя дорожного покрытия на автомобильных дорогах.

В настоящее время применяется два основных способа придания требуемого поперечного уклона проезжей части в ходе ремонта:

1. фрезерование верхнего слоя дорожного покрытия на минимальную глубину до 5 см (глубину ямочности или колейности) с требуемым поперечным уклоном, придавая необходимый уклон фрезерному барабану дорожной фрезе, затем укладка асфальтобетона одинаковой толщины на всей ширине проезжей части;

2. фрезерование верхнего слоя дорожного покрытия на глубину 6-11 см на всю длину ремонтируемого участка, затем укладка слоя асфальтобетона различной толщины от оси проезжей части к обочине с приданием необходимого уклона дорожному полотну. Именно данный способ применялся до недавнего времени при ремонте дорожных покрытий.

В ходе прохождения производственной практики и участия в ремонте участка УДС в Санкт-Петербурге на проспекте Просвещения (от Выборгского шоссе до проспекта Культуры) в реальных условиях были оценены оба возможных способа ремонта и выявлены преимущества первого способа ремонта дорожного покрытия (рис. 1).



Рис. 1. Фрезерование асфальтобетонного покрытия крайней левой полосы на проспекте Просвещения (от Гражданского проспекта до проспекта Культуры)

Измерения, анализ объекта показал, что объем работ по ремонту проезжей части составлял 51830 м^2 дорожного покрытия. Расчет сметной стоимости двух вариантов осуществлялся с использованием величины индексов на 2021 г. в соответствии с письмом

Минстроя России от 02.11.2020 №44016. Итоговая стоимость ремонта по первому способу составила на 2020 г. – 34 726 100 руб., стоимость по второму способу – 37 162 110 руб.

Результаты сметной стоимости ремонта участка асфальтобетонного покрытия с учетом величины индексов за последние три года представлены на диаграмме (рис. 2).

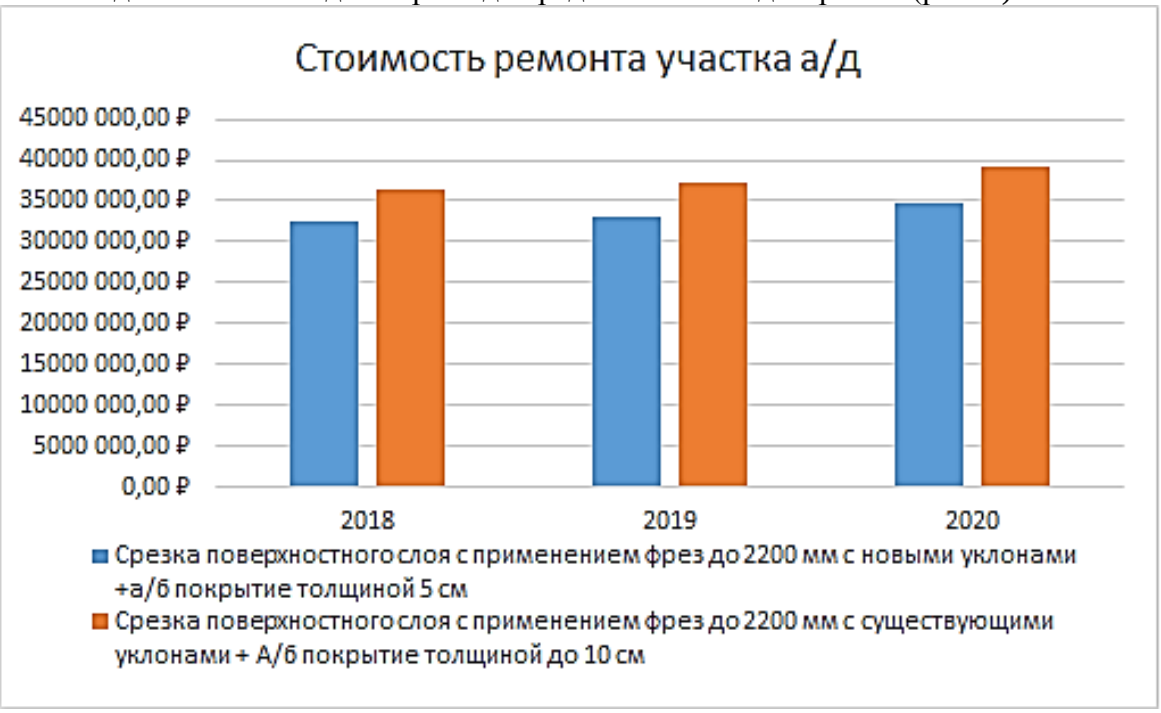


Рис. 2. Стоимость ремонта дорожного покрытия участка автомобильной дороги

Таким образом, в результате вычисления и сравнения стоимости двух способов ремонта дорожного покрытия участка автомобильной дороги выявлено, что:

- стоимость фрезерование с приданием новых поперечных уклонов, а затем укладка асфальтобетонной смеси с одинаковой толщиной на всем протяжении меньше, чем фрезерование по существующим уклонам дорожного покрытия и затем укладка асфальтобетонной смеси с варьирующеюся толщиной от 5 до 10 сантиметров;
- влияющим фактором на итоговую стоимость ремонта дорожного покрытия является стоимость асфальтобетонной смеси, которая составляет до 60% стоимости ремонта;
- ежегодно прирост сметной стоимости ремонта дорожного покрытия составляет в среднем 5%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев А.П. Теория эксплуатации автомобильных дорог. Учебное пособие. – М.: КНОРУС. 2018. – 592.
2. Лазарев Ю.Г., Петухов П.А., Широких М.В. Формирование методики оценки точности (надежности) проектирования дорожных одежд нежесткого типа // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 38-46.
3. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, и др. СПб.: ВАТТ, 2015. 312 с.
4. Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В. и др. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог. Учебное пособие. СПб.: ВАМТО, 2018. с.182.
5. 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. 2019. С.37-39.
6. Лазарев Ю.Г. Организация и экономика строительства автомобильных дорог. Том 2 Экономика строительства автомобильных дорог. Учебное пособие / Лазарев Ю.Г., Рыбицкий В.А., Кириллов С.В., и др. СПб.: 2009.

УДК 528.721.221

В.А. Гурьянов, С.М. Шевченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОСНИМКОВ ПРИ СОЗДАНИИ ОРТОФОТОПЛАНОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Совершенствование методов формирования цифровых моделей автомобильных дорог (ЦМАД) на основе данных аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сфере цифровизации дорожной отрасли является перспективной задачей, входящей в стратегию развития инновационной деятельности в области дорожного хозяйства на период 2021-2025 годов.

Однако внедрение применения БПЛА предполагает решение существующих проблем, одной из которых является актуализация методов получения ЦМАД, а также алгоритмов обработки облака точек. БПЛА широко применяются при проведении топографической съемки земельных участков в различной местности, в связи с чем программные комплексы ориентированы на создание цифровых моделей местности независимо от располагающихся на площади съемки объектах, то есть являются универсальными. Такой подход обеспечивает достаточную точность обработки фотоснимков, однако сокращает ее производительность. Актуализация программного комплекса под аэросъемку полосы отвода автомобильной дороги позволит сократить время на обработку получаемых с БПЛА данных, облака точек, а также путем ввода ограничений построения ЦМАД, связанными с категорийностью автомобильных дорог, улучшить точность выводимых конечных результатов аэросъемки.

Изучением и подбором рациональных параметров аэрофотосъемки занимались отечественные авторы [1-4]. В научной статье Коренева В.В. на практических примерах проанализированы методы визуального обследования и контроля здания с применением аэросъемки, а также точность фотограмметрической обработки снимков [5]. В англоязычной статье [6] подробно изучены проблемы по выбору оптимальных значений перекрытия фотоснимков для построений цифровой модели местности необходимой точности.

Целью работы является обоснование значений продольных и поперечных перекрытий аэрофотоснимков для последующего создания ортофотопланов автомобильных дорог, расположенных в равнинном рельефе, с целью оптимизации получаемых полевых данных и ускорения процесса камеральной обработки.

В ходе написания работы были теоретически рассчитаны минимальные продольные и поперечные перекрытия, обеспечивающие необходимую точность ортофотоплана, для опытной модели БПЛА [7].

Технические характеристики фотокамеры, установленной на борту, указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики фотокамеры БПЛА

Наименование характеристики	Единицы измерения	Значение
a – длина матрицы	пиксели	5472
b – ширина матрицы	пиксели	3648
f – минимальный фокус	мм	10.3
p – линейный размер одного пикселя	мкм	2,4123
K_f – кроп-фактор	–	2,6515
E – минимальная выдержка	с	1/8000
W – средняя скорость полета	м/с	20
θ, γ – углы тангажа, крена	°	10°

Для проверки полученных теоретических результатов были проведены экспериментальные полеты на участке автомобильной дороги регионального значения с двумя полосами движения по 3,75 м шириной каждая, а также полосы отвода по 30 м от оси проезжей части в обе стороны от дороги – суммарно 60 м.

Для составления полетного задания было использовано общедоступное программное обеспечение Drone Deploy, которое позволяет автоматизировать полет с заданными необходимыми параметрами. Пример заполнения полетного задания и траектории его выполнения летательным аппаратом представлены на рис. 1.

Для сравнения теоретических выводов и практической съемки были приняты следующие проектное задание: $X = 400$ м, $Y = 75$ м и два сценария полетов: для высоты $H = 50$ м с перекрытиями $P_x = 85\%, P_y = 30\%$ и, второй полет, с параметрами $H = 68$ м, $P_x = 75\%$, $P_y = 30\%$.

Так как программные алгоритмы производят обработку данных автоматически, то сравнение производится исходя из общего количества фотоснимков, полученных с дрона, и вычисленного значения числа снимков, необходимых для съемки заданной полосы местности с данными параметрами перекрытия.

Практически, для первого полета потребовалось 101 фото, а для второго полета – 61 фото.

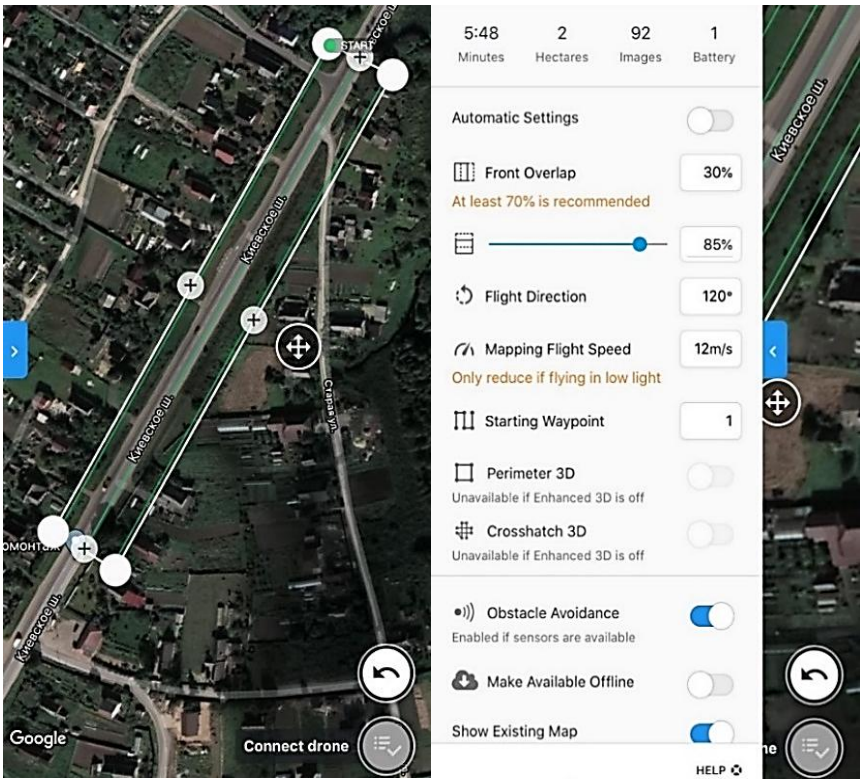


Рис. 1. Проектирование полетного задания в ПО DroneDeploy

В ходе сравнения теоретических и экспериментальных данных было установлено, что полетная программа БПЛА выдает заведомо большее число фотографий для съемки полосы местности заданной длины и ширины, что больше в 2-2,5 раза от минимального числа снимков, достаточных для точной увязки фотографий в единую цифровую модель. В дальнейшем этот факт будет использоваться для ручного задания всех параметров в полетном задании, поскольку построение цифровой модели местности по фотографиям идет с применением иных алгоритмов, для которых достаточно и минимального числа общих точек у фотографий, причем неважно, где располагаются эти опорные маркеры у соответствующих фотографий.

В дальнейшем планируется развитие инициативы «Совершенствование методов формирования цифровых моделей автомобильных дорог (ЦМАД) с помощью БПЛА», утвержденной распоряжением Федерального дорожного агентства от 03.03.2021, и исследование и решение текущих проблем реализации инициативы развития инновационной деятельности в области цифровизации дорожной отрасли.

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. 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. 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.
7. Царева О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 29-37.

УДК 69.003.12

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

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Цель работы – определить оптимальные критерии для выбора одновременно надежных и экономичных конструктивных элементов автомобильных дорог.

Обоснование оптимальных дорожных конструкций, обеспечивающих минимальную стоимость при достижении требуемой надежности, является актуальной научно-практической задачей. Особенно остро проявляется необходимость ее решения при нестабильности финансирования дорожного строительства, роста цен на дорожно-строительные материалы и другие ресурсы.

Показатели экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог определяются затратами на их строительство, содержание, ремонт, капитальный ремонт, а также затратами на безопасность дорожного движения, транспортную работу, экологическую безопасность и др. В конечном счете суммарные затраты аккумулируются в показателях стоимости жизненного цикла автомобильной дороги и учитываются при определении чистой приведенной стоимости инвестиционно-строительного проекта NPV по зависимости:

$$NPV = \sum_{k=0}^{n} \frac{CF_k}{(1+i)^k} - \sum_{k=0}^{n} \frac{IC_k}{(1+i)^k}, \quad (1)$$

где CF_k и IC_k , соответственно, доходы от эксплуатации и затраты на эксплуатацию дороги в k-м временном периоде (месяц, квартал, год), руб.; i – ставка дисконтирования.

Надежность автомобильных дорог в период эксплуатации зависит от уровня надежности проектных решений по геометрическим элементам и по дорожным конструкциям, от степени их реализации при строительстве, соблюдения режима пропуска нагрузок не выше расчетных, от своевременности и полноты выполнения ремонтных работ по поддержанию дороги в приемлемом эксплуатационном состоянии. На рис. 1. проиллюстрирован пример изменения надежности нежесткой дорожной одежды в зависимости от ее срока службы.

Надежность автомобильной дороги зависит от надежности дорожной одежды, геометрических элементов, искусственных сооружений [1,4].

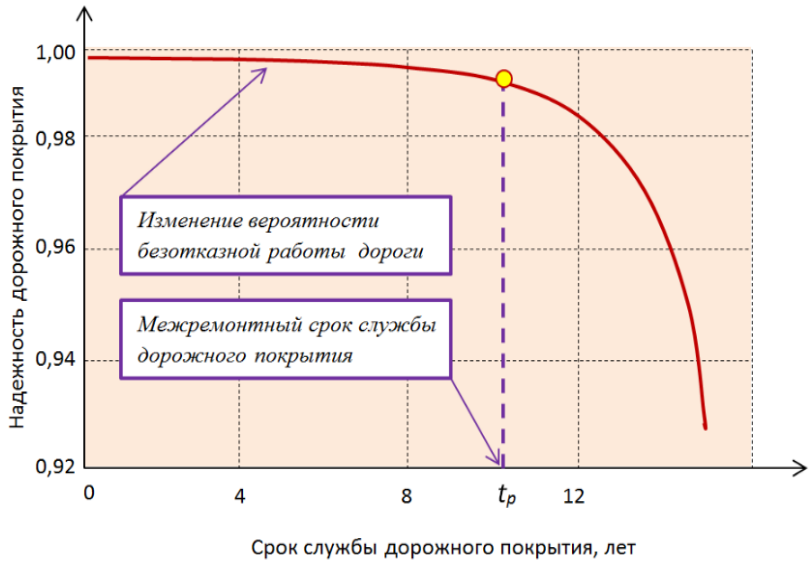


Рис. 1. Динамика надежности работы дорожного покрытия нежесткого типа [5]

Надежность автомобильной дороги по определению И.А. Золотаря [2] – это ее способность обеспечивать безопасное расчетное движение автомобилей со средней скоростью, близкой к оптимальной в течение нормативного или заданного срока службы.

С точки зрения определения оптимального соотношения между надежностью и экономичностью, надежность можно оценить, как экономически обоснованную вероятность безотказной работы автомобильной дороги. С увеличением надежности конструктивных элементов, как правило, возрастают затраты на дорожное строительство, но снижаются эксплуатационные затраты (на ремонт, содержание, транспортные расходы и др.) [3]. Рациональное решение при выборе варианта дорожной конструкции может быть найдено в результате оптимизации соотношения надежность – экономичность.

При этом необходимо учитывать, что каждый из вариантов дорожных конструкций, подлежащих сравнению, должен быть оптимальным по конструкции земляного полотна и всех слоев дорожной одежды. Например, увеличение высоты земляного полотна обуславливает увеличение модуля упругости дорожной одежды, это означает, что затраты на устройство дорожной одежды могут быть снижены при увеличении высоты насыпи. По такому же принципу за счет правильного подбора слоев дорожной одежды можно оптимизировать ее стоимость в целом.

Исходя из этого, для каждого из вариантов дорожной конструкции (рис. 2) можно найти такое сочетание их параметров (толщин слоев h_i, модулей их упругости E_i). при котором стоимость конструкции будет минимальной при обеспечении требуемой надежности, характеризующейся значением эквивалентного модуля упругости $E_э$.

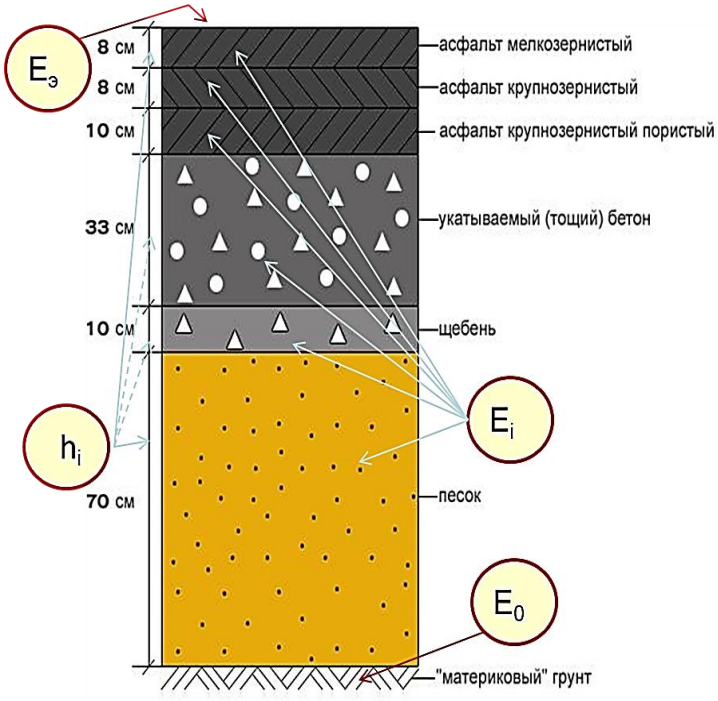


Рис. 2. Принципиальная схема варианта дорожной конструкции

На рис. 3 приведена принципиальная схема обоснования дорожной конструкции по критерию надежность – экономичность. При этом учитывается, что отказ в работе дорожной конструкции может произойти тогда, когда показатель ее прочности $k_{\text{п}}$, определяемый из отношения $E_{\text{э}}$ к требуемому модулю упругости $E_{\text{тр}}$ окажется меньше допустимых значений

$$k_{\text{п}} \leq \frac{E_{\text{э}}}{E_{\text{тр}}}, \qquad (2)$$

Как видно из рисунка 3,*а* различные варианты слоев дорожной одежды обуславливают разную стоимость конструкции. На рисунке 1 – кривая стоимости первого слоя; 2 – кривая стоимости второго слоя; 3 – суммарная стоимость дорожной одежды при определенных модулях упругости основания E_0 и дорожной конструкции $E_{\text{э}}$.

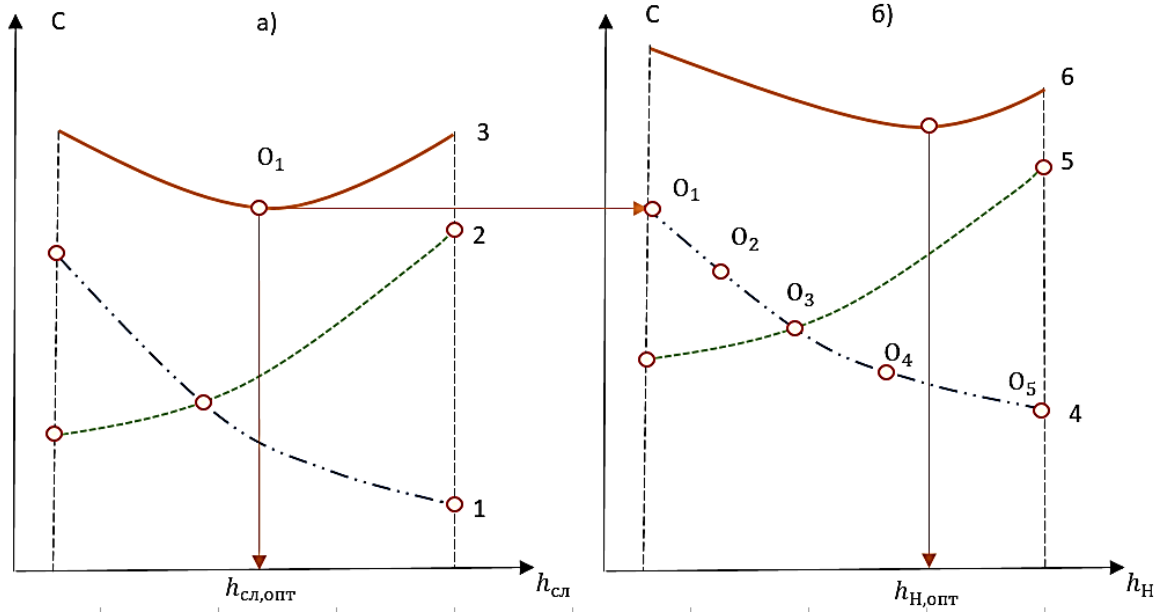


Рис. 3. Принципиальная схема обоснования дорожной конструкции
по критерию надежность-экономичность

Вместе с тем (рис 3,*б*) стоимость дорожной одежды зависит от высоты насыпи. Стоимость дорожной одежды в данном случае зависит от $E_э$ и изменяющейся величины E_0 (от изменения высоты насыпи, кривая 4). Кривая 5 характеризует увеличение стоимости земляного полотна с увеличением высоты насыпи, а кривая 6 определяет изменение суммарной стоимости дорожной одежды при определенных значениях E_0 и $E_э$. Точки O_1, O_2, O_3, O_4 и O_5 соответствуют минимальным значениям стоимости дорожной одежды при различных значениях E_0, обусловленных высотой насыпи h_H.

Таковы основные принципы концептуального подхода к определению оптимального соотношения надежности и экономичности конструктивных элементов автомобильных дорог. Дальнейшим направлением исследований в этой области является установление аналитических зависимостей надежности дорожной конструкции от вариантов проектных решений и затрат на их реализацию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Управление инвестиционными и техническими рисками в дорожном строительстве / Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егошин А.М., Змеев А.Т./ Санкт-Петербург, 2017.
2. Золотарь И.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / И.А. Золотарь, Н.А. Пузаков, В. М. Сиденко; под ред. И. А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
3. Казарновский В.Д. Условия использования общего модуля упругости дорожной одежды для характеристики ее состояния по прочности / В.Д. Казарновский, М.Л. Попов // Автомобильные дороги. – 1994. – № 3. – С. 14-15.
4. Predicting the risk of road pavement premature destruction / Ermoshin N.A./ Journal of Physics: Conference Series. Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. 2020. С. 012142.
5. Методологические аспекты управления надежностью строительства и эксплуатации автомобильных дорог/ Ермошин Н.А., Громов В.А. / СПб., 2016.

УДК 625.85.06

И.В. Рафикова, Д.Ю. Цыбин, С.М. Шевченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА «ЭЛАДОРМ» ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Цель работы – исследование влияния добавки из резиновой крошки на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

В настоящее время сохраняется тенденция увеличения интенсивности движения автомобильного транспорта. Возросшие нагрузки на ось транспортных средств и негативное влияние природно-климатических факторов не позволяют обеспечить долговечность асфальтобетонных покрытий [1]. В связи с этим возникает необходимость поиска новых решений.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон является одним из современных и наиболее перспективных материалов. Однако, использование традиционных битумов не всегда позволяет обеспечить необходимую прочность и устойчивость дорожной одежды, а применение полимерно-битумных вяжущих ведет к значительному удорожанию строительства.

Применение модификатора «Эладорм» позволяет решить обе эти проблемы. Основным компонентом добавки является активный порошок резины, а вторым компонентом служит полимер класса СБС [2].

Резиновая крошка – результат переработки покрышек колес транспортных средств, методы переработки можно разделить на химические и механизированные. Одним из

наиболее популярных методов переработки резины и получения вторичного сырья является шлифование, обеспечивающее равномерное измельчение. Именно благодаря механизированным способам сохраняются в более полном объеме свойства, влияющие на износостойкость асфальтобетона [2, 3].

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 [2]. Модифицированное вяжущее обладает в большей мере эластомерными характеристиками, в то время влияние битума в итоговом материале снижается [3, 4], что как предполагается позволит достичь более быстрого снятия напряжений от воздействия транспортного потока. Таким образом применение СБС полимера вместе с резиновой крошкой позволит повысить устойчивость асфальтобетонного покрытия к износу, что будет отражено на исследуемых эксплуатационных и физико-механических показателях [4, 5].

Такое сочетание компонентов позволяет достичь синергетический эффект в части модификации щебеночно-мастичного асфальтобетона.

При введении модификатора в горячий битум происходит быстрый распад частиц модификатора на микро- и нанофрагменты. Это приводит к образованию структурированного резинобитумного вяжущего, обладающего высокой стойкостью к растрескиванию и широким интервалом пластичности [3-9].

Для определения влияния добавки «Эладорм» на физико-механические и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона были изготовлены образцы ЩМА на битуме марки БНД 70/100.

Составы модифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецепт модифицированного ЩМА-16

Материал	Битум и модификатор сверх 100%	Битум и модификатор в 100%	Количество материала на замес 25 кг
Щебень 11,2-16,0 мм	38	36	9
Щебень 8,0-11,2 мм	18	17	4,25
Щебень 4,0-8,0 мм	17	16	4
Песок дробленый фр. 0-4,0 мм	17	16	4
Минеральный порошок	10	9,5	2,375
БНД 70/100	6,4	5,2	1,3
Модификатор	0,37	0,3	0,075

Модификация щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси резиновой крошкой осуществлялась путем введения в нагретый до 180 °С отсев битума, модификатора и минерального порошка. Время перемешивания после добавления каждого компонента составляло 3 минуты. Затем смесь термостатировалась в печи при температуре 180 °С.

Определяемые в ходе испытаний показатели, а также сравнение их с нормативными представлены в таблице 2.

Сравнение показателей по ЩМА-16 с добавлением модификатора и без модификатора представлено в таблице 3.

Таблица 2 – Показатели испытаний

Показатель	Модифицированный ЩМА-16	Нормативные требования
Стекание вяжущего, %	0,10 %	0,20 %
Максимальная плотность	2,696	-
Объемная плотность	2,755	-
Содержание воздушных пустот	2,1	2,0-4,0
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	11821	6200
Деформация по Маршаллу, мм	3,65	От 2,0 до 4,0 мм
Средняя глубина колеи, мм	1,70	4 мм
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000	0,052	0,15

Таблица 3 – Показатели ЩМА-16 с добавлением модификатора и без модификатора

Показатель	Модифицированный ЩМА-16	Не модифицированный ЩМА-16
Стекание вяжущего, %	0,10 %	0,18%
Максимальная плотность	2,696	2,950
Объемная плотность	2,755	2,844
Содержание воздушных пустот	2,1	2,6
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	11821	9830
Деформация по Маршаллу, мм	3,65	3,88
Средняя глубина колеи, мм	1,70	3,20
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000	0,052	0,099

Таким образом, можно сделать вывод, что введение модификатора «Эладорм» положительно сказывается на основных физико-механических и эксплуатационных показателей щебеночно-мастичного асфальтобетона, что влечет за собой снижение колееобразования и увеличения срока службы автомобильных дорог.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазарев Ю.Г., Ермошин Н.А., Сенцов И.В. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации // Путевой навигатор. 2019. № 38 (63). С. 56-63.
2. 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.
3. Lapkovskis, V., Mironovs, V., Kasperovich, A., et al. Crumb rubber as a secondary raw material from waste rubber: A short review of end-of-life mechanical processing methods (2020) Recycling, 5 (4), статья № 32, pp. 1-20.
4. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси. Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2019. С.37-39.
5. Wang, S., Huang, W. Investigation of aging behavior of terminal blend rubberized asphalt with SBS polymer (2021) Construction and Building Materials, 267, статья № 120870.
6. Złotowska, M., Nagórski, R., Błażejowski, K. Concept of similarity method for prediction of fatigue life of pavement structures with HiMA binder in asphalt layers (2021) Materials, 14 (3), статья № 480, pp. 1-14.
7. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
8. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.
9. Afanasyev A.S., Egoshin A.M., Alekseev S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. Journal of Physics: IOP Publishing Limited, 2019 С. 33021

УДК 625.77

К.Э. Бульковская, Э.С. Волкова, М.В. Обширнов, А.А. Сидякина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОЛЬ ЭКОПАРКОВОК В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДА

Дорожно-транспортная ситуация в городах осложняется с каждым годом. Согласно данным статистики за 2008-2019 гг. количество легкового транспорта в России с 2008 г. увеличилось на 16,4 млн автомобилей, то есть на 51,2% – с 32 млн в 2008 г. до 48,4 млн. в 2019 г. [1]. При этом за 2019 г. количество транспорта увеличилось на 1 млн: с 47 430 000 в 2018 до 48 430 000 в 2019 г.

Диаграмма увеличения числа легковых автомобилей в России отражена на рисунке 1.

Приведенные данные показывают, что количество легкового транспорта будет увеличиваться. Следовательно, возрастёт спрос на рациональное использование земли, отведённой под хранение транспорта [2, 3].

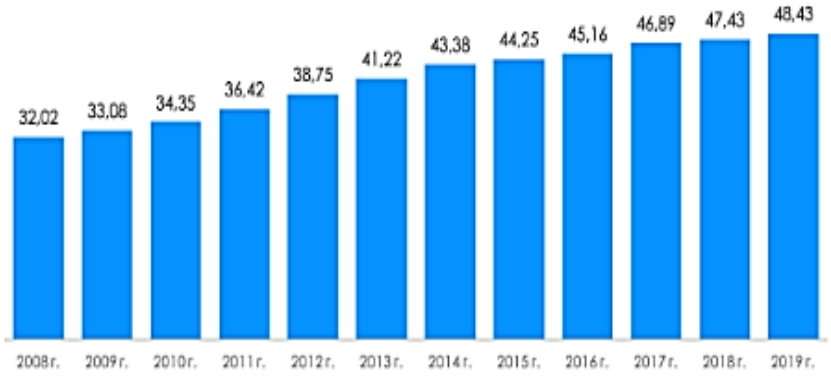


Рис. 1. Количество легковых автомобилей с 2008 по 2019 год

Антропогенное загрязнение в районах концентрации автомобильного транспорта – неизбежное следствие динамичного развития городов [4]. Оно включает в себя и загрязнение воздуха выхлопными газами, и ухудшение тепловой среды.

Одним из экспериментальных методов решения перечисленных проблем является организация единого парковочного пространства, включающего в себя зелёные насаждения. Технология «зелёной парковки» позволяет отнести к этим насаждениям не только деревья, располагающиеся по периметру, но и газон под колёсами машин [6].

Наличие зелёной растительности в зоне паркинга позволяет увеличить параметр «покрытия поверхности кронами деревьев». Данный параметр играет большую роль в ландшафтном проектировании и влияет на потенциальные показатели смягчения эффекта «городского теплового острова».

Исследования показывают, что температура в городах на 2-5 °С выше, чем в ближайшей сельской местности [6]. Причина этого в замене природного растительного покрова искусственными непроницаемыми поверхностями – асфальтом, цементом, металлом. Их повсеместное использование нарушает естественные процессы испарения жидкости из грунта, сохранения и отдачи тепла, циркуляции воздуха [7].

Процесс урбанизации не только разрушает тепловой баланс, но негативно влияет на эстетику ландшафта, энергоэффективность, здоровье человека и качество жизни [8, 9].

Исследования показывают, что наличие оптимального количества зелёных насаждений (70% газона+30% деревьев) в районе парковочных блоков позволяет снизить температуру максимально на 5,057 °С весной и на 6,288 °С летом.

Одной из эффективных и запатентованных технологий возведения газона, не разрушающегося под колёсами машин, является система TTE, изобретенная в Германии. Для создания эксплуатируемого газона применяют решётки – высокопрочные модули, которые между собой связаны замками. Массивная горизонтальная и вертикальная соединительная система по четырем сторонам решетки обеспечивает стабильную фиксацию полотна и создать ровную поверхность с высокой собственной устойчивостью. Она выдерживает нагрузку от автотранспорта весом до 3 т.

Пластиковые газонные решетки, изготавливаются из морозостойкого пластика и защищают корневую систему травы от повреждений, наносимых пешеходами и шинами автомобилей.

Грамотно установленные газонные решётки или эксплуатируемый газон могут использоваться круглогодично. Применение технологии TTE сокращает выплаты за негативное воздействие на окружающую среду, так как расчет количества загрязнений производится не с твердых покрытий, а с газонов. Также при устройстве газонной парковки нет необходимости организовывать ливневую канализацию, которую необходимо устанавливать на больших территориях с твердым покрытием.



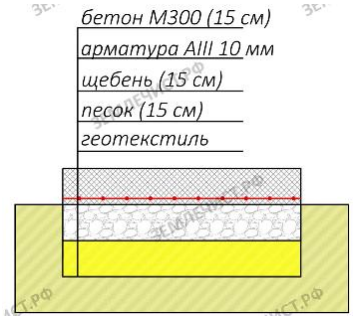
Рис. 2. Расширение жилой улицы за счёт озеленения парковочных пространств, Корея



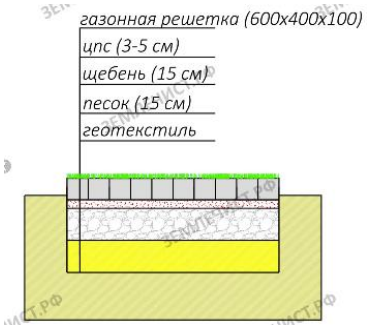
Рис. 3. Парковка (Нагоя, Япония) и 3д-модель озеленения [5]

Наличие зелёных пространств в городских условиях улучшает качество жизни, что продемонстрировано на рис. 2 и 3. В противоположность к городской застройке зелёные паркинги могут позитивно сказываться на динамике развития перенаселённых районов.

Немаловажным критерием при выборе технологии возведения парковки является технико-экономическое обоснование конструкции (рис. 4).



Слои парковки из бетона



Слои экопарковки

Рис. 4. Сравнение конструкции парковок [10]

Для экономического сравнения использовалась информация компаний ООО «Компания Русское Поле» на устройство эко-парковки и ООО «Землечист» на устройство парковки из бетона. Конструкции представлены на рисунке 4, сравнение приведено в таблице 1 [10].

Таблица 1 – Сравнение конструкций парковок

Материалы на устройство парковки из бетона: бетон 15 см; арматура AIII 10 мм; щебень 15 см; песок 15 см; геотекстиль (обойма). Цена производителя на устройство: от 2650 руб./м^2	Материалы на устройство экопарковки: Газонная решётка МультиДренаж ПЛЮС; щебень фр. 5-20 мм; плодородный грунт; песок; семена и удобрения. Цена производителя на устройство: от 4200 руб./м^2

Цена устройства экопарковки выше на 58%, без учёта содержания и ремонта.

Одним из основных факторов, сдерживающих массовое распространение экопарковок, является отсутствие нормативных документов, регламентирующих непосредственно системы «зеленых парковок». Существует нормативный документ СП 113.13330.2016 «Стоянки автомобилей», который «распространяется на проектирование зданий, сооружений, площадок и помещений, предназначенных для стоянки (хранения) автомобилей», но этого недостаточно для регламентирования систем экостоянок.

Зелёные парковки демонстрируют принципиально новый подход к организации хранения личного транспорта и проектированию городских пространств. Их экономическая непривлекательность может компенсироваться пониманием антропогенного воздействия на экосистему городов и предъявлением чётких требований при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Статистика российского рынка легковых автомобилей в 2008-2019 годах [Интернет-ресурс] https://research-center.ru/statistika-rossiyskogo-rynka-legkovykh-avtomobiley/ (Дата обращения: 29.03.2020).
2. Коржанков В.Б. Зарубежный опыт исследования городских парковок // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Сборник научных трудов. 2019. С. 34-39.
3. Новик В.А., Симанкина Т.Л. Изучение пространств для размещения перехватывающих парковок на въездах в город. В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. 2020. С. 263-268

4. Шишкина А.А. Рост количества автомобильного транспорта как угроза экологической безопасности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 3. С. 178-180.
5. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
6. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
7. Wilson J.S., Clay M., Martin E., Stuckey D. and Risch V.K. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing // Remote Sensing of Environment, 86 (3) (2003), pp. 303-321
8. McPherson E.G., Nowak D., Heisler G., et al. Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project // Urban Ecosystems, 1 (1997), pp. 49-61.
9. 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.
10. Цены на устройство парковки [Интернет-ресурс] https://xn--e1aaegnf2bi6b.xn--p1ai/ozelenenie-i-blagoustrojstvo/parkovka-pod-mashinu/ (Дата обращения: 29.03.2020).

УДК 699.822

Е.А. Зорина, Д. Ким, Д.Н. Наборщикова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ АНТИКОРРОЗИЙНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ

Цель работы – поиск наилучших методов покрытия мостов для защиты от коррозии.

Сохранение на долгосрочную перспективу грузоподъемности и пропускной способности мостов, гарантированная безопасность движения по ним поездов с установленными скоростными режимами – таковы основные заботы эксплуатирующих организаций.

Почти все большие и средние мосты имеют металлические пролетные строения. Их главные враги – коррозия, усталостные и коррозионно-усталостные трещины (рис. 1). Эти повреждения снижают грузоподъемность, надежность и срок эксплуатации пролетов [1, 2].



Рис. 1. Коррозия металлического моста

Одной из основных причин появления коррозии является атмосферное воздействие, однако на автодорожных мостах в частности можно отметить и такие причины как:

создаваемая движущимся транспортом среда, то есть продукты переработки топлива, насыщенные газообразными агрессивными соединениями; грязь и различные антиобледенительные вещества, попадающие с проезжей части и автотранспорта на металлоконструкции, а также разнообразные механические воздействия, – все это приводит к механическому повреждению и износу покрытия [3, 4].

При выборе антикоррозионной защиты стоит учитывать текущие характеристики мостов:

- эксплуатационное назначение моста;
- особенности климатических условий в месте расположения сооружения;
- степень коррозионной активности окружающей среды местонахождения моста;
- срок эксплуатации моста от момента совершения последнего ремонта и проведения антикоррозионной защиты;
- воспринимаемые нагрузки и воздействия;
- состояние антикоррозийного покрытия;
- состояние металлических элементов.

При оценке же мостов, уже пораженных коррозией, необходимо определить ее вид. Это обеспечит подбор наиболее подходящих мероприятий по восстановлению несущей способности и для последующего предотвращения появления коррозии [5]. Отдельные металлические элементы сооружений в большей степени подвержены коррозионной нагрузке. В первую очередь такими являются элементы, приближенные к проезжей части (перильные и барьерные ограждения, элементы ферм, находящиеся на высоте 2-2,5 от уровня дорожного покрытия), и элементы в зонах деформационных швов. Для этих участков целесообразно применять комбинированные металлизационно-лакокрасочные покрытия, что обеспечит надежную долгосрочную защиту – более 30 лет. В таких местах применяются цинковые, алюминиевые и цинк-алюминиевые покрытия, то есть используются метод горячего цинкования и гальванизации, при этом стоит отметить, что цинковое покрытие в большей степени защищает от коррозии в атмосфере, тогда как алюминиевое – от воздействия химических веществ. Также для защиты деталей, подверженных интенсивной коррозии, обычно применяют порошковые покрытия из эпоксидных смол Остальные же элементы обычно покрывают специализированным лакокрасочным покрытием, которое не допускает проникновения влаги, кислорода и агрессивных химических соединений.

Для сокращения расходов при дальнейшей эксплуатации покрытия необходимы периодический контроль состояния покрытия, своевременная зачистка очагов коррозии и нанесение новой краски при необходимости. Несмотря на постоянное улучшение покрасочной технологии, необходимо учесть, что со временем любое покрытие под действием различных нагрузок изнашивается, что приводит к потере изначальных свойств, следовательно, требуется обновление защитного слоя [6]. Стоит отметить преимущества порошкового покрытия из эпоксидных смол, методов горячего цинкования и гальванизации, так как они химически инертны даже к сильным кислотам и щелочам, то есть разрушение этого слоя возможно только механическим способом.

В зависимости от различных условий района строительства применяются различные типы гидроизоляции:

1. Битумная мастика. Может применяться во всех климатических зонах. Она состоит из восьми слоев, четыре из которых наносятся в горячем состоянии, другие три – укладываются из армирующего материала – стеклоткани. На последний, он же отделочный, слой мастики укладывается цементно-песчаный раствор или мелкозернистый бетон, являющиеся защитным слоем. Также этот слой армируется проволочной сеткой с размером ячеек 45-75 мм и диаметром проволоки 2-4 мм. Поверх защитного слоя наносится битумная грунтовка.

2. Изольная рулонная гидроизоляция. Нашла свое применение только в районах умеренного климата. Она представляет собой рулонные слои, между которыми находится армирующая прослойка, состоящая из рулонного изола и холодной мастики изол.

3. Тиоколовая мастичная гидроизоляция. Используется в холодном климате. Основой такой гидроизоляции являются холодные самовулканизирующиеся тиоколовые мастики, которые наносятся на огрунтованную изолируемую поверхность мастик, находящиеся между слоями армирующей стеклоткани.

4. Резиноподобная рулонная гидроизоляция. Также предназначена для холодного климата. Состоит из технической резины, армогидробутила и вулканизированного бутизола. Наносится путем последовательного наклеивания на поверхность двумя рулонами.

Одной из основных характеристик гидроизоляции является водопоглощение. Данные по водопоглощению каждой из гидроизоляций приведены на рис.2.

Технология нанесения покрытий меняется в зависимости от места, где происходит само нанесение. На заводе производится более тщательная подготовка поверхности: кроме обезжиривания, с поверхности удаляются любые окислы (ржавчина, остатки флюса, окалина, сварочные брызги), заусеницы и острые кромки, тогда как подготовительные работы на монтажной площадке состоит в удалении загрязнений, ржавчины и поврежденного лакокрасочного покрытия.

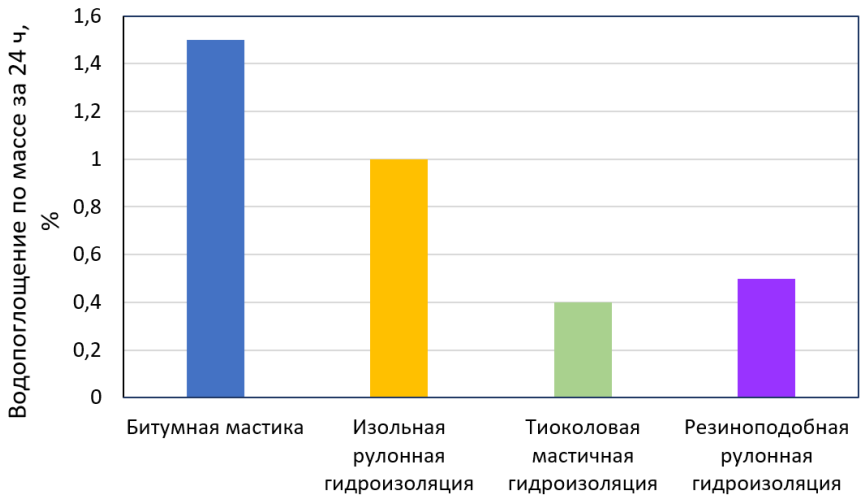


Рис. 2. Водопоглощение гидроизоляционных материалов

При окрашивании на монтажной площадке также восстанавливают слои грунтовки, поврежденные в процессе транспортировки, погрузочно-разгрузочных и монтажных работ. На заводе-изготовителе необходимы температура не ниже +5°С и относительная влажность воздуха не более 80 %. На площадке допустимая температура +5°С до +30°С, но при не допускается наличие атмосферных осадков или тумана. В результате изучения различных источников была определена цель нанесения антикоррозийных покрытий. Прежде всего ею является повышение долговечности и надежности мостов.

Также были выявлены следующие технологические требования и последовательность применения покрытий. Изначально необходимо подготовить покрываемый элемент (при необходимости зачистить от ржавчины и удалить дефекты в виде заусениц, шероховатостей и прочего). Кроме того, необходимо учитывать рекомендуемую температуру и влажность.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существуют следующие методы защиты от коррозии: метод горячего цинкования, лакокрасочные материалы и порошковая антикоррозийная защита из эпоксидных смол. Последний вид защиты является наиболее надежным и долговечным, что приводит к целесообразности его нанесения на элементы, более

подверженные коррозии. Остальные металлические элементы в целях экономии возможно обрабатывать лакокрасочными материалами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Доброгорская Л.В., Лазарев Ю.Г., Федотов В.В. Применение информационного моделирования при диагностике и обследовании мостовых сооружений. В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 223-227.
2. Руссу М.В., Портных М.Д., Гамаюнова О.С. Исторический аспект строительства мостов Санкт-Петербурга // Творчество и современность. 2020. № 1 (12). С. 44-53.
3. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov L.I. Evaluation of durability of protective coatings on metal bridge structures // Russian journal of transport engineering. 2017. Vol. 4, No 3. Pp. 83-89.
4. Белихин С.В., Лазарев Ю.Г., Исмаилов А.М. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры. В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале iii тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 128-133.
5. Boulent I., Marios K. A review of metallic bridge failure statistics // Structural Engineering International. 2010. Vol. 19, No 3. Pp. 22-34.
6. Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В. и др. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог. Учебное пособие. СПб.: ВАМТО, 2018. с.182.

УДК 625.731.1

А.А. Тепкина, Е.Д. Коробова, А.А. Морозов, Д.В. Лунёв
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИРОДНЫЕ ФОРМЫ В АРХИТЕКТУРЕ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С развитием современных технологий, которые способны упростить и автоматизировать проектирование и расчет, перед инженерами открыт совершенно другой уровень конструирования, который отличается новым уровнем сложности, но включает в себя новые архитектурные формы. Также технический прогресс оказал огромное влияние и на строительные материалы. Основополагающими долгое время являются дерево, бетон (железобетон), металл. Сейчас же вектор развития смещается к полимерным и композитным материалам.

Учитывая вышеизложенные факторы, появляется возможность создавать более сложные формы и конструкции. Одной из последних тенденций в строительстве являются принципы биомиметики (по-другому бионики), то есть подражание объектам и структурам живого мира. Живые организмы устроены невероятным образом: их формы лаконичны, конструктивные элементы продуманы детально и превосходно справляются со своими функциями, являются самим эргономичным простым решением, а в то же время удивительно продуманным, учитывающим мельчайшие детали. Уникальные свойства, их функционал в определенном смысле превосходят те механизмы, которые были придуманы человеком.

Данные принципы применяются в градостроительстве уже во многих странах. Создаются разные павильоны и сооружения. Биомиметика нашла проявление и в мостостроении.

Цель работы – обзор разных уровней бионического подхода конструирования пешеходных мостов из композитных материалов.

Биомиметику можно рассмотреть, как систему из двух уровней: макро- и микроуровни. Макроуровень представляет собой заимствование форм и элементов живых организмов, то есть то, что человек способен увидеть невооруженным глазом. Они могут являться прототипами как для целой конструкции, так и для ее конструктивных элементов [1].

Классическая теория строительной механики включает всего три основные типа усилий – продольные, поперечные, изгибающие моменты. А также основные типы мостов: арочные, балочные, вантовые и висячие, допускаются комбинированные типы [2]. Каждый вид классической конструкции не является идеальным, требует модификаций и улучшений. Один из прогрессивных методов конструирования, а именно использование биомиметики, может предоставить решения для этой проблемы. Нетипичные формы также могут учитывать окружающую среду, её стиль и состояние.

Вид конструкции подбирается исходя из прочности грунтов, длины пролетного строения, заданных нагрузок, климата, окружающей среды и других факторов. Создается модель, которая будет учитывать все возникающие воздействия и нагрузки. Эта конструкция проектируется на основе образов живых существ. При правильном подборе прототипа модель моста внешне будет выглядеть более эстетично и органично, а по функционалу будет более эффективной. Для выбора также исследуется информация о внешнем виде объекта, которым может являться животное, растение, рыба, насекомое, вирус или микроб, анализируется свойства, текстуры, механизмы, образ жизни и среда обитания.

В мире есть несколько десятков мостов, выполненные с помощью принципа биомиметики. Предлагается к рассмотрению один из них (рис. 1,2).



Рис 1. Пешеходный мост [7]



Рис 2. Пешеходный мост [7]

Новый мост для пешеходов и велосипедистов был построен в районе Дриланден Хардервейк. Мост полностью построен из волоконно-железобетонных полимеров (FRP). Дизайн вдохновлен крыльями стрекозы. Конструкция максимально обеспечивает возможность создание свободных форм, которые обусловлены прочностью материала FRP.

Результатом является элегантный мост, который прекрасно интегрирован в новый пейзаж Sprengpark [6].

Микроуровень представляет собой заимствование элементов внутренней структуры организмов. Это то, что человек не способен воспринять и увидеть своими глазами без специального оборудования. Микроуровневый подход опирается на строение организма, функционирование систем: нервной, иммунной, сердечно-сосудистой, на механизм

нейронных реакций. Далее представлена клеточная структура биологических материалов, структура которых применена в строительных конструкциях (рис. 3).

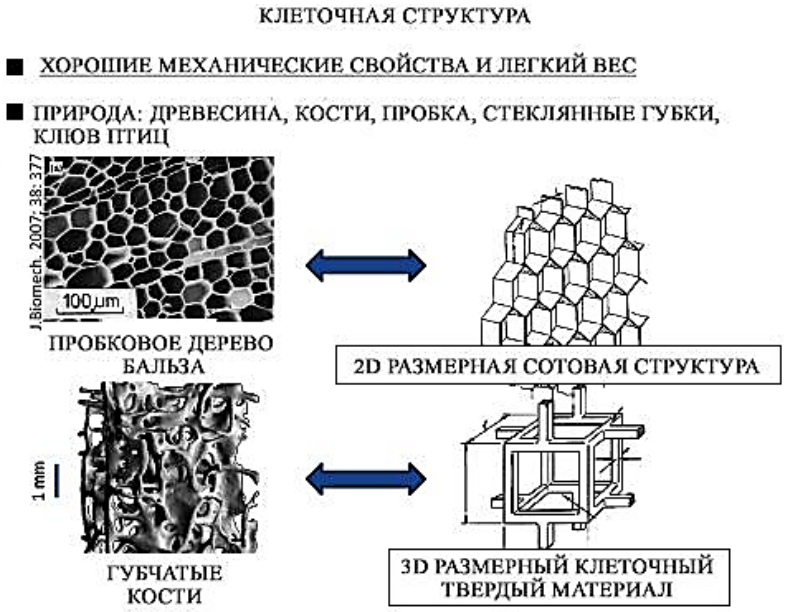


Рис. 3. Клеточная структура биологических материалов [8]

Сотовую структуру можно использовать в настиле, ограждениях и даже в несущих элементах из композитных материалов. Существует пример создания моста из сотовых модулей в Хемнице 2014 г. (рис 4, 5).



Рис. 4. Конструкция модулей [3]



Рис. 5. Пешеходный мост через р. Хемниц [3]

Мост имеет пролет 32 м и 2,5-метровую проезжую часть, которая состоит из сотовых модулей. Сами модули представляют собой облегченную конструкцию стеклопластика, усиленной стальной и композитной конструкцией. Это первое применение подобных модулей для несущих конструкций. Также мост снабжен светодиодной подсветкой, которая оборудована датчиками движения. Они фиксируют траекторию движения людей. Такой прием создает особый образ моста. Проект интерактивного моста идеально вписывается в городскую среду [3, 9, 10].

В природе существует множество живых организмов, каждый из которых отличается уникальным строением и структурой. При правильном анализе имеющихся данных возможно

внедрить новые формы в совершенно другую сферу. В мостостроительной индустрии можно наблюдать постоянный прогресс [9, 10]. Одни типы конструкций устаревают, так как на их место находятся новые, более рациональные и оптимальные конструктивные элементы, которые требуют минимальных затрат труда и материалов, а также имеют более долгий срок службы. Технический прогресс позволяет инженерам-проектировщикам рассматривать ранее не применяемые структуры, делать анализ, находить оптимальные решения, не забывая о такой составляющей как интеграция в городскую среду искусственного сооружения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Овчинников И.И., Караханян А.Б., Овчинников И.Г., Скачков Ю.П. Современные пешеходные и велосипедные мосты (основные концепции проектирования и примеры) // Пенза: ПГУАС, 2018. 140 с.
2. Tsareva O. Estimation of absolute deformations by changes in distances between the reference points and deformation marks / O. Tsareva, I. Dmitriev, Yu. Kornilov // MATEC Web Conferences. – 2018. V. 245, 04013. – 13 p. – ISSN 2261236X.
3. Стругач А.Г., Трифонов А.Г. Архитектура современных пешеходных мостов из фиброармированных композитных материалов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, с. 1-33.
4. Борщев А.В., Хрульков А.В., Халтурина Д.С. Изготовление низкопористого полимерного композиционного материала для применения в слабо- и средненагруженных конструкциях //Труды ВИАМ. 2017. №7. с. 3-18
5. Немировский Ю.В., Резников Б.С. Прочность элементов конструкций из композитных материалов. Новосибирск: Наука. 2016. 166 с.
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. М.: Стройиздат. 2018. 139 с.
7. http://moura.nl/Dragonfly-project.html
8. https://rusnor.org/pubs/library/12290.htm
9. Руссу М.В., Портных М.Д., Гамаюнова О.С. Исторический аспект строительства мостов Санкт-Петербурга // Творчество и современность. 2020. № 1 (12). С. 44-53.
10. 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.

УДК 625.06

А.М. Исмаилов, С.В. Алексеев, А.А. Трифонова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГИ ТЕХНОЛОГИЕЙ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Работы по холодной регенерации конструктивных слоев дорожных одежд состоят во фрезеровании изношенных дорожных одежд, смешении измельченного, однородного материала с вяжущими и композицией КГЦ, укладке на прежнее место и уплотнении. Поводом для применения на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края по технологии холодного ресайклинга послужила необходимость найти быстрый и экономичный способ для масштабного восстановления эксплуатационных характеристик автомобильной дороги [1, 2].

Цель статьи – определить эффективность применения технологии холодного ресайклинга, при проведении работ по приготовлению и устройству полимерцементогрунта с применением полимерно-минеральной композиции «КГЦ».

Ремонт дорог по технологии холодного ресайклинга с применением полимерно-минеральной композиции КГЦ обходится дешевле капитального ремонта [3, 4], за счет экономии на материалах, энергоресурсах, кроме того, в таких случаях не требуется строительство объездной дороги (таб. 1).

Таблица 1 – Преимущества технологии холодного ресайклинга с добавкой КГЦ

Эффективность	Экологичность	Экономичность
До 60% быстрее производство работ по ремонту, в сравнении с традиционным методом; До 1500 м^2 стабилизированного покрытия за смену; Уменьшение продолжительности строительных работ; Уменьшение времени работ выгодно для пользователей дороги, так как благодаря этому дороги закрываются для движения на более короткий период	Отсутствие загрязнения окружающей среды благодаря полному использованию материала старой дорожной одежды; Меньший трафик спецтехники Снижает выбросы CO_2	Экономия до 30% по сравнению с традиционными решениями; Эффективное технологическое решение в рамках оптимизации расходования бюджетных средств; Уменьшение количества вяжущего необходимого для стабилизации грунта; Объем привозных материалов минимален, соответственно снижаются транспортные расходы; Долгосрочная экономия в рамках увеличения межремонтных сроков

Прочность материала в конструкции с содержанием 4-8% цемента и полимерно-минеральной композиции «КГЦ» оценивалась с помощью лабораторных испытаний на пробах смеси, взятых из ресайклированного слоя ремонтируемых участков дорог [3, 5-7]. Результаты проведённых исследований проиллюстрированы на рис. 1 и таблице 2.

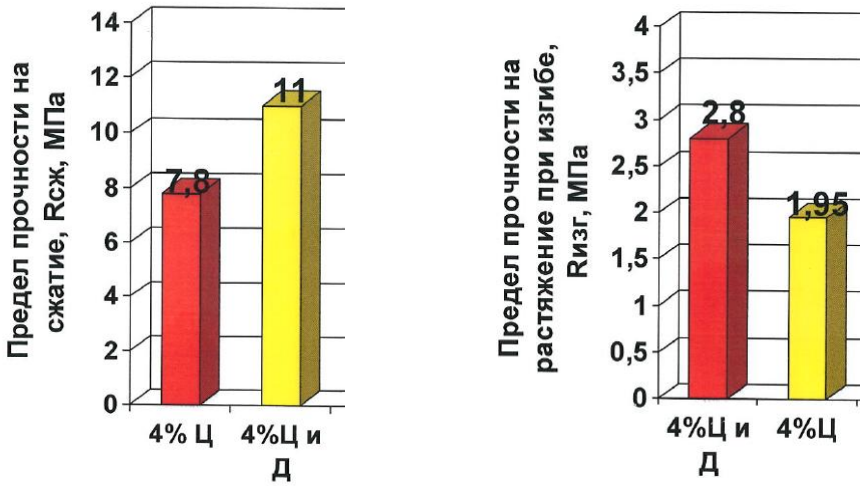


Рис. 1. Зависимость предела прочности на сжатие и на растяжение при изгибе 28-суточных полимерцементгрунтовых образцов от содержания, вяжущего Ц-цемент, Д-добавка

Таблица 2 – Показатели испытания образцов

Содержание компонентов укрепленной смеси, % от массы			Оптимальная влажность, %	Средняя плотность, г/см^3	Время твердения образцов, сутки	Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа		Водонасыщение %	Коэффициент жесткости, $R_{сжт}/R_и$
Укрепля-емый материал	Цемент марки ПЦ-400	«КГЦ»				На растяжение при изгибе $R_и$	На сжатие $R_{сж}$ при 20 ^{0}С		
Укрепляемый материал: суглинок 70% и ЩПС 30%									
100	4	-	5,1	2,22	7	-	4,0	10,6	4,0
					28	1,95	7,8		
100	4	0,4	5,5	2,25	7	-	8,4	5,4	3,9
					28	2,80	11,0		

В заключении отметим, что цель работы была достигнута – доказана эффективность применения технологии холодного ресайклинга. На объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края произведены работы по приготовлению и устройству полимерцементогрунта с применением полимерно-минеральной композиции «КГЦ». Получен материал, который в перспективе позволит повысить срок службы автомобильной дороги с уменьшением стоимости устройства дорожных одежд автомобильных дорог и площадок для проведения строительных работ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог: Учебное пособие / Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В., и др. СПб., 2018.
2. Лазарев Ю.Г., Петухов П.А., Широких М.В. Формирование методики оценки точности (надежности) проектирования дорожных одежд нежесткого типа // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 38-46.
3. 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 научно-практической конференции. Под редакцией М.П. Клековкиной. 2020. С.96-99.
4. Чумаков П.В., Трепалин В.А., Юстикова Л.Н. Анализ зарубежного и российского опыта применения технологии холодного ресайклинга. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 59-61.
5. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, и др. СПб.: ВАТТ, 2015. 312 с.
6. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
7. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 41-50.

УДК 625.7/.8

Ю.С. Бояджи, С.В. Алексеев, С.А. Уколов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ В ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Цель работы – оценить возможность применения базальтопластиковых труб в дренажной системе дорог по сравнению с трубами из других материалов методом многокритериальной оценки.

Базальтопластик – новое поколение стеклопластиков. Это композиты, у которых армирующей основой выступают базальтовые нити, ткани, холсты и т.д., а связывающая матрица – полимеры (органические или неорганические) [1].

Увеличение объемов применения композитов в строительной сфере в мире и в Российской Федерации доказывается ежегодными исследованиями отраслевого союза Composites Germany и распоряжением Правительства Российской Федерации о стратегии развития строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года [2]. Транспортное и в том числе дорожное строительство не является исключением в данном направлении [3-5].

Для достижения поставленной цели были получены и рассчитаны такие характеристики труб, как толщина стенки трубы, нормативная длина выпускаемых труб, срок эксплуатации, масса и стоимость 1 п.м. трубы.

Выбор первых двух характеристик был обоснован следующим: с увеличением толщины стенки у труб одинакового внутреннего диаметра увеличиваются объемы земляных работ при устройстве дренажей, а с увеличением длины трубы уменьшается количество монтажных соединений, что уменьшает трудозатраты и значительно снижает время на устройство дренажных труб, также стоимость выполнения монтажных работ.

Данные для расчетов в ходе исследования были получены из действующих нормативных документов: ГОСТ 8411-74, ГОСТ 20054-2016, ГОСТ 18599-2001, ГОСТ Р 53201–2008, ГОСТ Р 55068−2012, ГОСТ 31416-2009.

Рассматривались трубы, рекомендуемые ОДМ 218.2.055-2015, из бетона, керамики, хризотилцемента, полиэтилена, стеклопластика и, его разновидностью, базальтопластика вниутреннего диаметра от 50 мм до 300 мм.

Для суммирования результатов и подведения итогов был применен метод многокритериальной оценки, который позволяет складывать величины разной размерности, предварительно переведя их в безразмерные величины [6-8].

Для учета приоритетности того или иного критерия были опрошены эксперты и определен весовой коэффициент k. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспертного опроса

№ п/п	Критерий	Эксперты					Весовой коэффициент
		1	2	3	4	5	
1	Земляные работы →min	1	2	1	2	1	0,093
2	Длина трубы →max	3	3	3	1	2	0,160
3	Вес трубы →min	2	1	2	3	3	0,147
4	Срок эксплуатации →max	5	4	4	5	4	0,293
5	Стоимость →min	4	5	5	4	5	0,307
						∑	1,000

Формула для перевода размерной величины, стремящейся к максимуму (длина трубы, срок эксплуатации) в безразмерную:

$$x_i = k\frac{a - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}}, \quad (1)$$

где k – весовой коэффициент, a – значение величины i-го критерия для трубы из j-ого материала, $a_{\min}$ – минимальное значение среди всех значений i-го критерия, $a_{\max}$ – максимальное значение среди всех значений i-го критерия.

Формула для перевода размерной величины, стремящейся к минимуму (толщина стенки, масса, стоимость) в безразмерную:

$$x_i = k\left(1 - \frac{a - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}}\right). \quad (2)$$

Результаты сравниваются по значению итогового суммарного показателя X:

$$X = \sum_{i=1}^{5} x_i \to \max.$$

Полученные результаты представлены в рис. 1.

Отсутствие данных о том или и ном материале означает, что трубы из данного материала указанного внутреннего диаметра не изготавливаются, либо готовятся по специальному ограниченному заказу или малыми партиями.

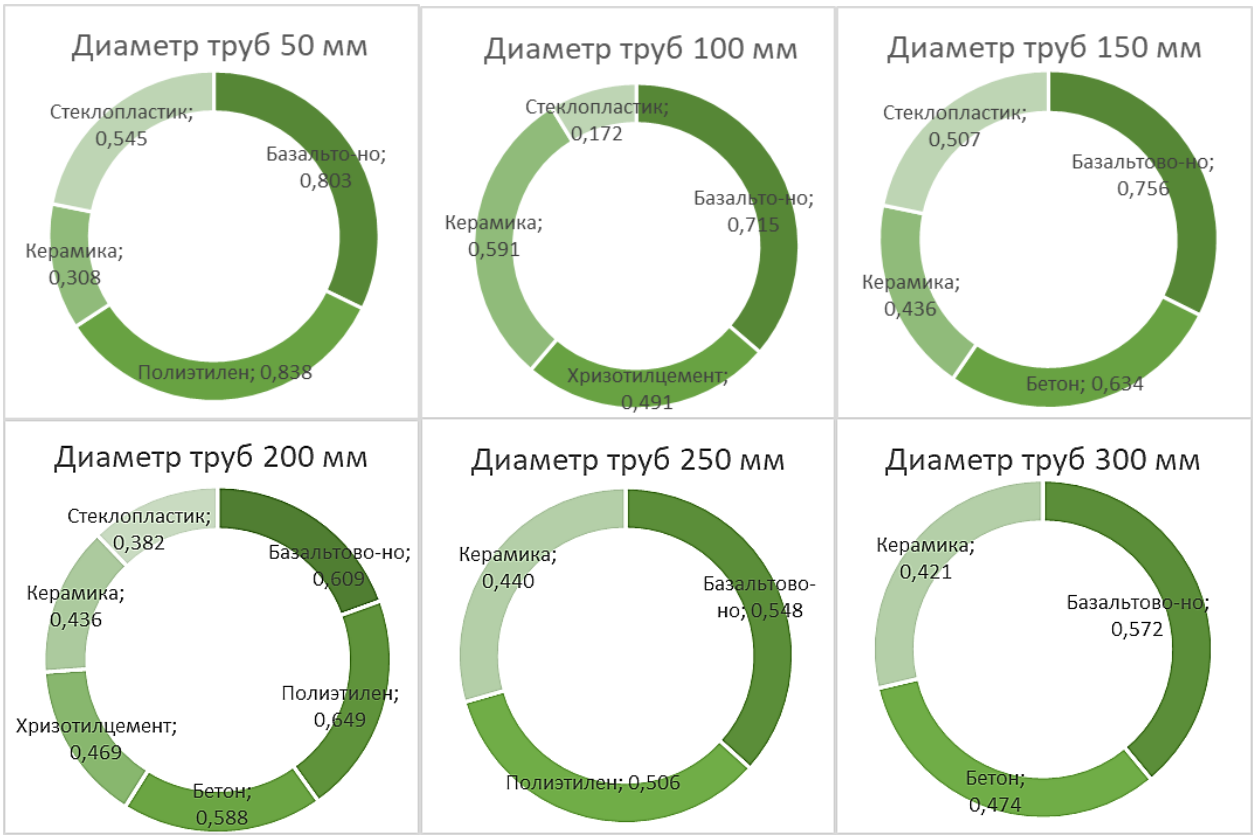


Рис. 1. Значения суммарного показателя для труб диаметром 50, 100, 150, 200, 250 и 300 мм.

Следуя диаграммам, можно сделать вывод, что, с точки зрения рассматриваемых критериев (объем земляных работ, количество монтажных соединений, вес трубы, срок эксплуатации, стоимость трубы), базальтопластиковые трубы могут применяться в качестве дренажных по сравнению с трубами, которые применяются для этих целей на сегодняшний день.

Но следует отметить, что с увеличением диаметра трубы значение суммарного показателя для труб из базальтопластика уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Артеменко С.Е., Кадыкова Ю.А., Васильева О.Г. Базальтопластики – полимерные композиционные материалы XXI века// Вестник СГТУ. Саратов, 2005. №2 (7). С. 32-35.
2. 15th Composites Market Survey. [Электронный ресурс]// Composites Germany. Frankfurt am Main, 2020. URL:https://www.composites-germany.org/index.php/en/news-en/press-publications (Дата обращения: 06.11.2020)
3. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении. Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229-231.
4. Мухина М.А. Изготовление мостовых конструкций из композиционных материалов// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Москва, 2020. №3. С. 34-35.
5. Программа федерального дорожного агентства по внедрению композиционных материалов (композитов), конструкций и изделий из них на 2015-2020 гг. [Электронный ресурс]//Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное дорожное агентство. Москва, 2014. URL:http://rosavtodor.ru/eye/page/297/1036 (Дата обращения: 10.12.2020).
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. 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.
8. Tsareva O. Estimation of absolute deformations by changes in distances between the reference points and deformation marks / O. Tsareva, I. Dmitriev, Yu. Kornilov // MATEC Web Conferences. – 2018. V. 245, 04013. – 13 p. – ISSN 2261236X.

УДК 625.741

А.В. Бердник, Д.В. Соколова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТРОЙСТВА ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ НА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТАХ

На безопасность автомобильных дорог влияет множество факторов, одним из которых является освещенность полос движения и тротуаров. Согласно официальной статистике ГИБДД максимальное число дорожно-транспортных происшествий происходит в период с 18 до 20 часов вечера [1]. На рис. 1 приведены статистические данные о распределении по времени суток общего числа дорожно-транспортных происшествий, погибших и раненых в них за 2020 год в Российской Федерации.

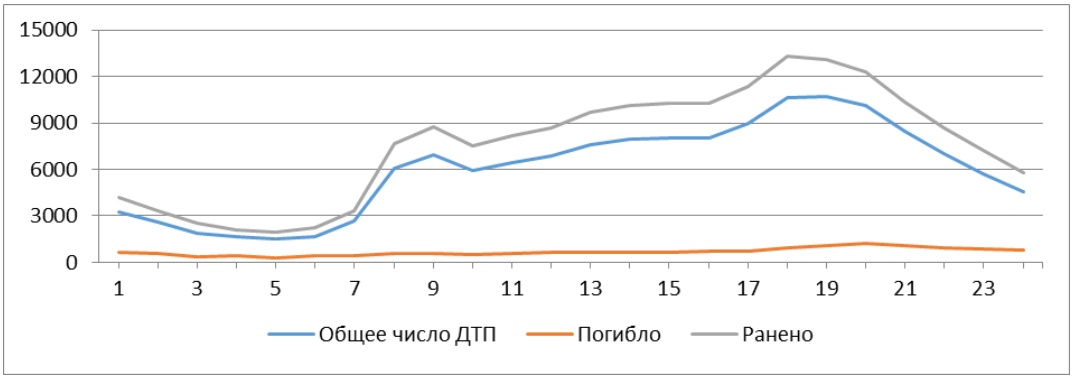


Рис. 1. Статистика ДТП за 2020 год

В ночное время значительно возрастает один из самых важных показателей безопасности дорожного движения – доля ДТП с погибшими (рис. 2). Процент раненых в ночное время также заметно выше по сравнению с дневным промежутком.

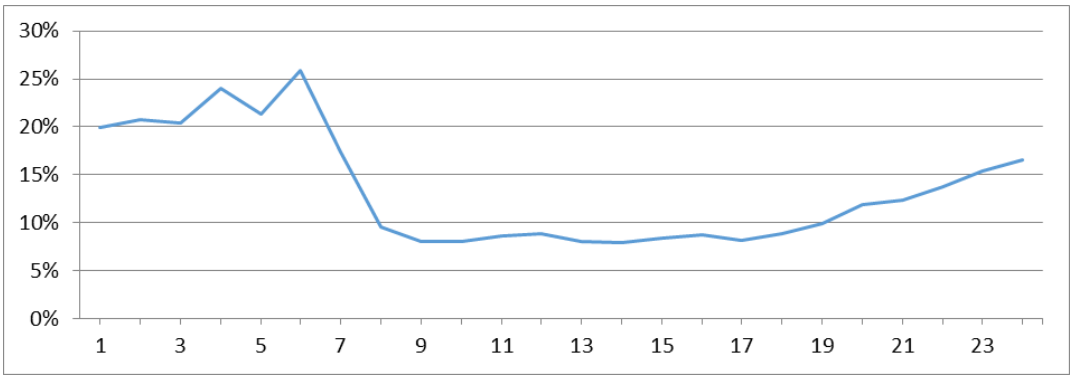


Рис. 2. Процент числа погибших от общего количества ДТП

Увеличение количества освещенных участков трассы на территории страны повысит безопасность движения для пешеходов и транспортных средств [2, 3]. Ветрогенераторы, установленные на опорах освещения вдоль разделительной полосы (рис. 3), способны обеспечивать электроэнергией те дороги, где подключение к общей сети не представляется возможным или является слишком затратным в подключении и обслуживании.

Целью данной работы является оценка экономической и эксплуатационной эффективности устройства освещения автомобильных дорог, обеспечиваемого возобновляемой энергией. Вычисления выполнены для Магаданской области и Республики Башкортостан с дальнейшим сравнением сроков окупаемости. Регионы подобраны по двум критериям: стоимость электроэнергии и средняя скорость ветра.



Рис. 3. Визуализация технологии

Для обоих субъектов в расчете была принята ветроэлектрическая установка с вертикальной осью вращения Falcon Euro с номинальной мощностью 2 кВт. Данный ветрогенератор обладает характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики EDS-Group Falcon Euro [4]

Мощность номинальная, Вт	2000
Максимальная выходная мощность, Вт	2200
Коэффициент использования энергии ветра, %	42
Начальная скорость ветра, м/с	2
Номинальная скорость ветра, м/с	11
Диаметр ветротурбины, м	2,6
Диапазон рабочих температур	- 30 ... 40 °С

Рассчитаем выработку ветрогенератора по формуле [5]:

$$P = 0{,}5kRV^3S,$$

где k – КПД турбины, в диапазоне 0,2…0,5; R – плотность воздушного потока, приблизительно равна 1,225 кг/м^3; $V = V_1 + V_2$ – скорость воздушного потока, м/с; V_1 – средняя скорость ветра в регионе, м/с [6]; V_2 – скорость потока, создаваемого транспортным средством, м/с [7]; $S = \pi \cdot D^2 \cdot 0{,}25$ – площадь ветрового потока, м^2; D – диаметр лопастей ВЭУ, м.

Вырабатываемая мощность в Магаданской области $P_{\text{Маг}}$ равна 2,02 кВт·ч, а в Республике Башкортостан $P_{\text{Баш}}$ приблизительно равна 1,77 кВт·ч. За месяц выработка ветрогенераторов $P_{\text{Маг мес}}$ и $P_{\text{Баш мес}}$ будет составлять 1458 кВт·ч и 1274 кВт·ч соответственно.

Принимаем для вычислений тарифы на электроэнергию $c_{\text{Маг}}$, равными 5,41 руб. за квт·ч [8] и $c_{\text{Баш}}$ равным 3,50 рублей за квт·ч [9], стоимость турбины X в размере 180 тыс. руб. [4], а также дополнительное оборудование Y стоимостью 50 тыс. руб.

Срок окупаемости одного ВЭУ в месяцах рассчитаем по формуле:

$$t_{\text{ок}} = \frac{X + Y}{cP_{\text{мес}}}.$$

Период окупаемости рассматриваемого проекта в северо-восточной части России составит 29 месяцев, в Республике Башкортостан – 51 месяц.

Таким образом, установленные в Магаданской области ВЭУ через 2,5 года начнут приносить доход в размере 95 тысяч рублей ежегодно. В случае с Магаданской областью – 54 тыс. руб. каждый год спустя 5 лет, что позволит освещать новые участки дорог в этих регионах, тем самым снижая количество дорожно-транспортных происшествий и степень тяжести их последствий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения. Госавтоинспекция. [Электронный ресурс] – URL: http://stat.gibdd.ru (дата обращения: 20.03.2021).

2. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий. Технико-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56-60.

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.

4. Ветрогенератор EDS-Group Falcon Euro – 2 кВт. Официальный сайт climag.ru. [Электронный ресурс] – URL: http://climag.ru/vetrogenerator-eds-group-falcon-euro---2-kvt (дата обращения: 23.03.2021).

5. Как расчитать количество ветра в регионе. Альтернативная энергия. [Электронный ресурс] – URL: https://www.betaenergy.ru/windspeed (дата обращения: 23.03.2021).

6. Карта ветров России. Официальный сайт energywind.ru. [Электронный ресурс] – URL: http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii (дата обращения: 23.03.2021).

7. Tian, W.; Mao, Z.; Li, Y. Numerical Simulations of a VAWT in the Wake of a Moving Car. Energies 2017, 10(4), 478; https://doi.org/10.3390/en10040478.

8. Об установлении тарифов на электрическую энергию (мощность) для населения и приравненных к нему категорий потребителей на территории Магаданской области на 2021 год [Текст]: Приказ от 15 дек. 2020 г. №40-2/э // Департамент цен и тарифов Магаданской области. – 2020.

9. Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей по Республике Башкортостан на 2021 год [Текст]: Постановление от 23 ноября. 2020 г. №390 // Государственный комитет Республики Башкортостан по тарифам. – 2020.

10. 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.

УДК 624.138.9

Е.Д. Ионова, В.С. Хайкара, М.М. Линин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТОРФЯНЫЕ ГРУНТЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Одной из проблем, связанных с дорожным строительством, в частности с устройством земляного полотна, является наличие слабого основания. В данной статье рассмотрен такой специфический материал для основания, как торф. Рассмотрены особенности, связанные с торфяными грунтами, а также способы устройства дорожного полотна в местности с торфяными грунтами. Эта проблема актуальна не только для Северо-Западного региона, но и для всей Российской Федерации, так как торфяные грунты широко распространены на всей ее территории. Так, в европейской части их площадь составляет более 300 тыс. км^2.

Торф является сложным грунтом благодаря своей полидисперсности, многокомпонентности. Его физические свойства зависят от показателей каждого компонента. Однако для любого торфа характерно большое влагосодержание (88-96%), пористость, а, следовательно, и коэффициент сжимаемости при компрессионных испытаниях [1]. Торфяной грунт может быть отнесен к группе слабых сильно сжимающихся грунтов, которые уже при средних значениях нагрузок утрачивают прочность, от чего падает сопротивление сдвигу и нарастает сжимаемость.

Из-за вышеуказанных свойств торфяных грунтов их использование в качестве основания для автомобильных дорог нежелательно. Полотно дороги на торфяных основаниях больше подвержено разрушениям и деформациям, появлениям трещин и просадке обочин. [3]

В 1973 году были разработаны Методические рекомендации по использованию торфа в качестве грунта основания. Область их применения ограничивалась сильно заболоченными районами Западной Сибири, поскольку в этих тяжелых условиях другие способы устройства основания были слишком затратные. В этих рекомендациях описывается двухслойная конструкция насыпи: нижний слой торфяной, верхний – минеральный. Поскольку торф крайне влажная структура, необходимо дожидаться устойчивых отрицательных температур для проведения работ. Иначе техника не может передвигаться по заболоченным территориям. Это приводит к дополнительным трудозатратам рабочих, например, уборка снега. На очищенной и промерзшей полосе отвода разбивают земляное полотно (восстанавливают ось насыпи, отмечают линии подошвы, разбивают контуры бокового резерва). Земляное полотно сооружают как в зимний, так и в летний период. Данный способ имеет свои плюсы, так как затраты на привозной грунт резко сокращаются. Но надежность такого основания позволяет сооружать на нем только дороги III-V категорий [4].

Чаще всего проектировщики прибегают к технологии выторфовывания. Она позволяет значительно повысить показатели прочности основания и земляного полотна, заменяя исходный грунт на привозной. Но вынимать торф до твердого основания очень дорого, а иногда и невозможно в силу глубины болота. Работы по выторфовыванию следует проводить в холодный период, что тяжело для рабочих. А если проводить работы в летний период, то возникает опасность возгорания торфа. Весь извлеченный торф необходимо вывозить, что является очередной строкой расхода денежных средств.

В нашей стране эту проблему решают в основном заменой грунта с низкой несущей способностью грунтом с более высокими прочностными показателями. Однако, в Европе уже давно начали использовать технологию стабилизации грунта. Для этого используются различные вяжущие. Данная технология позволяет уменьшить толщину дорожной одежды и расширить распределение нагрузок от колеса на большую площадь. Достигается это путем введения стабилизирующей добавки, которая тщательно перемешивается с торфом. Это

довольно затратная технология. Но использование смесей на основе отходов промышленности позволит значительно сэкономить материалы и ресурсы [5].

Включения цемента и этиленвинилацетата в грунт привело к повышению прочности на сдвиг. Показано, что увеличение содержания этиленвинилацетата способствует повышению пластичности и осевых напряжений цементируемого грунта. Этиленвинилацетат (ЭВА, EVA) – это легкий и упругий материал, имеющий хорошие амортизирующие свойства, обладает повышенной адгезией к различным материалам. С включением этиленвинилацетата улучшение прочностных характеристик может быть достигнуто в сочетании с цементом. При внесении цемента в почву до 4; 6; 8% и этиленвинилацетата до 9% прочность на одноосное сжатие увеличивалась с 0,43, 0,63 и 0,71 Н/мм^2 до 1,18, 1,45 и 1,78 Н/мм^2 соответственно [6].

Сравнение способов работ с грунтами и повышения их несущей способности представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение различных технологий работы с торфяными грунтами

Факторы	Технологии			
	Разработка двухслойной насыпи на подмерзшем грунте	Замена грунта	Стабилизация грунта при помощи различных добавок	Геотекстиль
Применение	Применяется в России только в районах Западной Сибири	Применяется в России в местности со слабыми грунтами основания	Не применяемся в России, но активно используется в Европе	Применяется в России, но для укрепления дорожных одежд
Период применения	Применяется только зимой	Только холодный период	Любое время года	Любое время года
Надежность основания	Небольшая, дороги III-V категорий	Значительно увеличивается	Значительно увеличивается из-за увеличения прочности на сдвиг и сжатие	Значительно увеличивается
Степень упрочнения основания	Увеличивается, но мало	Значительно увеличивается	Значительно увеличивается	Значительно увеличивается
Стоимость	Уменьшается, падают затраты на привозной грунт	Значительно увеличивается из-за затрат на вывоз старого грунта	Не меняется, так как технология изготовления добавок затратная, но использование смесей из промышленных отходов значительно снижает стоимость сырья	Значительно уменьшается в сравнении с полной заменой грунта
Трудозатраты	Увеличиваются уборка снега,	Значительно увеличивается	Данных нет	Значительно уменьшается в сравнении с полной заменой грунта

Часто для укрепления различных оснований применяется геотекстиль. Укрепление торфяных (слабых) грунтов – не исключение. Существует несколько способов использования геотекстиля для решения проблемы слабого основания.

Первый способ: использование геотекстиля Typar фирмы DuPont. Суть способа заключается в использовании пирога из хворостяной выстилки и нарезанного геотекстиля. На таком сооружении строительство основания существенно снижает расходы материалов, трудоемкость и стоимость работ.

Второй способ: использование материала Stabilenka в мембраны между грунтом слабого основания и насыпи. Увеличивает прочность грунта на сдвиг, а также является наиболее экологичным материалом.

Третий способ: «армирование» насыпи геотекстилем «Геоспан ТН 50». Способ заключается в обертывании грунта с краев тканым геотекстилем. В следствие такого способа укрепления грунта снижается осадка и сдвиг грунта.

Все способы применения геотекстиля снижают затраты при строительстве автодорог и повышают прочность оснований [7, 8].

В Литве применили иной подход. В этой стране возникла проблема частого ремонта асфальтобетонного покрытия, вызванного осадкой торфяных напластований толщиной до 1,5 м. Раньше для решения этой проблемы использовали все ту же замену грунта, а также установку свай. Оба способа очень дорогостоящие. Поскольку на территории Литвы много озер и равнинный тип местности, при изысканиях под реконструированной дорогой находили залежи торфа и ила. Тогда в качестве альтернативы стали использовать георешетки. В качестве основного показателя эффективности использовали международный показатель ровности (International Roughness Index, мм/м). Исследования показали, что установка усиленной георешетки позволяет добиться высоких показателей IRI на весь период эксплуатации, при этом уменьшив объем земляных работ и ускорив процесс ремонта. Однако, этот способ работает только на мощностях залегания торфа до 3 м [8, 9].

В данной статье раскрыты множество способов не только усиления прочности слабых грунтов, но и удешевления строительных работ, уменьшения экологического вреда от строительства, уменьшения расхода материалов и снижение трудозатрат рабочих. Для Российских компаний опыт применения геотекстильных материалов для укрепления дорожных одежд не нов, однако не используется для укрепления слабых грунтов. Технология геотекстиля довольно перспективная и малозатратная, экологичная, а также наименее трудоемкая.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Змеев А.Т., Алексеев С.В. и др. Военно-эксплуатационная оценка автомобильных дорог. Учебное пособие. СПб.: ВАМТО, 2018. с.182.
2. Юшков Б.С., Сергеев А.С., Прокопец А.С. Строительство автомобильных дорог в торфах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Изд-во. Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. С. 92-97.
3. Хорошавин, Л.Б. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты // МЧС России М.: ФГБУ ВНИИ ОЧС (ФЦ), 2013. С. 256.
4. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
5. Дубов Д.В., Филиппова Е.В. К вопросу выбора технологии строительства автомобильных дорог на торфяных и глинистых грунтах // Известия томского политехнического университета, 2003. С.28-31.
6. 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.
7. Прококпец А.С., Бартоломей И.Л.Способы строительства автомобильных дорог на торфяных грунтах // Автомобильные дороги, №2, 2019. С. 18-29.
8. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
9. Ермошин Н.А., Букатов Д.С., Никоноров А.Н., и др. 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.

УКД 625.096

Е.Д. Ионова, В.С.Хайкара, М.М. Линин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМНЫХ ФАКТОРОВ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ПРОИСШЕСТВИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Существуют различные принципы, в основе современных моделей, которых, лежит представление о том, что безопасность и несчастные случаи являются экстренными явлениями, возникающими в результате взаимодействия между множественными компонентами целых систем. Это имеет ряд последствий для управления безопасностью. К ним относятся мероприятия по расследованию происшествий, которые учитывают общую систему и стратегии, разработанные для предотвращения неблагоприятных событий, которые сосредоточены на всех уровнях системы, а не на отдельных ее компонентах в отдельности [1]. Было отмечено, что нынешние стратегии обеспечения безопасности дорожного движения, хотя и включают терминологию и элементы системного мышления, в полной мере им не соответствуют [2, 3].

Цель работы – провести анализ влияния системных факторов дорожно-транспортной инфраструктуры на количество дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах.

Существует целый ряд факторов, способствующих развитию дорожно-транспортной системы, которые потенциально играют роль в авариях и дорожно-транспортных происшествиях. Лишь немногие из выявленных факторов связаны с отдельными участниками дорожного движения и их опасным поведением на дороге, таким как вождение в нетрезвом виде, превышение скорости, вождение в состоянии усталости и вождение в состоянии рассеянности. Скорее, большинство из них связано с функциональными целями автотранспортной системы, ее ценностями и приоритетами (например, экономический рост, экономический потенциал, эффективность, пользовательский опыт), необходимыми функциями (например, управление пропускной способностью), физическими объектами на дороге (например, транспортные средства, дорожная инфраструктура, рекламные щиты) и связанными с ними процессами (например, развлечения, реклама) [4]. Факторы, выявленные на уровне функционального назначения, ценностей и приоритетов, обычно не отражаются в исследованиях по анализу дорожно-транспортных происшествий и не включаются в схемы классификации ДТП ОДМ 218.6.015-2015. Эти сопутствующие факторы, как правило, игнорировались при изучении безопасности дорожного движения [5].

Многие физические участники дорожного движения и связанные с ними процессы, которые, как считается, играют определенную роль в дорожно-транспортных происшествиях и травмах, не вызывают удивления. Например, роль транспортных средств, дорожной среды и инфраструктуры, а также метеорологических условий в ДТП хорошо известна и существует уже множество исследований на эту тему (например, [6]). Более интересными являются выявленные функциональные цели и ценности, а также приоритетные меры. Например, функциональная цель «экономического роста» и связанная с ней величина и приоритетный показатель «экономический потенциал». Она говорит о том, что мероприятия, предпринимаемые для увеличения экономического потенциала дорожно-транспортной системы в целях содействия экономическому росту, на самом деле могут иметь сопутствующие последствия в виде ДТП. Примером могут служить грузовые перевозки, которые играют значительную роль в экономическом росте [7], но также вносят значительный вклад в статистику ДТП и число погибших. По мере расширения экономики и роста производства растет спрос на грузовые перевозки, а в свою очередь дорожно-транспортные происшествия и травмы увеличиваются [8]. До тех пор, пока дорожно-транспортная система будет выступать в качестве основного посредника экономического роста, будут происходить аварии, гибель людей и травмы.

Таблица 1 – Факторы дорожно-транспортной системы и примеры их влияния на дорожно-транспортные происшествия

Фактор	Пример роли	Решение
Экономический рост	Чрезмерный акцент на использование транспорта в качестве средства экономического роста может привести к увеличению объема грузовых перевозок по автомобильным дорогам и связанному с этим росту числа ДТП.	Перемещение грузов с автомобильного транспорта на другие виды транспорта, такие как железнодорожный, морской и авиационный.
Обеспечение доступа, улучшение транспортной инфраструктуры	Расширение инфраструктуры за счет строительства большего количества дорог (а не альтернативных видов транспорта) приводит к увеличению интенсивности дорожного движения и связанному с этим росту аварийности.	Поощрение/обеспечение доступа с помощью других видов транспорта. В некоторых случаях доступ может быть облегчен с помощью не связанных с транспортом средств (например, дистанционное обучение/удаленная работа).
Акцент на увеличение пропускной способности как приоритетный фактор эффективности	Чрезмерный акцент на эффективность при проектировании дорог может привести к тому, что дорожные условия будут сфокусированы на максимизации пропускной способности моторизованных транспортных средств, не учитывая в полной мере потребности других видов транспорта.	Анализ и оптимизация эффективности на уровне всей транспортной сети, а не на уровне отдельных участков. Включить другие виды транспорта в меры и мероприятия по повышению эффективности.
Цена времени	Если участники дорожного движение слишком сильно ценят сокращение времени на дорогу, то они могут быть склонны к неблагоприятному поведению, например, к превышению скорости движения.	Улучшение планирования землепользования и городского дизайна, с тем чтобы сократить время в пути и сделать более привлекательными альтернативные виды транспорта.
Состояние дорожной инфраструктуры	Ненадежная инфраструктура может привести к авариям (например, сломанные светофоры, ямы на дорогах).	Обеспечить надежность инфраструктуры за счет улучшения мониторинга и обслуживания.
Контроль за дорожным движением	Если поведение участников дорожного движения не контролируется надлежащим образом, то это может привести к ДТП, например, к несоблюдению ПДД.	Автоматический мониторинг и контроль с помощью телематики (спутниковый мониторинг транспорта).
Мониторинг и улучшение эффективности системы	Отсутствие обратной связи в отношении системных факторов, вносящих свой вклад, приводит к недостаточному обучению и разработке мер по обеспечению безопасности дорожного движения, которые не решают более широких проблем в рамках всей системы автомобильного транспорта	Улучшение связи между различными системами данных, например, данными полиции, больниц, страховых компаний. Использование данных о ДТП для обоснования политики, стандартов, мер вмешательства.
Подготовка и обучение	Недостаточная подготовка и образовательные программы приводят к тому, что участники дорожного движения слабо подготовлены	Разработать и применить более сложные программы подготовки и обучения водителей

Стратегии по обеспечению безопасности дорожного движения

Существуют широкие возможности для разработки инновационных мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения, направленных на различные аспекты функциональной структуры дорожно-транспортных систем.

Многие из этих мероприятий уже введены в практику обеспечения безопасности дорожного движения, особенно те, которые определены на уровне объектов дорожного движения и связанных с объектом процессов. Например, перевод грузового транспорта на другие виды транспорта, сокращение использования автотранспортных средств, максимизацию выбора вида транспорта за счет увеличения и оптимизации общественного транспорта, а также использование городского планирования для сокращения времени в пути и необходимости пользования личным автомобилем [5]. Важной особенностью этих мер является то, что они также, вероятно, будут иметь преимущества помимо значительного снижения числа ДТП.

Например, попытка увеличить популярность и поставить в приоритет «модальный выбор» дает возможность снизить уровень ДТП, одновременно улучшая здоровье и благополучие населения. Максимизация выбора вида транспорта включает в себя сокращение использования автотранспортных средств за счет уменьшения потребности в вождении (например, за счет улучшения проектирования землепользования и городского планирования) и расширение альтернативных видов транспорта, включая общественный транспорт (поезда, трамваи, автобусы) и активный транспорт (езда на велосипеде и ходьба пешком) (см. табл. 1).

Дальнейшее снижение уровня ДТП будет достигнуто лишь за счет фундаментального изменения характера и структуры автотранспортных систем. Это включает в себя снижение акцента на использование транспорта в целях экономического роста, увеличение числа активных видов транспорта и сокращение использования автотранспортных средств, а также пересмотр стратегий обеспечения безопасности дорожного движения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Dekker S. Drift Into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems 2011. 206 p.
2. Hughes B.P., Anund A., Falkmer T. A comprehensive conceptual framework for road safety strategies. Accid. Anal. Prev., 90 (2016), pp. 13-28.
3. Лазарев Ю.Г., Медрес Е.Е. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий. Технико-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3 (37). С. 56-60.
4. P.M. Salmon, G.J.M. Read, N. Stevens, et al. Using the abstraction hierarchy to identify how the purpose and structure of road transport systems contributes to road trauma. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives 3 (2019) 100067.
5. Алексеев С.В., Погонин С.Ю. Оптимизация улично-дорожной сети в крупных городах России. Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции . 2019. С. 220-223.
6. Treat J.R., Tumbus N.S., McDonald S.T., et al. Tri-level Study of the Causes of Traffic Accidents: Final Report, vol. 1: Causal Factor Tabulations and Assessments. Institute for Research in Public Safety, Indiana University (1979).
7. Beyzatlar M.A., Karacal M., Yetkiner H. Granger-causality between transportation and GDP: a panel data approach. Transp. Res. A Policy Pract., 63 (2014), pp. 43-55.
8. Gaudry M., de Lapparent M. Part 2. Beyond single-outcome models: decompositions of aggregate and disaggregate road safety risk. Res. Transp. Econ., 37 (1) (2013), pp. 20-37.

УДК 625.731.1

А.А. Тепкина, Е.Д. Коробова, А.А. Морозов, С.В. Алексеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, ВЫПОЛНЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ XPS-ПЛИТ

Основными целями «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030» года являются улучшение качественного состояния дорожно-транспортной системы и ввод в эксплуатацию новых автомобильных дорог общего пользования для достижения большей доступности и экономической эффективности. Поскольку примерно 65% территории Российской Федерации занимают многолетнемерзлые породы, есть необходимость в разработке и внедрении технологий по устройству земляного полотна, обеспечивающих надежность и долговечность конструкции в сложных геологических условиях, а именно в условиях вечной мерзлоты.

С 1970-х годов распространение в жилом и дорожном строительстве в Российской Федерации получили плиты и блоки из экструдированного пенополистирола (XPS – Extruded Polystyrene) – синтетического теплоизоляционного материала, обладающего низкой теплопроводностью, минимальным водопоглощением и малым удельным весом. Свойства этого материала определяют возможность его применения как теплоизоляционного материала в конструкции земляного полотна, обеспечивающего сохранение мерзлого состояния грунтов основания [1, 2]

Цель работы – определение теплотехнических показателей конструкции земляного полотна, выполненного с применением блоков из экструдированного пенополистирола и анализ применимости рассчитанной конструкции в условиях многолетней мерзлоты.

Районом проектирования выбрана Иркутская область – дорожно-климатическая зона I_3, территория с сплошным распространением многолетней мерзлоты, мощностью мерзлой толщи 150 м, температурой пород от -1,5 до -4 °С, глубиной сезонного промерзания суглинистых пород 1,5 м. Требуемая высота насыпи по условию снегонезаносимости для автомобильной дороги III категории принята 1,15 м.

Для достижения поставленной цели был выполнен теплофизический расчет конструкции дорожной одежды, имеющей следующую структуру (рис. 1):

- асфальтобетон плотный, 4 см;
- асфальтобетон пористый, 8 см;
- асфальтобетон пористый, 8 см;
- щебень, 30 см;
- песок, 25 см;
- XPS-плиты;
- песчаная подготовка, 5 см;
- грунт основания [3].

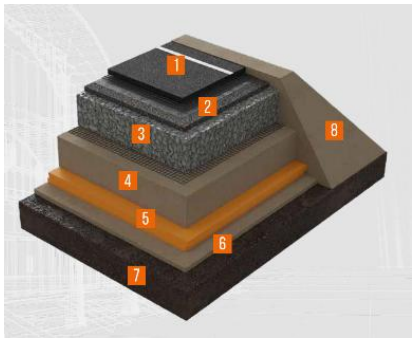


Рис. 1. Конструкция ДО

Таким образом, проектирование было выполнено согласно первому принципу проектирования дорожных конструкций, предусматривающему обеспечение поднятия верхнего горизонта вечной мерзлоты не ниже подошвы насыпи и сохранение его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги [4, 5]. Теплотехнический расчет был выполнен вручную на основе одномерной расчетной модели (рис. 2), имеющей достаточную точность [6]. Методом проектирования является метод эквивалентного слоя.

Каждый i-й слой конструкции характеризуется толщиной h_i, м; объемной теплоемкостью c_i, Дж/м^3·℃; коэффициентом теплопроводности λ_i, Вт/м·К); объемной влажностью W_i, доли единицы (табл. 1). Теплота замерзания воды $L = 332 \cdot 10^6$ Дж/м^3. Внешнее тепловое воздействие характеризуются средней за лето температурой воздуха T_n = 16,5 ℃; продолжительностью периода с положительными температурами $\tau_s = 1684{,}8 \cdot 10^4$ с, средней за зиму температурой воздуха t_{uw} = -15,9 ℃; продолжительностью периода с отрицательными температурами воздуха $\tau_w = 1468{,}8 \cdot 10^4$ с; минимальной высотой снегонезаносимой насыпи.

Выражение для расчета величины оттаивания в последнем ($i = N$) слое в конструкции имеет вид:

$$\xi = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{2\lambda_N T_n(\tau_s - \tau_{N-1})}{c_N T_n + W_N L} + (\beta_N S_N)^2} - \beta_N S_N, \text{если } \tau_{N-1} < \tau_s. \\ 0, \text{если } \tau_{N-1} \geq \tau_s. \end{cases}$$

Здесь:

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \frac{c_i T_n + W_i L}{2\lambda_i T_n} h_i \left(h_i + \frac{W_i L S_i}{c_i T_n + W_i L} \right), 1 \leq i \leq N-1, \tau_0 = 0;$$

$$S_i = \sum_{j=0}^{i-1} \frac{\lambda_i}{\lambda_j} h_j, \quad 1 \leq i \leq N, h_0 = \tau_0 = 0; \qquad \beta_i = \frac{W_i L}{c_i T_n + W_i L}, 1 \leq i \leq N.$$

Таблица 1 – Теплофизические характеристики материалов, используемых в дорожной одежде

Материал, грунт	h_i, м	c_i, Дж/м^3·℃·10^{-6}	λ_i, Вт/м·К	W_i, доли единицы
Асфальтобетон горячий плотный	0,04	0,99	1,64	0
Асфальтобетон горячий пористый	0,16	0,83	1,07	0
Щебень из гранита	0,30	2,13	2,67	0,1
Песок пылеватый талый	0,25	2,01	1,51	0,1
Экструдированный пенополистирол	-	0,06	0,03	0,004
Песок пылеватый мерзлый	0,05	1,67	1,86	0,1
Суглинок мерзлый	∞	2,35	1,70	0,4

Определение необходимой толщины слоя пенополистирола и его расположения по вертикали производится подбором по приведенным формулам при условии $\xi \to 0$. При величине толщины слоя из блоков экструдированного пеноплистирола равной 9 см рассчитанная по приведенной методике величина оттаивания составила $\xi = 0{,}175 \cdot 10^{-10}$м, что обеспечивает условие непротаивания грунта основания.

Также стоит отметить, что рассчитанная величина толщины теплоизолирующего слоя позволяет устроить конструкцию из плит типовых габаритов (40 + 50 мм) в два слоя с обеспечением нахлеста плит над местами их стыков (рис. 3).

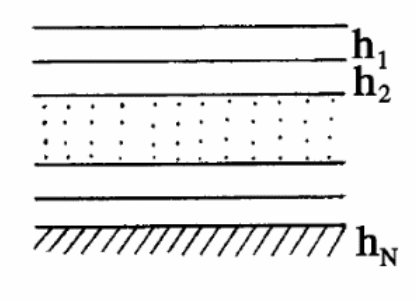


Рис. 2. Модель расчета

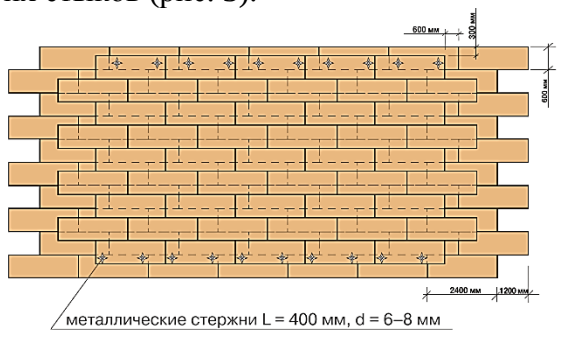


Рис. 3. Порядок раскладки плит

Такой вариант раскладки позволяет исключить местные колебания величин оттаивания и образование температурных мостиков.

Рассчитанная конструкция обладает теплофизическими свойствами, сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии, что исключает растепление верхних слоев основания, уменьшение его объема и опасность образования усадок в месте растепления [7].

Применение плит из экструдированного пеноплистирола в конструкции конструктивного элемента автомобильных дорог позволяет уменьшить глубины сезонного промерзания, а также обеспечить сохранение мерзлого состояния грунтов основания, тем самым обеспечивается удовлетворение нормативных требований к морозоустойчивости конструкций и предотвращаются деформации от воздействия сил морозного пучения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ашпиз Е.С., Хрусталев Л.Н., Емельянова Л.В., Ведерникова М.А. Использование синтетических теплоизоляторов для сохранения мерзлотных условий в основании железнодорожной насыпи // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 84-89.
2. Чжан А.А., Ашпиз Е.С., Хрусталев Л.Н., Шестернев Д.М. Новый способ защиты мерзлых грунтов основания насыпи от оттаивания // Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 3, с. 67-71.
3. Быков Н.И. и Каптерев П.Н. Вечная мерзлота и строительство на ней. – М.: Трансжелдориздат, 1940. – 372 с.
4. Методические рекомендации по расчетам и технологии устройства теплоизоляционных слоев дорожных конструкций из пенополистирольных плит «ПЕНОПЛЭКС» в районах распространения вечномерзлых грунтов. ФГУП СОЮЗДОРНИИ Издание 2-е, 2005, с. 20-24.
5. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.
6. Tsareva O. Estimation of absolute deformations by changes in distances between the reference points and deformation marks / O. Tsareva, I. Dmitriev, Yu. Kornilov // MATEC Web Conferences. – 2018. V. 245, 04013. – 13 p. – ISSN 2261236X.
7. Цытович, Н.А. К вопросу расчета фундамента сооружений, возводимых на вечной мерзлоте / Н. А. Цытович. – Л.: Гипромез, 1928. – 27 с.

УДК 625.7

А.В. Бердник, С.М. Шевченко, В.А. Новик, С.В. Алексеев, Х.А. Ахмед
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДТП ИЗ-ЗА НЕДОСТАТКА ОСВЕЩЕННОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Вопрос безопасности дорожного движения из года в год становится все более острым. Одной из возможных причин может быть тот факт, что темп приведения автомобильных дорог к нормативным показателям не поспевает за повышением уровня автомобилизации населения Российской Федерации, в частности Ленинградской области. По данным материалов Росстата на 2019 г. только 47,1% дорог этого региона соответствуют нормативным показателям. Официальный сайт регионального комитета по дорожному хозяйству в январе 2021 г. приводит цифру чуть меньше – 45% автомобильных дорог регионального и межмуниципального значения [1].

Критерий нормативности включает в себя состояние проезжей части и тротуаров, количество остановочных пунктов и протяженность придорожных полос, а также качество освещения проезжей части и тротуаров в населенных пунктах [2]. Вышеупомянутые факторы напрямую влияют на количество дорожно-транспортных происшествий. Проанализируем статистику ГИБДД в Ленинградской области за период с 2015 по 2020 гг., представленную на рис. 1 и 2 [3].

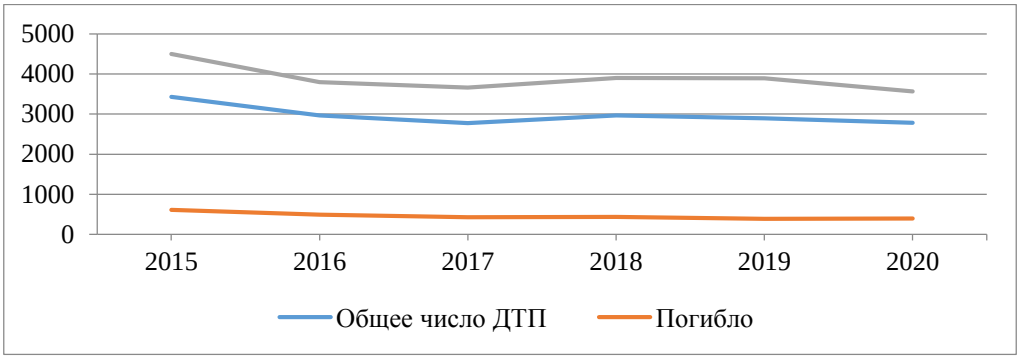


Рис. 1. Статистика дорожно-транспортных происшествий за последние 6 лет

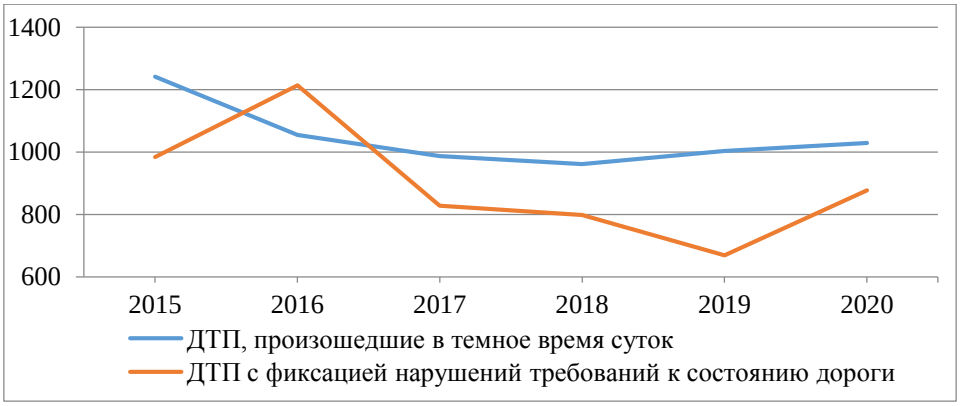


Рис. 2. Особенности дорожно-транспортных происшествий за последние 6 лет

Основываясь на вышеприведенных данных, можно заявить, что даже несмотря на тенденцию постепенного уменьшения общего количества ДТП, их число в темное время остается на том же уровне, что и 5 лет назад. Дорожно-транспортные происшествия, на месте которых зафиксированы нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию по условиям безопасности дорожного движения, наоборот, становятся более частым явлением в регионе. Исходя из этого, можно сделать вывод, что сознательность и социальная ответственность водителей растет, а ДТП в большей мере происходят из-за ненормативного состояния покрытия и низкого уровня освещенности проезжей трассы и пешеходных переходов [4].

Рассчитывая экономические последствия от дорожно-транспортных происшествий в Ленинградской области, воспользуемся методом, основанным на работах научно-исследовательского института автомобильного транспорта [5, 6]. Для определения социально-экономического ущерба от ДТП необходимо обладать информацией о составе участников происшествия, уровня валового регионального продукта (ВРП), а также о численности населения области, занятого в экономике.

В первую очередь необходимо найти коэффициент K, равный отношению ВРП за 2020 год к ВРП за 2016 год:

$$K = \frac{\text{ВРП}_{2020}}{\text{ВРП}_{2016}} = \frac{1225\ \text{млрд руб.}}{916\ \text{млрд руб.}} = 1{,}34.$$

Затем следует определить коэффициент прироста численности населения K_1, занятого в экономике области за этот период:

$$K_1 = \frac{\text{НЗЭ}_{2020}}{\text{НЗЭ}_{2016}} = \frac{973\ \text{тыс. чел.}}{966\ \text{тыс. чел.}} = 1{,}01.$$

Окончательный коэффициент K_2 равен:

$$K_2 = \frac{K}{K_1} = \frac{1{,}34}{1{,}01} = 1{,}33.$$

Путем умножения норматива величины ущерба за 2016 год на коэффициент K_2 определим текущее значение:

$$H_{2020} = H_{2016}K_2 = 22{,}28 \text{ млн руб.} \cdot 1{,}33 = 29{,}63 \text{ млн руб.}$$

Стоимостная оценка ущерба от гибели и ранения человека в ДТП за 2016 и 2020 годы сведена в табл. 1.

Таблица 1 – Экономический ущерб от ДТП за 2016 и 2020 гг.

Наименование показателя	Ущерб за период, млн руб.	
	2016	2020
Гибель человека, имевшего семью	22,28	29,63
Гибель человека, не имевшего семью	21,07	28,02
Ущерб от ранения человека, получившего инвалидность и не работающего	11,01	14,64
Ущерб от ранения человека, получившего инвалидность и работающего	6,35	8,45
Ущерб от ранения человека в случае временной нетрудоспособности	0,12	0,16
Ущерб от гибели ребенка	25,57	34,01

В 2020 году на дорогах Ленинградской области погибло 396 человек, 15 из которых – дети [1]. Ущерб государства в результате гибели взрослых составил 11,05 миллиардов рублей, детей – 510 миллионов рублей. Таким образом, при условии, что безопасность дорожного движения останется на прежнем уровне, региональный бюджет будет нести ущерб в размере 1% от значения валового регионального продукта каждый год.

Повышение качества дорожного сервиса включает в себя как уменьшение доли ДТП с отмеченными неудовлетворительными дорожными условиями, в т. ч. из-за недостаточного уровня освещенности трассы и неровности покрытия, так и проведение социально-образовательных и дисциплинирующих проектов для настоящих и будущих водителей [7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Текущая и статистическая информация о Комитете. Комитет по дорожному хозяйству Ленинградской области. [Электронный ресурс] – URL: https://road.lenobl.ru/ru/o-komitete (дата обращения 30.03.2021).

2. Гуртяк М.А., Новик А.Н. Оценка эффективности применения альтернативных источников для освещения автомобильных дорог в России (на примере Дымского шоссе) // Вопросы студенческой науки. 2019. № 1(29). С. 103-116.

3. Показатели состояния безопасности дорожного движения. Госавтоинспекция. [Электронный ресурс] – URL: http://stat.gibdd.ru (дата обращения: 30.03.2021).

4. Лазарев Ю.Г. Показатели обеспечения безопасности транспортных систем в интересах реальной экономики // Технико-технологические проблемы сервиса. 2018. № 1(43). С. 61-65.

5Демахина Е.С., Поготовкина Н.С., Никитин Е.А., Пархоменко В.А. Социально-экономические последствия аварийности на автомобильных дорогах в Российской Федерации // Качество и жизнь. 2018. № 3(19). С. 61-64.

6. Алексеев С.В., Погонин С.Ю. Оптимизация улично-дорожной сети в крупных городах России // Актуальные проблемы транспортного обеспечения военной безопасности государства. Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. СПб.: ВАМТО, 2019. С. 220-223.

7. Бердник А.В., Соколова Д.В., Литвинова И.А., Володин И.А., Шевченко С.М. Выбор типа ветрогенератора для энергообеспечения объектов транспортной инфраструктуры // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2020. С. 169-173.

УДК 656.142

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель работы – повышение безопасности дорожного движения путем изменения конструктивных элементов улично-дорожной сети.

Согласно официальным данным ГУОБДД МВД России [1] за 2020 год в г. Санкт-Петербурге произошло 1942 дорожно-транспортных происшествия с участием пешеходов, почти половина из них (49,6%) – на пешеходных переходах, в которых погибло 97 человек и получили ранения 1930 человек. Основной причиной аварий становится превышение скорости водителями транспортных средств. На рис. 1. представлена зависимость скорости реакции водителя и его тормозной путь в зависимости от скорости движения транспортного средства, а на рис. 2. вероятность смерти пешехода от скорости транспортного средства.

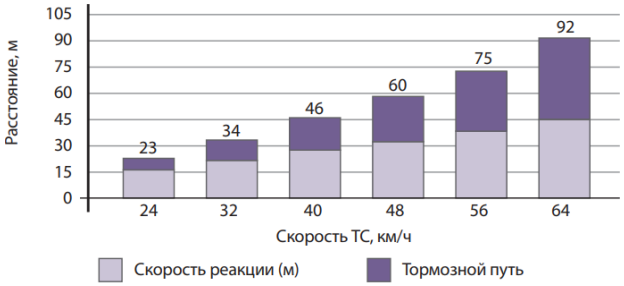


Рис. 1. Реакция водителя – тормозной путь

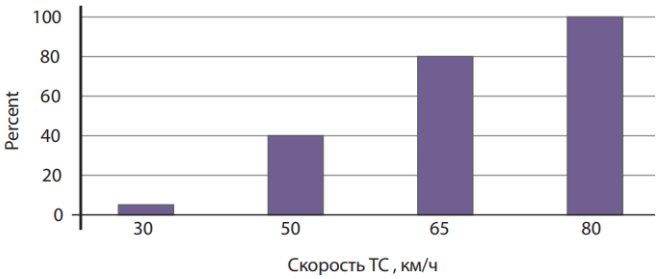


Рис. 2. Вероятность гибели пешехода

Для достижения поставленной цели могут быть использованы следующие решения: устройство островков безопасности на пешеходных переходах и в местах пересечения транспортных потоков; устройство приподнятых пешеходных переходов, устройство шикан в целях снижения скорости движения транспортными средствами [6]. Данные конструктивные элементы представлены на рис. 3-5.



Рис. 3. Островок безопасности



Рис. 4. Приподнятый пешеходный переход

Островки безопаности, согласно методическим рекомендациям Министерства Транспорта, повышают безопасность движения на 30%. Оборудование данного элемента улично-дорожной сети на нерегулируемых перекрестках оказывает наибольшее влияние на количество дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов [3]. Для пешеходов устройство островков безопасности позволяет пересекать улицу с двусторонним движением в два этапа, поочередно пересекая каждое направление трафика, для водителей данный переход позволяет заблаговременно видеть пешеходов и оценить время и скорость, необходимые для проезда. Также устройство островков безопасности позволяет устройство дополнительного освещения переходов.

Согласно данным [1-2] на улицах, где были устроены островки безопасности общее количество дорожно-транспортных происшествий снизилось на 15%, автомобилисты стали задерживаться на 30% меньше, что позволило повысить пропускную способность улиц.

Вариант устройства приподнятого пешеходного перехода устраивается по принципу продолжения троуара по высотной отметке, для пересечения которого автомобильный транспорт должен проехать два пологих пандуса (рис. 4) [4, 5].

Приподнятые пешеходные переходы являются разновидностью искусственной неровности, перед пересением которых водители транспортных средств вынужденно снижают скорость движения, что повышает безопасность движения. Также важна эстетическая функция таких переходов – они позволяют пересекать улицу по сухой поверхности во время дождей, так как на таких переходах не образуется луж, свойственных обычным переходам.

Третий тип рассматриваемых элементов улично-дорожной сети – шиканы, которые зарекомендовали себя в Европейских странах (рис. 5). Шиканы – это один или несколько последовательных поворотов на дороге, используемых для вынужденного снижения скорости движения транспортными средствами [6].

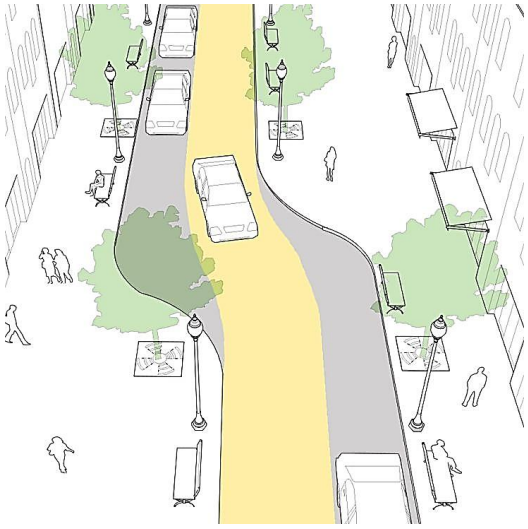


Рис. 5. Вариант шиканов

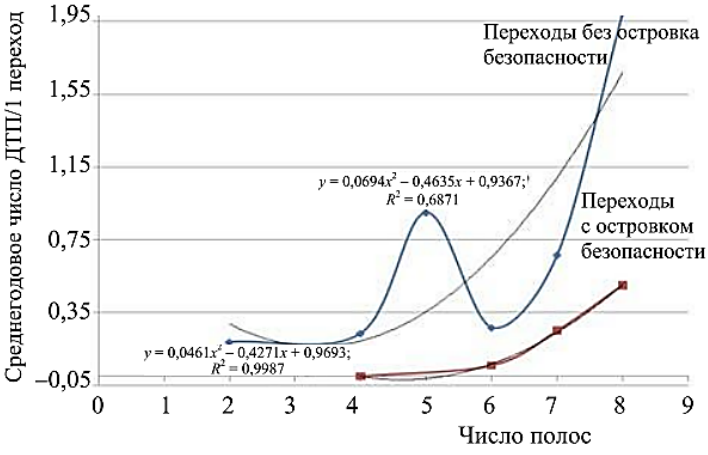


Рис. 6. Диаграмма безопасности-количество аварий

В работе рассмотрена принципиальная зависимость снижения количества ДТП, связанная с применением приведенных выше конструктивных элементов улично-дорожной сети. На рис 6. представлена диаграмма влияния устройства островков безопасности на количество аварий на улицах городов с различным количеством полос движения [2].

Для оценки и обоснования эффективности приятия тех или иных решений по изменению конструктивных элементов улично-дорожной сети в целях повышения безопасности дорожного движения недостаточно простого принятия описанных решений. Важно кроме снижения степени аварийности при изменении конструктивных элементов не допустить

значительного снижения пропускной способности улично-дорожной сети [7-9]. Для этого необходимо провести имитационное моделирование движения транспортного потока и функционирования пешеходных переходов на конкретных участках улично-дорожной сети с измененными конструктивными элементами.

Таким образом, моделирование процесса функционирования транспортного и пешеходного потоков при различных изменениях конструктивных элементов улично-дорожной сети позволит более достоверно выявить и получить конкретные данные о степени эффективности принимаемых мероприятий в целях повышения безопасности пешеходов и дорожного движения на улично-дорожной сети городов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения. Статистика. [Электронный ресурс]. Официальный сайт Госавтоинспекции. – Режим доступа: http://stat.gibdd.ru/ (Дата обращения 20.03.2021).
2. Кухаренок Г.М., Капский Д.В., Кот Е.Н., Щипцов М.П. Влияние планировочных, организационных характеристик и регулирования на безопасность движения пешеходов. Вестник БНТУ, 2011. – 5 с.
3. Белецкий В.А., Заровная Л.С. Повышение безопасности движения пешеходов на многополосных участках улиц и дорог. Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Пензенский государственный университет, Политехнический институт, 2018. – 17-22 с.
4. Слободчикова Н.А., Плюта К.В. Безопасность пешеходных переходов. Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2017. – 1-8 с.
5. Верхова А.А., Бирюков О.Р. Эффективность применения методов "успокоения движения". В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 57-59.
6. Петрищев Ю.Р. Проектирование дорог в жилой зоне на примере европейских стран. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Изд. – СПбГАСУ, 2020. 103 с.
7. Ермошин Н.А. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог: Учебник / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев, С.В. Алексеев, В.Г. и др. СПб.: ВАТТ, 2015. 312 с.
8. 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.
9. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования. Технико-технологические проблемы сервиса. 2017. № 1 (39). С. 58-62.

УДК 691.32

С.В. Алексеев, А.М. Исмаилов, С.А. Уколов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗАЩИТНЫЕ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Повышение долговечности объектов транспортной инфраструктуры необходимо рассматривать сквозь призму требований, принятых и реализуемых сегодня государственных программ, в частности, в сфере импортозамещения дорожно-строительных материалов и реализации требований Технического регламент таможенного союза [1]. ТР ТС 014/2011, Безопасность автомобильных дорог. Задача состоит в том, чтобы в условиях усложнения конструкции транспортных сооружений, применения новых строительных материалов и технологий транспортного строительства, роста интенсивности движения и нагрузок не допустить новых и более существенных затрат в процессе дорожного строительства и эксплуатации автомобильных дорог [2-4].

Одним из направлений безотказной работы и продления службы транспортных сооружений является обработка асфальтобетонных и цементобетонных покрытий и изделий гидрофобизирующими составами.

Целью работы является исследование однокомпонентный материал промышленного применения для гидрофобизации асфальтобетонных и цементобетонных покрытий аэродромов и автомобильных дорог, конструкций зданий и сооружений дорожных эксплуатационных служб российского производства.

Потребность в испытании связана с тем, что необходимо оценить качественные показатели отечественных защитных пропиточных гидрофобизирующего состава и возможность замены дорогостоящих импортных аналогов российскими при производстве работ по восстановлению объектов транспортной инфраструктуры.

Влага как известно всегда присутствует в бетонных конструкциях. Это связано с тем, что бетон может впитывать влагу и водяные пары. Существует множество источников, из которых могут поступать влага и водяные пары, однако наиболее распространенными из них являются осадки и быстрые перепады температур.

Влага в виде молекул и паров попадает внутрь бетона и непрерывно пытается вытолкнуть себя, находя пустоты, в которые можно будет передать ее давление. Это давление слабое и само по себе не разрушает бетон, но при неоднократном замораживании-оттаивании влага может превращаться в лед, достаточно прочный для частичного повреждения бетона.

К числу проблем, ведущих к повреждению бетона, относятся быстрые циклы замораживания-оттаивания, термическое растрескивание, проникновение ионов хлора и взаимодействия между щелочами и кремнеземом [5-7]. Все эти проблемы так или иначе связаны с водой и влагой и в какой-то момент приводят к повреждению бетона.

Для защиты бетона от проблем, связанных с влагой, были разработаны пропиточные составы «Пропитка проникающая гидрофобизирующая «БАУБЕРГ-RP» производства ООО «БАУБЕРГ».

Определение изменения водонепроницаемости образцов. Водонепроницаемость бетона определена на образцах-цилиндрах (высотой и диаметром 150 мм) по ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости», методом «мокрого пятна». Водонепроницаемость серии образцов оценивали максимальным давлением воды, при котором на четырёх из шести образцов не наблюдалось просачивание воды.

Удельный расход пропитки при обработке поверхности образцов – 250 мл на 1 м^2. Время высыхания – 30 мин. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Водонепроницаемость образцов-цилиндров бетона

№	Наименование серии	Водонепроницаемость серии образцов, МПа	Марка бетона по водонепроницаемости
1	Серия 1. Образцы цементобетона без обработки	0,6	W6
2	Серия 1. Образцы цементобетона после обработки пропиткой	0,8	W8
3	Серия 2. Образцы цементобетона без обработки	1,2	W12
4	Серия 2. Образцы цементобетона после обработки пропиткой	1,4	W14

Поверхностная обработка цементобетона гидрофобизирующей пропиткой «БАУБЕРГ-RP» уменьшает проникающую способность влаги, повышая марку цементобетона по водонепроницаемости (на основании проведенного лабораторного испытания).

Влияние гидрофобизирующего пропиточного состава на морозостойкость бетона. Образцы размерами 100х100х100 мм в количестве 6 шт. на одно испытание изготавливались в соответствии с ГОСТ 10180-2012 и испытывались третьим ускоренным методом в солях при -50 ºС по ГОСТ 10060-2012. Хранение образцов до испытания осуществлялось в камере нормального твердения при t = 20±3 ºС и φ > 96 %. Испытания проводились на соответствие сухих смесей марке по морозостойкости базового (первого) метода $F_1$1000, чему соответствует 35 циклов замораживания и оттаивания третьего ускоренного метода. Результаты испытания представлены на рисунке 1.

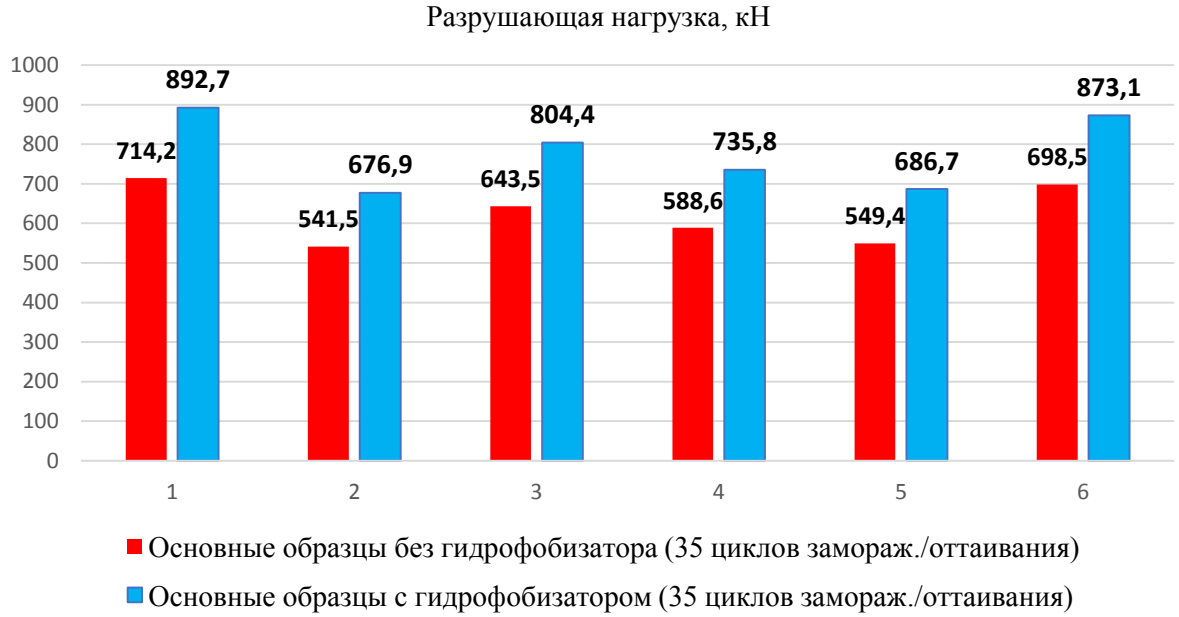


Рис. 1. Сопоставление разрушающих нагрузок

В ходе данного исследования экспериментально установлено, что российские гидрофобизирующие составы для защиты бетонных конструкций объектов транспортной инфраструктуры не уступают по основным параметрам зарубежным аналогам. При этом в ряде случаев достигаются более высокие показатели. Применение российских защитных пропиточных гидрофобизирующих материалов имеет положительный экономический эффект и позволяет снизить себестоимость производимых работ по защите объекта за счет более конкурентоспособной цены.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97.
2. 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. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 134-139.
3. 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.
4. Tsareva O., Portnov F. Improving the methodology for observing deformations of buildings and structures // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 01056.

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. 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.
7. Кириллов С.В., Кутин Д.А. Оценка возможности трещинообразования ростверка мостовой опоры на основании расчета термонапряженного состояния // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.2019. С. 50-51.

УДК 625.731.8

И.В. Попков, С.В. Алексеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОДЕФОРМАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОСНОВАНИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЕЙНОСТИ

Актуальность данной работы заключается в том, что один из самых распространённых дефектов асфальтобетонного покрытия – это образование колейности. Этот дефект способствует разрушению асфальтобетонного покрытия, так как затрудняет сток воды с поверхности покрытия, а также снижению безопасности дорожного движения.

Колейность является естественной дорожной неровностью, риски возникновения которой необходимо снизить к минимуму, так как такая деформация дорожного полотна мешает транспортному средству двигаться с установленной скоростью с обеспечением необходимой безопасности на дорогах [1, 2]

Колея – это вид деформирования поперечного профиля проезжей части с образованием углублений по полосам наката с гребнями или без гребней выпора

Причины образования колейности: остаточные деформации (в рабочем слое земляного полотна; в несвязных слоях основания; в покрытии дорожной одежды); снижение прочности конструкций нежёсткого типа: переувлажнение грунтов земляного полотна; заливание нижнего слоя основания дорожной одежды; растрескивание связных слоёв дорожной одежды; истирание асфальтобетонного покрытия [3, 4].

Способы предупреждения образования колейности: расчет и конструирование дорожных конструкций (дорожной одежды и земляного полотна) с учетом накопления остаточной деформации в допустимых пределах; устройство верхних слоев покрытия из материалов с высокой сдвигоустойчивостью и сопротивлением износу, а слоев основания – из материалов с высоким сопротивлением структурным разрушениям и образованию остаточных деформаций; использование армированных слоев в покрытиях и жестких слоев в основаниях; устройство земляного полотна из дренирующих материалов; устройство дренажей и систем отвода воды [3, 4].

Метод борьбы с колееобразованием выбирают в результате анализа исходных данных, в том числе по техническим отчётам изысканий. Окончательное решение о выборе метода предупреждения колееобразования должно приниматься на основе технико-экономического сравнения вариантов проектирования. При этом должны быть рассмотрены несколько способов предупреждения колееобразования. Земляное полотно и дорожная одежда должны быть сконструированы таким образом, чтобы за расчётный срок службы сумма всех остаточных деформаций, образующих колею, не превышала допустимых значений.

В работе проведено экономическое сравнение нескольких типов конструкции для определения самого экономически выгодного варианта и оценка целесообразности использования методов по предупреждению колееобразования.

Для удобства сравнения, используем реальные данные проектируемой дороги в Ленинградкой области Российской Федерации. Назовём её условно «Новая автомобильная дорога». Она проходит по влажным и переувлажнённым грунтам, а также имеет участки трассы, которые проходят по заболоченной местности [5]. Этот объект был разработан без учёта противодеформационных мероприятий. Расчёт противодеформационных мероприятий будет проводиться на 1000 м автомобильной дороги. Расчёт конструкции дорожной одежды выполнен с использованием автоматизированного программного продукта «Топоматик Robur – Дорожная одежда 5.2».

Исходные данные для проектирования «Новой автомобильной дороги» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Категория проектируемой дороги – IV;	Коэффициент уплотнения грунта земляного полотна $К_{упл}$ = 1,01-0,98.
Количество полос движения – 2;	Расчетная нагрузка – А-11,5 (P = 0,8 МПа);
Дорожно-климатическая зона – II;	Срок работ по капитальному ремонту, лет – 24;
Подзона – 1;	Срок работ по ремонту, лет – 12;
Тип местности по увлажнению – 2;	Параметры расчетной нагрузки:
Заданная надежность – $К_н$ = 0.90;	Нагрузка на колесо Q = 57,50 кН;
Тип дорожной одежды – капитальный;	Давление в шине P = 0,80 МПа;
Слой износа – верхний слой покрытия толщиной 3,00 см;	Диаметр штампа колеса $Д_д$ = 34,00 см;
Грунт рабочего слоя земляного полотна – Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%;	Диаметр штампа колеса от статической нагрузки $Д_{ст}$ = 30,00 см.
Уровень грунтовых вод, считая от низа дорожной одежды – 0.50 м;	Показатель изменения интенсивности q = 1659,00.

Сравнение показателей стоимости и эффективности с принятой к проекту конструкцией, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Тип 1. Принятая конструкция без противодейформационных мероприятий

Материал слоя	Толщина, см
А16Вт на БНД 70/100	5(2)*
А22Нт на БНД 70/100	7
Щебень фракции 31.5-63 мм, с заклинкой фракционным мелким щебнем	42
Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20

При расчете учитывается толщина слоя в скобках, без учета слоя износа в 3,00 см.

Список противодеформационных мероприятий, которые можно применить к данной конструкции довольно большой, мы рассмотрим только некоторые из них, такие как использование слоёв основания из материалов с высоким сопротивлением структурным разрушениям и образованию остаточных деформаций и использование армированных слоев. Варианты конструкций представлены в табл. 3-5.

Проведём расчёт стоимости строительства всех конструкций и сравним стоимость.

Таблица 3 – Тип 2. Конструкция с георешеткой

Материал слоя	Толщина, см
А16Вт на БНД 70/100	5(2)*
А22Нт на БНД 70/100	7
Щебень фракции 31.5-63 мм, с заклинкой фракционным мелким щебнем	38
Георешетка Tensar серии ТХ 160	0
Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20

Таблица 4 – Тип 3. Конструкция с укреплением основания вяжущими

Материал слоя	Толщина, см
А16Вт на БНД 70/100	5(2)*
А22Нт на БНД 70/100	7
Щебень фракции 31.5-63 мм, с заклинкой фракционным мелким щебнем	15
Средний песок, обраб. эмульгированными органич. вяжущими совместно с минеральными	7

Таблица 5 – Тип 4. Конструкция с укреплением основания вяжущими и георешеткой

Материал слоя	Толщина, см
А16Вт на БНД 70/100	5(2)*
А22Нт на БНД 70/100	7
Щебень фракции 31.5-63 мм, с заклинкой фракционным мелким щебнем	10
Георешетка Tensar серии ТХ 160	0
Средний песок, обраб. эмульгированными органич. вяжущими совместно с минеральными	5

Расчёт выполнен на базе государственных сметных норм (ГЭСН) с использованием Территориальных единичных расценок (ТЕР) и Территориальных сметных цен (ТСЦ) для Ленинградкой области с учетом «Приложение №1 к Письму Минстроя России на 1 кв. 2021 СМР = 6,96». Для краткости, в данной статье будут приведены только итоговые суммы по каждому типу конструкции дорожной одежды (табл. 6).

Таблица 6 – Итоговые суммы локального сметного расчёта рассматриваемых конструкций

Итого	Общая стоимость, руб.	Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин
	Всего	Всего
Итого по разделу 1 Тип 1	20 528 729	1 249,78
Итого по разделу 2 Тип 2	87 663 893,52	216 499,8
Итого по разделу 3 Тип 3	14 966 032	874,68
Итого по разделу 4 Тип 4	81 788 582	216 105

Исходя из приведённых результатов, можно сделать вывод, что наиболее дешевой является конструкция дорожной одежды типа 3, в которой основание укреплено вяжущими, и при этом, является первой по затраченным человеко-часам, несмотря на соответствие всех приведённых конструкций требованиям. На втором месте по возрастанию общей стоимости и затраченным человеко-часам находится конструкция Типа 2. Конструкции Типа 3 и Типа 4 очень близки по значению, так как в них обоих используется георешетка.

Для данного проекта рекомендуется использование конструкции Типа 2.

По результатам данных расчётов рекомендуются дальнейшие исследования сравнения стоимости других противодеформационных мероприятий, а также сравнение расчёта стоимости ремонтных работ по типам деформации.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество. Автомобильные дороги. 2021. № 1 (1070). С. 94-97
2. 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. 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.
4. Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества // Современные наукоемкие технологии-2019. –№ 11-С.170-279.
5. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.

УДК 625.855.3

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

ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ПОКРЫТИЙ ГОРОДСКИХ ДОРОГ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА И СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ЙЕМЕНЕ И ЗА РУБЕЖОМ

Цель работы анализ организации и технологии ремонта асфальтобетонных покрытий городских дорог на примере зарубежного опыта для обоснования организационно-технологических параметров ремонта асфальтобетонных покрытий городской улично-дорожной сети на транспортных развязках, что позволит обозначить особенности ремонта асфальтобетонных покрытий городских дорог на транспортных узлах.

Для достижения поставленной цели были обоснованы норматив эффективности и основные организационно-технологические варианты ремонта асфальтобетонного покрытия для городского автомобильного транспорта, в том числе: технологические схемы ремонта, объемы ремонтных работ в зависимости от эксплуатационного состояния существующего покрытия и условия сочетания материалов, используемых для ремонта и ремонтируемой конструкции.

На первом этапе теоретических исследований были проанализированы виды дефектов содержания дорожной одежды и выбраны наиболее часто встречающиеся и технологии их устранения. Видов дефектов по происхождению около 15.

Основными технологиями ремонта таких дефектов являются заделка выбоин и трещин, нанесение защитного слоя.

В Йемене и за рубежом устранение дефектов во время обслуживания дороги осуществляются следующими методами.

Выбоины, выкрашивание, шелушение, проломы устраняют с помощью заполнения литым асфальтобетоном или асфальтобетонной смесью после стандартных подготовительных операций (разделка дефекта, очистка от пыли и грязи с последующим обезвоживанием, и грунтовка мест сопряжения с ремонтным слоем материала). Процесс заделки выбоины показан на рис. 1.

Трещины заделываются в основном струйно-инъекционным методом. Материал для заделки представляет собой мастику или битум с мелким заполнителем, который может вводиться раздельно – распределяться сверху заполненного битумом или мастикой шва в жидком состоянии (рис. 2). Для временного ремонта трещин в Йемене используют цементное тесто и цементный раствор, которые тоже заполняют трещины или швы под давлением.



Рис. 1. Асфальтобетонное покрытие до и после заделки выбоины



Рис. 2. Заделка трещины

На втором этапе анализу подверглась организация содержания и ремонта дорожных покрытий.



Рис. 3. Блок-схема для планирования и управления содержанием сети дорог

Надёжная организация содержания и ремонта дорожных покрытий не возможна без системного подхода к планированию и управлению этими процессами. Результатом должно быть наилучшие эксплуатационные качества дорог при минимальных затратах на содержание. Типовая блок-схема для планирования и управления содержанием сети дорог, представленная на рисунке 3.

Информационные системы (ГИС, GPS) и современные средств измерений дают возможность фиксировать изменения технических качеств покрытий дорог и быстро выявлять дефекты. Для оценки технических и эксплуатационных качеств покрытий дорог используются различные показатели, среди которых наиболее распространенными являются индекс

дефектности дорожного покрытия (PCI), международный индекс ровности (IRI) и индекс эксплуатационной надёжности покрытия (PSI), но в большинстве исследований используется моделируемое дорожное покрытие на IRI. Например, дорога в Техасе [2], представленная на рис. 4.

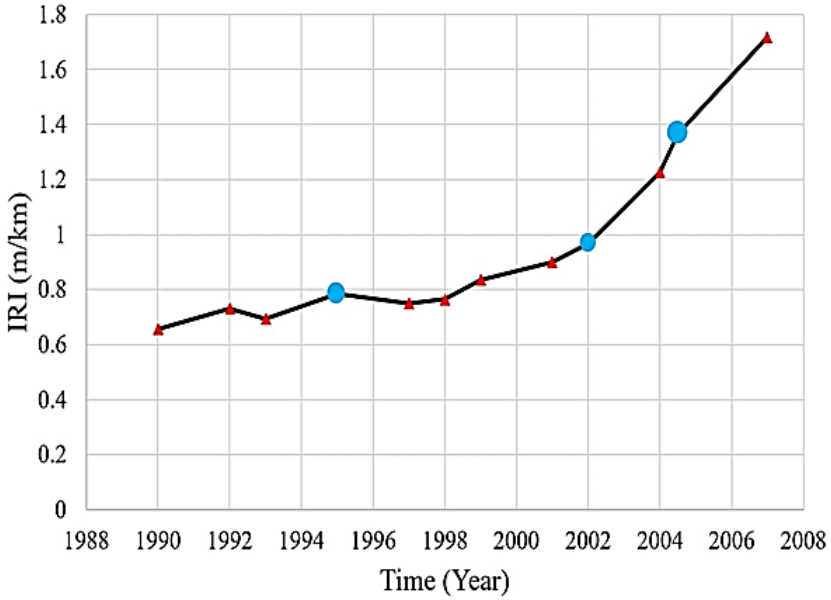


Рис. 4. Увеличение IRI дороги в Техасе.
Синие точки на кривой обозначают действия по техническому обслуживанию

IRI обычно имеет обратную связь с PCI. Гладкая дорога с низким IRI обычно имеет высокий PCI. Однако это не всегда так, и дорога с низким IRI может также иметь низкий PCI, и наоборот. Следовательно, одного из этих показателей эффективности не всегда достаточно для всестороннего описания состояния дороги.

Методики, в которых укрупнённо оценивается влияние продольного профиля и плана трассы и детально оценивается влияние состояния дорожного покрытия на среднюю скорость движения автомобилей являются модели HDM-III и HDM-IV (Haiway Design and Maintenance) [3, 4]. В зависимости от средней эксплуатационной скорости для каждой группы автомобилей вычисляют затраты пользователей на топливо, износ шин, запасные части и другие ресурсы.

Модели могут быть использованы для прогнозирования ожидаемых деформаций и разрушений дорожного покрытия. Таким образом, при оценке состояния дорог прежде всего учитывается влияние ровности покрытия на затраты пользователя по эксплуатации транспортных средств. Оптимизация стратегий при принятии управленческих решений должна проводиться с учетом анализа стоимости жизненного цикла, меняющейся при ухудшении параметров эксплуатационного состояния. Технология устранения дефектов покрытий городских дорог, в свою очередь, должна соответствовать стоимости жизненного цикла, стратегии управления содержанием и ремонтом, то есть постоянно совершенствоваться, использовать самые современные материалы и оборудование.

Дефекты покрытий городских дорог имеют 15 видов. Устраняются путём: замены дорожного полотна, регенерацией дорожного полотна, ямочным способом восстановления асфальта (струйно-инъекционный метод, технология ремонта с применением холодных органоминеральных смесей и ямочный ремонт горячим асфальтобетоном), герметизацией трещин и устройство защитных предохраняющих слоев. Вид и способ устранения выбирается в зависимости от объёма поражения покрытия и экономической целесообразностью применения. Наиболее дешёвые – это ямочные ремонты с малыми объёмами на начальной стадии образования дефекта.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Центральное статистическое бюро Йемена – Министерство планирования и развития – Статистический ежегодник 2010.
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. Кириллов С.В., Романов Н.Н. Совершенствование методологии обоснования геометрических характеристик восстанавливаемых участков автомобильных дорог. Технико-технологические проблемы сервиса. 2019. №4 (50). С. 16-19.
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. 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 625.032

Н.Н. Курбанов, О.Р. Бирюков, С.В. Алексеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЦЕПЛЕНИЯ ШУМОВЫХ ПОЛОС

Одним из основных регуляторов дорожного движения, обеспечивающих безопасность дорожного движения является дорожная разметка. От состава материала, используемого для дорожной разметки, зависит скользкость покрытия, которая является одной из распространённых причин возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Шумовая полоса – это элемент обустройства на поверхности покрытия дороги либо непосредственно в слое покрытий конструктивных элементов дороги, при наезде на которую водитель испытывает значительное шумовое и вибрационное воздействие, что привлекает внимание к неблагоприятной дорожной ситуации, вынуждающей водителей снижать скорость движения и повышать внимание (ГОСТ 33025-2014) [1, 2].

В зависимости от расположения на автодороге, дорожные шумовые разметки подразделяются на следующие виды:

1. Поперечная шумовая полоса. Устанавливается в поперечном направлении автомобильной дороги, при этом высота над уровнем проезжей части составляет 5-10 мм. Край поперечной шумовой полосы должен иметь уклон по направлению движения транспорта.

2. Продольная шумовая полоса. Она устанавливается вдоль разделительной или краевой разметки проезжей части дороги. Ее устраивают на автодорогах шириной более 7 м, при этом они должны иметь краевые укрепительные полосы соответственно с «ДБН В.2.3-4:2015 Автомобильные дороги». Краевая шумовая полоса наносится на укрепительную краевую полосу обочины и предназначена для предупреждения водителя о предстоящем съезде с полосы движения транспорта на обочину. Осевая шумовая разметка наносится на центральной разделительной полосе по оси дороги, чтобы предупреждать водителей автотранспорта о выезде на встречную полосу.

Поперечные шумовые полосы обычно устанавливают: перед нерегулируемыми переходами для пешеходов, примыканиями и пересечениями; на участках высокой концентрации ДТП и при подъезде к ним; перед железнодорожными переездами, не

имеющими шлагбаума; на отрезках автодорог, радиус кривых которых меньше нормативного; на участках автодорог с плохой видимостью; на крутых спусках и подъемах [3, 4].

Продольные шумовые полосы наносят в следующих случаях: на участках автодорог с запрещенным обгоном (по оси дороги); на краевых укрепительных полосках обочин дороги.

При рассмотрении поперечных шумовых полос необходимо отметить, что транспортное средство пересекает данный элемент дорожной разметки перпендикулярно расположению длинной части этой разметки, то есть у автомобиля два парных колеса, расположенные на одной оси, пересекают его одновременно. Пятно контакта шин этих колёс, то есть площадь соприкосновения колёс с дорожным покрытием, в какой-то момент будет находится только на дорожной разметке. Это значит, что качество сцепления колеса транспортного средства с материалом устройства шумовой полосы должно обеспечивать безопасное дорожное движение [3, 4].

Существует три вида шумовых полос (рис. 1): Тип 1 – шумовая полоса, выполненная из цветных покрытий противоскольжения, шириной 1,00 м; Тип 2 – блок шумовой полосы, выполненный из материалов для горизонтальной дорожной разметки и состоящий из четырех элементов шириной a = 0,15 м и промежутками b шириной от 0,15 до 0,30 м; Тип 3 – блок шумовой полосы, выполненный из материалов для горизонтальной дорожной разметки и состоящий из пяти элементов шириной a = 0,10 м и промежутками b шириной от 0,10 до 0,20 м.

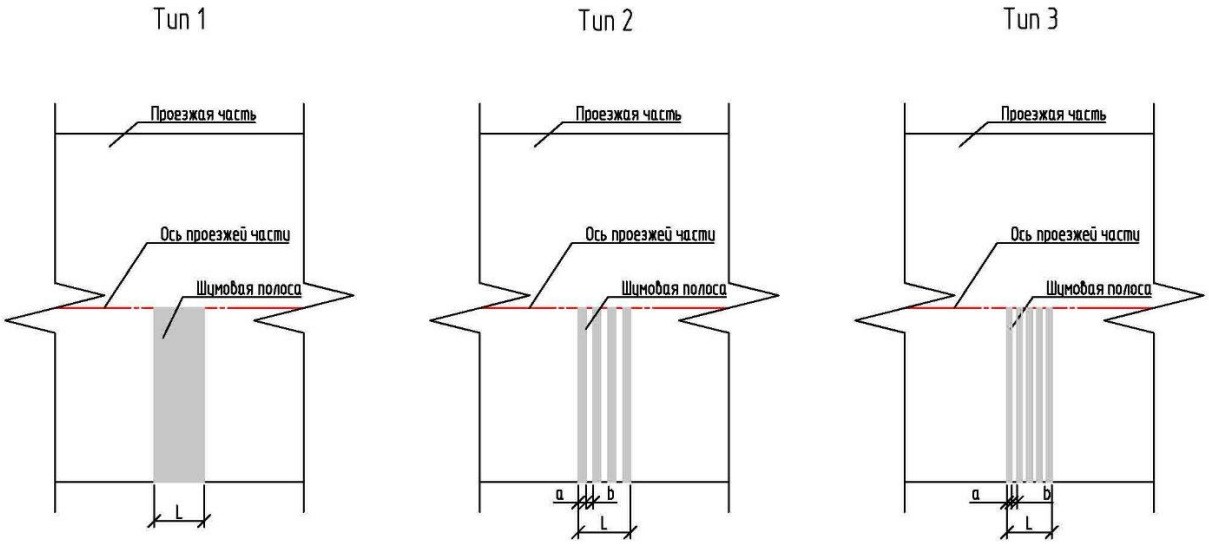


Рис. 2. Общий вид поперечной проезжей части:
L – ширина поперечной шумовой полосы; a – ширина элемента блока поперечной шумовой полосы;
b – ширина промежутка между элементами блока поперечной шумовой полосы

Однако, требования к коэффициенту сцепления колеса транспортного средства с поперечной шумовой полосой предъявляются только к шумовой полосе типа 1, выполненной из цветных покрытий противоскольжения. К шумовым полосам других типов требования по сцеплению отсутствуют. При устройстве шумовых полос могут использоваться два типа материалов: покрытия противоскольжения цветные и материалы для горизонтальной дорожной разметки, к которым предъявляются разные требования (табл. 1).

В ГОСТ 33025-2014, регламентирующем шумовые полосы, даются указания по способу применения этого элемента, однако не отражено какой именно вид шумовых полос и где можно использовать, т.е. подразумевается, что этот выбор должен сделать проектировщик.

Необходимо отметить, что шумовые полосы не являются искусственной неровностью, а значит, предупреждающих знаков о приближении транспортного средства к ним не устанавливают. Шумовая полоса призвана повысить внимание водителей [4, 5], то есть

подразумевается, что до встречи с этим элементом водитель был менее сосредоточен. Однако так как не регламентируются места установки шумовых полос, в отличие мест установки искусственных неровностей, их можно разместить не только на прямых участках, но и на радиусах поворота. При движении в повороте автомобиль подвергается дополнительной силе воздействия – центробежной силе. Нельзя назвать безопасной дорожную ситуацию, когда несосредоточенный водитель оказывается в неблагоприятную погоду в повороте с присутствием покрытия с неустановленной шероховатостью, и не понятно обеспечивающей ли требуемый коэффициент сцепления, предъявляемый к дорожному покрытию, скорее эту ситуацию можно назвать аварийной

Таблица 1 – Материалы дорожной разметки

Тип шумовой полосы	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Материал	Цветные покрытия противоскольжения	Термопластик и холодный пластик	Термопластик и холодный пластик
Регламент	ГОСТ 32753-2014	ГОСТ 32830-2014	ГОСТ 32830-2014
Требования к сцеплению	+	-	-
Коэффициент сцепления	0,45	-	-

В зависимости от типа шумовой полосы площадь соприкосновения шин с материалом дорожной разметки будет разная. Пятно контакта колеса зависит от скорости движения транспортного средства, влажности дорожного покрытия, шероховатости дорожного покрытия, износа шин, нагрузки на колесо, давления воздуха в шине и др. При наличии стольких переменных, условно рассмотрим, что пятно контакта равно площади следа колеса.

Размеры стандартного измерительного колеса согласно ГОСТ 33078-2014 составляют: ширина беговой дорожки 115±3 мм; ширина профиля 180±3% мм. Данные параметры соответствуют шинам камерным радиальным 175/70R13, которые входят в стандартную комплектацию автомобиля ВАЗ 2106. При рассмотрении ситуации, когда данный автомобиль переезжает шумовые полосы, значения площади следа колеса F меняются в пределах 250-1000 см^2 (ГОСТ 33078-2014). Для одного и того же автомобиля значение F, имеющее фигуру эллипса с продольной полуосью, зависит от нагрузки на колесо. Для рассмотрения наихудшего варианта принимается, что F = 0,025 м^2.

Площадь шумовой полосы, по которой проезжает одно колесо, то есть след качения на разметке, определяется следующим образом: ширина беговой дорожки умножается на ширину поперечной шумовой полосы [5, 6]. Процентное соотношение соприкосновения колеса с разными типами покрытий (разметка и асфальтобетон), т. е. площадь элемента, по которому проезжает колесо с шириной беговой дорожки 115±3 мм для разных типов шумовых полос представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Площадь взаимодействия колеса автомобиля с шинами 175/70R13 с шумовой полосой

Шумовая полоса, пересекаемая колесом	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Ширина элемента, м	1,00	1,10	1,20
Площадь элемента, м^2	0,115	0,127	0,138
Ширина непрерывного покрытия дорожной разметкой, м	1,00	0,15	0,10
Площадь непрерывного покрытия дорожной разметкой, м^2	0,115	0,017	0,012
Площадь покрытия дорожной разметки, м^2	0,115	0,069	0,058
Процент покрытия дорожной разметкой, %	100,00	50,00	45,45

При этом площадь следа колеса автомобиля составляет 0,025 м^2, что меньше площади шумовой полосы, по которой проезжает колесо. Это значит, что какое-то время колеса транспортного средства будут находиться на поверхности дорожной разметки.

Таким образом, при устройстве шумовых полос требуются дальнейшие исследования для определения достаточности сцепления шины транспортного средства с поверхностью данных полос в целях обеспечения безопасности движения, особенно при устройстве шумовых полос перед пешеходными переходами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост.: В. И. Жуков, С. В. Копылов; под ред. В. И. Жукова. / Красноярск СФУ 2014. С. 87 URT.
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. Малиновский М.П., Журавлева А.Ю. О несостоятельности некоторых способов снижения аварийности на пешеходных переходах // [электронный научный журнал] Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2016 № 4 (10) с.10
4. Коптилов В.А. Шумовые полосы // Техника и технология транспорта [Научный интернет-журнал]. 2019. № 11. с. 11.
5. Верхова А.А., Бирюков О.Р. Эффективность применения методов "успокоения движения". В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 57-59.
6. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984, – 287 с.

УДК 625.840

В.В. Ушаков, М.А. Гуртяк
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

На конструкции жестких дорожных одежд в период эксплуатации действуют многократно повторяющиеся транспортные нагрузки и температурные напряжения, в результате действия которых в цементобетонном покрытии могут появляться усталостные трещины. Температурные напряжения в покрытии возникают в результате неравномерного нагрева и охлаждения верхних и нижних его слоев и ограничения свободного коробления плит покрытия.

На основе анализа температурного режима цементобетонных покрытий и их напряженного состояния принято выделять следующие виды напряжений [1, 2]: напряжения растяжения и сжатия, вызванные ограничениями перемещений на контуре плиты и вследствие трения на контакте плиты и основания; напряжения, вызванные полным или частичным ограничением коробления плиты; внутренние напряжения, возникающие в результате нелинейности эпюры температуры по толщине плиты.

Все перечисленные виды напряжений учитываются в формуле общего напряжения, предложенной С.П. Тимошенко [1-4]:

$$\sigma_T = E\alpha T + \frac{1}{2h}\int_{-h}^{+h} E\alpha T dz + \frac{1}{2h^3}\int_{-h}^{+h} E\alpha T z dz, \quad (1)$$

где α – коэффициент линейного температурного расширения бетона; E – модуль упругости бетона; T – расчетная функция распределения температуры по толщине покрытия.

В общем виде данная формула может быть представлена как:

$$\sigma_T = \sigma_{1T} + \sigma_{2T} + \sigma_{2T}, \quad (2)$$

где σ_{1T} – напряжения, возникающие в покрытии при невозможности деформаций продольных и коробления; σ_{2T} – при невозможности продольных деформаций; σ_{3T} – при невозможности деформаций коробления [1-4].

В настоящее время расчет конструкций цементобетонных покрытий производят, опираясь на Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд [5].

Напряжения определяют исходя из решений теории упругости при гарантированной устойчивости земляного полотна, отсутствии неравномерных просадок или выпучивания, наличия полного контакта плиты с основанием. Место приложения нагрузки – продольный внешний край в центре по длине плиты.

$$\sigma_{p,t} = \frac{Q K_M K_Д 60 K_y K_{шт}}{h^2 K_t} (0{,}0592 - 0{,}21371 \log \frac{R}{l_y}), \quad (3)$$

где Q – расчетная нагрузка на колесо, кН ($Q = \frac{115кН}{2} = 57{,}5кН$); K_M – коэффициент, учитывающий влияние места расположения; $K_д$ – коэффициент динамичности, учитывающий подвижный характер нагрузки ($K_д$ = 1,3), K_y – коэффициент, учитывающий условия работы; $K_{шт}$ – коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит с основанием, h – толщина плиты, см; K_t – коэффициент, учитывающий влияние температурного коробления плит.

Температурные напряжения, определенные как разность между напряжениями от совместного воздействия и напряжениями только от автомобильной нагрузки, найденные по формулам, представленным в Методических рекомендациях [5], при переходе от одной дорожно-климатической зоны к другой, меняются несущественно (рис. 1.).

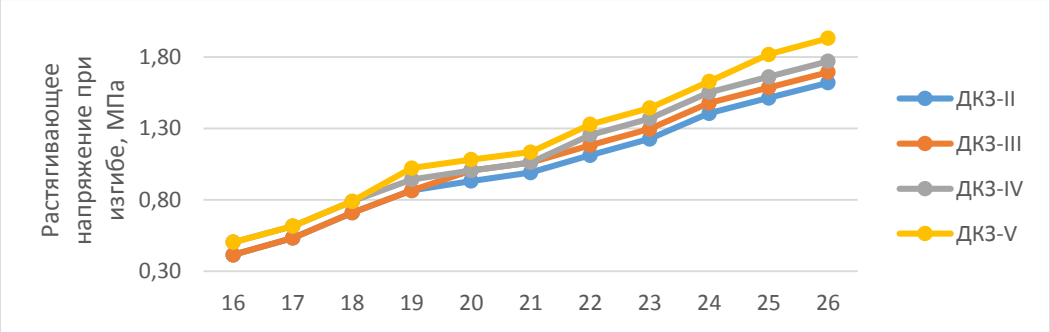


Рис. 1. Зависимость температурных напряжений от толщины плиты в разных ДКЗ

В нормативном документе ВСН 197-91 (Инструкция по проектированию жестких дорожных одежд) [0] температурное коробление плит учитывалось таким же коэффициентом, как и в Методических рекомендациях [5], с одинаковыми значениями. Это свидетельствует о том, что вопрос учета температурных напряжений при проектировании жестких дорожных одежд остается актуальным. Следует отметить, что расчеты на температурные напряжения при проектировании жестких дорожных одежд не совершенствовались на протяжении последних 25 лет, несмотря на явную их неточность.

В рамках данной работы рассмотрен программный комплекс EverFE 2.24, разработанный группой исследователей университетов из штатов Мэн и Вашингтон [6, 7].

Рассчитываемое дорожное покрытие состоит из 6 бетонных плит (по 2 плиты в поперечном направлении и 3 в продольном), каждая длиной 4500 мм и толщиной 250 мм. Ширина плит – 3750 мм. Задано прямое расположение температурных швов.

Согласно действующим нормативным документам, расчет дорожных одежд следует выполнять на нормативную нагрузку от одного колеса нагрузки АК-11,5. Нагрузку следует располагать в наиболее неблагоприятном сечении – в средней части плиты, так как поперечная трещина является наиболее вероятной схемой разрушения цементобетонной плиты.

Было рассмотрено 11 положений расчетной нагрузки с шагом 0,45 м (рис. 2).

Разница температур поверхностей покрытия необходима для учета напряжений от препятствия свободному короблению. На рисунке 3 представлен характер изменений температуры по толщине покрытия для вычислительного эксперимента.

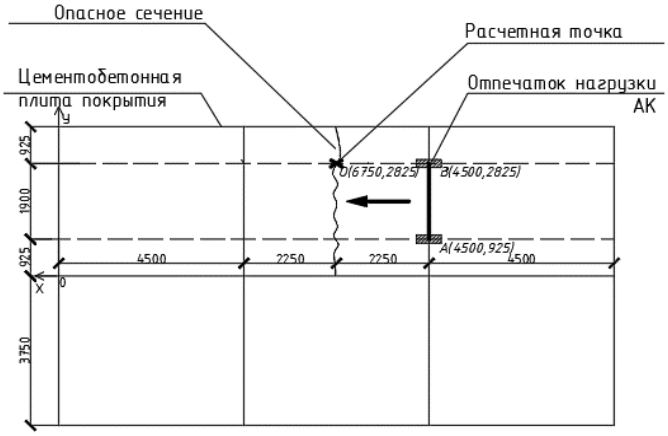


Рис. 2. Расчетная схема

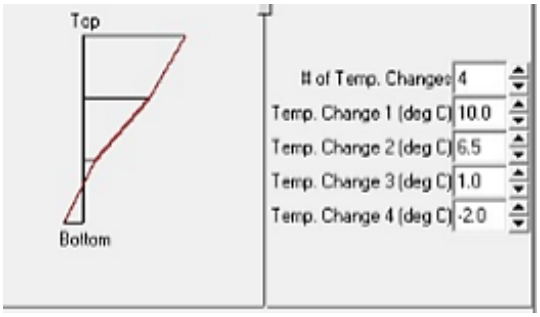


Рис. 3. Назначение температурного режима работы покрытия при вычислительном эксперименте

По результатам вычислений построен график (рис. 4) изменения напряжений в цементобетонной плите дорожного покрытия.

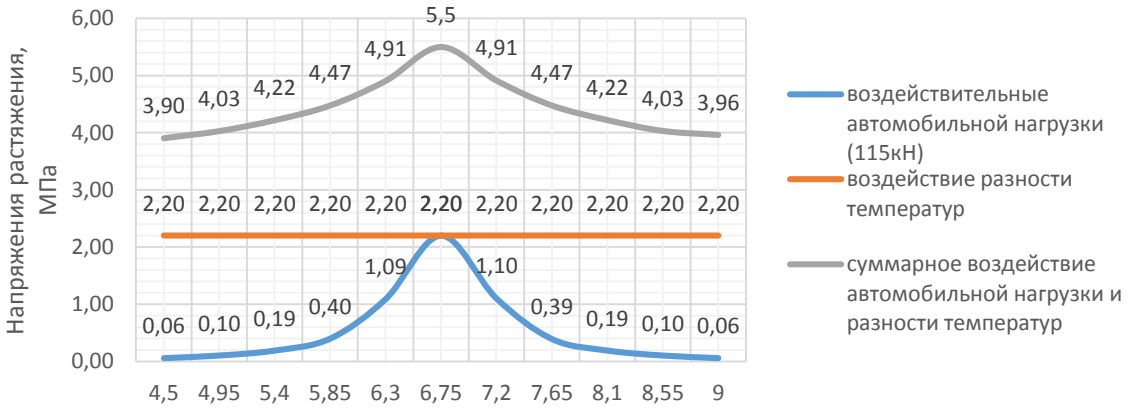


Рис. 4. Зависимость растягивающих напряжений в расчетной точке опасного сечения от положения нагрузки

Наибольшие растягивающие напряжения в расчетной точке от действия автомобильной нагрузки возникают, когда ось нагружения располагается над средней частью плиты (над расчетной точкой в опасном сечении). По мере удаления нагрузки от расчетной точки растягивающие напряжения затухают.

График наглядно показывает, что значения напряжений растяжения, возникающие от неравномерного распределения температуры с градиентом 20^{o}С по толщине покрытия, могут достигать усилий в бетонной плите от автомобильной нагрузки. При установке совместного воздействия описанных выше факторов значения напряжений растяжения при изгибе значительно увеличиваются, даже больше значений их алгебраической суммы.

Выводы:

1. Вычислительные возможности программного комплекса EverFE делают его довольно перспективным для оценки напряженно-деформированного состояния цементобетонных покрытий.
2. В действующих Методических рекомендациях по проектированию жестких дорожных одежд отсутствует точный расчет температурных напряжений, хотя важность их учета при расчете цементобетонных покрытий доказана многими исследователями. Современные программные комплексы позволяют сегодня достаточно точно оценить температурные напряжения, возникающие в цементобетонных покрытиях в период эксплуатации.
3. При неравномерном распределении температуры по толщине плиты цементобетонного покрытия, когда верхняя поверхность покрытия имеет большую температуру по сравнению с нижней, возникают наибольшие значения напряжений, которые и следует учитывать при расчете цементобетонных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Левицкий Е.Ф. Бетонные покрытия автомобильных дорог / Левицкий Е.Ф., Чернигов В.А. – М.: Транспорт, 1980. – 288 с.
2. Носов В.П. Расчет цементобетонных покрытий автомобильных дорог/. М.: МАДИ, 1980. – 61 с.
3. Медников И.А. Исследования по теории расчета бетонных покрытий автомобильных дорог: диссертация доктора технических наук / И.А. Медников. – М.,1965.
4. Westergaard, H.M. Analysis of stresses in concrete roads caused by variations of temperature / H.M. Westergaard // Publ. Rds. Wash. – 1927. – №8 (3). – P. 54-60.
5. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91). – М., 2004. – 116 с.
6. Hanyan Gu. Comparisons of Two Typical Specialized Finite Element Programs for Mechanical Analysis of Cement Concrete Pavement / Hanyan Gu, Xin Jiang, Zhenkun Li // Mathematical Problems in Engineering. – 2019. – 11p.
7. Котлабай А.А. Уточнение расчета конструкции дорожной одежды с цементобетонным покрытием за счет учета температурных напряжений: выпускная квалификационная работа магистра. М., 2018.

УДК 159.922.25

А.А. Бородин
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

При определении требуемого срока службы дороги необходимо учитывать показатели надежности ее работы, то есть сохранение транспортно-эксплуатационных показателей в течение заданного периода времени при определенных условиях эксплуатации. При эксплуатации автомобильных дорог в течение осеннего и весеннего периода, необходимо производить расчеты вероятностной продолжительности периодов осеннего влагонакопления, промерзания и протаивания грунтов земляного полотна. Эти расчеты производятся по известным методикам [1-3].

Наиболее полно процессы миграции и влагонакопления в земляном полотне отражены в работах И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко, М.Б. Корсунского, В.И. Рувинского. Одним из наиболее совершенных аналитических методов прогнозирования расчётной влажности грунтов является метод И.А. Золотаря, доведённый до возможности практического применения.

Продолжительность периода осеннего влагонакопления устанавливается с использованием методов дорожной климатологии [4] и с учётом метеорологических характеристик района. Эта величина является важнейшей исходной характеристикой для последующего прогнозирования влажности и величины пучения грунта земляного полотна в зимний период.

С использованием данных ближайшей метеостанции определяется величина испарения e и сумма осадков за то же время $t_{\text{пов}}$. Величина испарения определяется по формуле:

$$e = \sum_{i=1}^{n} e_{0i} - (\Delta e_{01} + \Delta e_{0n}), \quad (1)$$

где e_{0i} – уменьшение испарения за i-ый месяц, Дж/кг; Δe_{01} и Δe_{0n} – уменьшение испарения за неполные i-ый и n-ый месяцы этого периода, Дж/кг.

По метеоданным определяется сумма жидких осадков r_g за время $t_{\text{пов}}$ в см:

$$r_g = \sum_{i=1}^{n} r_{0i} - (\Delta r_{01} + \Delta r_{0n}). \quad (2)$$

Определяется разность $r_g - e$. Если $(r_g - e) > 0$, то имело место дополнительно увлажнение грунта земляного полотна за счет инфильтрации дождевых осадков в период производства работ до укладки первого водонепроницаемого слоя дорожной одежды (слои с вяжущими, из цементогрунта и т.п.).

Если $(r_g - e) < 0$, то были условия для уменьшения влажности грунта земляного полотна в период строительства за счет испарения влаги.

Для случая, когда $(r_g - e) > 0$, определяется возможный объем впитывания влаги через поверхность земляного полотна (инфильтрационный расход) $q_{\text{вп}}$. Расчет осуществляется по формуле:

$$q_{вп} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \gamma_{\text{ск}}^{\text{гр}} (\omega_{пв} + \omega_0) \sqrt{\overline{K}_1 t_{\text{пов}}}. \quad (3)$$

По результатам расчета инфильтрационного расхода необходимо внести поправки в полученный модуль упругости $E_{\text{ср}}$ дорожной конструкции.

Таким образом, оценка срока службы автомобильной дороги по показателям ее надежности позволит получить конкретные сроки ее эксплуатации, определяемые исходя из расчетов влияния на покрытия погодно-климатических факторов. Это позволит спланировать мероприятия эксплуатации для поддержания ее транспортно-эксплуатационных показателей на требуемом уровне.

ЛИТЕРАТУРА**:**

1. Лазарев Ю.Г., Змеев, А.Т. Методика обоснования технологии устройства полимерцементощебеночно–песчаной дорожной одежды на восстанавливаемых участках военно-автомобильных дорог / Ю.Г. Лазарев, А.Т. Змеев // Научно-технический сборник. – СПб.: ВТИ ЖДВ и ВОСО, – 2012. – № 23/2.

2. Золотарь, И.А. К теории оценки устойчивости функционирования автомобильных дорог оборонного значения / И.А. Золотарь // Сборник научных трудов АТ РФ. – 1996. – № 1. – С.53-57.

3. Золотарь, И.А. Обеспечение надежности автомобильных дорог по прочности при их проектировании, строительстве и эксплуатации: учебное пособие / И.А. Золотарь. – СПб.: ВАТТ, – 1996. – 84 с.

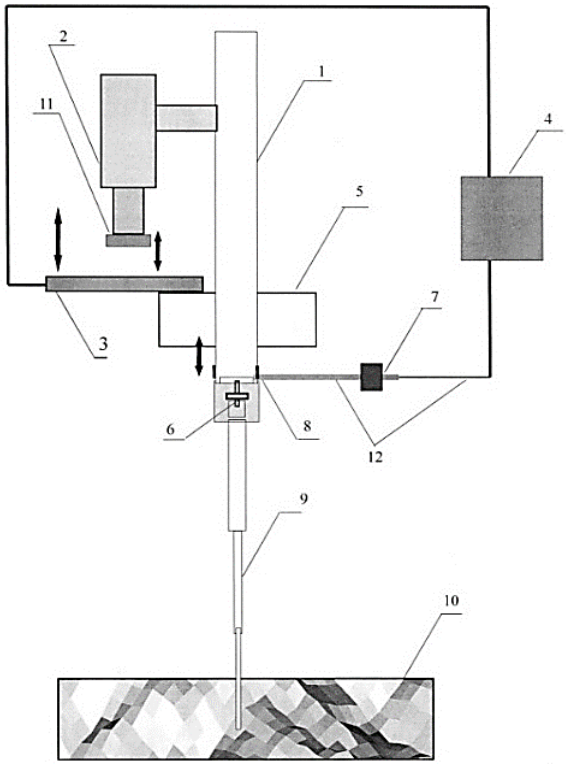
4. Бондарева, Э.Д. Метеорология: дорожная синоптика и прогноз условий движения транспорта: учебник для СПО. 2-е издание, исправленное и дополненное / Э.Д. Бондарева. – М.: Юрайт, – 2019. – 106 с.

УДК 625.7/.8

Н.А. Ермошин[1,2], А.М. Егошин[2], Д.С. Букатов[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулева

ПРИМЕНЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПЕНЕТРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Пневматический пенетрометр представляет собой измерительный прибор, предназначенный для определения степени прочности дорожных покрытий автомобильных дорог, изготовленных из полутвердых материалов, таких как асфальтобетон, цементобетон и грунт с вяжущими материалами [1-7]. Новизна разработанного технического решения заключается в использовании в нем блока управления и анализа полученной информации, повышающего точность измерений прочности дорожного покрытия, что подтверждается патентом на полезную модель – № RU 181486 «Пневматический пенетрометр» [1, 3-7]. На рисунке 1 представлена конструкция пневматического пенетрометра.



1 – шток;
2 – пневмоударный механизм;
3 – шаговый двигатель;
4 – блок управления и анализа;
5 – фиксатор стержня;
6 – датчик усилия пенетрометра;
7 – электрический контакт;
8 – погружающая игла;
9 – опорный винт;
10 – дорожное покрытие;
11 – шток пневмоударного механизма;
12 – оптоволоконный кабель

Рис. 1. Конструкция пневматического пенетрометра

Принцип работы пенетрометра основан на применении метода измерения структурно-механических характеристик полутвёрдых и твёрдых тел, путём определения сопротивления проникновению в них за определенное время инденторов (конус, шар, игла, цилиндр), имеющих строго определённые размер, массу и материал. Исследование проводиться с постоянным усилием F (при этом определяется глубина пенетрации h) по методу, предложенному П.А. Ребиндером и Н.А. Семененко. Сущность метода заключается в том, что по величине глубины погружения конуса в материал под воздействием вертикальной силы определяется предельное напряжение сдвига материала Θ_0, как одна из важных реологических характеристик, служащая для оценки прочности его структуры (рис. 2).

Формула П.А. Ребиндера для определения предельного напряжения сдвига имеет вид [2]:

$$\Theta_0 = K_\alpha \frac{F}{h^2}, \quad (1)$$

где K_α – геометрическая константа конуса, зависящая от угла α при его вершине.

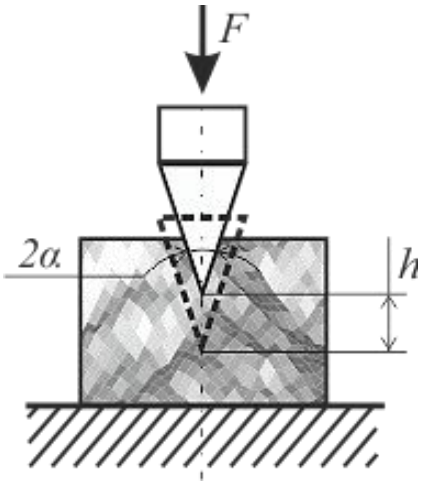


Рис. 2. Схема внедрения конуса в поверхность материала

Суть измерений с использованием пневматического пенетрометра заключается в следующем: пневмоударный механизм пенетрометра посредством заряда сжатого воздуха, производит пневмовыстрел с установленной мощностью, что обеспечивает создание требуемого усилия на испытуемый материал и уменьшает погрешность. Давление от пневмовыстрела передается через шток пневмоударного механизма на шаговый двигатель, который опускаясь, воздействует на фиксатор стержня. Шток с закрепленным датчиком усилия пенетрометра воздействует на погружающий элемент. Погружающий элемент, в свою очередь, опускается в дорожное покрытие до отказа и замыкает контакт датчика усилия, который с помощью электронного импульса передает информацию в блок управления и анализа полученной информации по оптоволоконному кабелю.

Полученная информация обрабатывается и выдается в виде показателей прочности дорожного покрытия. Константа конуса K_α также рассчитывается по формуле, предложенной П.А. Ребиндером:

$$K_\alpha = \frac{g}{\pi}\cos^2\left|\frac{\alpha}{2}\right|\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Использование пневматического пенетрометра позволяет получить более точные значения степени прочности дорожных покрытий автомобильных дорог, и, тем самым, обеспечить надежность ее функционирования в течение требуемых сроков службы, а также повысить эффективность мероприятий их эксплуатации и восстановления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пат. 181486 Российская Федерация, МПК G01N 3/48. Пневматический пенетрометр [Текст] / Шувалов О.А., Егошин А.М., Букатов Д.С., Репин Д.Н.; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2018105164; заявл. 12.02.18; опубл. 16.07.18, Бюл. № 20.

2. Яровский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Физматгиз 1963. 848 с.

3. Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества // Современные наукоемкие технологии-2019. – № 11 – С.170-279.

4. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.

5. Алексеев С.В., Титова Л.А. Устранение дефектов асфальтобетонного покрытия при укладке асфальтобетонной смеси. Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2019. С.37-39.

6. 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.

7. Царева О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 29-37.

УДК 625.7/.8

Н.А. Ермошин[1,2], Д.Ю. Кириллова[1], А.М.Егошин[2], Д.С. Букатов[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулева

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОГИБОМЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Лазерный прогибомер представляет собой измерительный прибор, предназначенный для определения технического состояния эксплуатируемых автомобильных дорог и проведения испытаний, строящихся и восстановленных дорожных конструкций [1-6].

Разработанное техническое решение, в отличие от рычажного прогибомера МАДИ – ЦНИЛ, обеспечивает повышение точности измерений прогиба дорожного покрытия за счет усовершенствованной конструкции. В лазерном прогибомере на стойке индикатора смонтировано запоминающее устройство, которое посредством оптоволоконного кабеля соединено с лазерным датчиком измерительного стержня. На рисунке 1 представлена конструкция лазерного прогибомера для измерения прогибов дорожного покрытия.

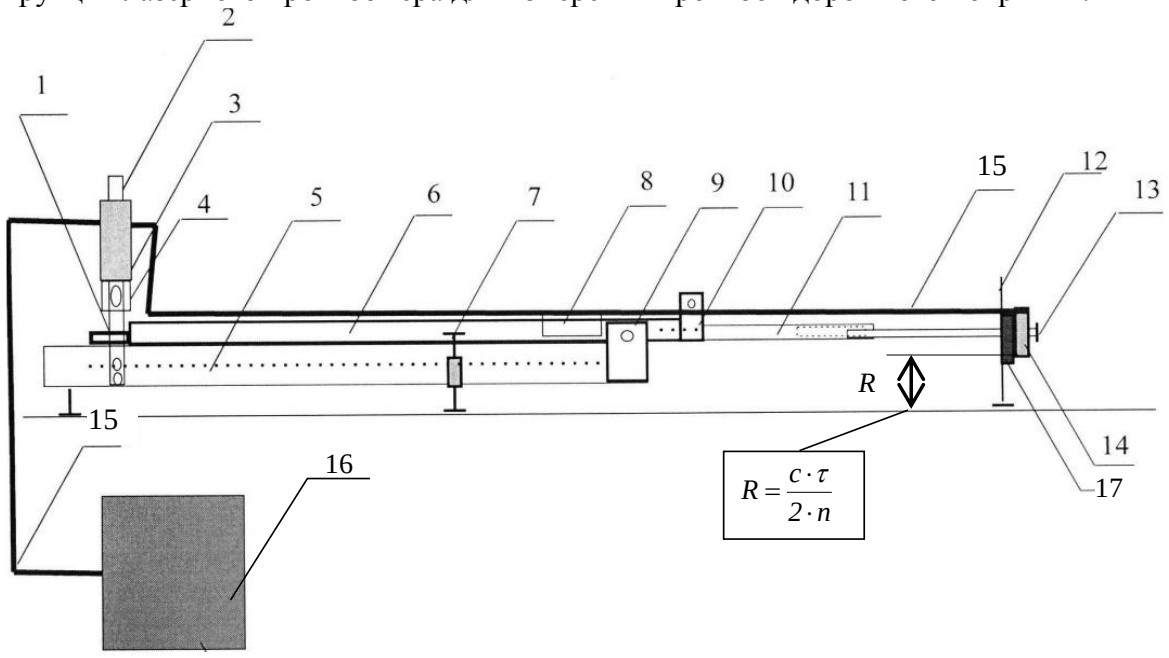


Рис. 1. Конструкция лазерного прогибомера для измерения прогибов дорожного покрытия:
1 – пробка заднего плеча рычага; 2 – стойка для индикатора; 3 – запоминающее устройство;
4 – держатель запоминающего устройства; 5 – швеллер; 6 – заднее плечо; 7 – подъемные винты;
8 – соединительная муфта; 9 – опорный винт; 10 – стяжной болт; 11 – переднее плечо;
12 – измерительный стержень; 13 – винт; 14 – лазерный сканер; 15 – кабель;
16 – стабилизирующая основа; 17 – подпятник

Новизна технического решения подтверждается патентом на полезную модель № RU 186182 «Лазерный прогибомер для измерения прогибов дорожного покрытия».

Принцип работы лазерного прогибомера основан на методе импульсного измерения расстояний за счет определения времени прохождения сигнала от приемо-передающего устройства до объекта и обратно. Лазерный сканер состоит из лазерного дальномера и блока развертки лазерного луча. Принципиальная схема работы лазерного сканера показана на

рисунке 2. В качестве блока развертки могут использоваться сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом поворачивается вся верхняя часть сканера, которая называется головкой. Развертка в вертикальной плоскости осуществляется за счет вращения или качания зеркала. Зная скорость распространения электромагнитных волн [2] c, можно определить расстояние R, являющейся величиной прогиба:

$$R = \frac{c\tau}{2n}, \tag{1}$$

где τ – время, измеряемое с момента подачи импульса на лазерный диод до момента приема отраженного сигнала, с; n – показатель преломления среды распространения для используемой длины волны излучения.

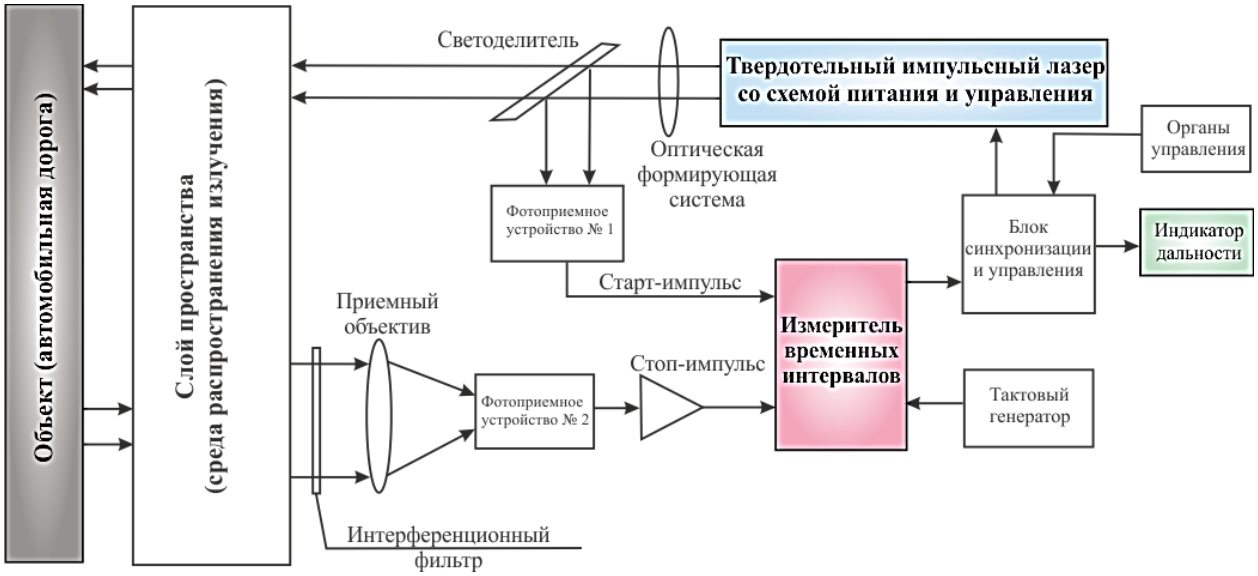


Рис. 2. Принципиальная схема работы лазерного сканера

Показатель преломления n можно выразить как квадратный корень из произведения магнитной и диэлектрической проницаемостей среды [2]:

$$n = \sqrt{\mu\varepsilon}, \tag{2}$$

где μ – магнитная проницаемость среды, Гн/м; ε – диэлектрическая проницаемость среды.

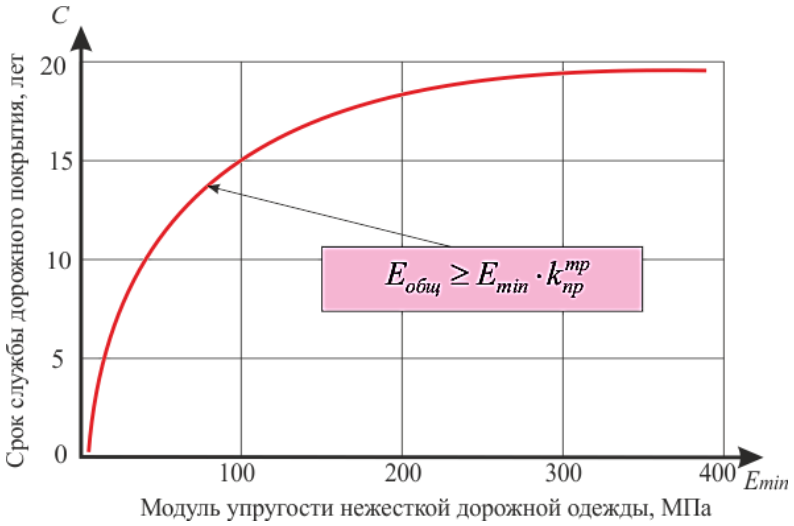


Рис. 3. Зависимость срока службы дороги
от модуля упругости нежесткой дорожной одежды

Необходимо отметить, что характерные размеры области измерений, и требуемая точность измерения прогибов дорожного покрытия, выдвигают очень жесткие требования к временной точности работы всех измерительных устройств. В связи с высокой скоростью света временная точность должна быть очень высокой – около 1 наносекунды для пространственной точности в 15 см (при скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с). Для сканирования с точностью 1 мм устройство должно считать время с точностью порядка 3 пикосекунды.

На рисунке 3 показан характер зависимости срока службы дороги от модуля упругости нежесткой дорожной одежды.

Конструкция дорожных одежд удовлетворяет требованиям надежности и прочности по величине упругого прогиба при условии: $E_{\text{общ}} \geq E_{\min} k_{\text{пр}}^{\text{тр}}$.

Таким образом, применение лазерного прогибомера для измерения статического дискретного упругого прогиба дорожной одежды обеспечивает повышение точности значений равнопрочности дорожной одежды, то есть однородности земляного полотна и слоев дорожной одежды по модулям упругости, с целью повышения надежности ее работы и снижения вероятности появления разрушений. Это позволяет определить (спрогнозировать) сроки службы автомобильной дороги.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пат. 186182 Российская Федерация, МПК G01B 9/00. Лазерный прогибомер для измерения прогибов дорожного покрытия [Текст] / Шувалов О.А., Егошин А.М., Букатов Д.С.; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2017140907; заявл. 23.11.17; опубл. 11.01.19, Бюл. № 2.

2. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яровский, А. А. Детлаф //– М.: Физматгиз, – 1963. – 848 с.

3. Доброгорская Л.В., Лазарев Ю.Г., Федотов В.В. Применение информационного моделирования при диагностике и обследовании мостовых сооружений. / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 223-227.

4. Царева О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 29-37.

5. Белихин С.В., Лабусов Н.В., Греян А.А., и др. Материалы для проведения конструкционного ремонта объектов транспортной инфраструктуры в рамках увеличения межремонтных сроков. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 44-46.

6. Собко Г.И., Ялонен С.Т., Лазарев Ю.Г., Алексеев С.В. Конструкция сборно-разборного покрытия на армированном основании. Патент на полезную модель RU 27600 U1, 10.02.2003. Заявка № 2001134382/20 от 17.12.2001.

СЕКЦИЯ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ»

УДК 692.113

В.Н. Тур, А.А. Жигирь
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «TOP-DOWN» ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЙ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЦЕНТРАЛЬНОМУ РАЙОНУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Введение. В современных условиях строительства, обусловленный плотным городским массивом застройки, особенно в сложившейся инфраструктуре городских центров и исторических районов, а также дефицита свободного места, появляется актуальность использования современных методов строительства и разработки подземных частей зданий. Основными задачами технологов в данном случае является разработка методов, позволяющих обеспечить безопасную эксплуатацию застройки окружающих зданий и провести работы подземной части на любых глубинах [1, 2]. Наиболее современной и актуальной технологий в наше время стал метод «top-down». Особенностью этого метода является наименьшее вмешательство в окружающую застройку, что особенно актуально при разработке проектов нового капитального строительства в сложившейся плотной застройке Санкт-Петербурга.

Цель работы – оценить актуальность и необходимость применения метода «top-down» при устройстве заглубленных частей зданий, возводимых в пределах границ центрального района города Санкт-Петербурга.

Классическим способом устройства заглубленных и подземных частей зданий в городской среде Санкт-Петербурга является организация открытых котлованов с предварительным укреплением стен посредством устройства стены в грунте, либо устройством шпунтового ограждения [3]. Преимуществом данных способов является их относительная дешевизна по сравнению с конкурентами.

Основной принцип технологии «top-down» заключается в устройстве ограждающей конструкции будущего котлована посредством буросекущих свай либо с помощью технологии называемой «стена в грунте», с планировочной отметки участка. Следующим этапом является устройство буровых свай в их проектном положении. Данные сваи выполняют две основные задачи – долговременная для передачи нагрузок от надземной части возводимого сооружения на грунт и кратковременная, необходимая для поддержки будущих перекрытий подземной части до устройства постоянных колонн, которые заменят их. Следующим этапом является последовательное бетонирование плит перекрытий, начиная с поверхности земли, с опиранием их на свайное поле [4]. Данные плиты устраиваются с технологическими отверстиями для возможности откопа через них нижележащего слоя грунта и устройства подземных плит перекрытий, а также ростверка. При этом происходит параллельное возведение наземной части [5].

Изучив суть устройства подземной части зданий по технологии «top-down», можно выделить следующие преимущества данного метода:

- В связи с тем, что несущие конструкции здания на уровне земли возводятся в первую очередь, возможно параллельное устройство наземной и подземной части сооружения, что значительно ускоряет его темп;
- Возможность устройства подземных паркингов и заглубленный частей зданий без вмешательства в состояние близстоящих сооружений.

Однако, данный способ имеет и ряд недостатков:

- Возросшая стоимость в сравнении с более классическими методами;
- Высокие требования к квалификации подрядных организаций;
- Сложности в организации строительных процессов.

Для проведения сравнительного анализа влияния методов устройства подземной части на осадку близстоящих сооружений были взяты данные о скважинах с официального сайта администрации г. Санкт-Петербурга (URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/maps/). На их основе был составлен геологический разрез участка, расположенного в центральном районе г. Санкт-Петербург по адресу: Дегтярный переулок, д.7, лит. А.

Далее исходя из геологического разреза было проведено моделирование в программном комплексе PLAXIS 2D подземной автостоянки устроенной способом «top-down», а также подземной автостоянки с укреплением стен котлована по технологии «стена в грунте». Кроме того, было учтено реальное расположение исторического здания, находящегося в зоне влияния площадки строительства (30 м) и оценена его осадка (рис 1, 2).

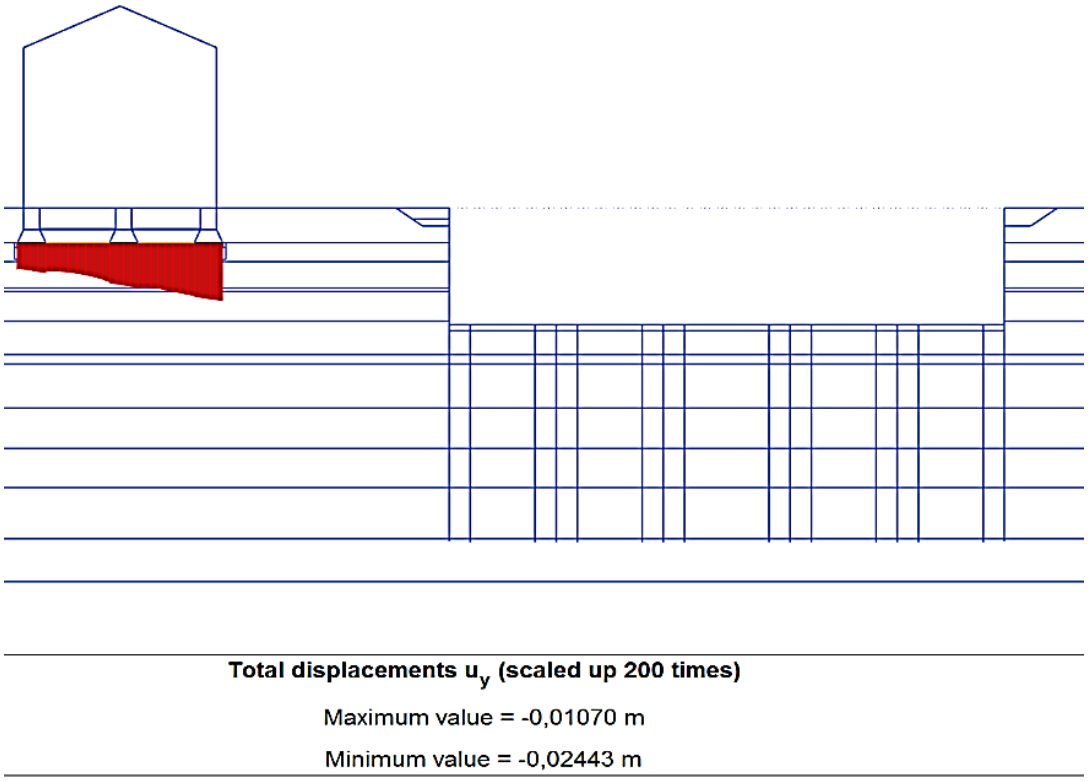


Рис. 1. Прогнозируемые суммарные вертикальные деформации при методе «top-down»

Прогнозируемые суммарные вертикальные деформации (осадки) здания по адресу: Дегтярный пер. д.3 лит А в период экскавации грунта котлована на проектную отметку под защитой перекрытий над минус первом и минус вторым этажом – составляют U_y≈10…24мм при устройстве подземной части методом «top-down».

Прогнозируемые суммарные вертикальные деформации (осадки) здания по адресу: Дегтярный пер. д. 3 лит А в период экскавации грунта котлована на проектную отметку – составляют $U_y \approx 15…32$ мм при устройстве подземной части методом ограждения котлована «стена в грунте» и открытой откопке.

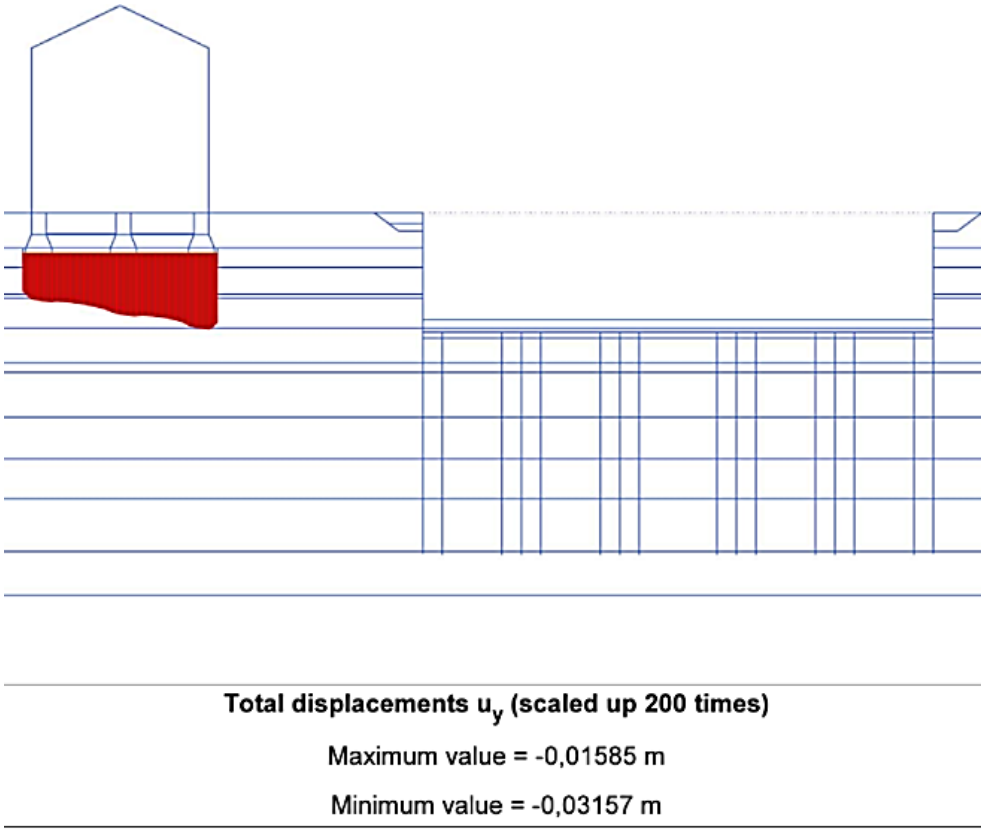


Рис. 2. Прогнозируемые суммарные вертикальные деформации при методе «стена в грунте»

Далее в соответствии с нормативными документами (ТСН 50-302-2004) определяется индекс категории технического состояния здания, попадающего в зону 30-метрового влияния (фактическое расстояние – 17 м). В данном случае зданию присвоен индекс «2», которому соответствуют предельно допустимые дополнительные осадки равные $S_{ad\ u}^{max}$ мм = 30 мм.

Вывод. На основании произведенных расчетов можно заключить, что при устройстве заглубленных частей зданий в центральном районе города Санкт-Петербурга не подходят классические методы устройства котлована, так как они не обеспечивают соблюдение норм по осадке близстоящих сооружений. Самой оптимальной является технология «top-down», так как она обеспечивает необходимые значения деформаций, а также не требует дополнительных мероприятий по усилению грунта, значительно увеличивающих стоимость строительства. Однако, при решении использования данного метода необходим тщательный подход на каждом этапе проектирования и строительства, обеспечивающий четкое соблюдение технологии работ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга. М.: АСВ, 2010. 264 с.
2. Пономарев А.Б., Калошина С.В. Оценка влияния возводимых плитных фундаментов на осадку зданий в условиях плотной застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2013. – № 5. – С. 13-16.
3. Драновский А.Н., Фадеев А.Б. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1993. – 355 с.
4. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. – М.: Архитектура, 2005. – 298 с.
5. Юркевич П.Б. Возведение монолитных железобетонных перекрытий при полузакрытом способе строительства подземных сооружений // Подземное пространство мира. – 2002. – № 1. – С. 13–22.

УДК 69.04

А.Д. Воробьева, Д.А. Страхов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Актуальность. Современные нормы предписывают рассчитывать железобетонные конструкции с учетом физической и геометрической нелинейности. Несмотря на значительное количество работ в этом направлении, выполненных в разное время Васильевым П.И., Прокоповичем И.Е., Бондаренко В.М., Улицким И.И., Харлабом В.Д. и др., решения таких задач не реализованы в достаточной мере в современных расчетных программных комплексах.

Цель работы. Определить напряженно-деформированное состояние железобетонных колонн, работающих с трещинами в растянутой зоне, с учетом нелинейной ползучести и геометрической нелинейности.

Для достижения поставленной цели был использован ступенчатый вариант метода упругих решений (метод ступенек), предложенный Васильевым П.И. и Страховым Д.А для железобетонных стержневых конструкций с трещинами в растянутой зоне [1-3]. Последовательность расчёта напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом трещин и нелинейной ползучести по методу ступенек приведена в работах [3, 5].

Используя этот метод, можно проследить влияние фактора времени на изменение перемещений железобетонных конструкций и рассчитывать такие конструкции по деформированной схеме, т. е. с учётом геометрической нелинейности.

Перемещения, обусловленные полными деформациями (мгновенными и деформациями ползучести) в конце каждого интервала времени, могут быть определены по формуле:

$$\delta = \sum_{j=1}^{n} \int_{a_j}^{b_j} \omega_j(t)\overline{M_j}dx, \quad (1)$$

где n – число участков интегрирования по длине элемента; j – номер участка; ω_j – осредненная кривизна оси соответствующего участка элемента; $\overline{M_j}$ – изгибающий момент на участке с индексом j от единичной силы, приложенной в точке и в направлении определяемого перемещения.

В соответствии с рассматриваемым методом расчёта в конце каждого интервала времени известны полные деформации крайнего сжатого волокна бетона ε_b и растянутой арматуры ε_s в сечении с трещиной. В расчёте рассматривались поперечные сечения в середине каждого участка по длине, и кривизна вычислялась по формуле:

$$\omega_j = \frac{\varepsilon_{bj}\psi_b + \varepsilon_{sj}\psi_{sj}}{h_0}, \quad (2)$$

в которой ψ_{bj} и ψ_{sj} – коэффициенты перехода от деформаций в сечении с трещиной к средним деформациям на участке между трещинами.

Коэффициент ψ_b принимается равным 0,9, а ψ_s вычисляется в соответствии с действующими нормами следующим образом

$$\psi_{sj} = 1 - 0{,}8\frac{M_{crc(j)}}{M_{(j)}}, \quad (3)$$

где $M_{crc(j)}$ – предельный момент по образованию трещин для участка с индексом j.

Для оценки изложенного метода определения перемещений было проведено сопоставление результатов, полученных по этому методу, с величиной прогибов железобетонных балок, измеренных в опытах Вишневецкого Г.Д. и Игнатенко Т. К. [4-5]. Это сопоставление показало вполне удовлетворительное согласование результатов.

Рассмотренный выше аппарат определения перемещений с учетом ползучести бетона открывает широкие возможности для расчета железобетонных конструкций по деформированной схеме при длительном действии нагрузки. Может быть предложен следующий порядок расчета.

1. По недеформированному состоянию проводится обычный расчёт – определяются усилия в конструкции, по которым находятся перемещения и деформированное состояние первого приближения;
2. По деформированному состоянию рассчитываются приращения усилий, по которым в свою очередь определяются дополнительные перемещения и деформированное состояние второго приближения. В аналогичном порядке осуществляются последующие приближения до достижения заранее заданной точности;
3. Далее рассчитывается приращение деформаций ползучести в течение первого интервала времени Δt, соответствующее изменение перемещений и деформированное состояние первого приближения к рассматриваемому моменту времени;
4. Аналогично п. 2 проводятся последующие приближения, затем рассматривается следующий интервал времени и т.д.

Предложенный метод расчёта по деформированному состоянию реализован на примере расчёта колонны (стойки) высотой *H*, жёстко закреплённой в основании, внецентренно-сжатой постоянной силой *N*, приложенной с эксцентриситетом e_0 и вызывающей трещины в растянутой зоне бетона.

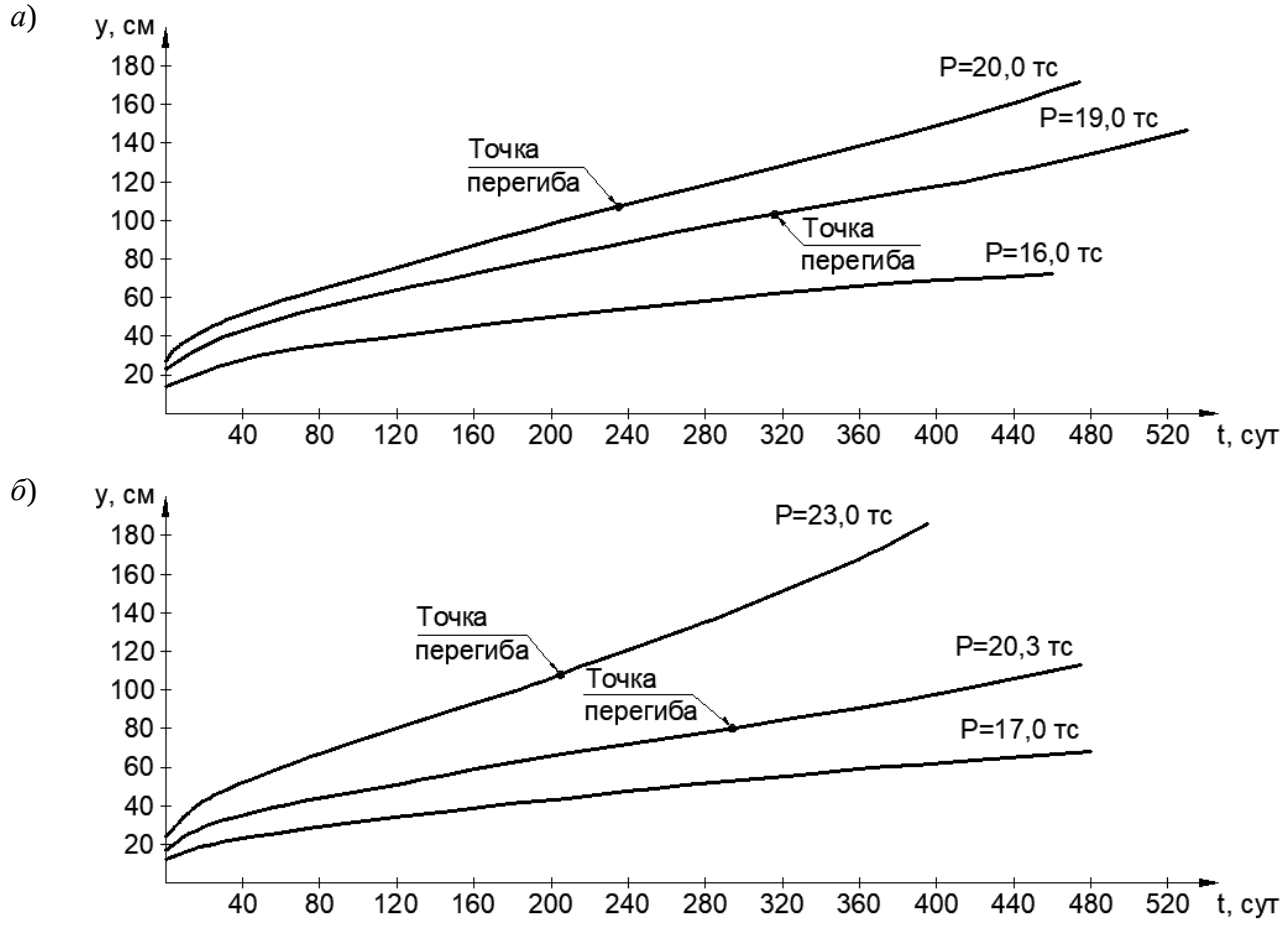


Рис. 1. График зависимости величины прогибов от времени для стержневых элементов с площадью растянутой арматуры: *а* – A_s = 6 см^2, *б* – A_s = 8 см^2

В рамках численного приближённого расчёта процесс деформирования может быть представлен следующим образом. Воздействие первоначального изгибающего момента величиной Ne_0 приводит к образованию начального прогиба верхнего конца стойки y_0, что вызывает увеличение изгибающих моментов по всей высоте стойки (в заделке на величину Ny_0). Последнее приводит к увеличению кривизны и прогибов, увеличение прогибов – к новому возрастанию изгибающих моментов и т.д. В упругой постановке задачи такой итерационный процесс быстро сходится, если величина силы не приближается к критическому значению.

На основании результатов расчёта были построены графики зависимости величины прогибов от времени приложения нагрузки для разных вариантов армирования (рис. 1). В случае, когда $N < N_{cr}$ происходит процесс уменьшения скорости деформирования с течением времени и затухание величины прогибов. Если же процесс начинает протекать с постоянной скоростью деформирования, то это свидетельствует о том, что $N \approx N_{cr}$ и начинается потеря устойчивости. При $N > N_{cr}$ скорость увеличивается и прогиб стремится к бесконечности и, как следствие, имеет место полная потеря устойчивости. На рис. 1 показаны точки перегиба кривых нарастания прогибов, начиная с которых скорость деформирования является постоянной или возрастает, что свидетельствует о потере устойчивости колонны.

Выводы.

1. Рассмотренный метод ступенек позволяет определять перемещения железобетонных колонн с учетом трещин, нелинейной ползучести и геометрической нелинейности для любого момента времени.
2. В рамках использованного метода в качестве критерия потери устойчивости внецентренно-сжатых элементов может рассматриваться увеличение скорости возрастания прогибов с течением времени. При этом малому приращению силы соответствует большое приращение прогибов.
3. Определенные методом ступенек значения критической силы при разном армировании превышают соответствующие значения по нормам, что естественно, т. к. в нормах заложены значительные запасы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев П.И. Некоторые вопросы пластических деформаций бетона. Известия ВНИИГ, т.49, Л., 1953.

2. Васильев П.И., Страхов Д.А. Расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом ползучести. Бетон и железобетон, избранные статьи. Л., 1975.

3. Васильев П.И., Страхов Д.А. О напряженно-деформированном состоянии железобетонных балок с учетом нелинейной ползучести. Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций. Л., 1973.

4. Вишневецкий Г.Д., Игнатенко Т.К. Фокальные ординаты для релаксационных процессов и их использование в расчете изгибаемых железобетонных элементов с учетом нелинейно-наследственной ползучести бетона. Межвузовский тематический сборник трудов № 1. Л., ЛИСИ, 1976.

5. Vorobeva A.D., Strakhov D.A., Semenov K.V. Design of reinforced concrete structures with regard to nonlinear creep. Lecture Notes in Civil Engineering, 150, 2021.

УДК 691.3

А.А. Бойцов, И.С. Черняев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА НА ПОЭТАЖНЫЕ СПЕКТРЫ ОТКЛИКА

Современные АЭС проектируются с учетом экстремальных ударных воздействий. В типовых проектах принимаются массивные наружные железобетонные стены, для восприятия экстремальных воздействий, толщина которых может достигать 2,5 м [1-3]. Применение материалов с повышенными характеристиками, таким как СФБ, может позволить снизить их толщину и остаться в рамках типовых решений [4, 5].

Цель работы – обоснование снижения толщины несущих конструкций при использовании сталефибробетона (СФБ) на примере расчета поэтажных спектров отклика (ПСО).

Задачи исследования:

1. Моделирование расчетных моделей в «ANSYS»
2. Решение прямой динамической задачи на удар самолета
3. Построение спектров отклика при нагрузке от удара самолета

В работе рассмотрены три модели сооружения с одинаковыми объемно-планировочными решениями с габаритами (90×50 м в плане) для расчета в ПК «ANSYS»: 1) В45/В60 – с толщиной наружных стен в 1,0 м, внутренних 0,6 м, материал – бетон класса В45 для внутренних конструкций, В60 для наружных; 2) ВСФБ_П – с толщиной конструкций как для модели, описанной в первом пункте, материал – СФБ с бетоном-матрицей В100; 3) ВСФБ_У – с толщиной наружных стен в 0,8 м, внутренних 0,4-0,5 м, материал – СФБ с бетоном-матрицей В100.

Расчет ПСО проводится для нагрузки, вызванной ударом тяжелого коммерческого самолета Boeing 747-400. Рассматривается случай удара самолета под прямым углом к преграде [4]. Расчет проводится прямым динамическим методом с помощью решателя «Transcient Structural». Демпфирование системы принято равным 7%. Связь между основанием и сооружением обеспечивается системой эквивалентных пружин и демпферов [6].

Характеристики конструкций взяты согласно [5] и [6] и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики материалов в расчетных моделях

Материал	Модуль упругости *E*, МПа	Коэффициент Пуассона	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Удельный вес, т/м^3
Бетон В-100	43000	0,2	43,0	2,2	2,4
СФБ	46340	0,2	64,8	7,98	2,5

Поэтажные спектры отклика (ПСО) рассчитываются для наиболее характерных точек плиты перекрытия – угловые точки, центры пролетов, места крепления оборудования и т.д. Для огибания спектров отклика использовалось расширение FEDOR, разработанное специалистами АО «АТОМПРОЕКТ».

Результаты расчета спектров отклика для плиты, расположенной на отметке +9.600 м, на которую непосредственно приходится удар самолета, представлены на рисунке 1.

По результатам расчета поэтажных спектров отклика:

1. При одинаковой толщине конструктивных элементов пиковое значение ускорения для СФБ модели ниже, чем для модели из обычного бетона. Для СФБ модели со сниженной толщиной конструкций ускорения существенно возрастают (на 20-40%).
2. СФБ модели достигают точки ускорения нулевого периода при частоте 350 Гц, модель из бетона при частоте в 300 Гц.
3. Допускается локальное снижение толщины конструкций, но не всего сооружения.

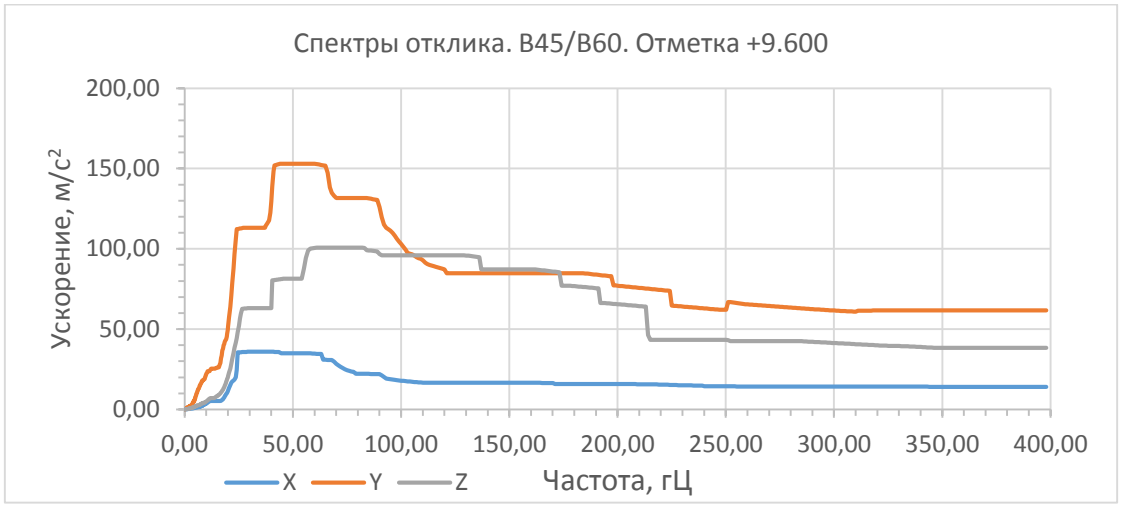


Рис. 1. Поэтажные спектры отклика для плиты перекрытия на отм. +9.600 в модели В45/В60

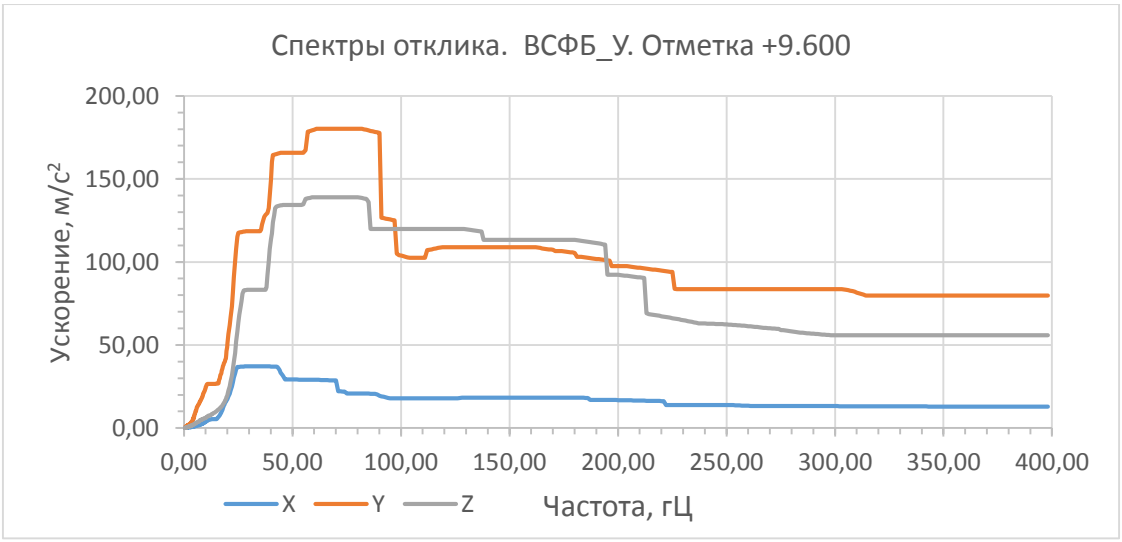


Рис. 2. Поэтажные спектры отклика для плиты перекрытия на отм. +9.600 в модели ВСФБ_У

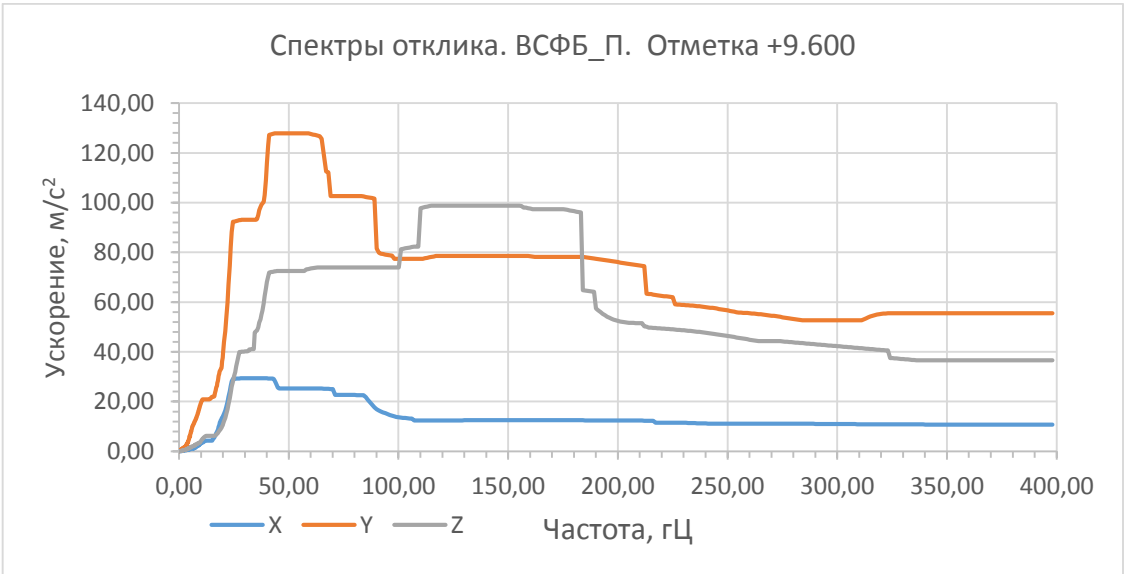


Рис. 3. Поэтажные спектры отклика для плиты перекрытия на отм. +9.600 в модели ВСФБ_П

Таким образом, применение СФБ при проектировании зданий и сооружений АЭС возможно локально, для отдельных конструкций, но не для всего сооружения в случае необходимости снижения толщины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жиркова Е.О. Надежность и безопасность – основные требования в развитии атомной энергетики // Транспортное дело России. 2010. № 12. С. 155-157.
2. Седых Н.А. Проблемы безопасности атомных электростанций // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1-2. С. 103-107.
3. Кузнецов Н.С., Смогунов В.В. Надежность атомных станций при бомбардировке космическими объектами // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. Т. 1. С. 48-53.
4. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе. Строительные конструкции, здания и сооружения. Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Ростов-на-Дону. 2013 г. С 176.
5. Морозов В.И., Пухаренко Ю.В. Эффективност применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях. Строительное материаловедение. МГСУ. 2014 г.
6. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 594 с.

УДК 691.3

А.А. Бойцов, И.С. Черняев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛКИ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ИЗГИБ

Конструкции зданий и сооружений атомных станций, важных с точки зрения безопасности, оцениваются на способность противостоять внешним и внутренним аварийным воздействиям [1-3]. В некоторых случаях может быть обосновано применение сталефибробетона (СФБ) или высокопрочного сталефибробетона (СФБ) для исключения переармирования конструкций в случае аварии, или необходимости снижения толщины несущих конструкций [4-5].

Производство сталефибробетонных смесей происходит аналогично бетонным, но с добавлением фибры необходимого диаметра и, в случае СФБ, добавлением органоминеральных модификаторов.

Целью исследования является оценка прочности по предельному моменту сечения для балочных конструкций, выполненных из различных материалов. В ходе работы были поставлены следующие задачи:

1. Определение прочностных характеристик на растяжение для балки прямоугольного сечения, выполненной из СФБ с бетоном-матрицей класса В100, В150 с армированием и без.

2. Определение прочностных характеристик балки того же сечения, выполненной из бетона класса В30, В60, В100, В150 с последующим армированием

3. Сравнительный анализ полученных значений прочности на растяжение для балок, выполненных из СФБ и обычного бетона соответственно.

В качестве армирования принято три стальных стержня диаметром 6 мм в растянутой зоне бетона на расстоянии 25 мм от края сечения.

Методы исследования. Согласно ГОСТ 10180-2012 принимаем в качестве расчетного образца призменный образец бетона размерами 150×150×600 мм. Для армирования приняты три стальных стержня диаметром 6 мм в растянутой зоне бетона на расстоянии 25 мм от края сечения.

Для СФБ принимаем следующий тип обозначения, пишется «СФБ», а после указывается класс бетона-матрицы, например:

– СФБ-30 – балка из сталефибробетона с бетоном-матрицей класса В30;

Согласно СП 311.1325800.2017 и СП 63.13330.2018 получаем результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные прочностные характеристики бетона

Расчетные показатели	Расчетные показатели		
	Осевое сжатие (призменная прочность), $R_{b,n}$, МПа	Осевое растяжение, $R_{bt,n}$, МПа	Модуль упругости, E, ГПа
В30	17,00	1,15	32,50
В60	33,00	1,80	39,50
В100	47,50	2,20	43,00
В150	57,00	2,25	45,50
СФБ-30	28,32	1,77	32,50
СФБ-60	48,30	5,79	39,50
СФБ-100	64,80	7,98	46,34
СФБ-150	75,22	9,24	48,79

Расчет по прочности изгибаемых элементов СФБ следует производить из следующих положений [6, п. 6.1.5]:

– эпюра напряжений в растянутой зоне СФБ принимается в виде трапеции с напряжениями в растянутой грани сечения, равными R_{fbt}.

Согласно [6, п. 6.1.7] и [5, п. 7.1.12] условие прочности сечения, работающего на изгиб:

$$M \le M_{ult}, \quad (1)$$

где M – изгибающий момент от внешней нагрузки; M_{ult} – предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением элемента.

Предельное значение M_{ult} определяется по формуле:

$$M_{ult} = R_t W, \quad (2)$$

где W – момент сопротивления сечения элемента для крайнего растянутого волокна, для элементов прямоугольного сечения определяется для СФБ и бетона, соответственно, по формулам (3) и (4); R_t – момент сопротивления сечения элемента для крайнего растянутого волокна. Для элементов прямоугольного сечения:

$$W_{pl} = bh^2/3{,}6; \quad (3)$$

$$W = bh^2/6. \quad (4)$$

Расчет несущей способности на изгиб для железобетона ведется по формуле:

$$M_{ult}^{\text{жб}} = R_b b x (h_0 - 0{,}5x) \quad (5)$$

при этом высота сжатой зоны определяется по выражению:

$$x = R_s A_s / R_b b. \quad (6)$$

Для балок, выполненных из СФБ:

$$M_{ult}^{\text{жб}} = R_b b x (h_0 - 0{,}5x) - R_{fbb} b (h - x)(0{,}5(h - x) - a) \quad (7)$$

при этом высота сжатой зоны определяется по выражению:

$$x = (R_{fbt} bh + R_s A_s)/(b(R_{fb} + R_{fbt})). \quad (8)$$

Расчет проведен с помощью программы «MS Excel». Сведем полученные результаты в таблицу 2. Согласно результатам расчетов, представленных в таблице 2, можно заметить, что при замене в ЖБ балке марки бетона с В30 до В150 её прочность на изгиб практически не меняется. В случае же применения ЖБ балки, выполненной из СФБ-100 или СФБ-150, прочность балки на растяжение при изгибе возрастает в 3,5-4,0 раза. Для балок без армирования и вовсе видно, что прочность на изгиб в случае применения СФБ возрастает до 8 раз. Также, конкретно для данной задачи с данным армированием можно заметить, что СФБ без армирования превосходит по своим показателям прочности ЖБ балку из обычного бетона примерно в два раза.

Таблица 2 – Предельные изгибающие моменты

Материал	R_b, МПа	R_{bt}, МПа	x, м	M_{ult}, кНм	
				С арматурой	Без арматуры
В30	17	1,15	0,0145	4,34	0,65
В60	33	1,80	0,0075	4,47	1,01
В100	47,5	2,20	0,0052	4,52	1,24
В150	67	2,25	0,0043	4,53	1,27
СФБ-30	28,32	1,77	0,0208	11,98	5,56
СФБ-60	48,30	5,79	0,0204	13,45	6,32
СФБ-100	64,8	7,98	0,0198	15,93	7,48
СФБ-150	75,22	9,24	0,0193	17,84	8,66

Таким образом, применяя СФБ в качестве основного материала, появляется возможность снизить толщину несущих конструкций в несколько раз, при этом сохранив прочность и надежность сооружения, а в некоторых случаях и вовсе отказаться от стандартного армирования стальными стержнями. Это позволит снизить стоимость строительных работ и материалов, ускорить процесс возведения конструкций. Однако, необходимо провести дополнительные исследования по влиянию материала на жесткостные характеристики сооружения, в частности – поэтажные спектры отклика.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жиркова Е.О. Надежность и безопасность – основные требования в развитии атомной энергетики // Транспортное дело России. 2010. № 12. С. 155-157.
2. Седых Н.А. Проблемы безопасности атомных электростанций // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1-2. С. 103-107.
3. Кузнецов Н.С., Смогунов В.В. Надежность атомных станций при бомбардировке космическими объектами // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. Т. 1. С. 48-53.
4. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе. Строительные конструкции, здания и сооружения. Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Ростов-на-Дону. 2013 г. С 176.
5. Морозов В.И., Опбул Э.К. Расчет прочности изгибаемых фиброжелезобетонных элементов с высокопрочной арматур без предварительного напряжения // Докл. 62 научн. конф. СПБ. : СПБГАСУ, 2005. Ч. 1. С. 210-214.

УДК 691.3

А.А. Бойцов, И.С. Черняев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗО ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗАПРОЕКТНОГО ДАВЛЕНИЯ

Внутренняя защитная оболочка (ВЗО) является четвертым барьером безопасности на атомной станции. ВЗО проектируется на возможность противостоять разрыву первого контура АЭС. Для восприятия больших растягивающих усилий типовые проекты ВЗО выполняют преднапряженными [1-3]. Однако, сложная геометрия на участках вокруг транспортных шлюзов и гермопроходок, не позволяет обжать оболочку целиком. Для избегания переармирования этих зон в работе рассматривается локальное применение сталефибробетона (СФБ) в зонах без преднапряжения. При наличии каркаса из армирующей сетки вдоль большего и меньшего радиусов оболочки, в совокупности с матрицей из сталефибробетона, можно получить материал с высокими прочностными характеристиками [4-6].

Цель исследования – обоснование использования сталефибробетона в роли локального заполнителя для ВЗО.

Задачи исследования:

1. Моделирование сектора контайнмента, выполненного из сталефибробетона, вокруг транспортного шлюза диаметром 7,6 м в ПВК «ANSYS».

2. Раскладка и моделирование сетки армирующего каркаса в ПВК «ANSYS».

3. Расчет в нелинейной постановке и анализ полученных данных.

В качестве армирования приняты стальные стержни класса А500, направленные вдоль вертикальной и горизонтальной осей, диаметром 25 мм и с шагом 200 мм во всех направлениях. Заполнитель – сталефибробетон класса В100 (СФБ-100).

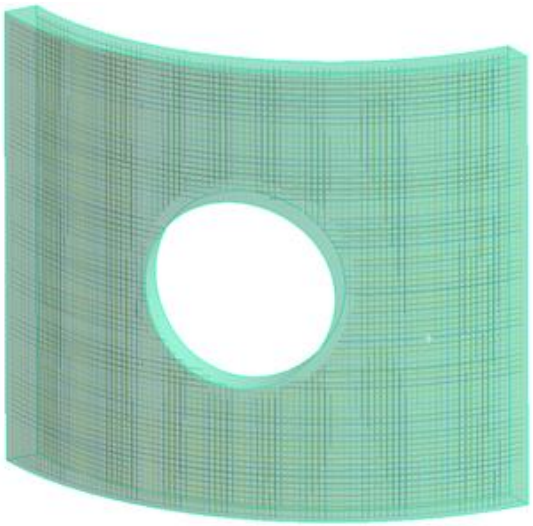


Рис. 1. Совместный вид на оболочку и арматурный каркас

Согласно [5, табл. 6.7] получаем расчетные характеристики бетона (табл. 1).

Таблица 1 – Расчетные прочностные характеристики бетона

Нормативные показатели	СФБ-100
	В100
Осевое сжатие (призменная прочность), $R_{b,n}$, МПа	64,8
Осевое растяжение, $R_{bt,n}$ МПа	9,2
Модуль упругости, E, ГПа	43,00

После приложения давления равного 0,46 МПа и проведения нелинейного расчета, были получены следующие значения (рис. 2, 3).

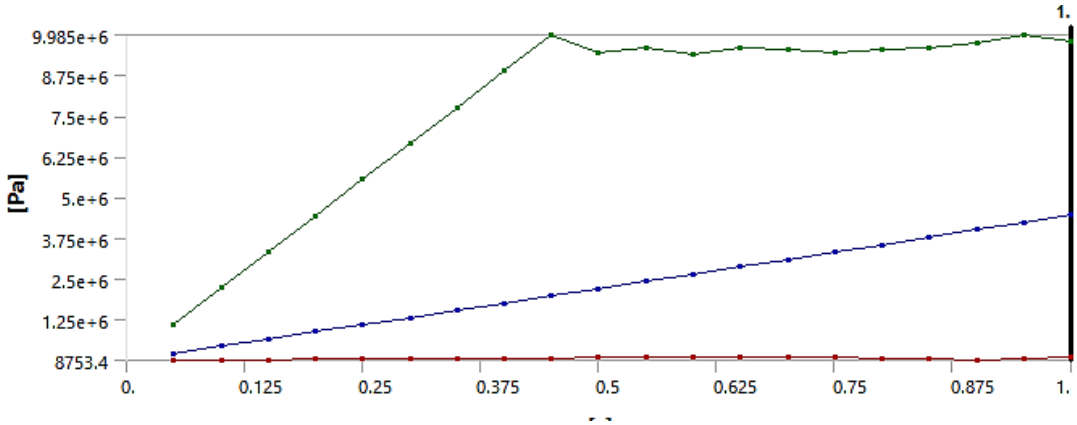


Рис. 2. Результаты нелинейного расчета

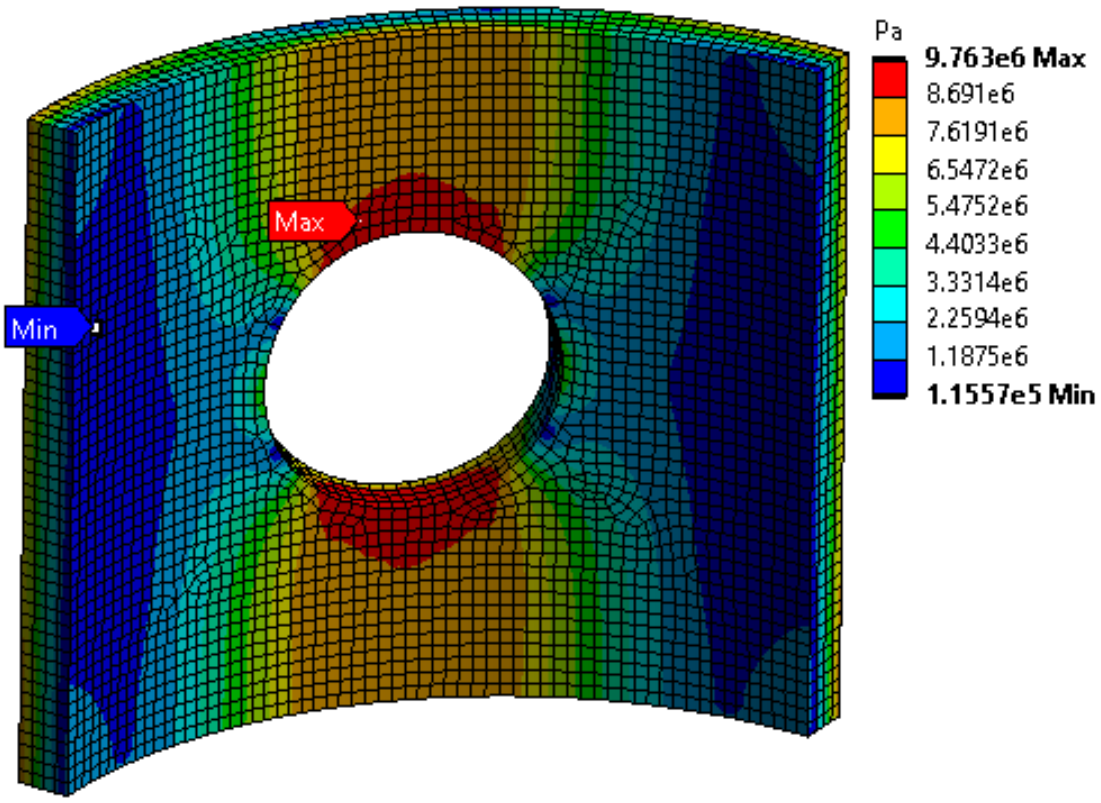


Рис. 3. Изополя напряжений в теле ВЗО

Значения, полученные в результате расчета, превышают значения предела прочности, присвоенные материалу. Это связано со спецификой нелинейного расчета.

По результатам проведенного исследования использование сталефибробетона в роли локального заполнителя для ВЗО, в сочетании с армокаркасом, позволяет не прибегать к преднапряжению арматуры. При запроектном давлении внутри оболочки, равном 0,46 МПа, конструкция из сталефибробетона переходит в область пластических деформаций при напряжении равном 9,98 МПа (рис. 2). Данный подход к выбору материала на стадии проектирования позволяет снизить расход арматуры и трудозатрат на её преднапряжение при проведении строительных работ, что, в свою очередь, приведет к снижению стоимости строительства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жиркова Е.О. Надежность и безопасность – основные требования в развитии атомной энергетики // Транспортное дело России. 2010. № 12. С. 155-157.
2. Седых Н.А. Проблемы безопасности атомных электростанций // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1-2. С. 103-107.
3. Кузнецов Н.С., Смогунов В.В. Надежность атомных станций при бомбардировке космическими объектами // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. Т. 1. С. 48-53.
4. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе. Строительные конструкции, здания и сооружения. Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Ростов-на-Дону. 2013 г. С 176.
5. Морозов В.И., Пухаренко Ю.В. Эффективност применения фибробетона в конструкциях при динамических воздействиях. Строительное материаловедение. МГСУ. 2014 г.
6. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 594 с.

УДК 69.04

Д.М. Кабанов, Д.А. Страхов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГИХ ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Введение. В данной работе рассматривается применение метода последовательных приближений при решении задачи устойчивости упругих внецентренно-сжатых стержней, жестко закрепленных одним концом. Представленный метод позволяет определять прогибы с учетом геометрической нелинейности и непосредственную величину критической силы, приводящей к потере устойчивости рассматриваемого элемента, которая выражается в незатухающем нарастании прогибов стержня с увеличением количества итераций [1]. Метод основан на приближенной постановке, учитывающей только изгибную жесткость, как и в случае использования формулы Эйлера [2]. Точная постановка задач устойчивости упругих стержней, учитывающая жесткости на сдвиг, изгиб и сжатие-растяжение, приведена в [3-5].

Актуальность. Нормы предписывают рассчитывать железобетонные конструкции с учетом физической и геометрической нелинейности. При достаточном согласовании результатов, полученных описанным методом, с результатами по формуле Эйлера, этот метод можно использовать для расчета железобетонных конструкций с учетом трещин, нелинейной ползучести, температуры, перераспределения напряжений и геометрической нелинейности, т.е. для решения задач, нереализованных в достаточной мере в современных расчетных программных комплексах.

Цель работы. Сравнить решение задачи устойчивости стержня при помощи формулы Эйлера с результатами, полученными при помощи метода последовательных приближений, проанализировав полученные алгоритмы на предмет учета факторов, влияющих на работу железобетонных конструкций с трещинами в растянутой зоне.

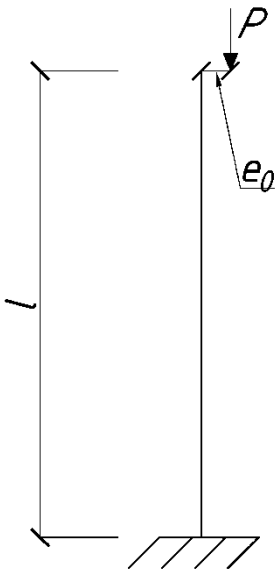


Рис. 1. Расчетная схема

На рис. 1 представлена расчетная схема в виде жестко защемленного одним концом вертикального стержня длиной l, прямоугольного сечения $b \times h$, сжимаемого силой P с эксцентриситетом e_0. Для получения численных результатов, приняты следующие геометрические характеристики стержня и параметры материала:

$$l = 12 \text{ м}, e_0 = 0{,}25 \text{ м}, b = 0{,}2 \text{ м}, h = 0{,}5 \text{ м};$$

$$E = 30 \cdot 10^3 \text{ МПа}, I = \frac{bh^3}{12} = 2{,}083 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4,$$

где $I -$ момент инерции сечения.

Критическая сила по формуле Эйлера для стержня, жестко закрепленного одним концом:

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} = \frac{3{,}14^2 \cdot 62{,}49}{(2 \cdot 12)^2} = 1{,}071 \text{ МН} = 1070{,}749 \text{ кН}, \quad (1)$$

где $\mu -$ коэффициент приведенной длины, для данной задачи равный 2.

Рассмотренная в данной работе разновидность метода последовательных приближений основана на расчете перемещений конструкции, где искомые прогибы y представлены в виде суммирования значений численного интегрирования от произведения кривизны ω_j стержня рассматриваемого j-ого участка и изгибающего момента $\overline{M}_j$ в той же точке от единичной силы, приложенной в точке и в направлении определяемого перемещения:

$$y = \sum_{j=1}^{n} \int_{a_i}^{b_i} \omega_j \bar{M}_j dx. \quad (2)$$

Кривизна стержневого элемента в деформированном состоянии для однородных сечений может быть выражена зависимостью:

$$\omega_j = \frac{1}{\rho} = \frac{M_j}{EI}, \quad (3)$$

где $M_j -$ изгибающий момент, действующий на каждом j-ом участке в зависимости от номера итерации.

Очевидно, что при увеличении количества расчетных участков в пределах длины стержня точность расчета будет повышаться. В рассматриваемом примере длина элемента l разбита на $j = 10$ участков длиной, равной $dl = 1{,}2$ м. Разбивка элемента на расчетные участки приведена на рис. 2.

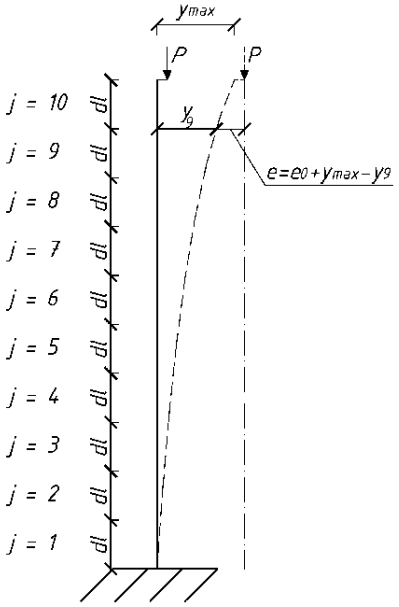


Рис. 2. Разбивка стержня

Для первой итерации значения прогибов по всей длине стержня принимаются нулевыми, что позволяет найти кривизну элемента в любой его точке по формуле:

$$\omega = \frac{M_0}{EI} = \frac{Pe_0}{EI} \quad (4)$$

Начиная со 2-ой итерации, кривизна элемента в каждой его точке принимает различные значения, зависящие от приращения изгибающего момента вследствие итерационного характера метода расчета, где каждое значение перемещения в последующей итерации будет обусловливаться итоговым значением в предыдущей.

Таким образом, кривизна стержня для j-ого расчетного участка в n-ой итерации определяется из выражения:

$$\omega_j^n = \frac{M_0 + \Delta M_j^n}{EI};\ \Delta M_j^n = P\left(y_{max}^{n-1} - \frac{y_j^{n-1} + y_{j-1}^{n-1}}{2}\right), \quad (5)$$

где $\Delta M_j^n -$ приращение изгибающего момента в середине участка j, определенное по значениям прогибов в $(n-1)$ итерации в точках разбивки на расчетные участки, где $n \geq 2$.

Значения изгибающего момента $\bar{M}_j$ для каждого участка от единичной силы, приложенной в точке и в направлении определяемого перемещения, определены по формуле:

$$\bar{M}_j = 1 \cdot x, \quad (6)$$

где $x -$ расстояние от точки приложения единичной силы до заделки.

Следует отметить, что разница между значениями $\bar{M}_j$ для различных участков в пределах одной итерации заключается лишь в пределах интегрирования согласно вышеприведенной формуле (2). Более того, для одних и тех же расчетных участков, выражения моментов $\bar{M}_j$ во всех итерациях будут одинаковыми.

Для построения графиков зависимости прогиба от количества итераций к защемленному стержню приложены различные сжимающие силы P, равные 950, 1000, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100 и 1150 кН. Результаты проведенного исследования представлены на рис. 3.

При использовании метода последовательных приближений, достаточно легко выявить незатухающее нарастание прогибов путем вычисления приращения прогиба между двумя любыми последовательными итерациями. Необходимо отметить, что значение критической силы согласно примененному методу (наименьшее значение силы, вызывающей незатухающее деформирование) равняется 1075,341 кН, а при значениях силы, значительно ниже критической (до 550 кН), достаточно всего 5-10 итераций, чтобы прогибы перестали

возрастать. Относительная погрешность определения критической силы, по сравнению с силой по формуле Эйлера, составила:

$$\varepsilon = \frac{|1075{,}341 - 1070{,}749|}{1070{,}749} \cdot 100\% = 0{,}43\% \qquad (7)$$

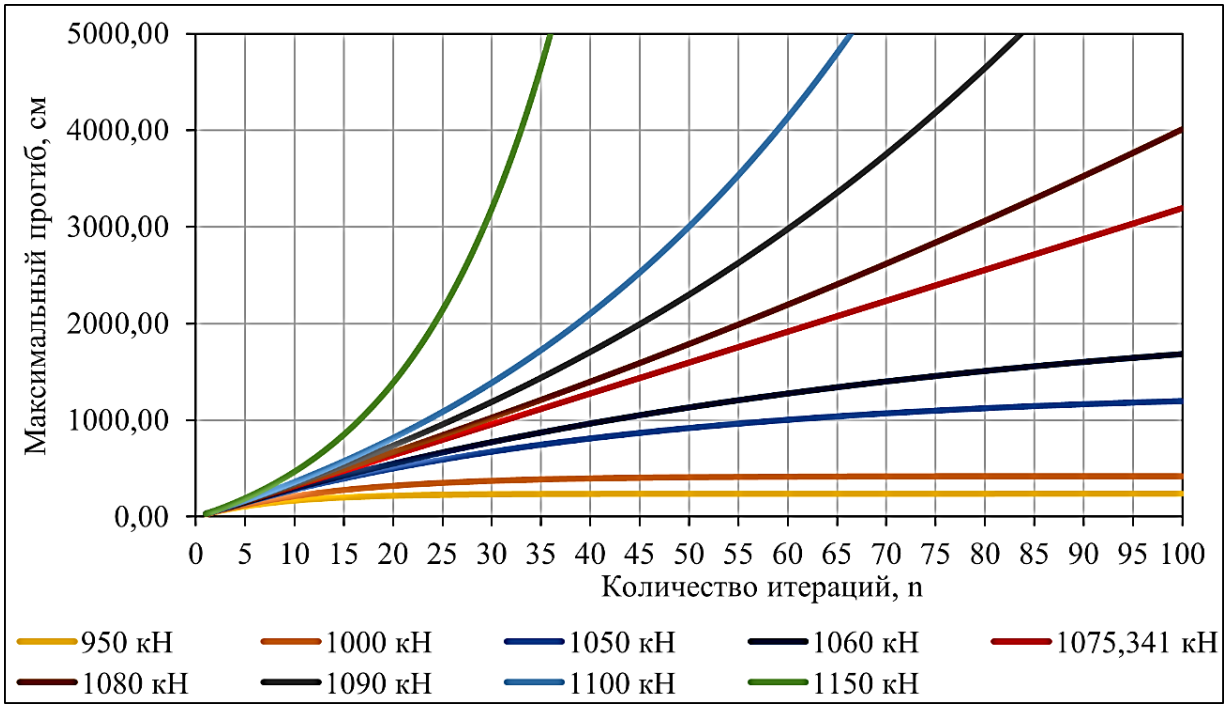


Рис. 3. График зависимости максимального прогиба от количества итераций

Выводы. Значение критической силы (сравнительно с силой по формуле Эйлера) вычисляется с погрешностью в 0,43%, что значительно меньше допустимой инженерной погрешности. Учитывая высокую степень согласования полученных результатов для упругих стержней, можно реализовать приведенный выше численный метод с учетом дополнительных факторов, влияющих на работу железобетонных конструкций, таких, как нелинейные деформации ползучести бетона, температурные воздействия, перераспределение напряжений, геометрическая нелинейность и возникновение трещин в растянутой зоне.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев П.И., Страхов Д.А. Расчет стержневых железобетонных конструкций с учетом ползучести // Бетон и железобетон. – 1975. – №1.
2. Циглер Г. Основы теории устойчивости конструкций / Пер. с англ. М.И. Рейтмана; под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Мир, 1971. – 192 с.
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы: в 2-х т. / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер; СКАД СОФТ – М., 2007. – 670 с. – 1 т.
4. Лалин В.В., Розин Л.А., Кушова Д.А. Вариационная постановка плоской задачи геометрически нелинейного деформирования и устойчивости упругих стержней // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 1. – С. 53–63.
5. Орлова Е.С., Лалин В.В. Реализация методом конечных элементов точной постановки задач устойчивости упругих стержней // Материалы научной конференции с международным участием «Неделя Науки СПбПУ». – 2018. – С. 218–221.

УДК 692.113

Н.В. Овсюков, А.А. Жигирь
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВАЙ НА ПРИМЕРЕ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В ПЕТРОГРАДСКОМ РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Введение. Свайные фундаменты стали широко распространены в современной отечественной и иностранной практике строительства оснований сооружений. Причиной такому распространению стала возможность устройства фундаментов в грунтах с малой несущей способностью при использовании данной технологии. В научной литературе имеются работы [1,2], в которых рассмотрены свойства определенных типов свай, анализ их применения в различных грунтовых условиях. Также в рассматриваемой литературе произведен сравнительный анализ технологи и сделаны выводы по условиям их применения [2]. В рамках данной статьи нас интересуют технологии производства, достоинства и недостатки, условия применения буронабивных свай «Fundex» и CFA, а также свай вдавливания.

Цель работы – проанализировать применение нескольких типов свай для выбранного объекта, по результатам исследования выбрать оптимальный вариант исполнения свай.

Выбранный участок проектирования расположен в Петроградском районе Санкт-Петербурга, на Петровском острове, имеет сложную форму и ограничивается: с севера – красными линиями набережной р. Ждановка, с запада –территорией объекта культурного наследия «Солодовня пивоваренного завода «Бавария» 1911 г постройки (3 категория технического состояния), с юга и востока – смежными земельными участками со зданиями и сооружениями различного технического состояния. В связи с наличием окружающей застройкой по периметру котлована предусмотрено устройство шпунтового ограждения.

Согласно государственному источнику, предоставляющему архивные скважины и разрезы г. Санкт-Петербурга и инженерно-геологическим изысканиям геологическое строение исследуемого участка до глубины 35,0 м представлено современными техногенными образованиями и морскими, озерными отложениями, верхнечетвертичными озерно-ледниковыми и ледниковыми отложениями, отложениями котлинского горизонта вендского комплекса.

На основании выполненных работ на площадке выделено 13 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

- ИГЭ-1 Насыпные грунты слежавшиеся: пески разнозернистые (глубина залегания 0-3,2 м);
- ИГЭ-2 Пески пылеватые, однородные, средней плотности (глубина залегания 1,5-4,3 м);
- ИГЭ-3 Пески мелкие, однородные, средней плотности (глубина залегания 1,8-4,0 м);
- ИГЭ-4 Пески средней крупности, однородные, средней плотности (глубина залегания 2,0-4,0 м);
- ИГЭ-5 Суглинки текучие, легкие пылеватые, тиксотропные, слоистые (глубина залегания 3,5-5,5 м);
- ИГЭ-6 Глины текучие, легкие пылеватые, тиксотропные, ленточные (глубина залегания 5,5-8,7 м);
- ИГЭ-7 Суглинки текучепластичные, тяжелые пылеватые, тиксотропные, неяснослоистые (глубина залегания 7,2-11,3 м);
- ИГЭ-8 Супеси пластичные, пылеватые, серовато-коричневые (глубина залегания 9,5-13,2 м);
- ИГЭ-9 Супеси пластичные пылеватые, серые, с гравием и галькой изверженных пород до 15% (глубина залегания 9,7-16,0 м);
- ИГЭ-10 Супеси твердые, пылеватые, серые, с редкой дресвой песчаников, с редкими линзами галечниковых грунтов (глубина залегания 9,8-19,0 м);

– ИГЭ-11 Суглинки твердые, с линзами полутвердых, легкие пылеватые (глубина залегания 14,0-21,7 м);
– ИГЭ-12 Глины твердые, легкие пылеватые, дислоцированные (глубина залегания 22,0-24,7 м);
– ИГЭ-13 Глины твердые, легкие пылеватые, серовато-зеленые (глубина залегания 24,0-26,5 м);

В соответствии с грунтовыми условиями, плотностью окружающей застройки для проектирования фундамента необходимо рассмотреть варианты применения различных типов свай. В данной работе будут рассмотрены сваи вдавливания, сваи «Fundex», CFA-сваи.

Технология выполнения работ по вдавливанию предварительно изготовленных свай предполагает монтаж специальной вдавливающей установки. При выборе установки для вдавливания необходимо руководствоваться конструктивными особенностями сваи, требованиями к прикладываемым усилиям, а также габаритами площадки проведения работ [3]. Усилие, прикладываемое установкой к свае должно превышать несущую способность грунтового основания. На протяжении всего процесса погружения предъявляются требования к максимальным нагрузкам на зажим и вдавливание конструкции.

Метод вдавливания свай имеет ряд преимуществ перед своими конкурентами:
– ствол сваи выполняется качественно и позволяет увеличить точность погружения;
– минимальное влияние на окружающую застройку в целом, а также непосредственно на саму сваю;
– незначительный уровень шума;
– постоянный контроль вдавливающего усилия;
– более низкие затраты на производство данным способом.

Однако данная технология имеет также ряд недостатков:
– ограничения в обеспечении большой вдавливающей силы;
– необходимость разработки временных дорог для обеспечения доступа подвижной установки для вдавливания свай;
– сложность использования метода в грунтовых условиях, содержащих твердые включения (необходимость лидерного бурения);
– необходимость обеспечения строительной площадки источником электроэнергии значительной мощности (до 200 кВт);
– выполнение сварного стыка секций свай в условиях строительной площадки.

Технология «Fundex» стала применяться в Санкт-Петербурге с 2001 года. Скважины для тела свай выполняются в данном случае без извлечения грунта, а за счет его вытеснения с помощью вкручиваемой трубы выполненной из стали [1]. В результате погружения бурового инструмента в основание грунт одновременно уплотняется и раздвигается. Проверяют наличие воды в трубе, затем опускают арматурный каркас. После труба порциями заполняется бетоном с мелким заполнителем. ПО ходу бетонирования сваи глинистый раствор вытесняется в зону устья скважины проходя через затрубное пространство, и в конце выводится в отстойник к лоткам для очистки [2]. Далее извлекают буровую трубу.

Сваи «Fundex» имеют следующие преимущества:
– производство свай на стройплощадке, сокращение затрат на транспортировку и складирование свай;
– высокая скорость производства;
– отсутствие значительных динамических воздействий на грунтовое основание в процессе изготовления свай;
– отсутствие затрат ресурсов на удалению грунта из трубы и его транспортировки со стройплощадки;
– низкий уровень шума работы буровой установки.

CFA-сваи – это сваи, изготавливаемые с применением специальных установок, использующих для бурения скважин непрерывный проходной шнек [4]. Лопасть, наваренная по всей длине сердечника шнека, позволяет извлекать грунт из скважины и доставлять на поверхность. Определённая конструкция шнека при внедрении его в основание может вызывать частичное уплотнение грунта. В ходе применения данной технологии следует обращать внимание на вероятные недоучеты тиксотропного разупрочнения в зоне пылевато-глинистых грунтов, насыщенных водой. Исходя из опыта следует отметить, что производство свай без «отдыха» в данных условиях может вести к значительному превышению изначально рассчитанного объема бетонной смеси. Причиной этому является то, что в напластованиях грунтового массива присутствуют большие толщи текучих, текучепластичных супесей с низкими деформационными характеристиками [5].

К преимуществам данной технологии можно отнести:

- скорость возведения;
- удобство и качество бетонирования скважины;
- пригодность использования в грунтах с плотными включениями.

Для рассмотренных типов свай были определены параметры несущей способности, скорости возведения и стоимости. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Сваи вдавливания	Сваи «Fundex»	CFA-сваи
Несущая способность (длина 15 м, *d*520, 400×400 для вдавливания), тс	204,9	226,8 тс.	220,6
Стоимость, руб./м.пог.	От 500	От 1500	От 1900
Скорость возведения, м.пог./сут.	До 300	До 380	До 370

Вывод. Исходя из анализа преимуществ и недостатков технологий производства свай, геологических условий, а также параметров несущей способности, стоимости и скорости монтажа для выбранного объекта наиболее рациональным выбором являются сваи, выполненные по технологии «Fundex». Данный тип свай в полной мере обеспечивает несущую способность равную 226,8 тс, а возможность производства 380 пог. метров свай за сутки на строительной площадке позволяет сократить сроки возведения фундамента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мангушев, Р.А. Современные свайные технологии: учебное пособие / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 240 с.
2. Мангушев Р.А. Сваи «Фундекс» и CFA – новые технологии устройства буронабивных свай. Вестник гражданских инженеров. 2008. №1 (14). С. 29-32.
3. Ершов А.В., Нутрихин В.В. Оценка несущей способности набивных свай с использованием данных статического зондирования // Инженерные изыскания. 2011. № 7. С. 42-52
4. Мангушев, Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Мангушев Р.А. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 1040 с.
5. Конюшков В. В. Несущая способность буроинъекционных свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки с учётом технологии их изготовления. Дис.сертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Л., 2007. – 212 с.

УДК 691.327

В.И. Корсун, К. Кхон, В.К. Ха
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ НА ПРОЧНОСТЬ И МОДУЛЬ УПРУГОСТИ БЕТОНА

Климатические температурно-влажностные воздействия оказывают существенное влияние на НДС железобетонных конструкций в странах с жарким климатом, который характеризуется повышенными температурами воздуха до $+50°C$, а на поверхности конструкций – до $+80°C$, относительно низкой влажностью порядка $9 \div 20\%$, существенными перепадами температуры и влажности как в течение суток, так и в течение года. Для некоторых районов планеты характерно воздействие повышенных климатических температур до $40°C$ и высокой влажности до 95%. В соответствии с методиками проектирования учет температурно-влажностных режимов работы бетонных и железобетонных конструкций проводится, основываясь на классификации, по которой вводятся климатические пояса и области [6]. Район жаркого климата включает четыре климатических пояса: I – экваториальный, II – субэкваториальный, III – тропический, IV – субтропический. Тропическая зона подразделяется на два района: З-А – сухого жаркого климата (тропические пустыни) и З-В – влажного жаркого климата. Влажная жаркая зона З-В характеризуется высокой относительной влажностью воздуха (более 90%) и среднегодовой температурой около $23°C$. Температура воздуха летом может подниматься до $40°C$.

Цель работы – анализ влияния климатических условий Юго-Восточной Азии на прочность и модуль упругости обычного и высокопрочного бетона. Задачами исследования являются обобщение данных многолетних метеонаблюдений за температурами и влажностью воздуха в странах Ю-В Азии, анализ и обобщение данных экспериментальных исследований влияния температурно-влажностных условий среды на характеристики прочностных и деформационных свойств конструкционных бетонов.

1. Температурно-влажностные режимы климатических воздействий в странах Юго-Восточной Азии. Данные многолетних наблюдений за температурно-влажностными условиями Камбоджи представлены на рисунке 1 [4].

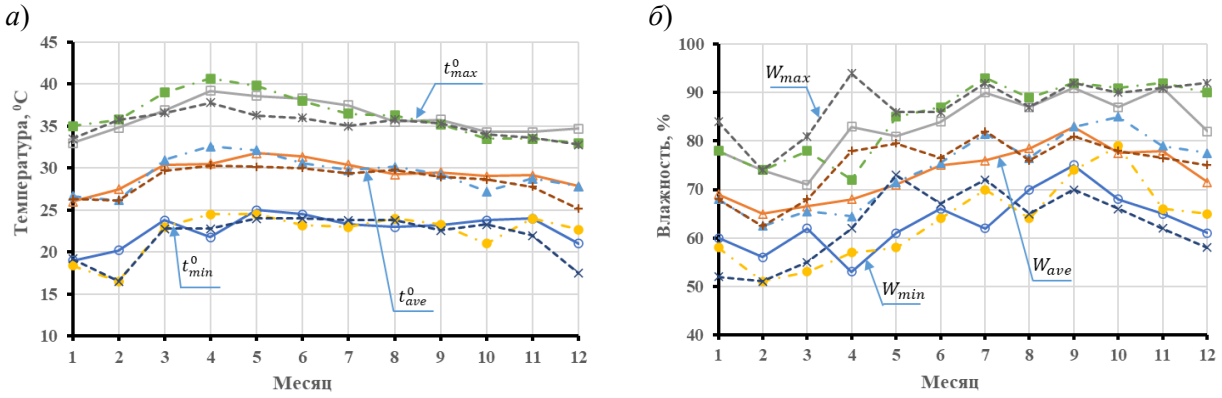


Рис. 1. Изменения минимальных t°_{min}, средних t°_{ave} и максимальных t°_{max} значений температуры ($а$) и минимальных W_{min}, средних W_{ave} и максимальных W_{max} значений влажности ($б$) наружного воздуха в течение 2015-2017 гг.
Условные обозначения: ——— – 2015 г; -·-·-·- – 2016 г; -------- – 2017 г

Королевство Камбоджа и республика Вьетнам расположены в поясе З-В. Климат стран Юго-Восточной Азии в значительной степени зависит от муссонов. Значения температуры

воздуха на всей территории центральной равнинной части стран достаточно близки и характеризуются сравнительно небольшими отклонениями от среднегодовой температуры $25°C$. Максимальные температуры воздуха превышают $32°C$, однако перед началом сезона дождей они зачастую превышают $38°C$. Минимальные температуры редко опускаются ниже $10°C$. Самый холодный месяц – январь, а самый жаркий – апрель.

2. Влияние температурно-влажностных условий Юго-Восточной Азии на характеристики физико-механических свойств обычных и высокопрочных бетонов.

К основным климатическим факторам, влияющим на напряженно-деформированное состояние и долговечность железобетонных конструкций, относятся интенсивная солнечная радиация и изменения температуры и влажности бетона по объему конструкций. Особенности формирования структуры бетона, твердеющего в условиях тропического климата, зависят, в основном, от влияния двух противоположно действующих факторов: ускоренной гидратации вяжущего и интенсивным, не однородным по объему конструкции испарением влаги из бетона, вызванными действием повышенной температуры наружного воздуха. Прочность на сжатие бетона, выдержанного во влажней среде в раннем возрасте, обычно выше, чем высыхающего на воздухе (рис. 2). Прочность образцов, выдержанных на открытом воздухе в возрасте 7 сут., составляет около 70% [7] от значений в возрасте 28 сут. Аналогичные результаты были получены, в частности, M.F. Mohd Zain и S.S. Radin в экспериментальном исследовании [2]. Бетонным образцам, выдержанным при более высоких температурах, характерен больший прирост прочности на сжатие. Образцы, твердевшие в условиях увлажнения при $35°C$, частично высушивались в возрасте 28, 56 и 91 суток и имели более низкую относительную влажность. Твердение образцов при $50°C$ показало меньшую прочность на сжатие, чем в условиях твердения при $35°C$. SF бетоны [1, 3] показали наивысшую прочность при сжатии. Механизм, с помощью которого SF улучшает свойства бетона, является как физическим, так и химическим.

а) *б*)

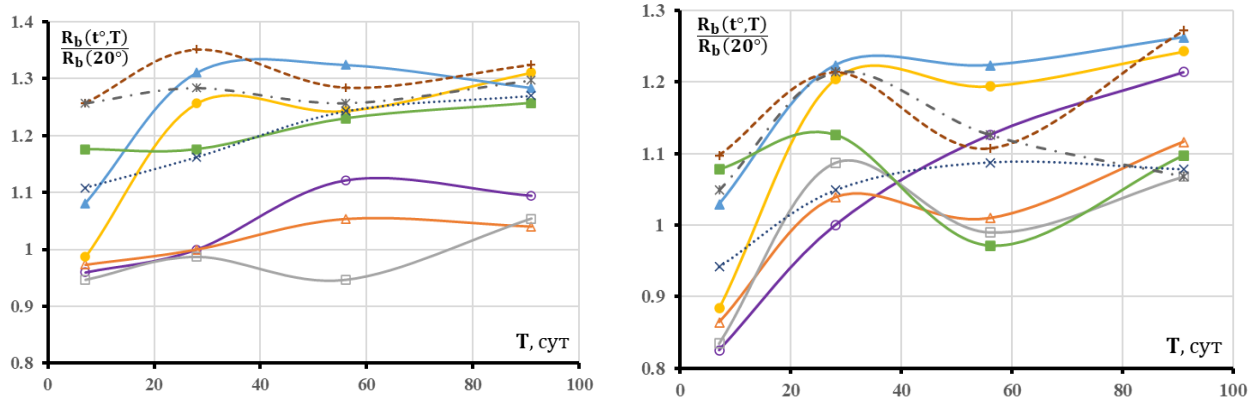


Рис. 2. Влияние температуры и продолжительности ее действия на прочность бетона, выдержанного на открытом воздухе (*а*) и во влажных условиях (*б*)

Условные обозначения: NPC[1] $20°C$; SF[2] $20°C$; FA[3] $20°C$; NPC $35°C$; SF $35°C$; FA $35°C$; NPC $50°C$; SF $50°C$; FA $50°C$;

NPC – Normal Portland Cement (Обычный портландцемент); SF – Silica Fume (Микрокремнезём); FA – Fly Ash (Зола уноса)

Модуль упругости всех бетонов имеет тенденцию к увеличению с возрастом при $20°C$ в условиях увлажнения, но уменьшался в 28-суточном возрасте при сухом воздушном отверждении (рис. 3). Однако при $50°C$ сухого воздуха и увлажненном отверждении модуль упругости всех бетонных смесей с возрастом непрерывно снижался. Это может быть связано с недостатком влаги для полной гидратации. Модуль упругости, как правило, уменьшался с увеличением температуры

отверждения и также непрерывно понижался с продолжительностью воздействия нагрева. Аналогичное наблюдение было сделано в работе [5]. Эти явления также связаны с потерей влаги из бетона образцов. Поскольку с увеличением возраста влага уходит и бетонные образцы начинают высыхать с повышением температуры и продолжительности её действия, модуль упругости имеет тенденцию к снижению. Бетоны SF и FA показывают более высокие значения модуля упругости в возрасте 56 и 91 суток. Это указывает на то, что роль SF, как эффективного заполнителя и редуктора пористости, более выражена в более позднем возрасте.

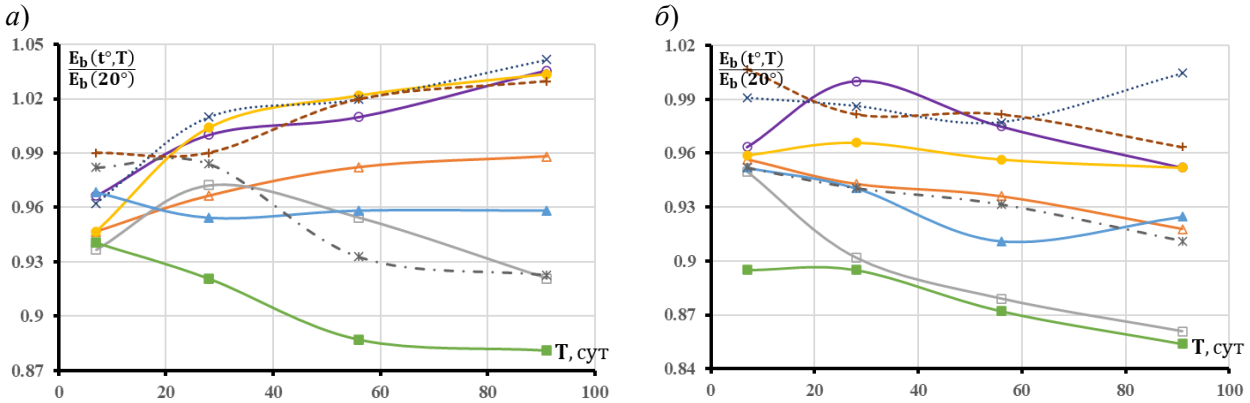


Рис. 3. Влияние температуры и продолжительности ее действия на модуль упругости бетона, выдержанного во влажных условиях (*а*) и на открытом воздухе (*б*)

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о следующем:

1. В странах Юго-Восточной Азии в летнее время максимальная температура воздуха достигает порядка $41°C$, средняя – $32°C$, минимальная – $21°C$. Относительная максимальная влажность воздуха достигает 94%, средняя – 68%, минимальная – 53%. В зимнее время максимальная температура составляет около $35°C$, средняя – $26°C$ и минимальная – $16°C$. Относительная максимальная влажность воздуха составляет 84%, средняя – 69% и минимальная – 52%.

2. Прочность на сжатие бетона, выдержанного во влажней среде, в раннем возрасте обычно выше, чем у свободно высыхающего на воздухе бетона. Снижение прочности образцов, выдержанных на открытом воздухе в возрасте 7 суток, достигает порядка 30%.

3. Модуль упругости всех бетонов в условиях влажного хранения при $t° = 20°C$ непрерывно возрастает с увеличением возраста, но уменьшается с 28-суточного возраста при сухом воздушном отверждении. Бетоны с добавками SF и FA показывают более высокие значения модуля упругости в возрасте 56 и 91 суток. Это указывает на то, что роль SF, как эффективного заполнителя и редуктора пористости, наиболее выражена в более позднем возрасте.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Lawson J.R., Phan L.T., Davis F. Mechanical Properties of High Performance Concrete after Exposure to Elevated Temperatures / J.R. Lawson, L.T. Phan, F. Davis, 2000. 1–35 с.
2. Mohd Zain M.F., Radin S.S. Physical properties of high-performance concrete with admixtures exposed to a medium temperature range 20°C to 50°C // Cement and Concrete Research. 2000. (30). С. 1283–1287.
3. Phan L.T., Carino N.J. Code provisions for high strength concrete strength-temperature relationship at elevated temperatures // Materials and Structures. 2003. № 2 (36). С. 91–98.
4. Phollarath T. Report of temperature and humidity from Ministry of Water Resources and Meteorology of Cambodia. Phnom Penh, 2017.
5. Samir N.S. et al. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete // Construction and Building Materials. 2011. № 2 (25). С. 688–696.
6. Егоровой А.Ю., Михайленко Н.М. Краткий климатический справочник по странам мира / А.Ю. Егоровой, Н.М. Михайленко, Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 240 с.
7. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий / В.И. Корсун. Макеевка: ДонГАСА, 2003. 153 с

УДК 691.327

В.И. Корсун, К. Кхон, В.К. Ха
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ МОМЕНТЫ В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛКАХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ НАГРЕВЕ

Введение. Многие железобетонные конструкции производственных зданий и инженерных сооружений в процессе эксплуатации подвергаются совместным силовым и температурным воздействиям. При этом в статически неопределимых конструкциях, лишенных возможности свободно изгибаться при неравномерном нагреве, возникают дополнительные, так называемые «температурные» моменты [3, 6-8], величины которых с течением времени изменяются вследствие физической нелинейности деформирования, трещинообразования и неравномерных в плоскости температурного перепада деформаций усадки и ползучести бетона [3, 6-8]. Особенностью данного исследования является применение в конструкциях высокопрочного бетона (ВПБ) [1, 2], что актуально в связи с недостаточной изученностью процессов кратковременного и длительного деформирования таких бетонов в условиях повышенных температур.

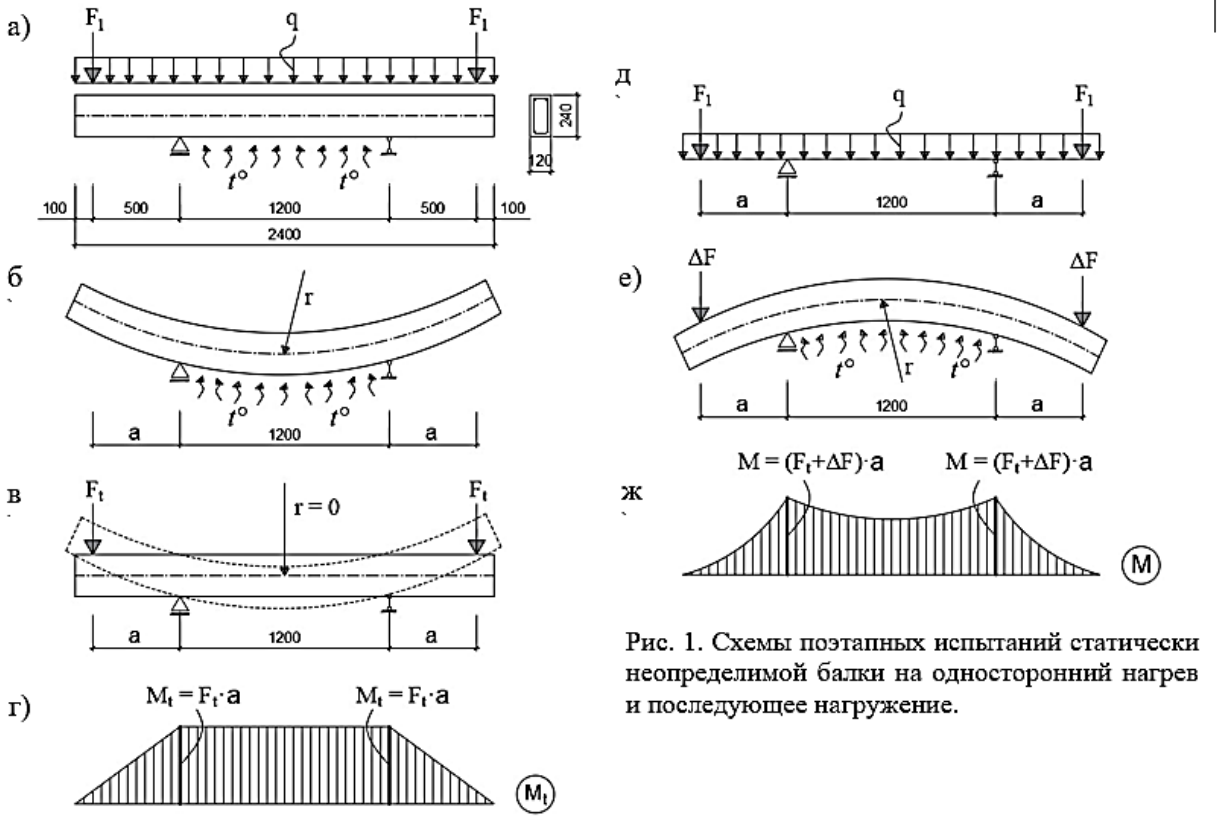


Рис. 1. Схемы поэтапных испытаний статически неопределимой балки на односторонний нагрев и последующее нагружение.

Цель работы – экспериментальные исследования закономерностей изменения температурных усилий в статически неопределимых железобетонных элементах балочного типа из высокопрочного бетона при одностороннем нагреве.

Задачи исследования. 1. Определение распределения температур по сечению конструкции при одностороннем нагреве. 2. Определение величин температурных моментов, момента трещинообразования, ширины раскрытия трещин на всех этапах одностороннего нагрева конструкции. 3. Установление зависимости «изгибающий момент – прогиб» и определение несущей способности конструкций при догружении возрастающим моментом.

Методы экспериментальных исследований. Опытные образцы – железобетонные балки размерами 120×240×2400 мм. Бетон – с добавками-модификаторами [1, 2] класса В90. Армирование со стороны менее нагретой грани – $2\varnothing 12\ A400$, со стороны более нагретой – $2\varnothing 8\ A400$. Односторонний нагрев (рис. 1,*а*,*б*,*е*) осуществлялся с помощью специально изготовленного нагревательного элемента из трех слоев асбестовой ткани и электрической спирали типа «зигзаг» из нихромовой проволоки. Скорость подъема температуры на этапе нагрева – $15°C$ в час. Заданная температура нагрева обеспечивалась соответствующей величиной электрического напряжения в нагревательной спирали с помощью регулятора напряжений. Контроль распределения температуры по бетону в сечении конструкции – с помощью хромель-копелевых (ХК) термопар, размещенных в конструкции в процессе бетонирования (рис. 2).

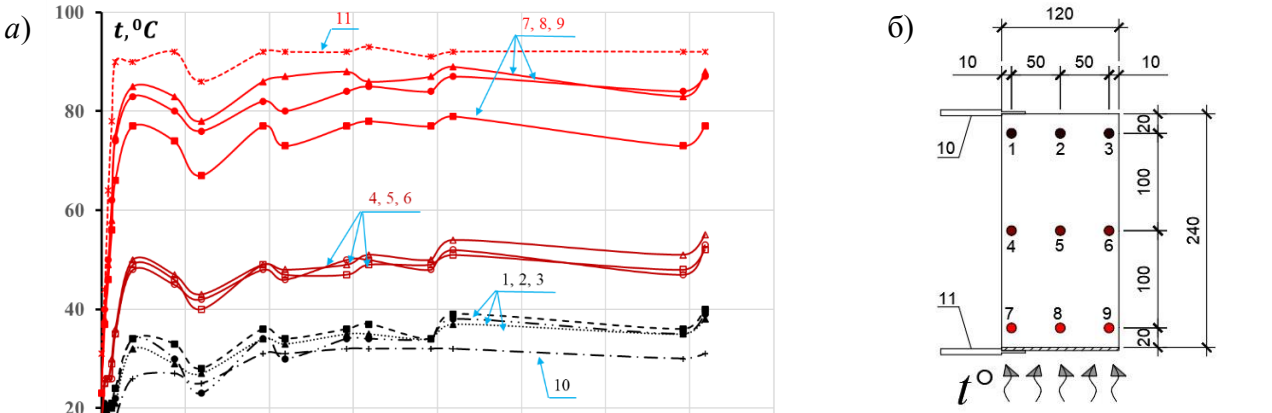


Рис. 2. Изменение температуры по сечению железобетонной балки (*а*) и схема расположения ХК-термопар (*б*)

Программа испытаний. На первом этапе – односторонний нагрев до $+90°C$ в течение 10 суток с устранением кривизны оси балки от неравномерного нагрева до стабилизации устраняющих кривизну изгибающих моментов. На втором этапе испытаний – догружение балки возрастающим изгибающим моментом до разрушения. Устраняющие кривизну M_t и догружающие на втором этапе изгибающие моменты ΔM создавались приложением поперечных сил F_t и ΔF к консолям балки (рис. 1,*в*,*г*,*е*). На всех этапах испытания измерялись деформации верхней и нижней граней балки, а также прогибы по середине пролета и на опорах (рис. 1). Для экспериментального определения температурных усилий в статически неопределимом и неизгибаемом элементе конструкции применен метод устранения температурной деформации, сущность которого иллюстрируется на рис. 1, *б*, *в*. Появляющаяся кривизна продольной оси балки от неравномерного нагрева устранялась путем приложения к консолям балки поперечных сил F_t, величины которых контролировались с помощью динамометров. Величины устраняющих температурную кривизну балки изгибающих моментов M_t, принимались за «температурные» моменты.

Результаты испытаний балки представлены на рис. 2, 3. Величины «температурных» моментов возрастали на этапе разогрева конструкции соответственно увеличению температурного перепада по высоте сечения. Максимальная их величина соответствует моменту трещинообразования в растянутой, менее нагретой зоне балки. Через 42 ч от начала нагрева «температурный» момент изменил знак на противоположный, а затем, после 106 ч от

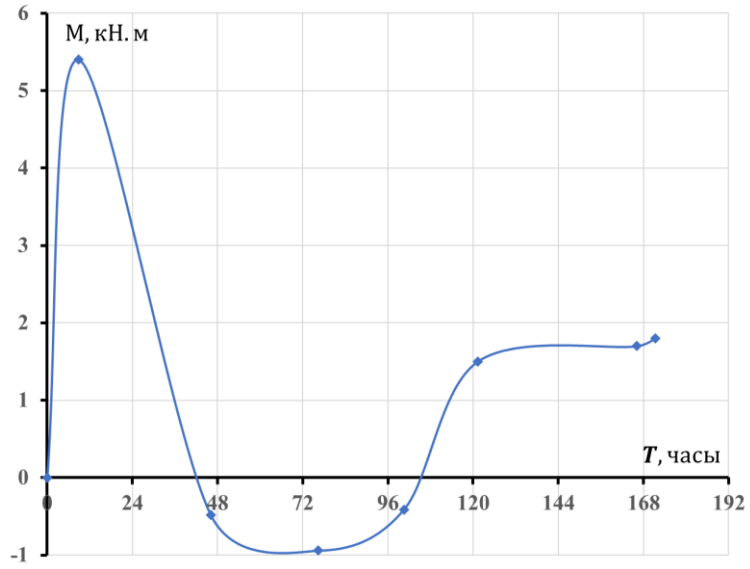


Рис. 3. Изменение «температурного» момента в статически неопределимой железобетонной балке при одностороннем нагреве до $+90°C$

начала нагрева, снова сменил знак, обеспечив растягивающие напряжения на менее нагретой грани. Подобная особенность изменения «температурных» моментов отмечена также в работах [3-5] в элементах-балках и пластинах и обусловлена разными скоростями развития деформаций усадки и ползучести бетона в более и менее нагретых зонах неравномерно нагретых элементов. При последующем догружении опытной односторонне нагретой до $+90°C$ балки возрастающим изгибающим моментом $\Delta M = \Delta Fa$ (схема на рис. 1,*е*) величина разрушающего изгибающего момента оказалась практически равной несущей способности эталонной балки, испытанной по такой же схеме нагружения в условиях нормальной температуры, но без предварительного нагрева. При этом подвергавшаяся неравномерному нагреву балка получила большие прогибы, что связано с большими пластическими деформациями бетона вследствие снижения его модуля упругости в условиях нагрева.

Выводы:

1. Температурные моменты в односторонне нагреваемых железобетонных балках возрастают пропорционально величине температурного перепада, достигают максимального значения при первом нагреве и снижаются после образования трещин. Максимальная величина температурного момента составила около 20% от несущей способности балки.

2. Прочность балки из ВПБ на изгиб после одностороннего нагрева при $90°C$ в течение 10 суток близка к значению прочности не нагревавшейся эталонной балки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Korsun V.I. [и др.]. Strength and deformations of high-strength concrete under short-term heating conditions up to + 90°C // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 1 (896).
2. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Ромкин Д.С. Результаты исследования физико-механических и реологических характеристик высокопрочного бетона // Известия ОрелГТУ. 2009. С. 130-140.
3. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий / В.И. Корсун, Макеевка: ДонГАСА, 2003. 153 с.
4. Корсун В.И., Мессауди А. Определение напряженно-деформированного состояния железобетонных балочных элементов в общем случае несовпадения плоскостей температурного перепада и нагружения // Респ.межвед.сборник: Коммунальное хозяйство городов. Харков, Техника. 1997. (Вып.12). С. 68-70.
5. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия / А.П. Кричевский, М.:Стройизат, 1984. 148 с.
6. Милованов А.Ф., Мазо Э.А. Температурные усилия при одностороннем нагреве статически неопределимых конструкций // Бетон и железобетон. 1973. (№3). С. 8-10.
7. Милованов А.Ф., Нифонтов А.В. Расчет температурных усилий в железобетонных конструкциях ЦИНИС, 1971. 45-47 с.
8. Милонов В.М., Горячев В.Н. Расчет толстостенных железобетонных конструкций на неравномерный нагрев / В.М. Милонов, В.Н. Горячев, М.: Стройиздат, 1972. 133 с.

УДК 691.316

М.В. Кузнецов, К.Н.Дуванова, Я.А. Олехнович
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ ПРОГРЕВА КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В настоящие время широкое распространение каменной кладки из кирпича и его разнообразие создает различные условия для изучения его поведения в различных внешних условиях, а также при больших промежутках времени и цикличности внешних нагрузок и воздействий в необычных сочетаниях.

При проектировании и уже при эксплуатации зданий для котельных установок возникает очень необычный цикл нагрева и остывания кирпичной кладки, используемой в стенах здания, а также применяемых в самих котельных установках, что может вызывать дополнительные напряжении и усилия в самой кладке. Данная работа подразумевает экспериментальное изучение образцов на основе методик обследования кирпичной кладки в здания и сооружениях.

Все методики забора образцов для испытаний описаны в нормативных документах ГОСТ 31937–2011, СП 13-102-2003 и в [1]. Особенностью данного исследования заключается в непривычной цикличности внешних условий работы керамического кирпича. Данные технологические условия нагревания и остывания описаны в СП 89.13330.2016 Котельные установки. Сама же проблема расчёта прочности кирпичных кладок и их использование в условиях повышенные температур рассматривается в [2, 3]. Все необходимые параметры для расчета и понимания влияние тепловых потоков на кладку каменных конструкций рассматриваются авторами в [4, 5]. По итогам обзора можно сделать вывод что данная тема требует дальнейшего раскрытия, представленного в этой работе

Главная цель данного исследования – это создание коэффициентов, учитывающих потерю прочности относительно теплового цикла в кирпичных конструкциях.

В задачи исследования входят:

1. Подбор образцов на основание нормативной документации об обследования зданий и сооружений.

2. Проведение испытаний на прочностные характеристики образцов и сравнение с эталонными образцами.

3. Расчет коэффициента потери прочности по года в численном значение и в процентном.

По методике, описанной в ГОСТ 31937–2011 кладка обследуется в трех местах трубы газохода котельной у основания, в центре трубы и из верхних слоёв кирпичей. Образцы под номерами 1КС, 2КС, 3КС (керамический старый) были взяты у основания трубы, 4КС из середины, 5КС из верха.

По той же методике изымались кирпичи из топки котла котельной установки. Затем все образцы проходят очистку от остатков раствора и подвергаются шлифовке поверхностей соприкосновения пятен контакта при испытаниях на сжатие. Каждый образец нумеруется и помечается по граням, затем происходит разметка кирпича для испытания на изучения прочности кирпичей на изгиб.

После испытания на изгиб половинки кирпичей используются для испытаний на сжатие, каждый образец состыковывается так, чтобы создать плотное пятно контакта и измерить изменившеюся длину образцов для правильного вычисления площади контакта.

Как контрольные образцы для сравнения были взяты новые кирпичи керамические и шамотные. Результаты испытание представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытания

Номер образца	Геометрические размеры, см				Максимальная нагрузка, кгс (изгиб)	Предел прочности на изгиб, Мпа	Показания манометра, кгс/см^2	Максимальная нагрузка, кгс (сжатие)	Предел прочности на сжатие, МПа
	a	*b*	*h*	*a'*					
1КС	25,3	12,1	6,4	8,4	235	1,395	22,0	18645,00	17,99
2КС	24,5	12,2	6,5	8,8	240	1,370	9,0	7627,50	6,97
3КС	24,8	11,8	6,3	7,9	220	1,382	15,0	12712,50	13,37
4КС	24,8	12,0	6,5	6,7	585	3,395	17,0	14407,50	17,57
5КС	25,2	12,0	6,5	8,0	135	0,783	20,5	17373,75	17,75
1КН	25,0	12,0	6,5	10,3	1050	6,093	29,0	24577,50	19,50
2КН	25,0	12,0	6,5	11,8	1010	5,861	31,0	26272,50	18,20
3КН	25,0	12,0	6,5	11,8	1080	6,267	29,0	24577,50	17,02
4КН	25,0	12,0	6,5	10,3	860	4,990	27,0	22882,50	18,16
5КН	25,1	11,8	6,4	11,5	930	5,661	29,0	24577,50	17,76
6КН	25,0	11,9	6,4	11,9	1020	6,157	30,0	25425,00	17,61
7КН	25,1	11,9	6,4	11,5	890	5,372	31,0	26272,50	18,83
8КН	25,1	12,0	6,5	11,7	1000	5,803	30,0	25425,00	17,76
1ШС	23,0	11,7	6,3	11,5	230	1,457	18,0	15255,00	11,12
2ШС	22,9	11,3	6,4	10,0	335	2,129	19,0	16102,50	13,97
3ШС	22,7	11,2	6,4	8,0	250	1,603	12,5	10593,75	11,59
4ШС	22,4	11,3	6,5	10,4	810	4,991	18,0	15255,00	12,73
5ШС	23,2	11,4	6,6	10,4	810	4,799	10,1	8559,75	7,08
1ШН	22,9	11,3	6,5	11,0	1160	7,148	22,0	18645,00	14,71
2ШН	22,9	11,2	6,5	10,5	1160	7,212	30,0	25425,00	21,20
3ШН	22,9	11,3	6,5	10,8	1090	6,717	29,0	24577,50	19,75
4ШН	22,9	11,3	6,5	11,0	1150	7,087	29,0	24577,50	19,39
5ШН	22,9	11,3	6,5	9,5	1010	6,224	28,0	23730,00	21,68
6ШН	22,9	11,2	6,4	9,5	1150	7,375	27,0	22882,50	21,09
7ШН	22,9	11,2	6,4	10,0	1050	6,734	27,0	22882,50	20,04
8ШН	22,9	11,2	6,4	11,0	1050	6,734	44,0	37290,00	29,68

По итогам проведенного анализа результатов испытания можно сделать вывод, что происходит сильное падение прочности образцов от цикличного нагревания. Оба вида кирпичей вне зависимости от их вида и срока службы показывают очень сильное падение показателей прочности. Причем образцы из керамического кирпича теряют сильнее на изгиб что видно из формулы 1, которая используется для подсчёта среднего падения значений прочности в 1 цикл:

$$P_{1\ \text{цикл}} = \frac{\sum R_{\text{нов.}} - \sum R_{\text{стар.}}}{N_{\text{цикл}}}, \quad (1)$$

где $P_{1\ \text{цикл}}$ – значение падения прочности за 1 цикл, МПа; $\sum R_{\text{нов.}}$ – среднее значение в новых кирпичах, МПа; $\sum R_{\text{стар.}}$ – среднее значение в старых кирпичах, МПа; $N_{\text{цикл}}$ – количество циклов нагрева и остыания, год.

Значение падения прочностных характеристик по годам представлены на рис. 1 и в таблице 2. Срок службы котельной взят 43 года, шамотный кирпич был в кладке 2 года.

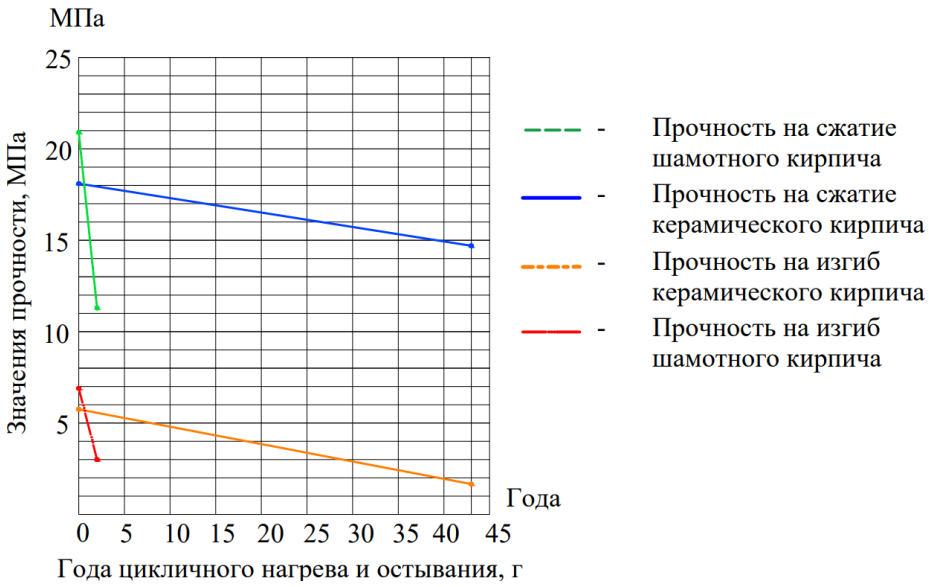


Рис.1. Графики изменения прочностных характеристик

Таблица 2 – Результаты расчетов

Прочностная характеристика	Срок эксплуатации, год	Изменение за цикл, МПа	Изменение за цикл, %
Сжатие кер. кирпича	43	0,078	0,43
Изгиб кер. кирпича	43	0,095	1,64
Сжатие шам. кирпича	2	4,821	23,02
Изгиб шам. кирпича	2	1,950	30,90

По итогам исследования можно сделать несколько *выводов*:

1. Цикличный нагрев как в трубах котельных очень сильно понижает все прочностные характеристики керамических кирпичей предел прочности на изгиб уменьшается 1,64% за цикл, а предел прочности на сжатие уменьшается на 0,43% за цикл.

2. Аналогичное происходит и с шамотным кирпичом предел прочности на изгиб уменьшается 30,90 % за цикл, а предел прочности на сжатие уменьшается на 23,02% за цикл.

3. Необходимо более точное сравнение с применение расчета тепловыделения и выделения вредных веществ для более точного подсчета значения снижения пределом прочности и применение данных коэффициентов для обследования кирпичных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гагилев Н.А. Определение прочностных характеристик материалов кирпичной кладки при обследовании конструкций // Н.А. Гагилев. – Тверь: Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов ТВГТУ, 2017. – 39-36 с.
2. Гамонай М.В. Влияние на долговечность деталей инженерного сооружения при аварийных ситуациях // М.В. Гамонай, П.А. Пушков. – Химки: Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2014. – 19-24 с.
3. Киселев В.В. Исследование прочностных характеристик строительного кирпича при повышенных температурах // В.В. Киселев. – Химки: Сборник трудов секции № 16 XXX Международной научно-практической конференции Академия гражданской защиты МЧС России, 2020. – 70-74 с.
4. Хворенков Д.А. К вопросу о конденсатообразовании в дымовых трубах котельных установок // Д.А. Хворенков, И.О. Варфоломеева. Ижевск: Сантехника, отопление, кондиционирование, 2005 – 64-68 с.
5. Чернышов В.Н. Тепловые методы технической диагностики строительных материалов и изделий // В.Н. Чернышов, В.Г. Однолько, А.В. Чернышов, В.М. Фокин. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2014 – 208 с.

УДК 69.04

В.В. Лалин, В.А. Рыбаков, М.Н. Печерских
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УЧЕТ ИНЕРЦИИ ВРАЩЕНИЯ ПРИ МОДАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ

Актуальность темы. Основной этап динамического расчета зданий и сооружений заключается в корректном описании инерционных свойств системы. Относительно недавно в СП 14.13330.2018 [1] и СП 267.1325800.2016 [2] была утверждена в качестве обязательной при расчетах на сейсмическое воздействие пространственная расчетная динамическая модель – конечно-элементная модель, учитывающая до шести степеней свободы в узле. Поэтому теперь задача сводится не только к поиску сейсмической силы, но и в обязательном порядке сейсмического момента.

В большинстве современных программных комплексах для решения задач динамики заложено два типа матриц масс: диагональная и согласованная. Считается, что последняя лучше описывает инерционные свойства рассматриваемой системы [3], так как учитывает инерцию вращения, но практика доказывает, что и диагональная матрица часто обеспечивает необходимую точность решения задачи [4]. Также в ряде случаев использование диагональной матрицы масс позволяет существенно сократить время расчета конструкции, что является немаловажным фактором при наличии большого количества конечных элементов.

Таким образом, необходимо оценить, как изменится точность аппроксимации инерционных свойств конструкции при задании диагональной матрицы масс, учитывающей инерцию вращения, согласно нормативным документам [1, 2].

Цель работы. Основной целью данной работы является исследование учета момента инерции массы при осуществлении модального анализа консольной балки.

Основными задачами данного исследования являются:

1. Выполнение модального анализа консольной балки с применением разработанного способа учета 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).

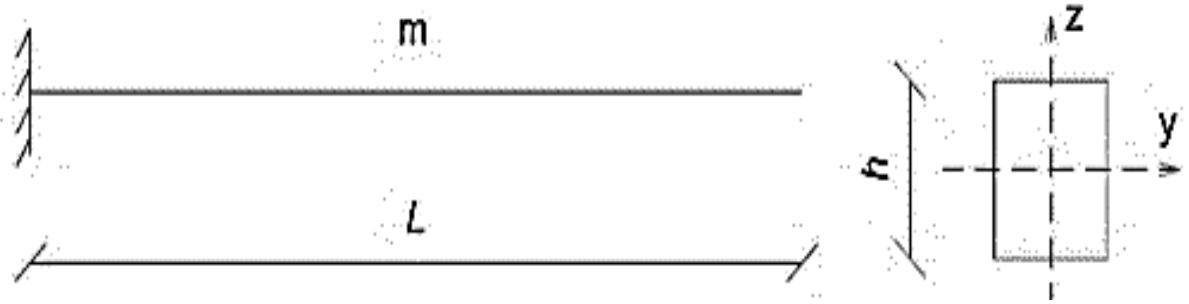


Рис. 1. Схема консольной балки

На рисунке $m = 0{,}4$ – масса балки, т; $L = 2$ – длина элемента, м; $b = 20$ – ширина сечения, см; $h = 40$ – высота сечения, см; $E = 30018600$ –модуль упругости, кН/м^2.

Представим исходную схему (рис. 1) как систему с конечным числом степеней свободы, разбив ее на два конечных элемента (рис. 2 и 3), m_i – сосредотачиваемая масса; J_i – момент инерции массы, соответствующий m_i.

Поиск собственных частот колебаний для систем с несколькими степенями свободы будет производиться согласно выражению (1) [5]:

$$\left|DM-\frac{1}{\omega_i^2}E\right|=0, \quad (1)$$

где D – матрица податливости; M – матрица масс; E – единичная матрица; ω_i –собственная частота, соответствующая i-ой форме колебаний.

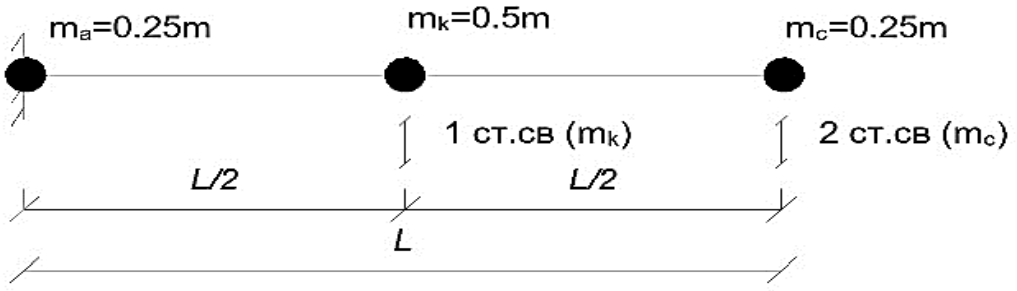


Рис. 2. Расчетная динамическая схема 1 без учета инерции поворота

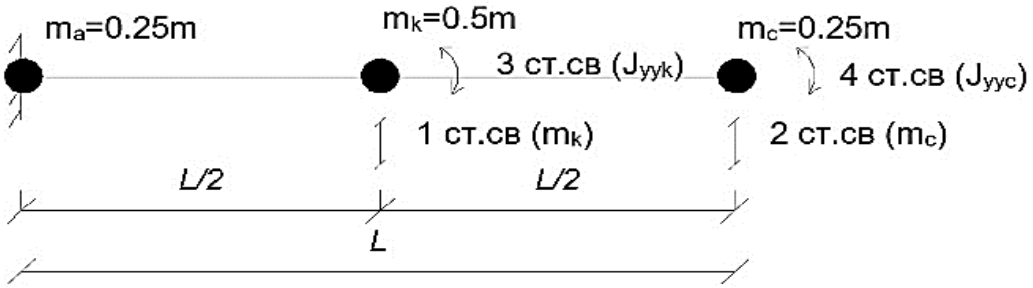


Рис. 3. Расчетная динамическая схема 2 с учетом инерции поворота

Матрица масс для расчетной схемы 2 (рис. 3) будет задаваться диагональной, но уже с учетом вращения согласно выражению (2):

$$M=\begin{pmatrix} m_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{yyk} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{yyc} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

Момент инерции массы складывается из двух составляющих, согласно формулам (3) и (4): момента инерции стержня, определяемого по теореме Гюйгенса-Штейнера и момента инерции при повороте поперечного сечения.

$$J_{yyk}=\frac{m_k}{12}\left(\frac{l}{2}\right)^2+m_k r_y^2, \quad (3)$$

$$J_{yyc}=\frac{m_c}{3}\left(\frac{l}{4}\right)^2+m_c r_y^2, \quad (4)$$

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.

Произведем поиск собственных частот рассматриваемой консольной балки и при другом 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 $\omega_i \left(\sqrt{\frac{EI}{L^3 m}}\right)^{-1}$, с$^{-1}$			
n	i = 1	i = 2	i = 3	i = 4
n = 1	2,230	10,551	-	-
n = 2	3,016	14,200	31,682	46,468
n = 4	3,358	18,141	44,375	75,160
n = 8	3,455	20,112	51,466	90,820
n = 16	3,482	20,745	54,195	97,472

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 $\omega_i \left(\sqrt{\frac{EI}{L^3 m}}\right)^{-1}$, с$^{-1}$				
i	При сосредоточении масс (значение S)	Балка Эйлера – Бернулли	Балка Рэлея	Балка Тимошенко
1	3,491 (при e = 0,0007)	3,516	3,520	3,428
2	21,000 (при e = 0,0442)	22,033	21,549	18,877
3	55,504 (при e = 0,3988)	61,701	57,410	45,722
4	101,0368 (при e = 1,3474)	120,863	104,720	76,982

В таблице S – искомое приближенное решение задачи; e – погрешность вычисления.

По полученным результатам можно сделать *следующие выводы:*

1. Модальный анализ исходной балки продемонстрировал стремление собственных частот к значениям, полученным для балки Рэлея, которая учитывает изгиб и инерцию поворота.

2. Учет инерционных поворотных характеристик дает заниженные значения собственных частот по отношению к классической задаче (балка Эйлера – Бернулли) на 2.22% уже для второй собственной частоты, что говорит о повышении точности расчета, так как более низкие значения собственных частот – опасность с точки зрения расчетов.

3. Следовательно, диагональная с учетом вращения матрица масс предоставляет необходимую точность аппроксимации инерционных свойств.

Влияние учета момента инерции массы на усилия требует дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. – М.: Стандартинформ, 2018.

2. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2017.

3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 542 с.

4. Бацева, О.Д. Сравнительный анализ способов получения несогласованных матриц массы/ О.Д. Бацева, С.Н. Дмитриев // Наука и Образование. – 2013. – С. 491-508.

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. – 216с.

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. – 72с.

7. Pilkey, W.D. Formulas for stress, strain, and structural matrices / Walter D.Pilkey. – 2nd ed. – [Hoboken, N. J.] : Wiley, cop. 2005. –1511 с.

УДК 69.07

Д.А. Сабуров, Е.С. Недвига
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОДБОР КОНСТРУКЦИИ КАПИТЕЛИ ДЛЯ ВЫСОТНОГО ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Высотное строительство активно развивается в России в последние 10-20лет. Города-миллионники стремятся построить необычные высотные объекты на своей территории и создать новую точку притяжения на карте. Однако строительство высотных зданий связано с рядом особенностей: большие нагрузки, большие моменты от ветра, значительные продольные усилия, значительные усадки фундамента, повышенная ответственность. Узлы сопряжения колонны и перекрытия испытывают огромные нагрузки. Следовательно, подбор эффективного узла сопряжения колонны и перекрытия для высотного здания – одна из важнейших задач проектирования.

Для данного исследования были рассмотрены работы, в которых предлагаются различные варианты узла сопряжения перекрытия и колонны. В статьях [1-3] предлагается решение в виде бетонных капителей, в статьях [4-10] решение в виде скрытой капители. Однако данные варианты рассматриваются изолированно друг от друга и нельзя определить, какой вариант предпочтительнее для высотного здания.

Цель работы – подбор эффективного узла сопряжения колонны и перекрытия для высотного офисного здания.

Задачи исследования:

1. Провести аналитический обзор научной литературы по теме исследования.
2. Провести расчет на продавливание узлов сопряжения колонны и перекрытия высотного здания и определить, в каких узлах необходимо усиление.
3. Выполнить сравнительный анализ конструктивных решений и предложить вариант усиления зоны продавливания с минимальным расходом строительных материалов и упрощенной технологией производства работ.

В узле сопряжения колонн и перекрытия собираются значительные напряжения, которые приводят к обрушению. Существует несколько классических вариантов решения данного узла. Один из них – капители.

Обычные капители могут быть прямоугольные, ступенчатые и в виде усеченной пирамиды. Последние могут дополняться надкапительными плитами. Они армируются вертикальными, горизонтальными и наклонными стержнями. Это простое решение эффективно уменьшает сжимающие напряжения в опорной зоне [1-3]. Этим снижает вероятность продавливания плиты перекрытия.

Капители имеют ряд недостатков: необходимость их маскировки или украшения, сложность бетонных работ, металлоемкость.

Скрытые капители лишены недостатков предыдущих типов. Они представляют собой каркас из арматуры, стальных листов или прокатных профилей, скрытых внутри перекрытия [4-6]. Уникальный вариант каркаса был разработан Трёкиным и Пекиным [7-9]. Их узел включает в себя стальные листы с круглыми отверстиями, через которые проходит арматура. Так достигается совместность работы каркаса. Похожее решение было представлено и другими авторами [10].

Главное достоинство скрытых капителей – их не нужно скрывать или как-то украшать. Также многие решения скрытых капителей технически просты. Однако во многих случаях такие решения увеличивают собственный вес конструкций, из-за чего сечения элементов могут увеличиться.

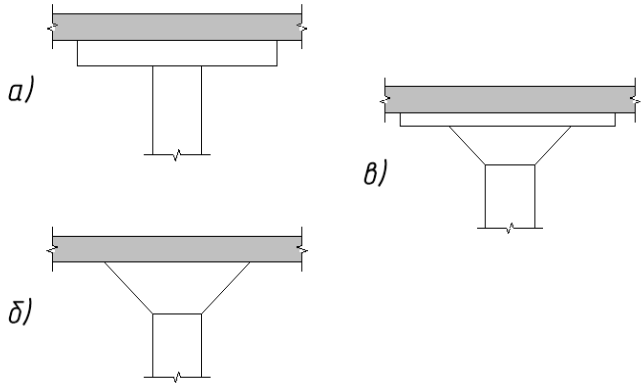


Рис. 1. Некоторые варианты классической капители: *а* – прямоугольная, *б* – в виде усеченной пирамиды, *в* – то же с надкапительной плитой

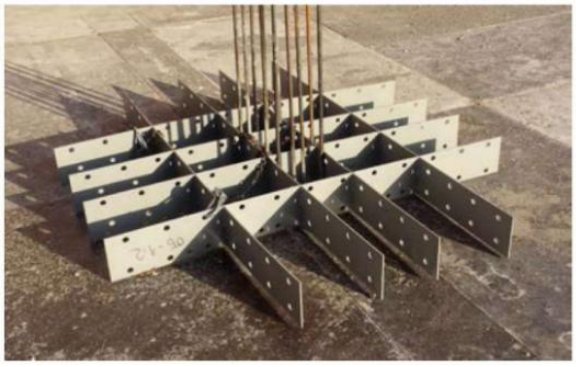


Рис. 2. Капитель, предложенная Трёкиным и Пекиным

В работе сравниваются четыре типа узлов стыка колонны с перекрытием: плоская плита, плита с поперечной арматурой, прямоугольная капитель и скрытая капитель, разработанная Трёкиным и Пекиным. Узлы подбираются для центральных и крайних колонн.

Узлы подбираются для высотного офисного каркасного здания, форма которого сужается к верху. Из-за этого нагрузки в узлах разных этажей могут сильно меняться.

Путем подбора было определено, что наибольшие нагрузки испытывают узлы сопряжения колонны и перекрытия центральной колонны в подвале и крайней колонны на двадцатом этаже.

Было проверено четыре варианта узла: плоская плита толщиной 200 мм, плита с дополнительной арматурой класса А240 диаметром 6 мм, капитель толщиной 400 мм, узел с вертикальными листами стали класса С245. Сравнение проводилось по коэффициентам использования. Нагрузки были взяты из ПК SCAD.

Сравнение коэффициентов использования в центральных колоннах при разных вариантах узлов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнения коэффициентов использования для центральных колонн при толщине плиты 250 мм

Плоская плита толщиной 250 мм	Дополнительная вертикальная арматура класса А240 диаметром 6 мм	Капитель толщиной 400 мм	Капитель из листов стали по оси *x*	Капитель из листов стали по оси *y*
1,167	0,631	0,678	0,177	0,166

Результат показывает, что плоская плита без дополнительной арматуры не способна обеспечить требуемую прочность. При использовании капители коэффициент использование почти такой же, как при использовании арматуры. Использование узла из вертикальных листов стали дает наименьший коэффициент использования. Однако такие коэффициенты нельзя считать эффективными, так как прочность материала не реализуется до конца.

Так как здание меняет форму, нагрузки на узлы сопряжения колонны и перекрытия меняются. Опытным путем выяснилось, что наибольшие нагрузки испытывают узлы 20-го этажа. Это связано с нарастанием ветровой нагрузки и выключения части колонн из системы, из-за сужения здания.

Сравнение коэффициентов использования в крайних колоннах при разных вариантах узлов приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнения коэффициентов использования для крайних колонн

Плоская плита толщиной 250 мм	Дополнительная вертикальная арматура класса А240 диаметром 6 мм	Капитель толщиной 400 мм	Дополнительная вертикальная арматура класса А240 диаметром 4 мм	Капитель из листов стали по оси *x*	Капитель из листов стали по оси *y*
1,562	0,677	1,023	0,696	0,358	0,222

Плоская плита и капитель не обеспечивают требуемой прочности. В обоих случаях мы применяем поперечную арматуру диаметров 6 и 4 мм соответственно. При этом мы получаем похожие значения коэффициентов использования. Использование вертикальных стальных листов дает наименьшее значение коэффициентов использования. Однако оно сильно ниже, чем 1,0, что говорит о неэффективном использовании материала.

В результате:

1. Из всех конструкций самым оптимальным с экономической и технологической точки зрения оказался узел с плоской плитой и поперечной арматурой.
2. Узел с использованием прямоугольной капители также работоспособен, но сложнее и затратен в плане материалов и трудоемкости.
3. Скрытые капители предложенные Трёкиным и Пекиным могут применяться, однако коэффициенты использования у них очень низкие что говорит о перерасходе материала. Это связано с тем, что толщина листов определяется по вертикальной нагрузке, без учета прочности бетона. Из-за этого пластины имеют большую толщину (20 мм в данном случае). В итоге, при проверке получаются очень маленькие коэффициенты использования. Данный вариант усиления подходит для малоэтажных зданий и зданий средней этажности. Для применения в высотных зданиях необходимо обновить методику расчета, чтобы она учитывала прочность бетона.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Малахова А.Н., Толстиков Д. Конструктивное решение стыка плоского монолитного перекрытия и колонн многоэтажных зданий // Вестник МГСУ. 2011. №1. С. 92-96.
2. Малахова А.Н. Проектирование монолитных плит перекрытий с капителями // Вестник МГСУ. 2011. №8. С. 151-155.
3. Стетюха Г.В., Жиндаева В.В. Особенности расчета безбалочных железобетонных перекрытий на продавливание // Современные проблемы строительства зданий и сооружений в суровых условиях. 2018. С. 14-17.
4. Анпилов С.М. Основные недостатки применения монолитного безбалочного каркаса при возведении объектов и варианты их решения // Эксперт: теория и практика. 2020. № 1. С. 15-21.
5. Владимиров Д., Кумпяк О.Г. Опорное зоны безбалочных перекрытий // Избранные доклады 64-й университетской научно-технической конференции. 2018. С. 21-29.
6. Владимиров Д., Кумпяк О.Г. Расчетная оценка опорных зон безбалочных перекрытий // Избранные доклады 65-й университетской научно-технической конференции. 2019. С. 20-28.
7. Трёкин Н.Н., Пекин Д.А. Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №7. С 17-20.
8. Трёкин Н.Н., Пекин Д.А. Применение металлических капителей в безбалочных монолитных перекрытиях // Современная наука и инновации. 2016. №2. С. 110-115.
9. Трёкин Н.Н., Пекин Д.А. Скрытые металлические капители с горизонтальной листовой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №6. С 32-37.
10. Грановский А.В., Молчалов А.Л. Новое конструктивное решение арматурного каркаса узловых зон железобетонных плит с применением листового проката // Жилищное строительство. 2016. №12 С. 37-40

УДК 694.1

Е.Л. Абичев, С.Ф. Дьяков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ И УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗДАНИЯХ СО СМЕШАННЫМ ДЕРЕВЯННЫМ КАРКАСОМ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ УЗЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

История применения древесины насчитывает несколько тысячелетий. Дерево успешно применяется в сейсмически опасных регионах, так некоторые постройки выдерживали землетрясения до 9 баллов без повреждений. К сегодняшнему дню деревянное домостроение активно развивается: объём деревянного строительства в США составляет 67%, в Канаде – 50%, в Японии – 45% и продолжает увеличиваться [6].

В России государство должно быть заинтересовано в развитие деревянного строительства и возможности его применения в отдалённых регионах, где ощущается дефицит традиционных материалов (бетона, металла и т.д.), повышение экологичности строительства и уменьшение трудозатрат. [1] Еще одна из основных причин необходимости исследования и развития деревянного домостроения является широкая производственная база (в России сосредоточено более 1/5 лесных запасов мира [7]), возможность экспорта в европейские и азиатские страны.

Цель работы – разработать эффективную конструкцию многоэтажного деревянного здания, определить его оптимальную схему, рассчитать элементы несущих конструкций, определить жёсткость узловых соединений для дальнейшего расчета на динамические нагрузки.

Для достижения поставленной цели были сформулированы ряд задач: анализ существующей литературы; конструирование здания; определение сечения несущих элементов; расчет узловых элементов; анализ, полученных данных; формулирование выводов и рекомендаций.

Решение, поставленных в работе задач, осуществлялось на основе применения общенаучных методов исследования в рамках сравнительного анализа, а также посредством математического моделирования в расчетных комплексах и графической интерпретации информации.

В связи с большим объемом информации, исследовательская работа состоит из двух частей. В первой определяется возможность строительства и целесообразность деревянного строительства в России; определяется оптимальная схема здания и конструкции узлов, а также их жесткости; производится расчет конструкций. Во второй части производится расчет каркаса здания на динамические нагрузки с использованием различных узловых соединений; выполняется анализ полученных результатов. В данных тезисах приводится предварительные результаты первой части исследовательской работы.

В результате анализа отечественной [1, 5-7] и зарубежной литературы [2-3] было предложено следующее решение конструкции здания (см. рис. 1, *д*).

Здание выполнено по каркасно-ствольной системе с ядром жесткости из монолитного железобетона. Колонны выполнены из клееной древесины. Перекрытие – ПКД (CLT) панелей. По верх деревянного перекрытия укладывается гидроизоляция и бетонная стяжка. Балки из LVL древесины. Ограждающие конструкции выполняются из стеновых панелей с использованием ЛСТК (навесной фасад). Все конструктивные решения полностью удовлетворяют существующим нормам и правилам. Для соответствия норм пожарной безопасности все деревянные элементы обшиваются двойным слоем ГВЛ, а лестнично-лифтовой узел выполнятся из монолитного железобетона.

Пространственная жесткость обеспечивается ядром жесткости. Оно же воспринимает вертикальную нагрузку от лестничного-лифтового узла, и вертикальную и сейсмическую нагрузку от жесткого диска перекрытий. Деревянный каркас работает в основном на вертикальную нагрузку.

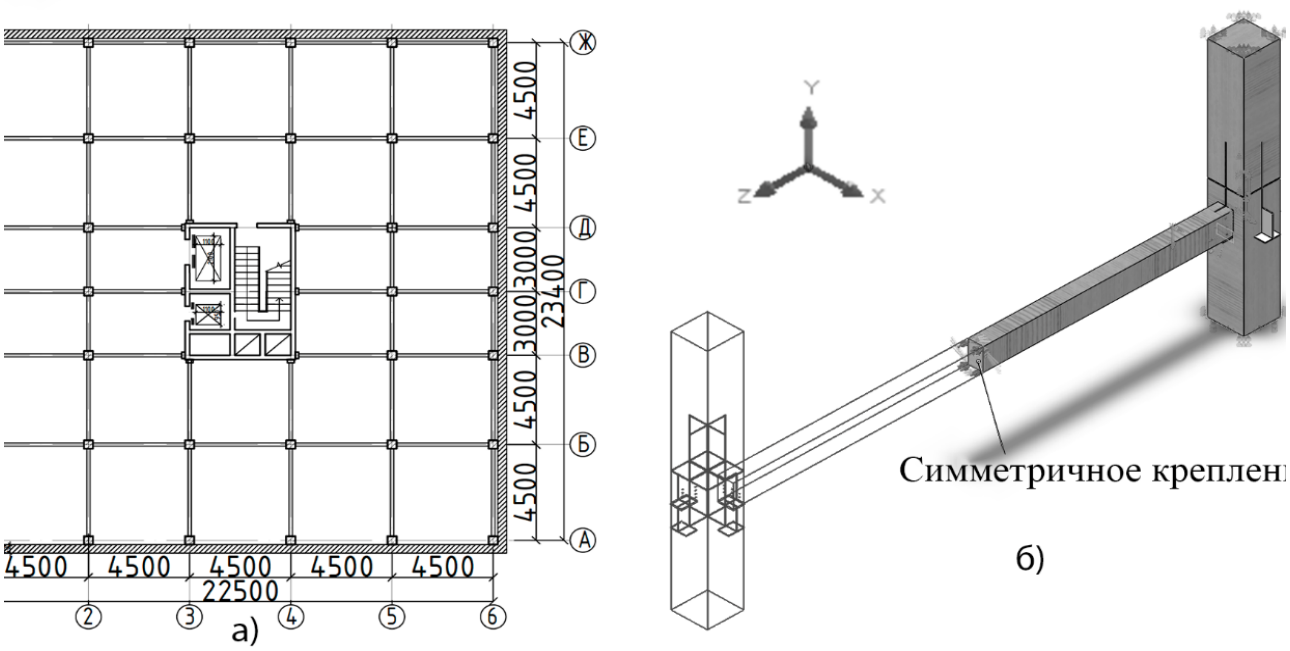


Рис. 1. *а* – план типового этажа; *б* – общий вид расчетной схемы

Деформативность и несущая способность ДК значительно зависит от способа соединения их элементов, учета податливости связей (особенно при расчетах по предельным состояниям второй группы), на первое место выходит вопрос выбора расчетной схемы и конструкций узловых соединений.

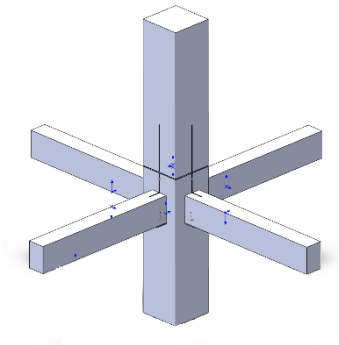


Рис. 2. Модель узла

В работах [5-6] указывается на то, что существенное влияние на напряжено-деформируемое состояние ДК оказывает податливость (обратное ей величина – жесткость) узловых соединений, так как именно в узловых соединениях могут накапливаться значительные напряжения, что может привести к частичному или полному их разрушению. Поэтому для дальнейшего расчета необходимо определить податливость узловых соединений.

К проектированию и расчету узловых соединений в деревянных конструкциях необходимо подходить с особой тщательностью, т.к. именно в них заключаются как достоинства, так и недостатки ДК. Главной опасностью при работе деревянных конструкций является хрупкое разрушение, причиной которого являются перенапряжения одних частей составного элемента за счет разгрузки других. Поэтому соединение с одной стороны должно быть достаточно жестким, чтобы не образовывались значительные деформации, а с другой –обеспечивать перераспределение усилий. В работе предложено соединение с шарнирным опиранием балок и плит перекрытия. Соединение колон выполняется жестким, т.к. при выбранных сечениях у них имеется двукратный запас прочности. Узловое соединение представлено на рисунке 2.

Расчет выполнялся по следующей последовательности: определяются усилия от полезной, ветровой нагрузки и от собственного веса с помощью ПК SCAD. Значения ветровой нагрузки определяется в ВЕСТ. Затем производится подбор сечений деревянных элементов в программе ДЕКОР и ручным расчетом, расчет ПДК выполняется по американским методикам, количество нагелей и площадка опирания в узловых элементах рассчитывается вручную, прочностной расчет и определение жесткости узла сопряжения балки с колонной выполняется в SolidWorks. Жесткость определяется как отношению изгибающего момента к соответствующему углу поворота опорного сечения балки относительно оси колонны. В результате расчета получены значения податливости для заданных элементов. Полученные значения будут в дальнейшем использованы для расчета на динамическое воздействие.

Результаты работы: определена оптимальная схема здания для Россия – каркасная-ствольная система с ядром жесткости из монолитного железобетона, разработана конструкция здания; рассчитаны несущие элементы деревянных конструкций здания: колонна – 400×400 мм, главная балка – 170×260 мм, плита перекрытия – высота 195 мм, сконструировано узловое соединение, выполнен его прочностной расчет и определена его угловая жесткость: $U_x = 8{,}56 \cdot 10^6$ Н · м/рад – угловая жесткость в плоскости *OYZ*; $U_y = 6{,}66$ Н · м/рад – угловая жесткость в плоскости *OXZ*; 10^6; $U_z = 2{,}99 \cdot 10^6$ Н · м/рад – угловая жесткость в плоскости *OXY*.

Выводы: в результате исследований выявлено, что на сегодняшний момент в России тема многоэтажных деревянные зданий мало изучена. Отсутствует нормативная база для расчета ПКД. Существующие программные комплексы не позволяют в полной мере выполнять расчет ДК. Отсутствуют справочные данные по деформативным характеристикам для современных материалов на основе древесины. В большинстве работ отмечается перспективность использование ПКД, LVL клееной древесины в качестве основных несущих элементов для зданий в сейсмически активных районах. Выявлена необходимость самого тщательного и детального моделирования и проектирования узловых соединений, так как именно от компоновки узловых соединений зависит несущая способность и устойчивость здания. Все соединения должны быть податливые и способные выдерживать значительные перемещения.

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. Cao J. [и др.]. Experimental investigation and numerical analysis for concrete-CLT connections / Cao, J., Xiong, H., Wang, Z. Chen, J. // Construction and Building Materials. 2020. С. 236-250.
3. Malesza J., Miedziałowski C. Current Directions in Development of Modern Wood-framed Houses/ Malesza, J., Miedziałowski, C// Elsevier Ltd, 2017.С. 701–705.
4. Иванова И.Ж. Исследование влияния нелинейно-упругих и диссипативных характеристик элементов деревянного здания каркасного типа на его сейсмостойкость/ И.Ж. Васильевна // ПГУПС.- 2015. – № 8. – С. 79–85.
5. Иванова И.Ж. Обеспечение надежности и безопасности деревянных зданий, применяемых для строительства в сейсмоактивных районах/ И. Ж. Иванова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2005. – № 6. – С. 137-150
6. Коклюгина, Л. Современные технологии возведения многоэтажных деревянных домов/ Л. Коклюгина // Известия КГАСУ – 2019. – №1. – С. 231–238.
7. Чемоданов А.Н., Минина Е.А Перспективы развития деревянного домостроения/ А.Н. Чемоданов, Е.А. Минина // Лесной вестник. – 2018. – №5. – С. 81–86.

УДК 624.15

А.А. Шокин[1], Д.А. Семенов[2]
[1]Санкт-Петербургский горный университет
[2]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СООРУЖЕНИЯ С ОСНОВАНИЕМ ПРИ РАСЧЕТЕ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

В настоящее время расчёт спектров отклика конструкций на динамические воздействия производится в универсальных широко известных комплексах (ANSYS Mechanical, ABAQUS CAE и пр.). В данных комплексах не представляется возможным моделировать контакт сооружения с основанием так, чтобы он корректно описывал его реальное поведение. Существуют известные методы, но они предполагают ряд допущений и ограничений, из-за чего точность результатов значительно снижается. Для того, чтобы максимально корректно описать взаимодействие сооружения с основанием при моделировании, необходимо использовать узкоспециализированное ПО (ACS SASSI), результаты расчётов которого представлены в данной работе.

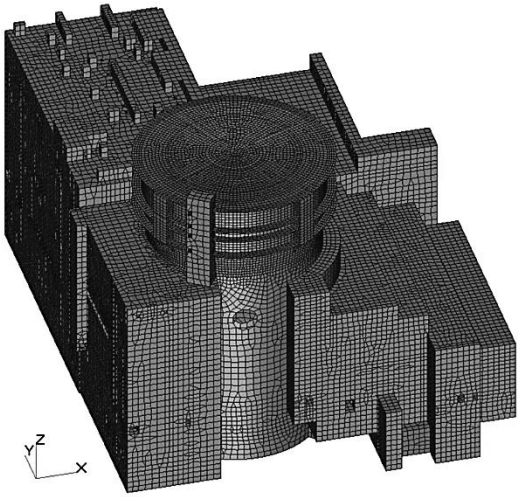


Рис. 1

Цель работы – сравнительный анализ результатов расчета на сейсмическое воздействие с учетом взаимодействия с грунтовым основанием.

Для достижения поставленной цели проводятся динамические расчеты сооружения с двумя различными методами учета грунтового основания.

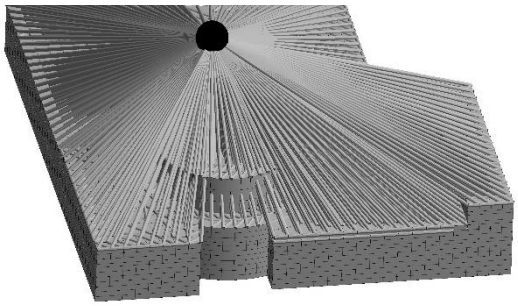


Рис. 2

Метод 1 основан на использовании эквивалентных динамических характеристик грунта (метод импедансных функций [1-3]). Основание учитывается как линейно упругая среда. К узлам фундаментной плиты сооружения с расчетной схемой, представленной на рис. 1, присоединяется набор пружин и демпферов. Численные характеристики пружин определяются в соответствии с ASCE 4-16 [4] в зависимости от геометрических размеров сооружения (габариты фундаментной плиты и моменты инерции) и сейсмологических условий площадки строительства (упругих характеристик грунтового основания). Исходным воздействием является трехкомпонентная акселерограмма, определенная на отметке фундаментной плиты.

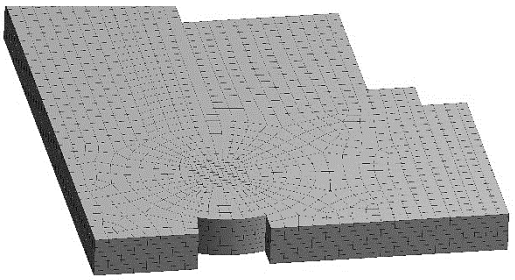


Рис. 3

Метод 2 основан на использовании возможностей программного комплекса ACS SASSI (System for Analysis of Soil-Structure Interaction) [7]. Ключевой особенностью метода является учет частотной зависимости динамических характеристик

грунтового основания (динамической жесткости и демпфирования). При использовании Метода 1 динамическая жесткость грунта постоянна по частоте, а демпфирование зависит от частоты линейно, в то время как реальная частотная зависимость имеет явный нелинейный характер [5, 6]. Расчетная схема, представленная на рис. 2-3, состоит из следующих элементов:

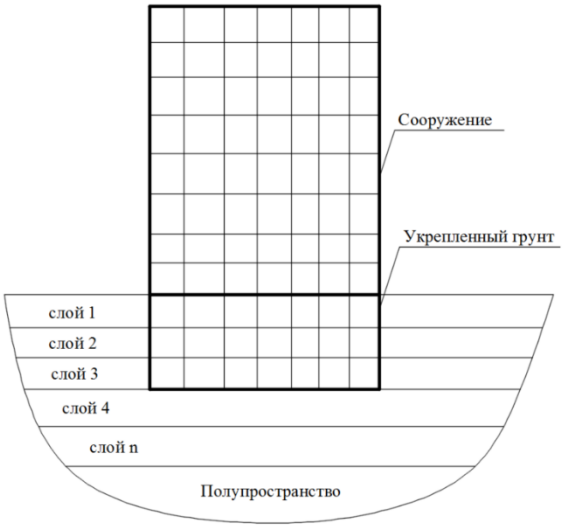


Рис. 4

– фундаментные плиты сооружения;
– подбетонка;
– укрепленный грунт (рис. 3);
– сосредоточенная масса, расположенная в центре тяжести сооружения;
– система стержней, соединяющая массовый элемент с фундаментной плитой.

Наличие сосредоточенной массы (m = $1 \cdot 10^9$ кг) позволяет учесть инерционные свойства сооружения. Грунтовое основание состоит из набора горизонтальных слоев и нижнего слоя-полупространства. Свойства каждого слоя однородны и изотропны. Характеристиками слоев являются: мощность – h, плотность – ρ, скорости распространения продольных и поперечных волн – V_p, V_s, коэффициент материального демпфирования – β. Графическое представление модели основания приведено на рис. 4.

В результате интегрирования уравнений движения определяются ускорения узлов конечно-элементной модели (поэтажные акселерограммы). Сравниваемым параметром является поэтажный спектр отклика на отметках расположения фундаментных плит сооружения. Для обоих методов расчета на фундаментной плите выбраны 35 точек, для которых определены ПС. Затем построен результирующий спектр отклика, как огибающая всех ПС в характерных точках.

На рис. 5-6 представлено сравнение полученных горизонтальных компонент поэтажных спектров при демпфировании 5%.

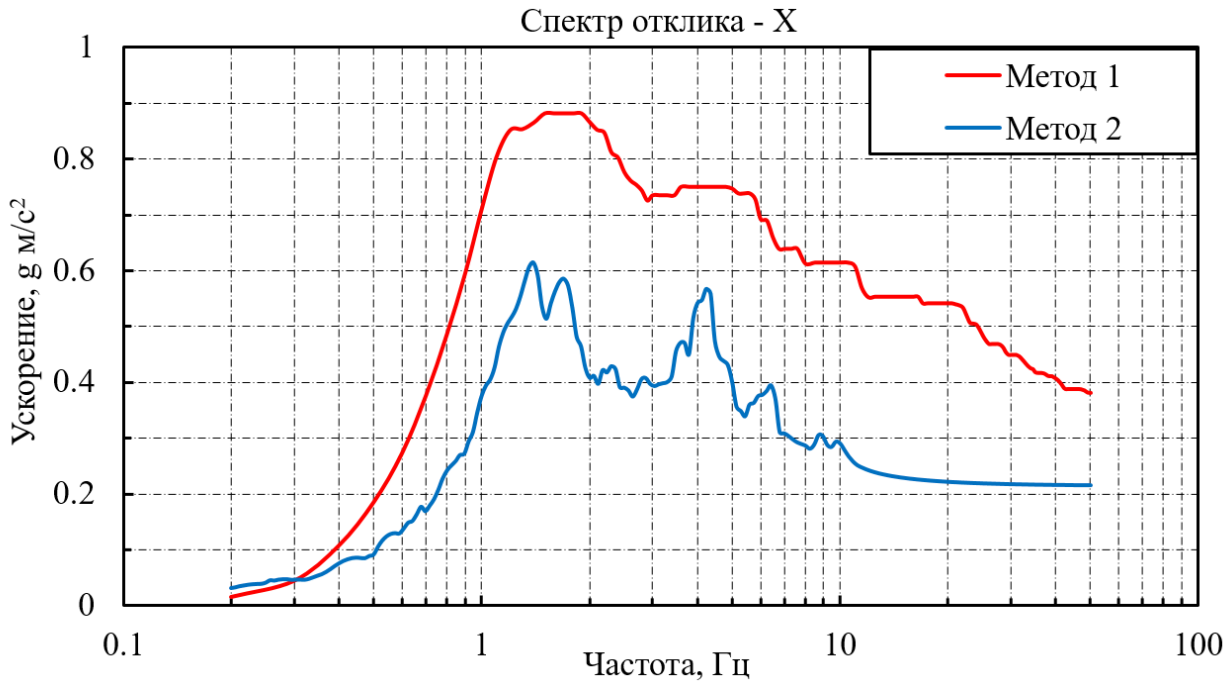


Рис. 5

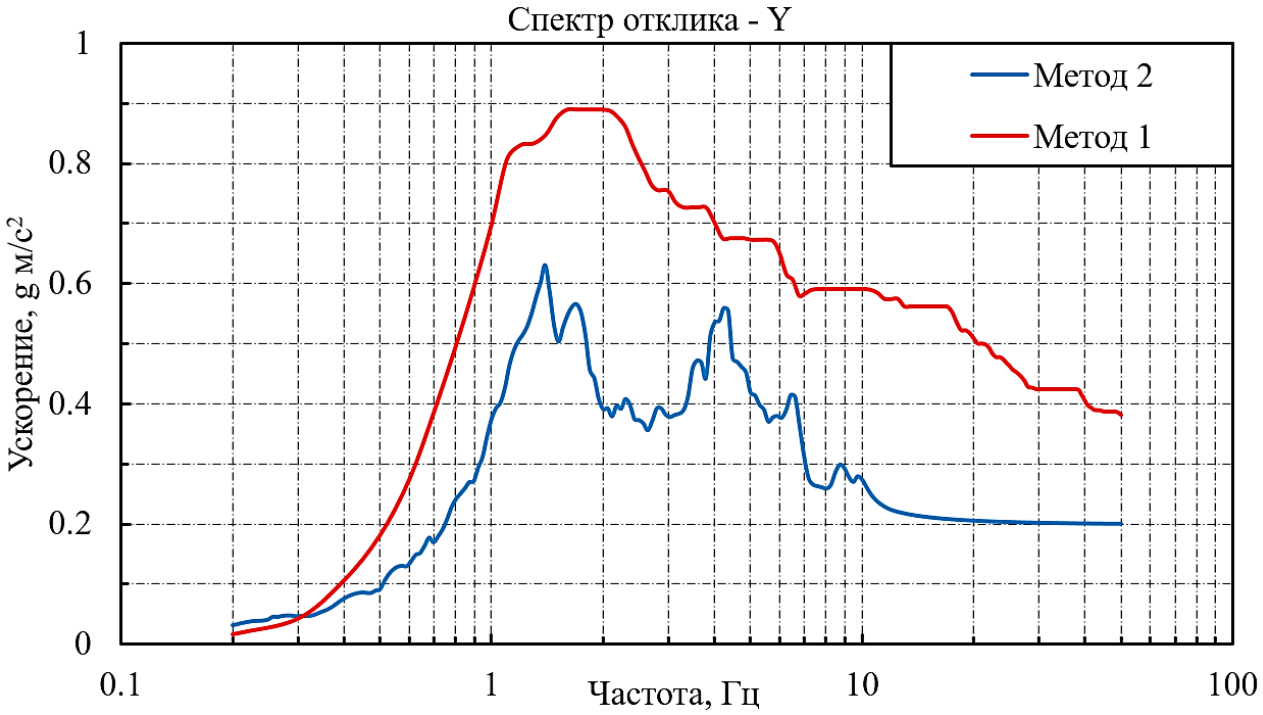


Рис. 3

Подводя итоги, можно сказать о том, что цель работы достигнута – сравнительный анализ проведен. Исходя из вышесказанного можно сделать следующие *выводы*:

1. Метод импедансных функций показывает результаты, сильно отличающиеся от более точного метода (ACS SASSI);
2. Частотный состав спектров отклика совпадает, что говорит о корректности обеих моделей;
3. В данной работе представлен результат, при котором метод №1 является более консервативным, однако существуют случаи, при которых на более высоких частотах консерватизм пропадает.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Jafarzadeh F. Dynamic response and impedance functions of foundation resting on sandy soil using physical model tests / F.Jafarzadeh, A.Asadinik // The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 2008.
2. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций/А.Е.Саргсян Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2013. – 550 с.
3. Gazetas, G. (1991) Foundation vibrations. Fang, H.Y. (Ed.) In Foundation Engineering Handbook, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
4. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. The American Society of Civil Engineers (ASCE). 2017. 204 p.
5. Тяпин А.Г. Учет взаимодействия сооружения с основанием при расчетах на сейсмические воздействия: Научное издание / А.Г Тяпин – Издательство АСВ, 2014 г. – 136 с.
6. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием / А.Г. Тяпин. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 392 с.
7. Ghiocel D.M. Accurate linear and nonlinear seismic SSI analysis based on ANSYS FE modeling using extended SASSI methodology / D. M. Ghiocel, M. Saremi // Trans. 24th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 24), Busan, Korea, Aug 2017.

УДК 624.07

Д.А. Лысенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛОЧНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С АРМИРОВАНИЕМ НАПРЯГАЕМЫМИ КАНАТАМИ

Проблематика современного строительства довольно обширна: в ней присутствует ряд актуальных задач, важность которых сложно переоценить. В частности, уточнение методик расчета строительных конструкций, улучшение существующей и разработка новой материальной базы и строительных технологий. От решения данных проблем, напрямую зависит улучшение эксплуатационных характеристик зданий и сооружений, а также уменьшение материалоемкости и трудоемкости строительства и, как следствие, снижение себестоимости объектов. Проектирование и строительство высотных зданий гражданского назначения является наиболее выгодным в сравнении с типовыми постройками, поскольку при одинаковых земельных ресурсах в высотных сооружениях присутствует больше полезного пространства [1].

Но высотное строительство не лишено своих недостатков. В частности, проектировщики зачастую ограничены размерами пролетов между несущими конструкциями. Ввиду значительных нагрузок, которые может воспринимать каркас здания, проблема трещиностойкости бетонных конструкций является весьма актуальной на протяжении всего времени развития высотного железобетонного строительства. Одним из возможных решений является отказ от классического армирования, в пользу преднапрягаемых канатов. Такая схема помогает решить проблемы значительных прогибов и трещиностойкости при больших пролетах, что снимет ряд ограничений, диктуемых классическим подходом, и дает возможность создавать нестандартные конструкции каркасов для уникальных зданий и сооружений [2-3].

Применение высокопрочной канатной арматуры с условным пределом текучести увеличивает воспринимаемые конструкцией напряжения при меньших деформациях в сравнении с горячекатаной, имеющий физический предел текучести. На рисунке 1 представлен график зависимости деформаций от напряжений для классов арматуры, по которому видно, что арматурные канаты К-7 класса К1500 способны воспринимать напряжения в три раза больше арматурных стержней класса А500. Такое преимущество высокопрочных сталей в напряженных конструкциях способствует прохождению проверки по II предельному состоянию для горизонтальных изгибаемых элементов [4].

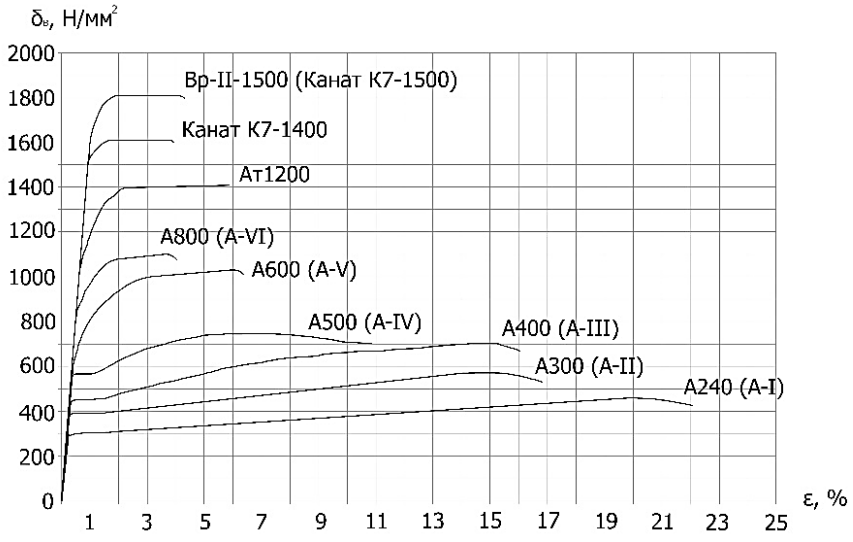


Рис. 1. Зависимость деформации-напряжения для различных классов стали

Инициатива Минстроя стала реакцией на резкий рост стоимости металлопроката в конце прошлого – начале текущего года. В частности, по данным ИА «Металлоснабжение и сбыт», арматура А III А500С (диаметр 12 мм) с 01.11.20 г. по 31.01.21 г. подорожала почти в 1,5 раза до 70,5 тыс. руб. за т. Стоимость канатов находится в пределах от 70 до 80 тыс. руб. за т.

Целью работы является сравнение двух способов армирования (классического, с использованием стержней периодического профиля и при помощи преднапрягаемых канатов) на примере балочного перекрытия с различными пролетами для каждого из случаев.

В соответствии с целью возникает ряд задач:

– Запроектировать балочное перекрытие высотного сооружения и рассчитать расход материалов для перекрытия с традиционным армированием;
– Использовав существующую архитектуру здания, увеличить пролет, убрав колонну;
– Запроектировать перекрытие с увеличенным пролетом с применением канатного армирования и рассчитать расход материалов для данного перекрытия;
– Провести сравнительный анализ результатов армирования.

Материалы и методы: Модель используемого для расчетов здания и проектируемого перекрытия с указанием рассматриваемой балки представлены на рисунках 2-3. Высотное сооружение представляет собой общественное здание высотой свыше 100 м с перекрестно-балочным монолитным перекрытием. Основные характеристики которого указаны в разделе 3 «Конструктивные и объемно-планировочные решения» [5].



Рис. 2. Модель здания

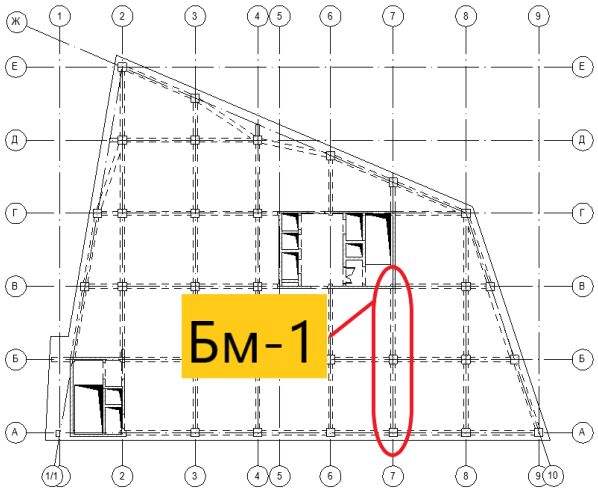


Рис. 3. Расположение балки

В результате данной работы была получена ведомость расхода стали, представленная в таблице 1, для перекрытия и одной двух пролётной балки.

Таблица 1 – Ведомость расходы стали для классического армирования, кг

Марка конструкции	Изделия арматурные							
	Арматура класса							Всего
	А240			А500С				
	ГОСТ 34028-2016			ГОСТ 34028-2016				
	Ø12	Ø16	Итого	Ø16	Ø18	Ø25	Итого	
Бм-1	362,3	0	362,3	0	122,8	260	382,8	745
Пм-1	0	164	164	40689,2	0	730,7	41419,9	41583,9

Расчет и проектирование предварительно напряженной конструкции произведен по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции». Расчет произведен с помощью ПК SCAD 21.1. Армирования балки Бм-1 представлены в таблице 2 и на рисунке 4. В качестве преднапрягаемой арматуры использованы 8 канатов К-7, сталь класса К1500.

Таблица 2 – Ведомость расходы стали для канатного армирования, кг

Марка конструкции	Арматурные изделия						
	Арматура класса						Всего
	К1500		А240		А500С		
	ГОСТ 13840-68		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016		
	Ø14	Итого	Ø12	Итого	Ø12	Итого	
Бм-1	107,3	107,3	283,4	283,4	10,6	10,6	401,4
Пм-1	0	0	188	188	21819,2	21819,2	22007,2

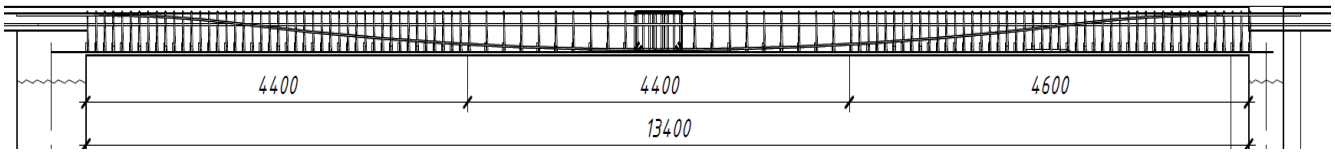


Рис. 4. Расположение арматуры в балке

В результате проведенных расчетов балочные перекрытия проходят проверки по предельным состояниям. С учетом увеличения пролета и использования преднапрягаемой конструкции проверка по второму предельному состоянию также пройдена, трещиностойкость обеспечена, максимальный прогиб преднапрягаемой конструкции составляет 34 мм. В дальнейшем сравнивается расход стали только по армированию балочной конструкции Бм-1, пролетом 14 м. Исходя из расчетов получено облегчение конструкции по тоннажу стали на 46 % (изменения объема бетона отсутствуют ввиду одинакового сечения балок) с применением преднапряженного железобетона. Экономия изготовления одной балки перекрытия составляет более 20 тыс. рублей. При этажности здания в 27 этажей сокращение затрат на металлоемкость балки – 540 тыс. руб. Также необходимо отметить отсутствие дополнительной нагрузки на фундамент, а именно удаленной колонны для увеличения пролета, что позволяет увеличить полезное пространство этажа. Таким образом, применение предварительно напряженных элементов в конструкции перекрытия является целесообразным с экономической и архитектурной точек зрения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Звездов А.И., Михайлов К.В., Волков Ю.С. Предварительно напряженный железобетон: состояние и перспективы развития // Бетон и железобетон. 2000. № 5. С. 2-4.
2. Бардышева Ю.А., Кузнецов В.С., Талызова Ю.А. Конструктивные решения безбалочных безкапительных перекрытий с предварительно напряженной арматурой // Вестник МГСУ. №9. 2013
3. Якокутов М.В. Изгибаемые железобетонные элементы с комбинированным преднапряжением: дис. …канд. тех. наук: 05.23.01 / Якокутов Марат Владимирович, РнД., 2000. – 142 с.
4. Осипенко Ю.Г., Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. Влияние применения высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном на прочность монолитных безбалочных перекрытий // Вестник МГСУ. 2017.
5. Лысенко Д.А. Научно-исследовательский институт с предварительно напряженными бескапительными перекрытиями [Электронный ресурс]/ Д. А. Лысенко / Электронная библиотека СПбПУ – 2020. – Режим доступа: URL:http://elib.spbstu.ru/dl/3/2020/vr/vr20-4461.pdf.

УДК 69.04

Е.В. Зданчук, О.Д. Никитина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ФАСАДЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

На сегодняшний день, при расчетах высотных зданий на действие ветровых нагрузок значения ветрового давления по высоте принимаются по нормативным документам и приведенным в них формулам. Однако, как показывают многочисленные исследования [1-3] значения ветрового давления, получаемые по нормативным документам, являются достоверными не для всех типов зданий и могут сильно отличаться от действительных значений ветрового давления на сооружение. Например, как показано в работе [4], общепринятые формулы расчета ветровой нагрузки, приведенные в СП 20.13330.2016 не способны учесть окружающую застройку и ее влияние на значения пикового ветрового давления на фасады зданий даже для фасадов простой формы.

Реальные же распределения ветрового давления на фасады высотных зданий возможно получить только с помощью эксперимента. Метод аэрофизического моделирования, позволяет сымитировать реальное ветровое давление на здание и получить более точные значения ветровой нагрузки [5].

Целью данной работы является исследование сходимости результатов расчета пикового ветрового воздействия на фасады высотных зданий различными методами: методом аэрофизического эксперимента и расчета по нормам.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Произвести расчет пикового ветрового давления на фасады высотных зданий жилого комплекса сложной формы по СП 20.13330.2016.
2. Сравнить полученные значения с результатами аэрофизического эксперимента.

На первом этапе исследования были получены значения пиковых ветровых нагрузок для здания сложной формы, состоящего из девяти секций, по СП 20.13330.2016. В данном СП для расчета пиковый ветровых воздействий, которые необходимы для проектирования ограждающих конструкций, даны аэродинамические коэффициенты только для отдельно стоящих зданий прямоугольного сечения. В настоящее время существует следующая методика расчета пикового давления по нормам: здание представляется как составное из нескольких прямоугольных в сечении и для каждого отдельного фасада по формуле 11.10 [6] определяются ветровые давления.

Схема расположения секций исследуемого жилого комплекса представлены на рис. 1. Размеры и расположение исследуемых в данной работе секций представлены на рис. 2.

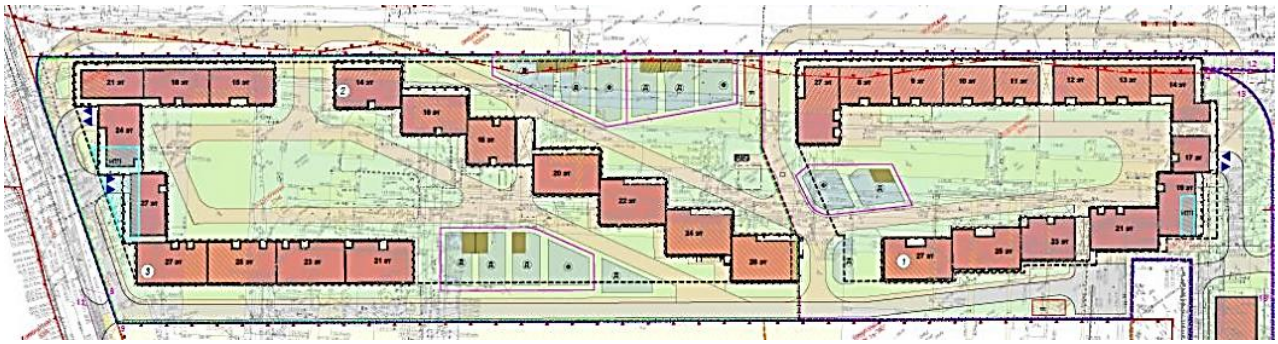


Рис. 1. Схема расположения секций исследуемого здания

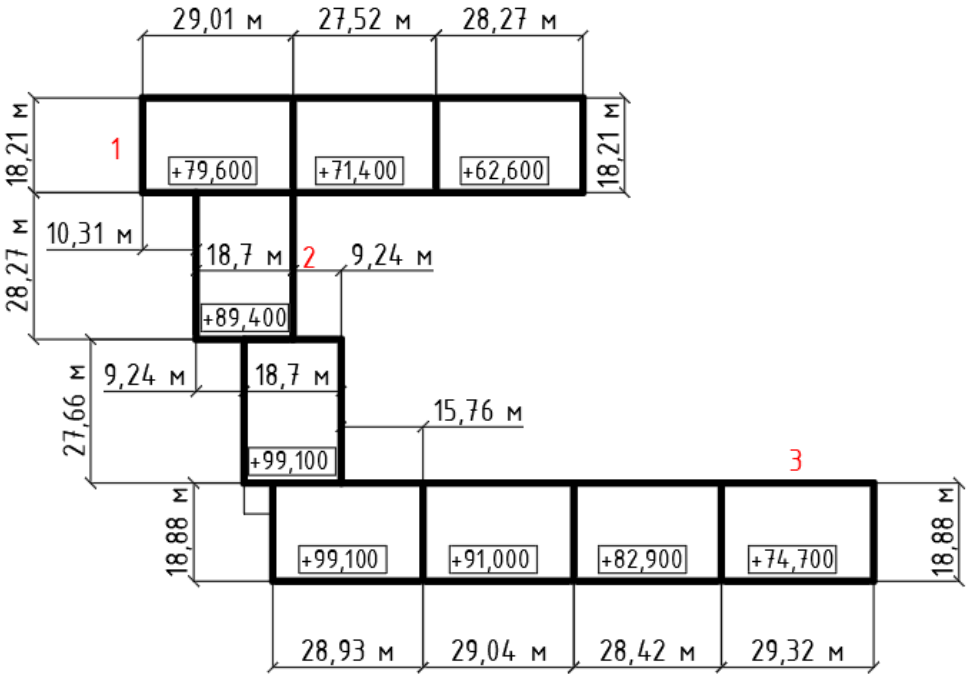


Рис. 2. Размеры и расположение исследуемых секций

Пиковые значения ветровой нагрузки рассчитывались согласно п. 11.2 [6] и формуле 11.10 [6]. Затем было проведено сравнение результатов расчета с результатами аэрофизического эксперимента, проведенного ранее.

На рисунках 3-5 приведено сравнение значений ветрового давления, полученного различными способами. На рисунках 3-5 слева приведены результаты расчета по СП [6], справа результаты аэрофизического эксперимента. В результатах расчета по СП и аэродинамического эксперимента учтен повышающий коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1{,}4$.

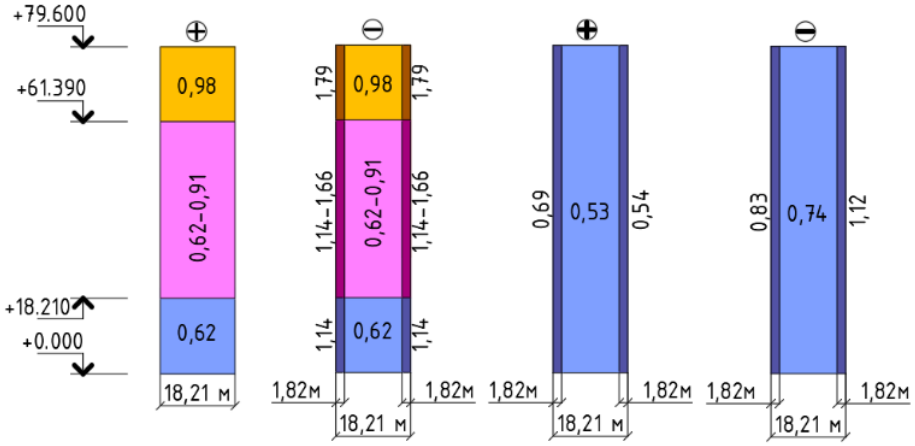


Рис. 3. Пиковые ветровые нагрузки, кПа, стена 1

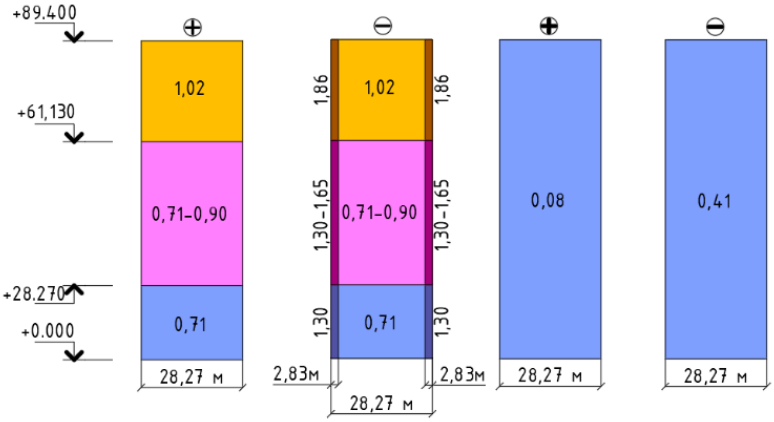


Рис. 4. Пиковые ветровые нагрузки, кПа, стена 2

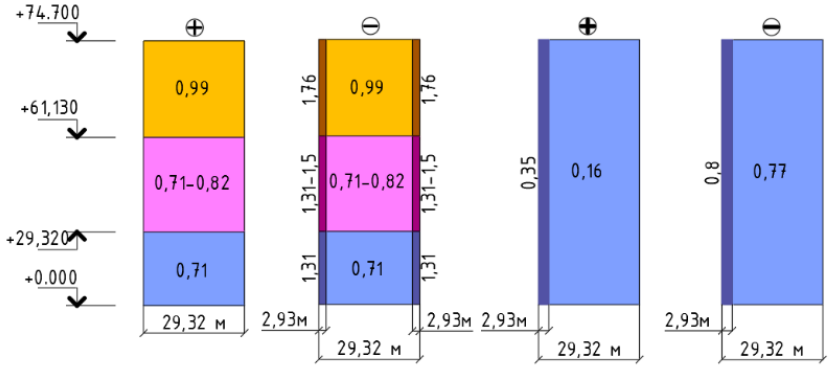


Рис. 5. Пиковые ветровые нагрузки, кПа, стена 3

В результате проведенного исследования были сделаны следующие *выводы*:

1. Описанная выше методика расчета конструкций произвольной формы выдает результат с большой погрешностью. Аэрофизический эксперимент в трубе является наиболее точным способом определения пиковых давлений, и он показал, насколько завышенные получаются результаты при представлении конструкции как составленной из нескольких прямоугольных в сечении зданий. При расчете ограждающих конструкций для сооружений, которые в сечении отличны от прямоугольного, всегда необходимо делать аэрофизический либо численный эксперимент.
2. Формулы для расчета пиковых ветровых нагрузок, приведенные в нормах, не предназначены для расчета многосекционных зданий, где существует влияние на ветровой поток близлежащей застройки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гныря А.И., Коробков С.В., Мокшин Д.И., и др. Исследование структуры отрывных течений при обтекании воздушным потоком моделей системы зданий. Вестник ТГАСУ. 2015;(5): 161-172.
2. Fred L. Haan Jr., Ahsan Kareem, A.A.S. The effects of turbulence on the pressure distribution around. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1998. ((77-78)). Pp. 381–392.
3. Гувернюк С.В., Егорычев О.О., Исаев С.А., и др. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий. Вестник МГСУ, том 1, № 3, с. 185-191
4. Dogru S., Lalin V., Galyamichev A., Zdanchuk E. Wind loads on a high-rise building. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. (70). Pp. 551–562.
5. Гныря А.И., Коробков С.В., Кошин А.А., Терехов В.И. Моделирование ветровых нагрузок при обтекании воздушным потоком системы моделей зданий при вариации их расположения. Вестник ТГАСУ. 2018. (20(4)). С. 65–73.
6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2), СП (Свод правил) от 03 декабря 2016 года №20.13330.2016.

УДК 629.039.58

О.Б. Ташчи, Т.Д. Талай
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В настоящее время в 14 странах мира строятся 64 атомных объекта. Ожидается, что к 2030 году будут введены в эксплуатацию 164 реактора. При проектировании АЭС, которые широко используются во многих странах, необходимо учитывать всевозможные неблагоприятные ситуации. В то время как реакторы защищены сейсмическими изоляторами, во вспомогательных зданиях ситуация часто иная ситуация [1, 2]. Атомные электростанции представляют собой объекты высокого риска из-за возможности внезапных аварийных ситуаций, поскольку любой возможный отказ может вызвать катастрофическое радиоактивное загрязнение [3]. Поскольку конструкции АЭС имеют жизненно важное значение, считается, что строительные площадки находятся вдали от сейсмических воздействий. Однако очень важно, чтобы эти конструкции показали высокую стойкость при возможном сейсмическом воздействии [4]. Перед постройкой здания следует учитывать сейсмические колебания характерные для строительной площадки. Расчет должен производиться на соответствующие синтезированные акселерограммы [5].

Цель работы – изучить поведение АЭС при сейсмических нагрузках и разработать методы проектирования.

Задачи исследования:

1. Определение сейсмических характеристик конструкций на ядерных установках/
2. Определение максимальных смещений, которые могут возникнуть при сейсмической нагрузке.
3. Рассмотрение принципов проектирования в соответствии с установленными максимальными деформациями и определение точек, требующих улучшения в конструкции.

В исследовании использовались фактические данные о землетрясениях. Данные были получены из записей землетрясения силой 6,8 балла, произошедшего в 2020 году в Турции. Данные реальных землетрясений были определены и зачитаны в программу ПК ANSYS. Параметры землетрясения определены по трем осям.

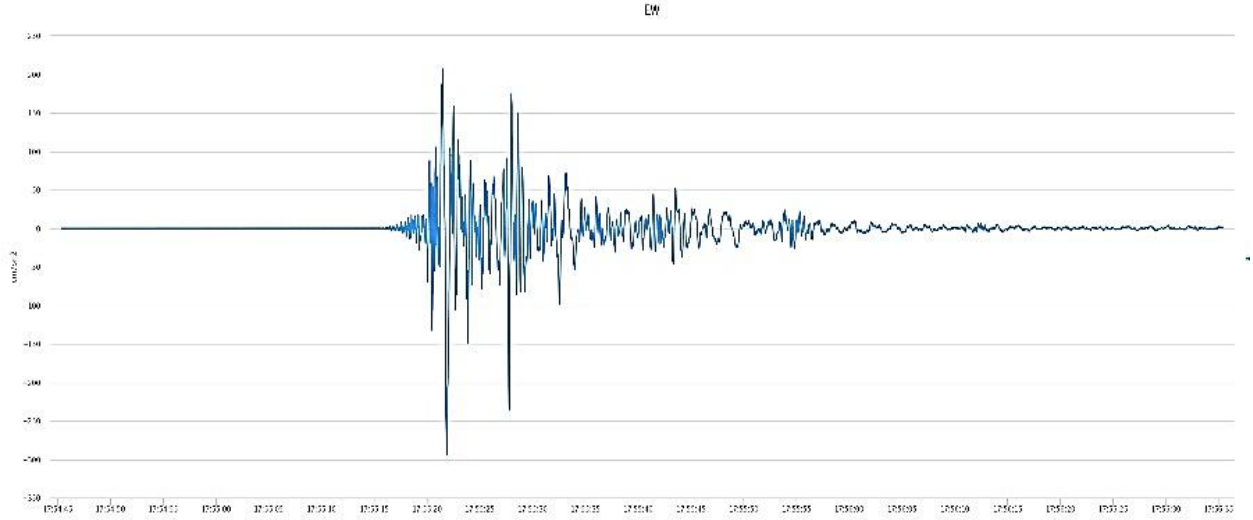


Рис. 1. График ускорений землетрясения по оси *X*

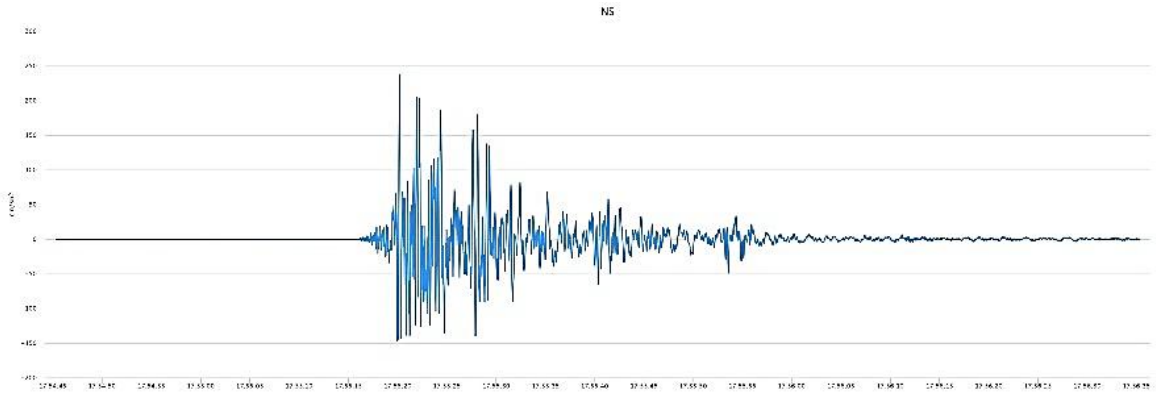


Рис. 2. График ускорений землетрясения по оси *Y*

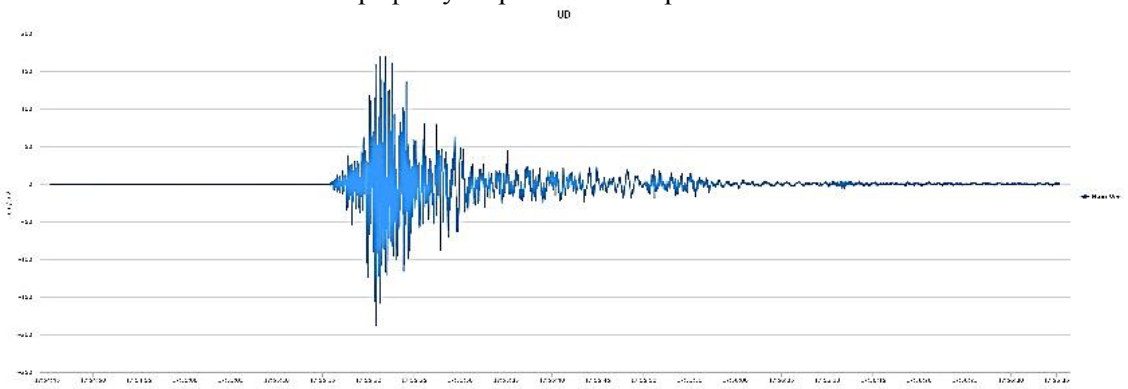


Рис. 3. График ускорений землетрясения по оси *Z*

Были рассчитаны максимальные смещения в результате сейсмических сил, действующих на моделируемую конструкцию. Кроме того, также были рассчитаны максимальные перемещения в направлениях *X*, *Y* и *Z*. Согласно полученным данным, максимальные перемещения, которые будут происходить в здании при землетрясении силой 6,8 балла, произошли на перекрытии крыши здания за 6,4 с. Это значение составляет примерно 4,55 см. Полные перемещения были рассчитаны как приблизительно 0,37 см на 22-й секунде, которая является конечным моментом землетрясения.

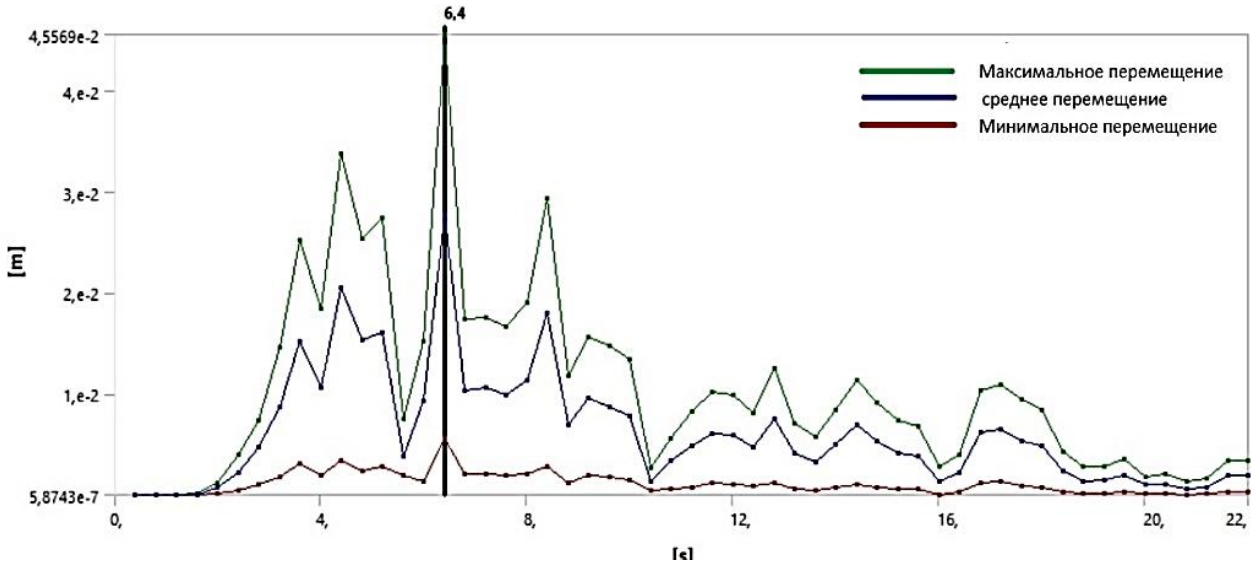


Рис. 4. График максимального перемещения, зависящего от времен

Максимальные перемещения произошли на верхних точках конструкции. Именно вертикальная составляющая сейсмической реакции, обеспечивает максимальное перемещение. Что касается горизонтальных компонентов, то для этого исследуемого сооружения создает меньшие перемещение. Большое количество монолитных стен в двух направлениях создает необходимую жесткость конструкции.

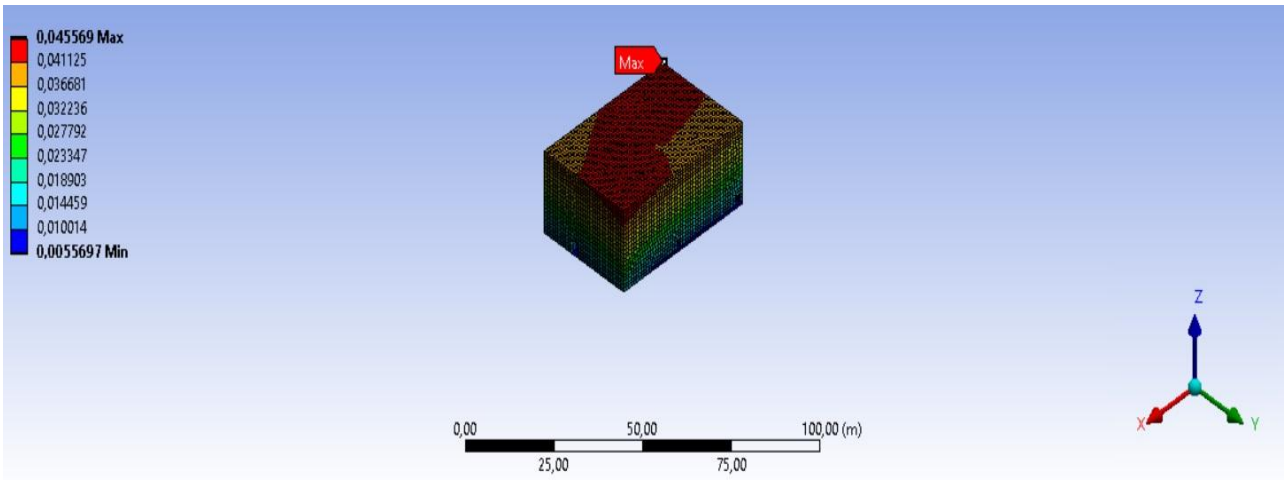


Рис. 5. Максимальные перемещения, возникающие в конструкции

Согласно выводам, сделанным в результате анализа, все аспекты, на которые могут повлиять землетрясения, должны быть приняты во внимание при проектировании таких критических зданий. Максимальные смещения конструкции возникают на реакцию от вертикальной компоненты сейсмического воздействия. Поэтому можно предложить укрепить фундамент здания сейсмоизоляторами. При компоновке зданий и сооружений следует убедиться, что толщины стен будет достаточно для обеспечения необходимой жесткости. Не рекомендуется возводить несущие стены только в одном направлении. Поскольку нет определенного направления сейсмического воздействия, железобетонные стены следует проектировать в двух направлениях. При максимальном смещении максимальное ускорение, влияющее на конструкцию, составляет 178,28 м/с^2 в направлении *Y*. Однако максимальные ускорения, влияющие на здание во время землетрясения, составляют 205,04 м/с^2 по оси *X*, 235,79 м/с^2 по оси *Y* и 178,58 м/с^2 по оси *Z*. Максимальных ускорений, влияющих на конструкцию, не произошло одновременно. Следовательно, максимальное смещение произошло в конструкции в любой момент времени, когда сумма ускорений для каждой оси максимальна. Следует хорошо проанализировать места, где суммарные ускорения максимальны, и промежутки времени до них. Если суммарные ускорения аналогичной величины наблюдаются слишком сильно за короткий период времени, смещения соответственно увеличиваются.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Salimi Firoozabad E. Seismic fragility analysis of seismically isolated nuclear power plants piping system / Salimi Firoozabad E., Jeon B.G., Choi H.S., Kim N.S. // Nuclear Engineering and Design – 2015. – T. 284 – C.264–279.
2. Varpasuo P. Seismic Design and Analysis of Nuclear Power Plant Structures, 2012.
3. Kubo T. A seismic design of nuclear reactor building structures applying seismic isolation system in a high seismicity region –a feasibility case study in Japan- / Kubo T., Yamamoto T., Sato K., Jimbo M., Imaoka T., Umeki Y. // Nuclear Engineering and Technology – 2014. – T. 46 – № 5 – C.581–594.
4. Nakamura N. Study of ultimate seismic response and fragility evaluation of nuclear power building using nonlinear three-dimensional finite element model / Nakamura N., Akita S., Suzuki T., Koba M., Nakamura S., Nakano T. // Nuclear Engineering and Design – 2010. – T. 240 – № 1 – C.166–180.
5. Whittaker A.S. Seismic isolation of nuclear power plants / Whittaker A.S., Kumar M., Kumar M. // Nuclear Engineering and Technology – 2014. – T. 46 – № 5 – C.569–580.

УДК. 629.039.58

Т.Д. Талай, О.Б. Ташчи, А.А. Бойцов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ АЭС ПРИ ВОЗМОЖНЫХ УДАРАХ САМОЛЕТА С НЕЛИНЕЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Мировой спрос на энергию продолжает расти из-за достижений в области технологий и роста населения. В связи с увеличением спроса на энергию, количество АЭС также увеличивается. Для продолжения безопасной работы станции, необходимо обеспечить безопасную работу систем внутри атомной станции при экстремальных воздействиях [1]. Теракты 11 сентября 2001 года показали, что проблема воздействия самолетов на сооружения была элементом, который ставил под угрозу безопасность сооружения. Этот эффект следует учитывать при проектировании атомных электростанций, которые относятся к числу особо рискованных сооружений [2]. Воздействие самолета на конструкции варьируется в зависимости от скорости самолета, типа самолета и количества топлива в нем [3].

Цель работы – определить динамические эффекты, которые могут возникнуть в случае ударе самолета на конструкции атомных электростанций (АЭС), и разработать методы проектирования в зависимости от этих эффектов.

Задачи исследования;

1. Анализ конструкции АЭС под воздействием удара.
2. Определение деформаций, которые возникнут в АЭС под воздействием удара.
3. Изучение принципов проектирования в соответствии с полученными результатами и определение недостатков в принципах.

С помощью ПК ANSYS была создана конечно-элементная модель здания для моделирования поведения железобетонной конструкции при динамических нагрузках. К этой созданной конструкции была приложена ударная нагрузка. Были проведены анализы для выполнения нелинейных расчетов на испытуемом образце.

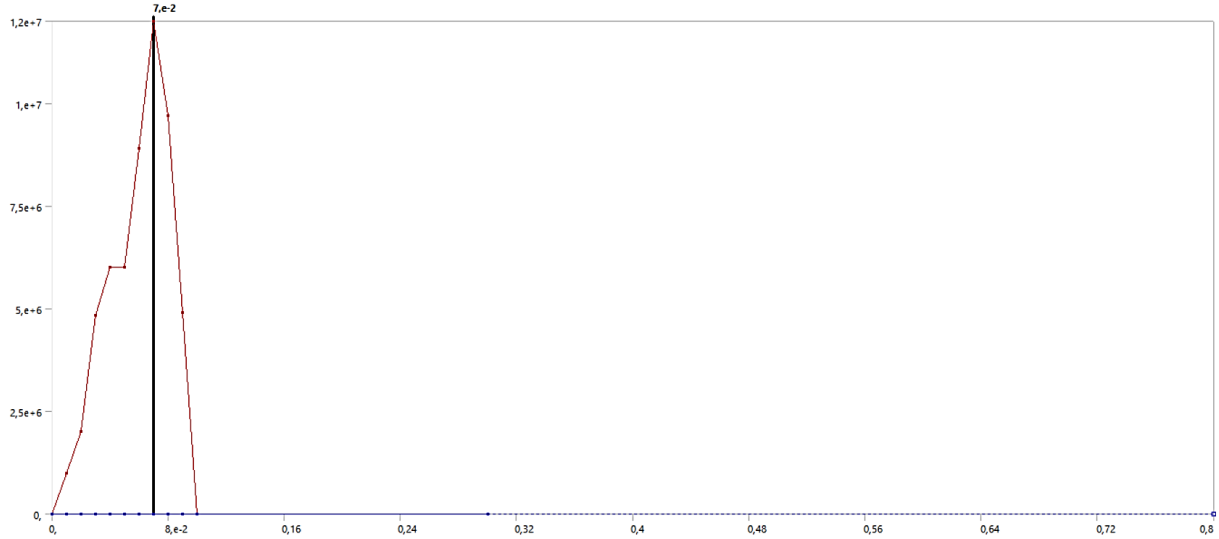


Рис. 1. Нагрузка при ударе самолета

Модель самолета, использованная в анализе – Самолет Lear Jet-23. Он вмещает 5-7 пассажиров, двух членов экипажа. Его длина 13,8 м, высота 3,84 м, размах крыльев 10,85 м. Максимальная взлетная масса 5670 кг. Нагрузка при ударе представлена на рис. 1. Она соответствует скорости удара V = 360 км/ч [4, 5]. По этим значениям нагрузки были исследованы деформации, вызванные динамическим воздействием в направлении оси X.

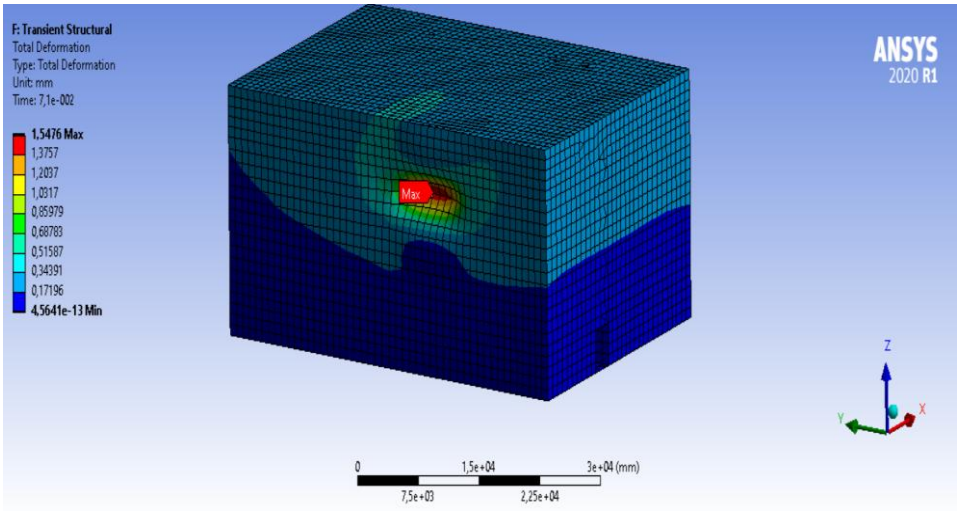


Рис. 2. Результат анализа

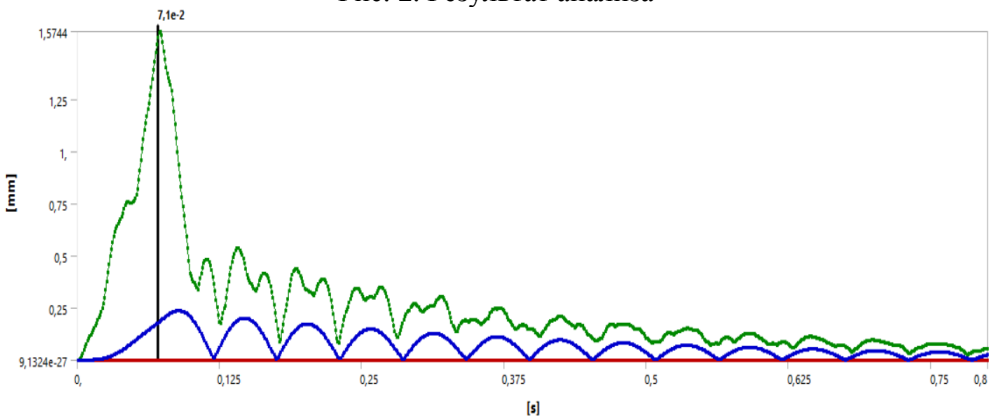


Рис. 3. График перемещений в зависимости от времени

В результате анализа в здании произошло перемещение на 1,55 мм. При рассмотрении графика на рис. 3 наибольшая деформация произошла в интервале 0-0,125 с. Эта ситуация показывает, что большая часть относительного деформирования конструкции происходит в начальный момент времени. Для отображения полного перемещения также необходимо выполнить нелинейный расчет, после чего сложить полученные характеристики.

Принципы проектирования АЭС, основанные на эффекте последствий от падения самолета, должны быть включены в нормативные документы стран, в которых расположена территория АЭС. В ходе работы была определена величина перемещений, возникающих при единственном ударе самолета. Для корректного анализа проектируемых зданий и сооружений атомных станций необходимо прикладывать «удары» ко всем характерным местам и после огибать полученные результаты. Эта ситуация показывает, что достаточная толщина внешних конструкций может защитить зданий от последствий падения самолета.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Cherenkov I. Prestress Losses of Containments of Reactor Buildings / Cherenkov I., Roleder A. // Construction of Unique Buildings and Structures – 2018. – T. 72 – № 9 – C.7–30.
2. Kılıç S.A. Bina-Uçak Çarpması Probleminin Bilgisayar Ortamında Simülasyonu / Kılıç S.A., Sözen M.A., Popescu V., Hoffmann C. // Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi – 2004. – C.227–233.
3. Ing P. Airplane Impact on Nuclear Power plants / Ing P., Ing E. – 2003. – № SMiRT 17 – C.1–8.
4. IAEA External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants / IAEA – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002.
5. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. – 2009. С. 594.

УДК 69.07

Д.А. Глухова, Е.С. Недвига
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С КОНСОЛЬНЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

Современные тенденции в строительстве направлены на реализацию уникального внешнего облика высотного здания. Эта задача выполняется не только за счет применения качественных и стильных материалов отделки, но и за счет нетривиальных конструктивных решений. Одним из таких решений является система с консольными перекрытиями. Данное решение позволяет создавать неповторимые архитектурные образы и обеспечивать большое свободное пространство внутри здания.

В работе рассмотрены статьи, в которых предлагаются варианты усиления с помощью железобетонных стен и аутригеров [1-2], с помощью балок [3], а также несколько уникальных вариантов [4-5]. Однако в данных работах не производится сравнение различных систем друг с другом, что будет проделано в данной работе.

Целью работы автора является подбор конструктивного решения здания с консольным перекрытием в верхней части здания. Для достижения поставленной цели необходимо реализовать следующие задачи: проанализировать практический опыт по проектированию высотных зданий, разработать и просчитать несколько расчетных моделей для выявления эффективных конструктивных систем; сформировать рекомендации по выбору конструктивного решения консолей в высотных зданиях.

Наиболее распространенные способы решения консольных перекрытий – балки, фермы и железобетонные стены и аутригеры [1-2], объединяющие ядро жесткости с крайними колоннами. Все эти решения имеют свои недостатки.

На консольные балки сильное влияние оказывает размерные эффект [3]. То есть увеличение сечения конструкции делает ее менее прочной. Таким образом, балки имеют предел применимости и не для всякой консоли они подойдут.

Железобетонные стены и аутригеры уменьшают перемещения консольных частей здания и уменьшают требуемую арматуру. Однако данные решения уменьшают свободное пространство на этаже, на котором они установлены.



Рис. 1

При проектировании консольных высотных зданий существуют особенности конструирования и расчетов. Зачастую инженерами разрабатываются уникальные решения для создания неповторимых по форме зданий. За рубежом уже есть накопленный опыт по возведению ассиметричных зданий и небоскребов с консольными выступами.

Capital Gate – «падающая башня» (рис. 1). Угол наклона башни к западу составляет 18°, что является самым большим углом наклона в мире. Для сравнения: угол наклона Пизанской башни всего 4°, что меньше в 4,5 раза. Еще одной отличительной особенностью Capital Gate является ее форма – воронка, спирально расширяющаяся вверх и наружу.

Башня представляет собой 160-метровое здание с 34 наземными этажами и 1 цокольным этажом, уходящим под землю на глубину 5,2 м. Наклон башни начинается с двухэтажной консоли, которая является противовесом.

Овальное железобетонное ядро, проходящее через все здание, является основным элементом, обеспечивающим зданию поперечную устойчивость (~70%). В здание используется ядро, отклоняющееся от центральной оси ядра в сторону

противоположную от изгиба самого здания поэтажно на 350 мм. Такая конструкция ядра предотвращает опрокидывание башни.

Вторая инновационная технология: пост-напряженное ядро. Через все ядро жесткости натянуты вертикальные арматурные кабели, которые поддерживают ядро четко в вертикальном положении.

Остальные 30% устойчивости обеспечиваются за счет системы внешней диагональной оболочки, которая служит периметральным несущим каркасом для перекрытий этажей. В качестве диагонального каркаса использована система Diagrid, в которой один конструктивный элемент рамы с крестообразной поперечиной простирается на высоту двух этажей. Внешняя каркасная система крепится к ядру жесткости на техническом этаже с помощью системы аутригеров.

Консольная часть здания создает силы, которые вдавливают здание в грунт и одновременно выталкивают. Поэтому потребовался особенный фундамент, где часть свая, находящаяся под консольной частью, работает на сжатие, а с противоположной стороны на выдергивание. Все сваи объединены монолитным железобетонным ростверком, что позволяет распределить нагрузки.

Конструктивная система башня Capital Gate ствольно-оболочковая, что позволяет башне успешно справляться с ассиметричной нагрузкой [4].

Небоскреб Beach and Howe Twisting Residential Tower – необычное здание высотой 150 м, имеющее у основания форму треугольника, постепенно расширяющегося и переходящего в прямоугольник (рис. 2). Добиться такой необычной формы позволяют консольные перекрытия.



Рис. 2

Основные конструкции здания, по мере продвижения вверх, уменьшающиеся в сечение, выполнены из монолитного железобетона. Железобетонное ядро с вертикальным постнапряжением, связанное со стенами и пирсами, раскрепленными диагональными связями в уровне каждого перекрытия, обеспечивает поперечную устойчивость здания.

В здании использованы ступенчатые и наклонные колонны для конструктивно правильного перехода межэтажных плит от треугольной формы к прямоугольной. Схема расположения колонн разработана так, чтобы минимизировать сдвиговое усилия от смещения стен, которые соединены с ядром через диафрагмы жесткости. Как следствие, такая схема расположения колонн призвана минимизировать кручение ядра.

Межэтажные плиты и несущие стены выступают диафрагмами жесткости, обеспечивая прочность и жесткость конструкции, а также минимизируя крутящие моменты и противодействуя боковым нагрузкам. Для этой цели несущие стены расположены так, чтобы максимально сблизить центр жесткости с центром масс здания, а также сформировать жесткую коробчатую конструкцию вокруг лифтов и лестниц.

Каркасно-стеновая конструктивная схема башни позволяет выдерживать нагрузки, вызванные консольными вылетами [5].

В проектируемом высотном здании принята каркасная конструктивная система. Конструктивные решения перекрытия – в первом случае – балочные плиты перекрытий, во втором случае – в зоне консоли приняты плоские плиты перекрытия, объединенные в уровне первого консольного этажа железобетонными стенами. Стены расположены в поперечном и продольном направление, соединяя стену по периметру здания со стенами ядра жесткости.

Особенностью разрабатываемой башни является то, что консоль на уровне + 84,00 м является опорной частью для вышележащих этажей. Консоль имеет размеры по оси X – 7,5 м, а по оси Y – 6,3 м.

Вертикальные и горизонтальные перемещения, прогибы консоли второй конструктивной схемы в разы меньше, чем у первой (см. табл. 1). Следовательно, здание с плоскими плитами, объединенными в уровне первого консольного этажа железобетонными стенами, в зоне консоли имеет большую жесткость.

Таблица 1 – Результаты перемещений и прогибов

	Вертикальное перемещение, мм	Горизонтальное перемещение, мм		Прогиб консоли, мм	
		по *X*	по *Y*	по *X* допустимый 70 мм	по *Y* допустимый 60 мм
Схема 1	81,673	15,792	27,711	33,659	30,165
Схема 2	50,111	9,226	20,271	4,054	6,754

Фоновая арматура консольного перекрытия и покрытия в первой, и во второй схемы одинаковая (d12 S200), однако во втором случае расчетное значение дополнительной площади армирования меньше в ldf раза.

Армирование колонн этажа под консольной частью во второй схеме требуется больше. В первой схеме требуется в сечение колонны 800х800 мм – 42,408 см^2, во второй – 25,26 см^2. Однако все вышележащие колонны во второй схемы нуждаются в меньшем армирование – 25,236 см^2, а в первой схеме в большем – 33,534 см^2.

Для армирования балок как консольного перекрытия, так и всех вышележащих этажей во второй схеме необходимо армирование примерно в два раза меньшее, чем в первой схеме (см. табл. 2).

Таблица 2 – Результаты армирования балок

	Площадь арматуры балок покрытия, см^2		Площадь арматуры балок консольного перекрытия, см^2	
	400×400	400×500	400×400	400×500
Схема 1	24,051	37,343	28,824	43,301
Схема 2	15,926	16,474	12,054	18,054

Таким образом, схема здания с плоскими плитами, объединенными в уровне первого консольного этажа железобетонными стенами, дает лучшие показатели по несущей способности, снижает металлоемкость перекрытия на 50%, обеспечивает требуемый уровень комфортности за счет уменьшения горизонтальных перемещений на 35%. Для подтверждения полученных данных необходимо провести исследования на расширенном списке объектов высотного строительства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Травуш В.И., Ковин Д.В. Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров) // Вестник ТГАСУ. №2. 2009. С 77-91.

2. Моисеенко М.О. Применение аутригерных систем высотных сооружений при строительстве // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. 2020. С. 689-672.

3. Liu Jin, Wenxuan Yu, Xiao Su, et al. Effect of cross-section size on the flexural failure behavior of RC cantilever beams under low cyclic and monotonic lateral loadings // Engineering Structures. 2018. № 156. С. 567-586.

4. Дежин М.А, Терещенко Д.Н, Зюганов Д.В, и др. Конструктивно-технологические особенности башни Capital Gate в ОАЭ – башни с самым большим наклоном в мире. // Лучшая студенческая статья 2018. 2018. С 75-79.

5. Ванкуверский «Утюг». // Высотные здания. г. Москва. 2012. №2. С 82-89.

6. Грузков А.А., Матвиенко В. Д., Солянник П.Е., Вернин Н. А. Консольные здания и их особенности // Инновации и инвестиции. 2020. №10.

УДК 624.074.5

Е.В. Стрепет, С.С. Зимин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИАГРИДНОЙ РЕШЕТКИ

Актуальность: в современном строительстве все чаще применяются архитектурные формы зданий и сооружений, которые трудно реализуются с помощью привычных конструкций. Поэтому набирают популярность диагридные решетки, представляющие из себя сетчатые оболочковые каркасы, которые позволяют реализовывать архитектурные решения практически любых форм. Данные конструкции являются несущими, они также известны как диагональные сетчатые оболочки (ДСО). Одним из главных и основных вопросов при проектировании диагридной решетки является выбор угла наклона ее элементов, от которого полностью зависит конфигурация и работоспособность конструктивной системы, а также, как следствие, экономические показатели. Таким образом, данный вопрос является актуальным.

Обзор литературы: в работе [1] автор рассматривает диагридные структуры применительно к высоким зданиям сложных форм. Вопросы предварительного проектирования и оптимизации конструкции изучаются в статье [4]. В научных работах [2, 3, 5] внимание уделяется различным вариантам проектирования диагридных решеток, узлов их сопряжения, а также приводятся примеры расчетов рассматриваемых конструктивных схем. В целом конструкции диагридных решеток, различные варианты их модулей, узлов сопряжения и области применения описаны в учебнике [6] и статьях [7, 8].

Цель работы – определить рациональный угол наклона элементов диагридной решетки в высотных зданиях. Для достижения поставленной цели в данной работе были рассмотрены 4 модели здания различной этажности: 24, 36, 48 и 60 этажей. Высота этажа в каждой модели принята 3,6 м. При этом в каждой модели были рассмотрены 4 варианта конструкции модулей диагридной решетки, представленных на рис. 1:

A. Двухэтажный модуль с углом наклона конструктивных элементов 50,2º;
B. Четырехэтажный модуль с углом наклона конструктивных элементов 67,4º;
C. Восьмиэтажный модуль с углом наклона конструктивных элементов 74,5º;
D. Двенадцатиэтажный модуль с углом наклона конструктивных элементов 82,1º.

План расположения конструкций одинаков для каждой модели, размеры этажа в плане 36×36 м, (рис. 2).

После расчета всех описанных выше моделей был произведен сравнительный анализ полученных результатов.

Максимальные перемещения моделей всех этажностей при использовании модулей типа A, B, и C примерно одинаковые, а при использовании модуля типа D перемещения заметно возрастают. Так, для здания высотой 216 метров (60 этажей) максимальные перемещения в первых трех случаях оказываются равными около 0,15 м, а в случае с двенадцатиэтажным модулем увеличиваются до 0,27 м.

Наибольшие поперечные усилия в конструктивных элементах возникают при использовании модуля на 12 этажей.

Расход стали и бетона представлен на рисунке 3.

Для рассмотренных моделей всех этажностей и при всех углах наклона возможно составить зависимость перемещений от угла наклона, рисунок 4.

Зависимость расхода материала от угла наклона конструктивных элементов показана на рисунке 5.

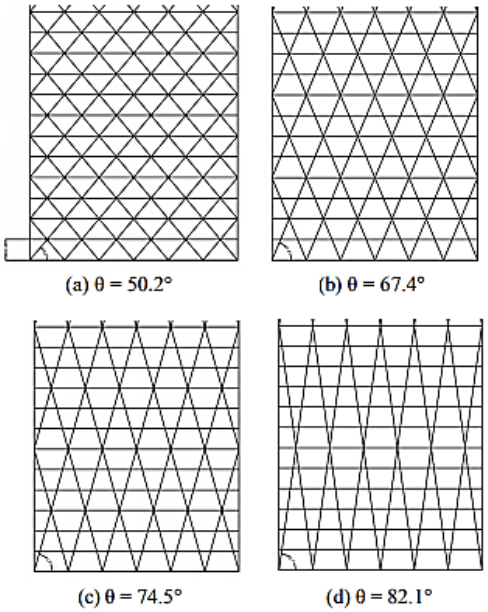


Рис. 1

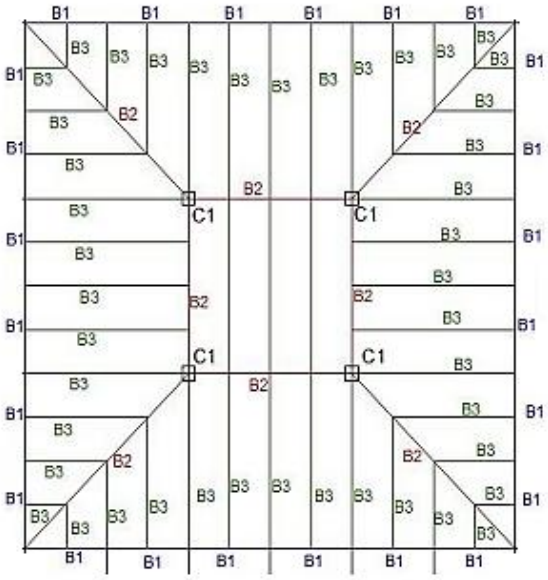


Рис. 2

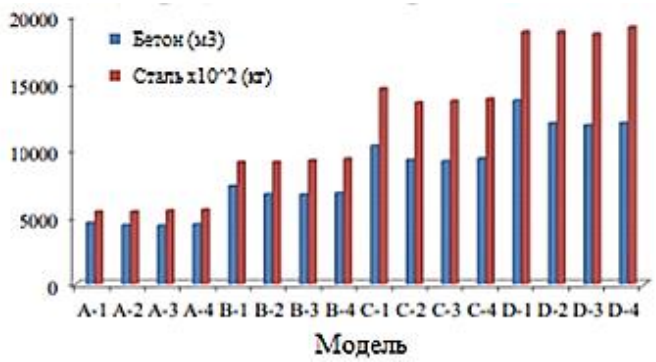


Рис. 3

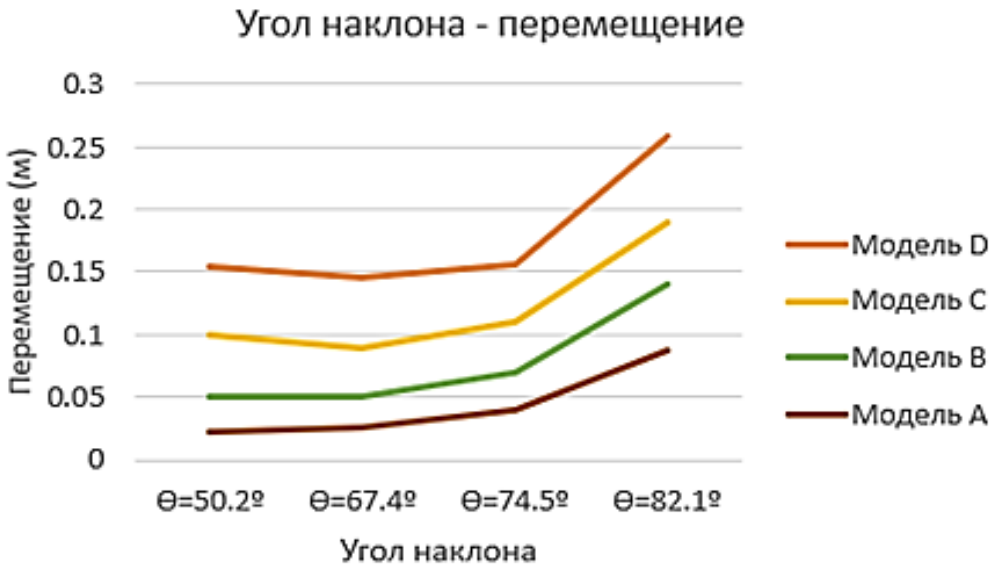


Рис. 4

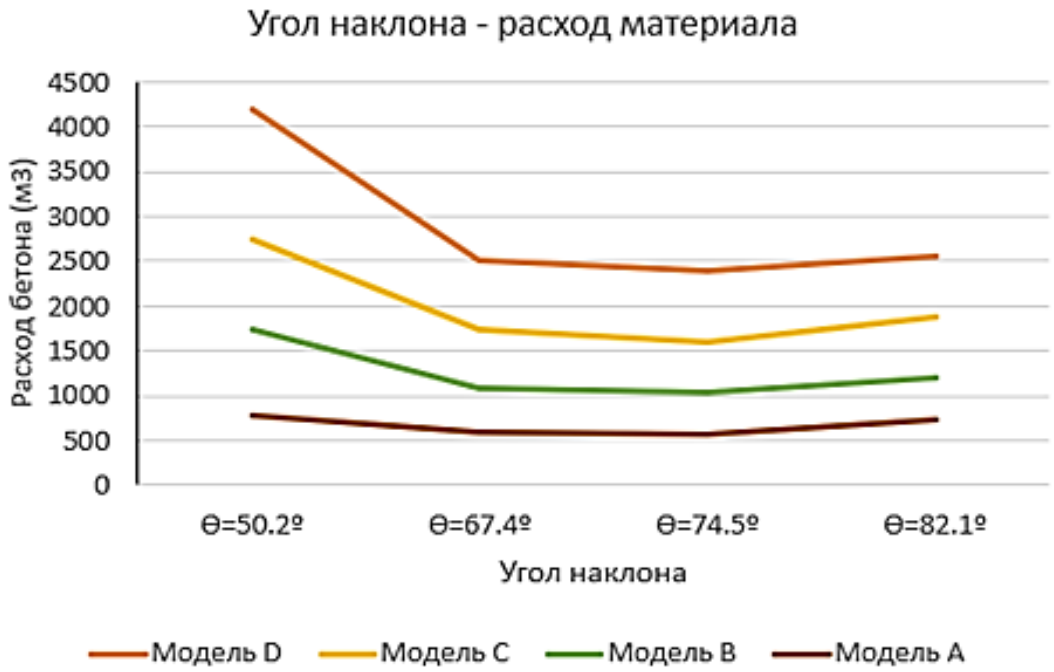


Рис. 5

Таким образом, из проведенного исследования четырех моделей с четырьмя различными углами наклона конструктивных элементов диагридной решетки можно сделать следующие выводы:

- Угол наклона элементов диагридной решетки в диапазоне 65-75º обеспечивает наибольшую жесткость системы, что влечет за собой меньшие перемещения;
- При наклоне решетки 65-75º расход материалов оказывается наиболее выгодным;
- При увеличении этажности угол наклона решетки 65-75º остается таким же эффективным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Moon K.S. Diagrid Structures for Complex-Shaped Tall Building, Published by Elesevier Ltd.
2. Jani K. and Patel P.V. Diagrid Structural System for High Rise Buildings. 26th Indian Engineering Congress (IEC 2011), Bangalore, 15-18 December 2011
3. Jani K. and Patel P.V. Analysis and Design of Diagrid Structural System for High Rise Steel Buildings. Published by Elesevier Ltd.
4. Moon K.S., Connor J.J. and Fernandez J.E. Diagrid Structural Systems for Tall Building: Characteristics and Methodology for Preliminary Design, Willey Interscience Publication
5. Chonghou Zhang, Zhao and Yansheng Liu, Diagrid Tube Structures Composed Of Straight Diagonals With Gradually Varying Angles. The Structural Design of Tall and Special Buildings 21, 283–295 (2012).
6. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В., и др.; под общей редакцией А.Р. Туснина / Проектирование металлических конструкций. Часть 2: Металлические конструкции. Специальный курс. Учебник для ВУЗов, Издательство «Перо», 2020 г., 436 с.
7. Семашкина Д.О., Змеева Т.В. Диагонально-сетчатые оболочки в качестве несущих систем зданий. Alfabuild 2 (9), с. 40-61 (2019)
8. Семашкина Д.О. Сетчатые оболочки в качестве каркаса невысотныз зданий, Строительство уникальных зданий и сооружений 1 (64), с. 36-49 (2018)

УДК 69.07

В.Т. Бондарь[1], Т.В. Назмеева[2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]НО «АРСС»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЛИСТОВ С-44-1.5, С-21-1.5, CIMC-D02-01A 1.6

Введение. В последнее время все сильнее развивается модульное строительство из металлических блок-модулей. По всему миру построены или строятся отели, апартаменты, поликлиники, казармы, общежития из блок-модулей.

Различают два вида блок-модулей: каркасного и стенового типа. Каркасный блок-модуль представляет из себя прямоугольный каркас, собранный из тонкостенных стержней. Стеновые блок-модули в большинстве своем представлены морскими контейнерами.

В настоящее время в России использование морских контейнеров в качестве блок модулей плохо развито, в том числе из-за сложного и трудоемкого расчета стенки контейнера, то есть профилированного листа, как несущего элемента.

Многие авторы занимались исследованием несущей способности как профилированных листов, так и легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в целом. Исследование несущей способности профилированных листов, а также рекомендации по численному моделированию профилированных листов указаны в работе В.Г. Низамеева, Ф.Ф. Башарова [1]. Изучая напряженно-деформированное состояние плит покрытий, состоящих из профилированного настила, подкрепленного шпренгельной системой, В.Г. Низамеев, Ф.Ф. Башаров исследовали влияние на несущую способность профнастила следующих факторов. Расстояние между профилированным настилом и шпренгельной системой, а также силы предварительного напряжения шпренгельной системы [2]. Аналитическая модель для расчета профилированных секций на сжатие с изгибом, а также методика проведения испытаний профилированных листов на сжатие с изгибом представлена в работе И.И. Ведяков, Д. В. Соловьев, А. И. Коваленко [3]. Для изгибаемого элемента подобная методика проведения расчета и испытаний предложена в [4]. Численные исследования стоек С-профиля с учетом начальных несовершенств описаны в статье [5] Т.В. Назмеевой.

Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния стенки контейнера, а именно профилированного листа путем сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния профилированных листов С-44-1.5 и С-21-1.5 с использующимся ныне в производстве профилированным листом CIMC-D02-01A 1.6X1116X2400 DV.

В качестве исследования были проведены численные эксперименты на центральное (осевое) сжатие профилированных листов С-44-1.5, С-21-1.5 и CIMC-D02-01A 1.6X1116X2400 DV с маркой стали С345. Численное испытание проводилось для участка стены длиной 2 м, высотой – 2,591 м, что соответствует высоте контейнера 1СС в соответствии с ГОСТ Р 53350-2009. На участки стены из профилированных листов задавалась одинаковая равномерно распределенная нагрузка. Равномерно распределенная нагрузка была представлена в виде совокупности сосредоточенных нагрузок, приложенных к центру тяжести одного гофра, откуда с помощью Rigid элементов нагрузка распределялась на узлы гофра. Расчетная схема стенки представляет собой профилированный лист, жестко защемленный снизу, подвижно заделан сверху, по бокам закрепление по оси X.

Расчет проводился в ПК Femap Nastran NX. Исследования были проведены в две стадии. В первой стадии расчеты выполнялись в упруго линейной постановке в режиме «Buckling» при постоянной нагрузке на элементы. В результате исследования было получено 5 форм

потери устойчивости стенки (нас интересует только 1 форма), а также определены коэффициенты запаса устойчивости βi, и критические усилия, возникающие в стенке. Потеря устойчивости элементов стенки происходила до потери прочности элемента стенки.

Для стенки из профилированного листа С-44-1.5 характерна потеря местной устойчивости полки профлиста с коэффициентом запаса устойчивости β_1 = 4,089013. Форма потери устойчивости элементов стенки, а также значение коэффициента β_1 приведено на рисунке 1.

Для стенки из профилированного листа С-21-1.5 характерна потеря общей устойчивости профлиста с коэффициентом запаса устойчивости β_1 = 1,741568. Форма потери устойчивости элементов стенки, а также значение коэффициента β_1 приведено на рисунке 2.

Для стенки из профилированного листа CIMC-D02-01A 1.6 характерна потеря местной устойчивости профлиста с коэффициентом запаса устойчивости β_1 = 2,332016. Форма потери устойчивости элементов стенки, а также значение коэффициента β_1 приведено на рисунке 3.

В большинстве своем потеря устойчивости элементов происходила у краев стенок, что может быть связано с граничными условиями, заданными по краям стенок. Это значит, что требуется более детальное изучение вопроса, в том числе моделирование в нелинейной подстановке.

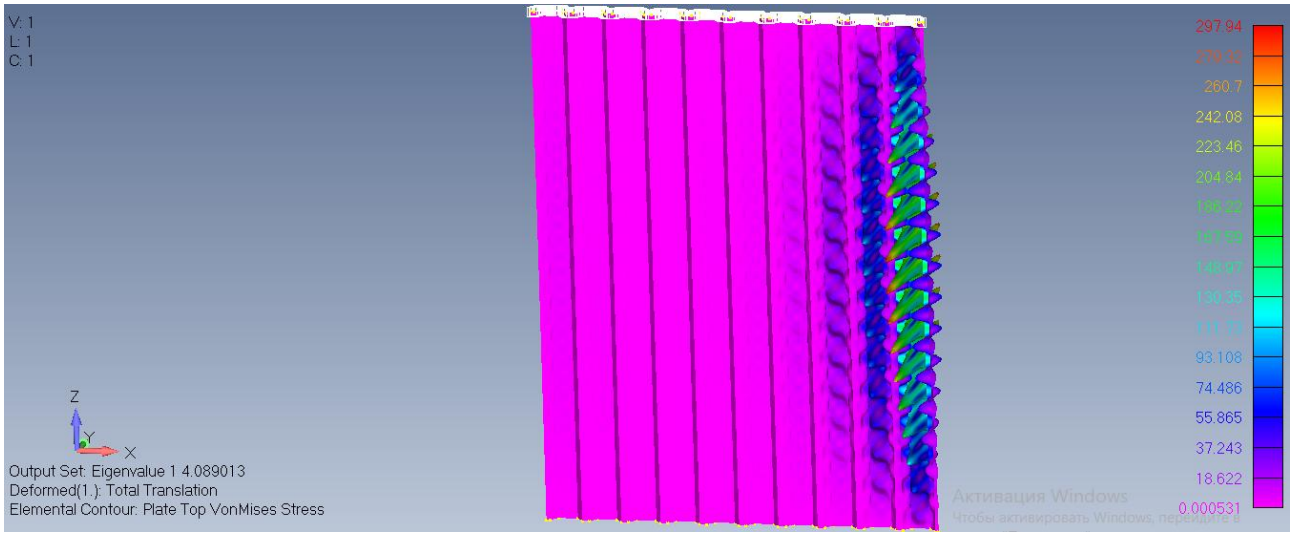


Рис. 1. Первая форма потери устойчивости стенки профиля С-44-1.5

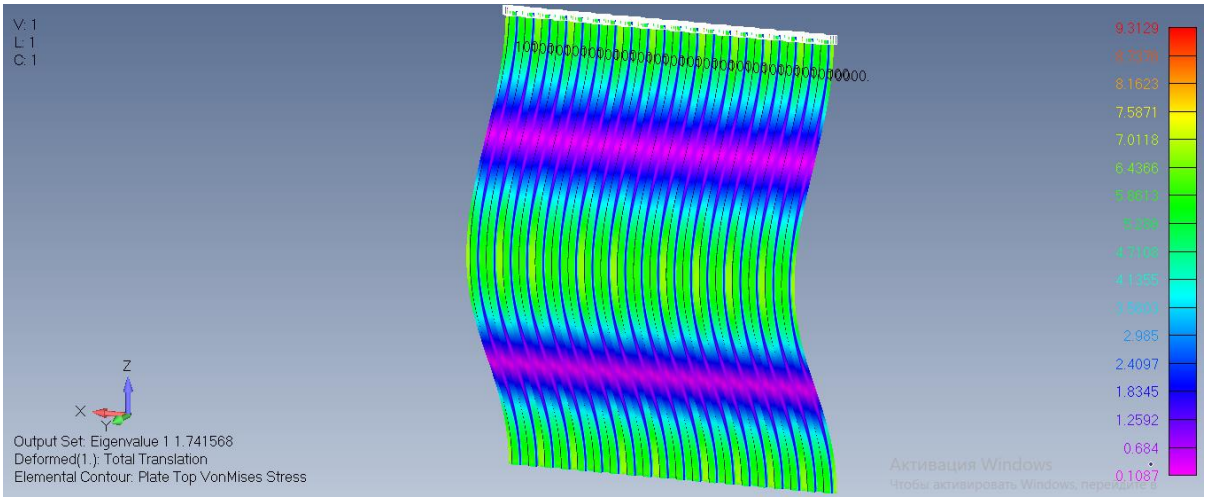


Рис. 2. Первая форма потери устойчивости стенки профиля С-21-1.5

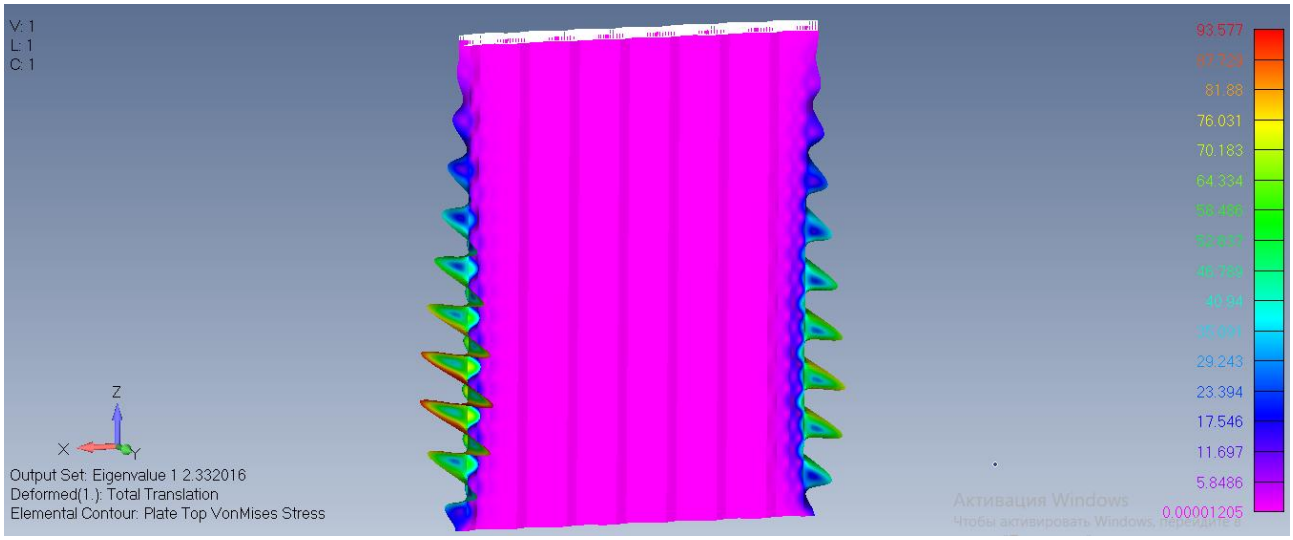


Рис. 3. Первая форма потери устойчивости стенки профиля CIMC-D02-01A 1.6

Профилированные листы С-44-1.5, С-21-1.5 представлены как новый вид профилированных листов, размеры которых, за исключением толщины, совпадают с размерами по ГОСТ 24045-2016. Данные профлисты изготовляются на заводах как не стандартные изделия. Профилированный лист CIMC-D02-01A 1.6X1116X2400 DV представлен в соответствии с документом ISO DRY CONTAINER REPAIRING SPARE PARTS CATALOG 2019 Edition; данный документ представляет собой каталог деталей морского контейнер по ГОСТ Р 53350-2009 (ИСО 668:1995).

Выводы. По результатам проведенных численных экспериментов на осевое (центральное) сжатие различных профилированных листов стенки контейнера, наиболее устойчивой является стенка из профилированного листа С-44-1.5. Учитывая все вышеперечисленное имеется острая необходимость в проведении дополнительных расчетов и исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Низамеев В.Г., Башаров Ф.Ф. Исследование несущей способности профилированного настила при внецентренном сжатии с учетом закритической его работы // Известия Казанского Государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 95–101

2. Низамеев В.Г., Башаров Ф.Ф. Исследование несущей способности профилированного настила подкрепленного шпренгельной системой // Известия Казанского Государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 6(84). С. 76–81

3. Ведяков И.И., Соловьев Д.В., Коваленко А.И. Расчет тонколистовых профилированных секций с двойным гофрированием на сжатие с изгибом // Вестник НИЦ Строительство. 2019. № 2 (21). С. 5–14.

4. Ведяков И.И., Соловьев Д.В., Арменский М.Ю. Теоретические и экспериментальные исследования новых марок профилированного настила // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2 (211). С. 72–74.

5. Назмеева Т.В., Ватин Н.И. Численные исследования сжатых элементов холодногнутого просечного С-профиля с учетом начальных несовершенств // Инженерно-строительный журнал. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. № 62. С. 92–101.

УДК 629.039.58

Ф.А. Бабаев, Е.В. Зданчук
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В СП 20.13330.2016 окружающая застройка вносит вклад в ветровую нагрузку при определении типа местности, что в дальнейшем влияет на определение коэффициента k и ζ. Чтобы для заданного случая определить тип местности, необходимо, чтобы данная застройка сохранялась на расстоянии 30h от исследуемого здания, однако, на вопрос о том какой тип местности следует определять в случае расположения одного перекрывающего здания подходящего под тип местности B или C однозначного ответа нет. В данной работе исследована частная задача о влиянии на значения давлений одного здания, при расположении другого здания с наветренной стороны. Данный эксперимент был произведен в аэродинамической трубе [1,4], в данной работе были получены аналогичные векторы скорости в областях обтекания зданий и в пространстве между ними.

Цель работы – выявить применимость СП при расчете ветровых нагрузок при наличии перекрывающего здания с наветренной стороны.

Задачами работы является выявить изменения давлений на целевом здании при различном расположении окружающей застройки, вычислить данные значения по нормативам, произвести сравнение результатов.

В работе было рассмотрено целевое здание высотой H = 60 м, здание с наветренной стороны имело высоту h1 = H/4, h2 = H/2, h3 = 3H/4 и располагалось на расстояниях H/2, H, 3H/2, 2H от целевого. В дальнейшем случаи будут описываться, как l_h, где l – расстояние между зданиями, а h – высота нецелевого здания (рис. 1).

Входным граничным условием является скорость набегающего потока, заданная по показательному закону. Была принята модель турбулентности k-w как наиболее подходящая для такого типа задач [2-3]. Выходное граничное условие было задано нулевым давлением.

Сетка конечных элементов была задана в количестве ≈ 630 000 элементов четырехугольной формы. Минимальный размер элемента (на здании) равен H/120 (рис. 2).

На рис. 3 приведены характерные линия тока в поставленной задаче. Участок AC характеризует разделяющую линию тока, выше нее располагается оторвавшийся ПС (пограничный слой), а ниже область рециркуляции. Плохая обтекаемость здания создает достаточно высокий пограничный слой, ввиду чего при увеличении высоты здания (рис. 4) поток будет огибать целевое здание. На рис. 4 также приведены значения давлений, посчитанные по СП 20.13330.2016 для типов местности B и C.

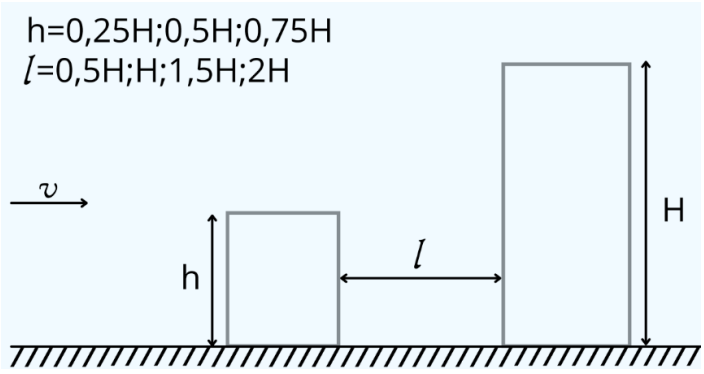


Рис. 1

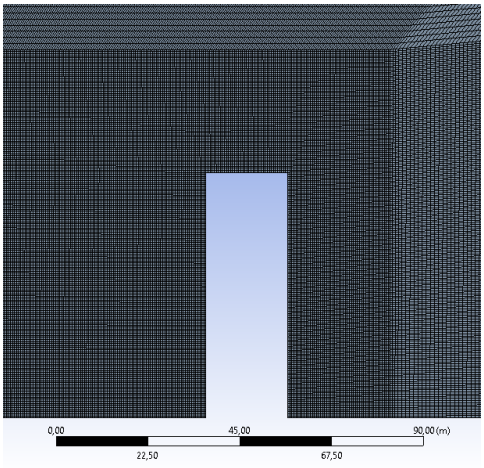


Рис. 2

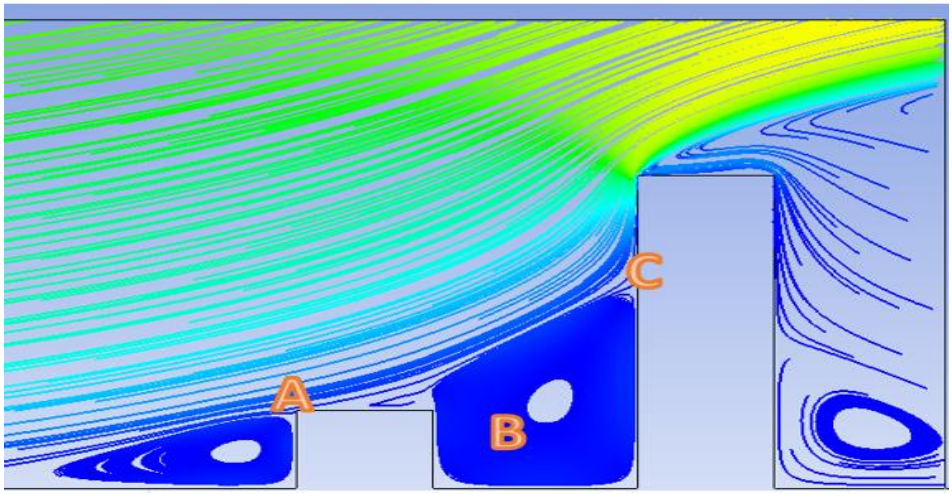


Рис. 3



Рис. 4

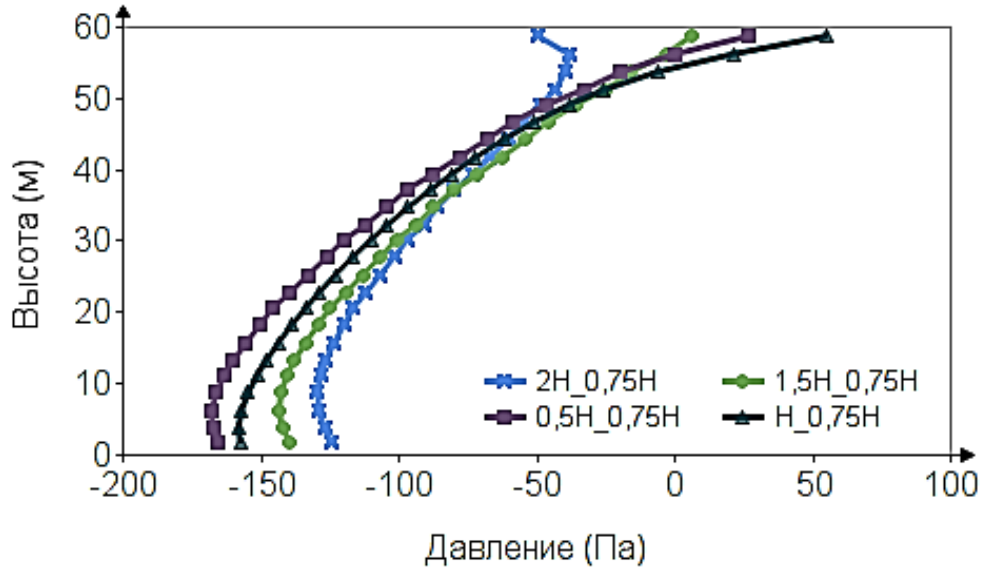


Рис. 5

По результатам расчетов было выявлено:

1. При увеличении l, давления на целевом здании равномерно убывают;
2. Для высот 0,5H, 0,25H значения численного моделирования согласуются с результатами СП для типов местности B и C;
3. Для высот 0,75H значения давлений ниже данной отметки будут принимать отрицательные значения, что расходится с СП, в котором набегающий поток всегда создает положительные давления на фасаде (рис. 5). Данная и ряд других работ показывают некорректность использования СП в таких случаях, и как следствие необходимость проведения численного моделирования или эксперимента в аэродинамической трубе [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. 1984 г. – 295 с.
2. Белостоцкий, А.М. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства Учебное пособие. / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева – М. : Издательство АСВ, 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4323-0217-5.
3. Филатов Е.Ю. Методы и комплекс программ для расчета ветровой нагрузки на здания и сооружения : диссертация ... кндидата технических наук : 05.13.18 / Филатов Евгений Юрьевич; [Место защиты: Иван. гос. энергет. ун-т]. – Иваново, 2008. –- 141 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/64.
4. Поддаева О.И., Егорычев О.О., Нагорнова Ж.И. Влияние точечного высотного строительства на аэродинамические характеристики существующей застройки // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 1. Ст. 2. С.1-13.
5. Дорошенко С.А., Дорошенко А.В., Орехов Г.В. Определение ветровой нагрузки на трехмерные конструкции с помощью моделирования в аэродинамической трубе// Вестник МГСУ. 2012. № 7. С. 69-74.

УДК 69.07

А.В. Галямичев, М.В. Бабаев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФАСАДНЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В современном строительстве огромную роль играет внешний облик здания, именно он создает визуальное восприятие объекта. Поэтому в последнее врем все большую популярность завоевывают навесные светопрозрачные фасадные системы [1]. Особое применение они находят в высотном строительстве, имея перед другими системами ряд преимуществ таких, как: легковозводимость, простота эксплуатации, экономичность, экологичность, обеспечение необходимого уровня естественной освещенности.

На сегодняшний день на территории России эффективное применение навесных фасадных систем осложняется несовершенностью нормативной документации в данной области. Об этом неоднократно упоминается в различных конференциях и статье [2] А.В. Галямичева. Для того чтобы НФС отвечала требованиям в процессе эксплуатации, необходимо её правильное проектирование. Поэтому, зачастую, многим проектировщикам приходится обращаться к регламентирующим документам зарубежных стран.

Далее в данной статье будет произведено сравнение и анализ российских и зарубежных требований к проектированию навесных светопрозрачных фасадных систем. А также на примере данных требований будет представлен сравнительный расчет конструкции стоечно-ригельного фасадного остекления.

С развитием отрасли изготовления фасадных систем развивается и нормативно-техническая база. Было проведено исследование российских и зарубежных требований, результаты которого сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Допустимые прогибы от действия нагрузки для конструктивных элементов фасада

	Вертикальные стойки	Ригели
СП 426.1325800.2018	l/200, где l – расстояние между ближайшими опорами	l/200, где l – расстояние между ближайшими опорами
СНиП 2.03.06-85	При одинарном остеклении: l/200	При одинарном остеклении: l/200
	При остеклении стеклопакетами: l/300	При остеклении стеклопакетами: l/300
Еврокод DIN 18008	Максимальный прогиб l_x = l/200 Для диапазона >3000 мм: l/300+5 мм	Максимальный прогиб l_x = l/200 Для диапазона >3000 мм: l/300+5 мм
		Максимальный прогиб l_y = l/200

Таблица 2 – Допустимые прогибы от действия нагрузки для одинарного светопрозрачного заполнения

	Стекло
ГОСТ 24866-2014. Стеклопакеты клееные.	Прогиб листовых стекол не должен превышать 1/100 наименьшей стороны
ГОСТ Р 56926-2016. Конструкции оконные и балконные	Предельный прогиб стеклянной пластины в центре пролета: $F_{ст} \leq$ l/300
Еврокод DIN 18008	Не более 50 мм. Также – максимальный прогиб края стекла: l/100, но фактически – l/200, в силу требований по жёсткости ригеля

Необходимо отметить, что вопрос прогибов играет существенную роль на выбор сечения профиля конструкций [3]. Таким образом возникает неопределённость в корректном расчете данных конструкций.

Как видно из таблицы 2, проектирование светопрозрачных заполнений может производится несколькими возможными алгоритмами, что может, в конечном итоге, являться причиной некачественного выполнения изделий.

Цель работы: оценка эффективности применения нормативной документации (табл. 1 и 2) к расчету фасадных конструкций на примере подбора стойки в составе стоечно-ригельной системы остекления.

Стоечно-ригельная система остекления фасадов (рис. 1.) является самой распространённой на сегодняшний день [4], благодаря универсальности и удобства ее монтажа. Исходя из приведённого в данной статье анализа нормативной литературы встает вопрос, касающийся статического расчета каркаса фасадного остекления.



Рис. 1. Стоечно-ригельная система остекления

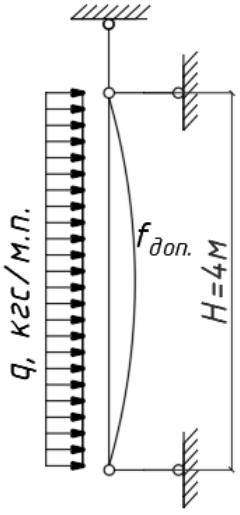


Рис. 2. Расчетная схема

Рассмотрим практическое применение данных требований к расчету стойки [5], расчетная схема которой приведена на (рис. 2.) Стоечный профиль выбирается по моменту инерции сечения, исходя из указанных условий допустимого прогиба (см. табл. 1):

$$f_{\text{факт}} \leq f_{\text{доп}}, \tag{1}$$

где $f_{\text{факт}}$ – фактический прогиб для однопролетной стойки шарнирного закрепления:

$$f_{\text{факт}} = \frac{5}{384}\frac{qH^4}{EJ_{\min}}, \tag{2}$$

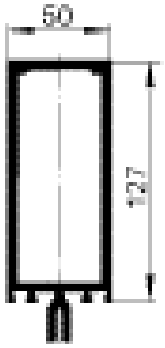
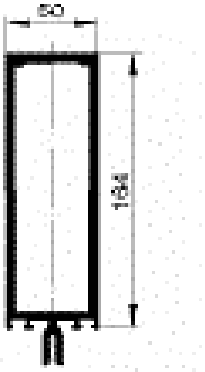
где q – распределенная нагрузка на стойку от действия ветровой нагрузки; E – модуль упругости алюминия, при температуре эксплуатации от -40 до +50°С, $E = 7{,}1 \cdot 10^5 \text{кгс/см}^2$; $f_{\text{доп}}$ – допустимый прогиб стойки.

Подберем алюминиевый профиль стойки по каталогу «АГ50» – алюминиевый профиль и комплектующие для фасадного остекления (см.табл.3), который будет удовлетворять условию:

$$I_{\text{ос}} \geq I_{\text{расч}}, \tag{3}$$

где $I_{\text{ос}}$ – момент инерции профиля относительно оси по каталогу; $I_{\text{расч}}$ – требуемый расчётный момент инерции относительно оси.

Таблица 3 – Подбор сечений стойки по второму предельному состоянию от действия ветровой нагрузки

Сечение стойки по результатам расчета	
$I_1 \geq 234{,}74$ см^4 (По СП 426.1325800.2018) АГ 5001-04 I_{oc} = 238 см^4	$I_2 \geq 256{,}54$ см^4 (По Еврокоду DIN 18008) АГ 5001-05 I_{oc} = 484 см^4
	

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время нет определенного алгоритма по расчету светопрозрачных фасадных систем, это наглядно показывают результаты, приведенные в (табл. 1, 2 и 3). Поэтому обозначается ряд вопросов к существующей нормативной документации. Необходимо более детально рассмотреть расчет конструкций по величине предельно допустимых деформаций, так как эти положения напрямую влияют, как на экономическую составляющую строительства, так и на безопасность эксплуатации будущего объекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галямичев А.В. Конструктивная и расчетная схема светопрозрачных конструкций // Интернет-журнал «Науковедение» Светопрозрачные конструкции, №5 (2015)
2. Галямичев А.В. Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №2 (2015)
3. Галямичев А.В. Ветровая нагрузка и ее действие на фасадные конструкции//Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений», 2017, стр.44-57
4. Магай А.А., Дубынин Н.В. Светопрозрачные фасады высотных многофункциональных зданий// Вестник МГСУ, 2/2010.
5. Захаров А.А., Зонина С.В. Особенности проектирования светопрозрачных фасадов и покрытий зданий с самонесущим каркасом из алюминиевых прессованных профилей// Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация, №2(85), 2020.

УДК 692.522.2

Р.С. Фисенко, С.С. Зимин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

В работе производится сравнительный анализ двух вариантов конструкции железобетонного перекрытия подземного паркинга высотного административного здания. Первый вариант конструкции – балочное монолитное перекрытие, второй – кессонное перекрытие. Сравниваются такие показатели, как: расход бетона, расход арматуры и общая стоимость конструкции перекрытия.

В настоящее время отмечается значительный рост строительства монолитных многоэтажных высотных зданий и сооружений. Ввиду этого, одним из главных вопросов при проектировании и строительстве зданий повышенной этажности является поиск способов

облегчения конструкций перекрытий. Решив этот вопрос, мы можем обеспечить наибольшую эффективность, надежность, экономичность и долговечность конструкций зданий.

Так, А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий, М.В. Лазнюк, С.В. Юсипенко пришли к выводу, что применение кессонных перекрытий позволяет снизить расход бетона на 40-70% и сэкономить арматуру в 2,5-3,5 раза по сравнению с традиционными балочными и безбалочными монолитными железобетонными перекрытиями [1]. Так же, применение кессонного перекрытия сокращает срок возведения зданий и сооружений за счет меньшего кол-ва вертикальных несущих элементов и за счет более быстрого оборота опалубки перекрытий, об этом говорит в своем пособии Р.А. Сагадеев [2].

Цель работы – определить наиболее оптимальную конструкцию железобетонного перекрытия паркинга высотного административного здания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Смоделировать каждый тип перекрытия и произвести расчет в ПК ЛИРА-САПР;
- Определить расход арматуры и бетона по каждому типу перекрытия;
- Рассчитать общую стоимость конструкции перекрытия каждого типа;
- Сравнить полученные результаты;
- Выбрать наиболее оптимальный тип перекрытия.

Исходные данные: конструктивная схема здания – смешанная. Несущими элементами здания являются: буронабивные сваи, фундаментная плита, стены паркинга и лифтового-лестничного узла, колонны, балки, плиты перекрытия и покрытия. Шаг колонн – 6×6 м, размеры колонн в паркинге – 800×800 мм. Применяемые материалы: бетон – В35, арматура – А500С, А240.

Первый вариант конструкции перекрытия паркинга – балочное монолитное перекрытие. Это тип перекрытия, при котором вертикальная составляющая нагрузки воспринимается плитой и горизонтальными ригелями (балками), опирающиеся на колонны. Балки устроены в двух направлениях по основной сетке колонн. Толщина плиты перекрытия – 300 мм, размеры балок: высота – 600 мм, ширина – 400 мм. Общий вид балочного перекрытия представлен на рис. 1.

Результаты побора арматуры в плите перекрытия:

- верхнее фоновое армирование – Ø16 А 500С, шаг 200 мм;
- верхнее усиление – Ø16, Ø22 А 500С, шаг 200 мм;
- нижнее фоновое армирование – Ø16 А 500С, шаг 200 мм;
- нижнее усиление – Ø16 А 500С, шаг 200 мм.

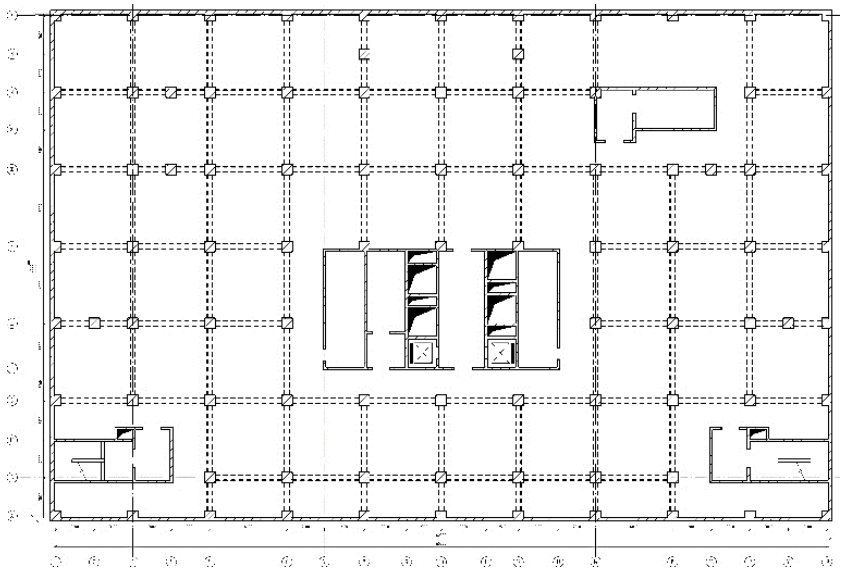


Рис. 1. Балочное перекрытие

Результаты подбора арматуры в балке: верхнее армирование – 4 Ø25 А 500С; нижнее армирование – 4 Ø20 А 500С; поперечное армирование – хомуты Ø12 А 240.

Расход материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расход материалов на балочное перекрытие

	Плита перекрытия	Балки	Всего
Арматура А 500С, т	89,38	16,32	105,7
Арматура А 240, т	-	4,4	4,4
Бетон В35, м^3	762,86	56,71	819,57

Второй вариант конструкции перекрытия – кессонное перекрытие. Кессонное перекрытие представляет собой часторебристую монолитную железобетонную конструкцию, отличительной особенностью которой является наличие взаимно перпендикулярных ребер одинаковой высоты, расположенных равномерно с одинаковым шагом в обоих направлениях и связанных между собой сплошной минимально возможной толщины полкой, армированной одной сеткой. При этом основную несущую способность обеспечивают ребра, а полка необходима в первую очередь для передачи распределенных нагрузок на ребра и уже во вторую очередь используется для увеличения прочности и жесткости перекрытия.

Для кессонного перекрытия высота балок-ребер должна составлять не менее 1/20 пролета [3]. Принимаем высоту балок 300мм, ширина 180 мм. Оптимальный шаг ребер в данном случае равен 1,5 м. Толщина плиты перекрытия (полки) выбирается исходя из обеспечения защитного слоя 25 мм и принята 80 мм.

Одним из самых ответственных участков кессонного перекрытия является место опирания на вертикальные конструкции. Т.к. кессонные перекрытия в основной своей массе используются как плоские безбалочные никаких выступающих частей за нижнюю грань ребер типа балок и капителей нет. В местах опирания на вертикальные конструкции перекрытия выполняются сплошными – без пустот. В районе опоры достаточно устраивать сплошной монолитный участок на расстояние не более 1 шага ребер [4]. В таком случае для восприятия поперечных сил как правило достаточно поперечной арматуры ребер, которые проходят в данном месте[5]. Общий вид кессонного перекрытия представлен на рис. 2.

Результаты подбора арматуры в плите перекрытия – Ø 12 А 500С, шаг 200 мм;

Результаты подбора арматуры в ребрах:

- в верхней зоне 2 стержня Ø 28 А 500С;
- в нижней зоне 2 стержня Ø 28 А 500С;
- в качестве поперечной арматуры подобраны прямоугольные хомуты Ø12 А240.

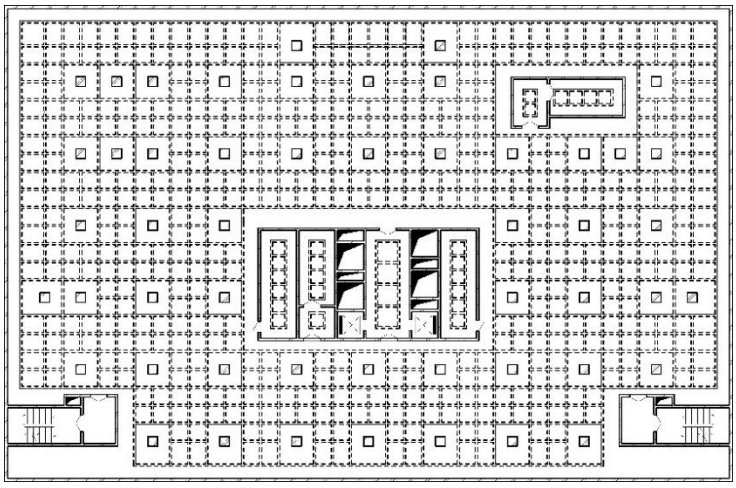


Рис. 2. Кессонное перекрытие

Расход материалов на кессонное перекрытие представлен в таблице 2.

Таблица 2

	Плита перекрытия	Ребра	Всего
Арматура А 500С, т	16,6	39,76	56,36
Арматура А 240, т	-	15,16	15,16
Бетон В35, м^3	168,26	331,44	499,7

Общий расход арматуры и бетона и общая стоимость конструкции перекрытия каждого типа представлены в таблице 3.

Таблица 3

	Балочное перекрытие	Кессонное перекрытие
Арматура А 500С, т	105,7	56,36
Арматура А 240, т	4,4	15,16
Бетон В35, м^3	819,57	499,7
Стоимость, тыс. руб.	8411	5111

Выводы:

1. Минимальный расход бетона достигнут при кессонном типе перекрытия и составил 499,7 м^3. Использование кессонного перекрытия сокращает расход бетона по сравнению с балочным на 39%.
2. Минимальный расход арматуры достигнут при кессонном типе перекрытия и составил 56,36 т. Использование кессонного перекрытия сокращает расход арматуры по сравнению с балочным на 47%.
3. Минимальная общая стоимость конструкции перекрытия достигнута при кессонном типе и составила 5 111 тыс. руб. Использование кессонного перекрытия сокращает затраты на материалы по сравнению с балочным на 39%.

Таким образом, использование кессонного перекрытия является наиболее оптимальным с точки зрения материалоемкости конструкции. Благодаря этому фактору снижается общая стоимость конструкции, а также снижается нагрузка от собственного веса перекрытия, что в свою очередь снижает нагрузку на колонны и сваи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., и др. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2004. – 106 с.
2. Сагадеев Р.А. Современные методы возведения монолитных и сборно-монолитных перекрытий. Учебное пособие. Москва – 2008 г. – 136 с.
3. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Оптимизация железобетонной плиты перекрытия по критерию минимальной стоимости с учетом анализа риска. – Промышленное и гражданское строительство №9, 2014. – 19-22 с.
4. Бабалич В.С., Гаевский С.К., Жиденко А.С. Способы оптимизации конструкции часторебристых перекрытий. – Вестник науки и образования №4, 2017. – 24-30 с.
5. Якимова Е.И., Драцкая А.И., Скворцова А.А. Оптимизация арматурного перекрытия в строительных конструкциях. Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых», 2017. 187-189 с.

УДК 624.048

Е.Н. Быков, Е.С. Недвига
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МОДЕЛИРОВАНИЯ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Введение. При проектировании свайных фундаментов важной частью расчета является выбор способа их моделирования, который максимально реалистично отображает работу конструкции. Как правило, в проектных организациях учитывают совместную работу сваи и грунтового основания только при расчетах на вертикальную нагрузку. При этом отпор грунта по боковой поверхности сваи при действии горизонтальных нагрузок не учитывается. В связи с этим возникает вопрос о необходимости более детального моделирования работы свайного фундамента и его влиянии на результаты расчетов.

Цель работы: определение напряженно-деформированного состояния свайного фундамента при его взаимодействии с грунтовым основанием.

В данной работе рассматриваются два метода, описанные в СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». В первом методе свая рассчитывается как жестко защемленный в грунте стержень в сечении, расположенный на определенном расстоянии от подошвы ростверка, рассчитываемом по формуле 7.1 СП 24.13330.2011. Этот способ позволяет произвести упрощенный расчет сваи по материалу. Во втором методе свая моделируется по всей длине с заданием коэффициентов постели, возрастающих линейно с глубиной. Данный способ позволяет как произвести расчет сваи по материалу, так и проверить устойчивость грунта, окружающего сваю [1,2]. Принципы построения дискретной модели свайного куста, учитывающие жесткость ростверка, рассмотрены в монографии Д.М. Шапиро [3].

В качестве исходной модели принята конечно-элементная модель проектируемого офисного здания. Место строительства – г. Санкт-Петербург. Несущие конструкции представляют собой монолитный железобетонный каркас. Конструктивная схема – каркасно-стеновая. Фундамент – свайный, объединенный монолитным железобетонным ростверком. Высота здания – 81 м, глубина подошвы ростверка – -9,7 м, длина сваи составляет 31,6 м от поверхности земли. Сваи – буронабивные диаметром 620 мм с использованием винтового теряемого наконечника по технологии Fundex. Грунты, залегающие ниже подошвы ростверка представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики грунтов основания

№ ИГЭ	Наименование пород	Мощность слоя, м	φ,°	I_L	e	E, МПа
5	Суглинки текучие с примесью органических веществ	1,5	13	1,19	0,807	6
6	Суглинки текучие неясно слоистые	2,6	11	1,10	0,819	5
7	Глины текучие ленточные	4	7	1,20	1,254	3
8	Суглинки текучепластичные слоистые	1	9	0,93	0,863	7
9а	Пески пылеватые плотные	0,7	34		0,489	27
9	Супеси пылеватые пластичные, с гравием и галькой до 10%	1,4	22	0,33	0,470	13
10	Суглинки тугопластичные, с гравием и галькой до 10%	7,7	17	0,33	0,591	12
13	Глины легкие пылеватые твердые, дислоцированные	1,9	15	-0,26	0,514	22
14	Глины легкие пылеватые твердые	0,5	16	-0,37	0,460	30

Рассмотрим первый способ расчета сваи по упрощенной схеме. Согласно формуле (7.1) СП 24.13330.2011 расчетная длина сваи составляет 4,7 м при коэффициенте деформации, равном 0,426, рассчитываемому по приложению В СП 24.13330.2011 свая моделируется одним конечным элементом с жесткой заделкой в ростверк и жестким закреплением по основанию.

Рассмотрим второй способ расчета, описывающей взаимодействие сваи и упругого основания. Расчетная схема сваи основывается на методе местных упругих деформаций с треугольной формой распределения коэффициента постели и допущении об условной ширине сваи, отражающей пространственные условия взаимодействия с грунтом. Иными словами, условная расчетная ширина сваи – это ширина условной стенки, эквивалентной свае по взаимодействию с грунтом.

Силовое взаимодействие сваи и грунта основания описывается функцией коэффициента постели C_z в соответствии с уравнением

$$C_z = Kz,$$

где K – коэффициент пропорциональности с размерностью кН/м^4, принимаемый по таблице В1 СП 24; z – координата длины сваи, отсчитываемая от поверхности основания. Коэффициент постели выражает отношение контактных давлений σ_z и совместных горизонтальных перемещений y_z сваи и грунтового основания [3]:

$$C_z = \sigma_z / y_z.$$

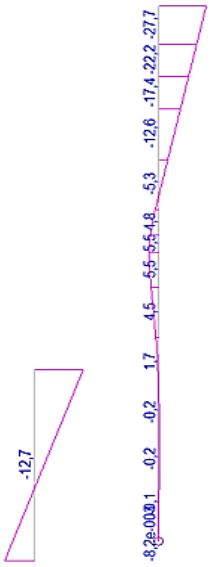


Рис. 2. Изгибающие моменты в сваях при жесткой заделке (слева) и заданных коэффициентах постели (справа)

Свая разбивается на отрезки по высоте, соответствующие каждому слою грунта. В соответствии с приложением В СП 24.13330.2011 определяются коэффициенты постели для каждого инженерно-геологического элемента и назначаются соответствующему отрезку сваи. Коэффициенты постели вычислены для стержневых конечных элементов по направлениям местных осей Y_1 и Z_1, с указанием в поле «Ширина площадки опирания» приведенного условной ширины сваи. Для 5 верхних стержней коэффициенты постели не заданы ввиду высокой текучести грунтов. Расчетная модель сваи с заданными коэффициентами постели представлена на рис. 1.

При расчете свай на совместное действие вертикальной и горизонтальной сил и момента для определения коэффициентов постели используется понижающий коэффициент a_i, учитывающий взаимодействие свай в кусте. Учет влияния свай в группе по горизонтали основан на работах К.С. Завриева [4]. В нашем случае при числе свай в кусте, равном 4 и шаге свай, равном трем диаметрам, понижающий коэффициент a_i равен 0,626.

По острию сваи вводится 51-й элемент, моделирующий упругую работу основания, равный отношению несущей способности сваи к рассчитанной осадке.

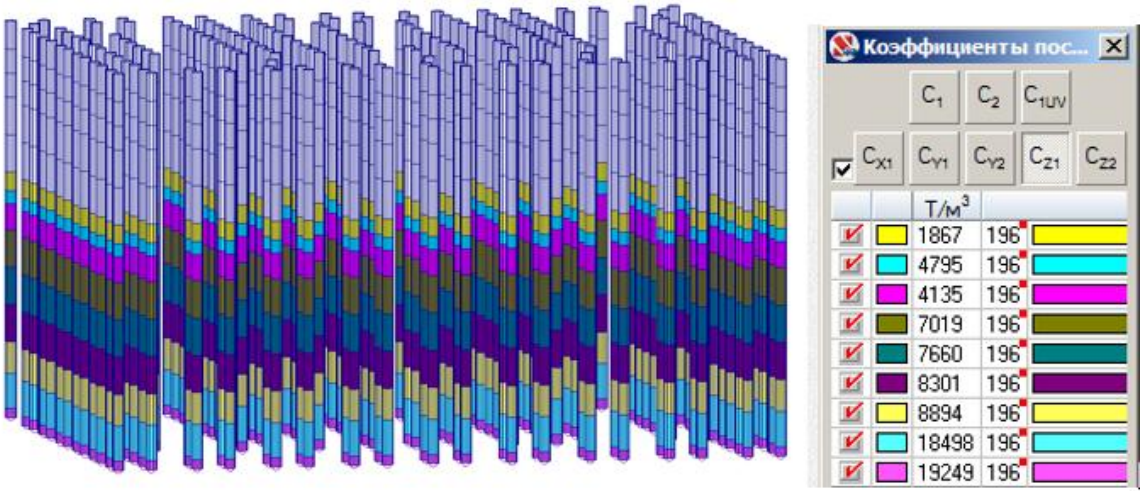


Рис. 1. Сваи с заданными коэффициентами постели

Далее выполняется статический расчет модели. При жестком опирании сваи максимальные изгибающие моменты M_y и M_z в сваях составляют 12,7 и 10,3 тс·м (рис. 2). Максимальный изгибающий момент колонне второго подземного этажа составляет 9,1 тс·м. Перемещение ростверка сонаправленно ветровой нагрузке составляют 0,4 мм. При задании коэффициентов постели значительно возрастает значение момента в узле заделки сваи в ростверк до 29,5 и 27,7 тс·м для M_y и M_z соответственно (рис. 2). Увеличивается и момент в колонне второго подземного этажа до 56 тс·м. Также возрастает значение горизонтального перемещения ростверка до 5,5 мм. И в первом, и во втором случае экстремальные значения моментов характерны для крайних рядов свай, для которых необходимо учитывать «эффект краевой сваи» [5].

Выводы. Проанализирована работа свай в двух вариантах: при жесткой заделке на расстоянии расчетной длины от подошвы ростверка и при моделировании по всей длине с заданием коэффициентов постели. Выявлено, что второй способ выдает более высокие значения моментов в сваях (увеличение в 2,3 раза), колоннах второго подземного этажа (увеличение в 6,2 раза), а также наблюдается рост перемещений ростверка (увеличение в 13,7 раз). Так как второй способ подробнее реализует взаимодействие сваи с грунтами основания, целесообразно использовать данный метод при расчете свайных фундаментов по материалу и здания в целом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «основание – сооружение» при неравномерных деформациях основания: в 2 т. Т. 1. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 416 с.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – 4-е изд. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.
3. Шапиро Д.М. Теория и расчетные модели оснований и объектов геотехники. – М.: Изд-во АСВ, 2016. 80 с.
4. Рекомендации по расчету фундаментов глубокого заложения опор мостов /К.С. Завриев, Г.С. Шпиро, Н.М. Глотов [и др.]. – М.: Ротапринт ЦНИИС, 1970. – 95 с.
5. Эффект краевой сваи и его учет при расчете плитного ростверка / В.П. Петрухин, С.Г. Безволев, О.А. Шулятьев, А.И. Харичкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2007. – No 11. – С. 90–97.

УДК 69.04

Д.Ю. Буланчик, В.В. Лалин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НАЗНАЧЕНИЕ НАГРУЗОК С УЧЕТОМ СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Введение. Изменчивость экономических процессов, высокие темпы развития технологий приводят к сокращению срока жизни инвестиционных проектов. В связи с этим можно наблюдать тенденцию к одновременному завершению инвестиционных проектов и прекращению эксплуатации зданий и сооружений, предназначенных для обеспечения деятельности в рамках данных проектов [1]. Таким образом, эксплуатация строительных объектов зачастую прекращается не по технической необходимости, а в связи с экономической нецелесообразностью дальнейшего их содержания. При этом, для большинства современных инвестиционных проектов, срок жизни определяется ещё на стадии инициации при расчете экономических показателей и вытекающих из них временных параметров и может быть учтен при проектировании зданий и сооружений, предназначенных для их реализации.

При этом в расчете строительных конструкций срок службы оказывает прямое влияние на значения нормативных и расчетных нагрузок, полученных методами вероятностно-статистического обоснования [2-5]. Учитывая, что в большинстве описанных выше случаев время эксплуатации не превосходит срок службы здания, можно констатировать необоснованное завышение значений нагрузок, приводящее к увеличению материалоемкости несущих конструкций.

Назначение срока службы сооружений исходя из срока эксплуатации (срока жизни инвестиционного проекта) позволит оптимизировать экономические затраты и расход материальных ресурсов при строительстве.

Цель работы. Оценить влияние назначения нагрузок с учетом срока службы строительного объекта на материалоемкость несущих конструкций.

Задачи работы. Провести расчет несущих конструкций строительного объекта при действии нагрузок, определенных исходя из различных сроков службы; провести сравнительный анализ результатов расчета.

Материалы и методы. Проведен сравнительный анализ двух вариантов расчета несущих конструкций на примере здания автопарка при сроках службы 20 (срок жизни условного инвестиционного проекта) и 50 лет (согласно действующим нормативным документам).

Рассматриваемое здание прямоугольное в плане, имеет размеры в строительных осях 140×69 м. Здание одноэтажное со встроенной двухярусной бытовой частью, расположенной в чердачном пространстве. Конструкции здания выполнены по рамно-связевой пространственной схеме. В продольном направлении (вдоль буквенных осей) металлические многопролетные одноэтажные рамы пролетом 20 м расположены вдоль осей В и Г, вдоль остальных осей – связевая система. В поперечном направлении на участке Б-Д установлены рамы с шагом 5 м и пролетом 17 м (кроме конструкций вдоль по осям 1 и 8). Вертикальные связи расположены в осях 5-6 вдоль осей А и Е.

Расчётная модель здания выполнена по пространственной схеме в вычислительном комплексе SCAD++ и отражает основные элементы и характеристики конструкций в части габаритов, сечений несущих элементов, типов их соединения. Общий вид расчетной модели представлен на рис. 1.

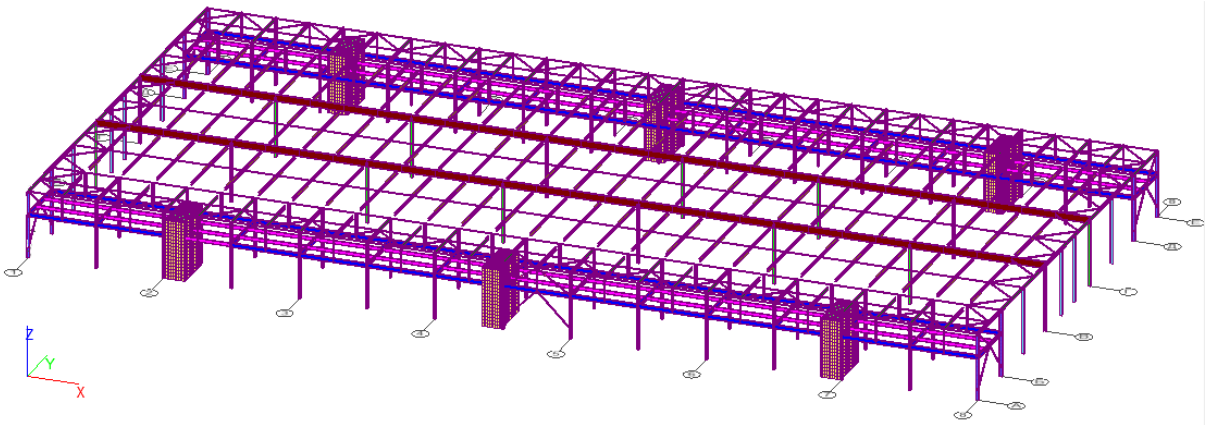


Рис. 1. Общий вид расчетной схемы здания автопарка

В рамках данной работы анализу подвергнуты снеговые нагрузки, как определяющие для рассматриваемого объекта.

Определение расчетной снеговой нагрузки S_g – значения ежегодного максимума веса снегового покрова, превышаемого в среднем один раз в n лет, где n – срок службы сооружения, производилось согласно закону распределения Гумбеля. Расчет производился с использованием статистических данных годичных максимумов запаса воды в снеге, полученных на метеостанции «Коломна», приведенных в работе [6]. Для заданных данных значение S_g определяется по формуле:

$$S_g = 78{,}34 - 1/0{,}032 ln\left[-ln(F(S_g)\right], \quad (1)$$

где $F(S_g)$ – значение функции распределения максимумов, т.е. обеспеченность снеговой нагрузки S_g, определяемое по формуле:

$$F\left(S_g\right) = 1 - 1/m_{Ts}, \quad (2)$$

где m_{Ts} – математическое ожидание периода повторяемости, равное среднему значению периода повторяемости снеговой нагрузки, превышающей уровень S_g, в нашем случае сроку службы здания.

Таким образом, для срока эксплуатации 50 лет, S_{g50} = 201 кг/м^2, что соответствует расчетному значению веса снегового покрова, установленному в нормативных документах для III

снегового района [7] с учетом осреднения статистических данных различных метеостанций района. При сроке эксплуатации 20 лет, расчетное значение снеговой нагрузки S_{g20} = 172 кг/м^2.

Результаты. При расчете на снеговую нагрузку, расчетные значения которой определены исходя из срока службы здания 20 лет, площадь сечения центральных колонн уменьшилась на 3%, продольных ригелей на 11%, поперечных ригелей на 10%. Вертикальные нагрузки на фундаменты центральных колонн снизились в среднем на 9%. Суммарно по элементам рам каркаса, масса металла уменьшилась на 10 %. Ещё больший эффект может быть получен при уточнении прочих действующих нагрузок.

Заключение и обсуждение. Назначение нагрузок с учетом времени эксплуатации объекта строительства оказывает существенное влияние на материалоемкость несущих конструкций.

Продолжение исследований по уточнению нагрузок и последующее внедрение их результатов в проектную практику должно сопровождаться сбором и пополнением баз статистических данных, а также совершенствованием вероятностно-статистических методов расчета нагрузок, что позволит достичь значительной материальной и экономической эффективности при обеспечении расчетного уровня надёжности зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Поляков Д.К., Пупенцова С.В., Некрасова Т.П. Мировой и отечественный опыт редевелопмента территорий // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2018. №4(34). С. 67–75.
2. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Изд-во АСВ, 2006. 476 с.
3. Ледовской И.В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения: дис. … д-ра техн. наук. М., 2009. 292 с.
4. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Шубина Д.Д. Вероятностно-статистическое моделирование нагрузок и воздействий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1249–1261. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1249-1261
5. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.
6. Сухина К.Н., Пшеничкина В.А., Журбина Е.И. К вопросу об оценке статистических характеристик снеговых нагрузок // Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3398.
7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2019. 95 с.

УДК 692.44

М.А. Яковлев, С.С. Зимин, В.В. Беспалов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОКРЫТИЯ КРЫШИ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

Как правило, архитектурные концепции ограничиваются техническим заданием и конструктивными решениями. Задачей конструкторов является сведение ограничивающих факторов к минимуму, реализации архитектурных идей с наименьшими потерями.

На сегодняшний день, строительство высотных зданий часто сопровождается созданием обзорных площадок для посетителей. Такие зоны должны обеспечивать широкий угол обзора, а также являться архитектурными доминантами. Для обеспечения максимальной функциональности данной зоны и формирования свободного пространства для посетителей необходимо сократить количество несущих конструкций, препятствующих обзору. Удовлетворяющей данным требования конструкцией является пространственное покрытие, выполненное из металлических несущих элементов.

В учебном пособии Васильева А.А., а также в работах других авторов [1-3] рассматриваются пространственные покрытия, выполненные из металла. Авторы этих работ выделяют низкий расход стали и экономичность этих конструкций, однако недостатком отмечают сложность их изготовления и трудоемкость монтажа узлов. Учетом сборочных отклонений и проблемой работы большепролетных конструкций в условиях эксплуатации занимаются в своих работах Бондарев А.Г., Югов А.М. и другие авторы [4-5]. Анализируя напряженно-деформированное состояния большепролетных конструкций и рассматривая проблемы их проектирования, авторы разрабатывают методику расчета, позволяющую учитывать отклонения длин стержней, форму отверстий и последовательность сборки конструкции.

Целью работы является оптимизация конструкции пространственного металлического покрытия крыши высотного административного здания.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Создание трех вариантов конструкции пространственного покрытия крыши;
2. Сбор нагрузок и формирование их сочетаний с учетом различных сезонных условий (наличие снеговой нагрузки);
3. Расчет конструкций в программном комплексе SCAD++ с уточнением сечений несущих металлических элементов;
4. Выбор оптимального пространственного покрытия по заданному критерию.

Критерием оптимальности пространственного покрытия является расход материала. Конструкция с наименьшим расходом материала считается наиболее оптимальной.

В Таблице 1 приведены исходные данные, предъявляемые к конструкции крыши.

Таблица 1 – Исходные данные для конструкции крыши

Форма этажей здания	Прямоугольная с закруглениями, радиусом 8 м
Размер здания в осях	43,2 х 28,8 м
Шаг колонн здания	7,2 м
Конструкция крыши	Большепролетная
Материал основных несущих конструкции крыши	Марка стали С550
Объемно-планировочные решения помещений, расположенных на этаже под крышей	Обзорная площадка для посетителей административного здания
Требования к материалу ненесущих ограждающих конструкций	Прозрачные

Для реализации поставленной цели было предложено три варианта конструктивных решений пространственного покрытия. Первый вариант представляет собой плоскую поверхность, обрамленную полуарочными конструкциями, основания конструкции опираются по периметру плиты перекрытия. Второй вариант представляет собой цилиндрический свод, расположенный вдоль наибольшего пролета (43,2 м), основания конструкции опираются на плиту перекрытия по двум граням (размер одной грани – 28,8 м). Третий вариант представляет собой гиперболический параболоид, несущие элементы которого опираются на колонны здания, расположенные по периметру этажа. Форма гиперболического параболоида представлена на рис. 1. Несущими элементами конструкций пространственного покрытия являются металлические стержни. Компоновка стержней в горизонтальной проекции одинакова во всех трех случаях, она выполняется по осям здания, а в вертикальной она соответствует описанным формам.

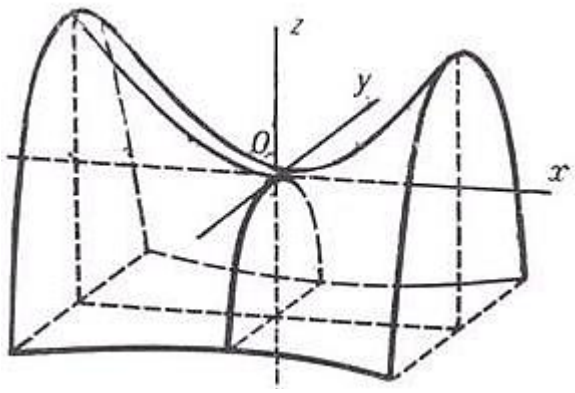


Рис. 1

Перед расчетом необходимо было осуществить сбор нагрузок в соответствии с нормативными документами (СП.20.13330.2016) на все 3 варианта пространственного покрытия. К нагрузкам, воздействующим, на конструкцию были отнесены ветровые нагрузки, снеговые нагрузки, нагрузки от собственного веса, динамические нагрузки, нагрузки от ограждающих ненесущих конструкций.

Следующим этапом осуществлялся переход от нормативных нагрузок к расчетным, путем домножения на коэффициент надежности. Затем, следовало формирование сочетаний нагрузок, рассматривалось два вида сочетаний: со снеговой нагрузкой и без.

В данной работе расчет конструкций производился в программном комплексе SCAD++, который использует метод конечных элементов (МКЭ). Возможности этого метода, а также расчет и анализ конструкций, выполненных в SCAD++, рассматриваются в следующих работах [6-7]. Этот метод имеет разработанную теоретическую базу и широко применяется для решения подобных задач.

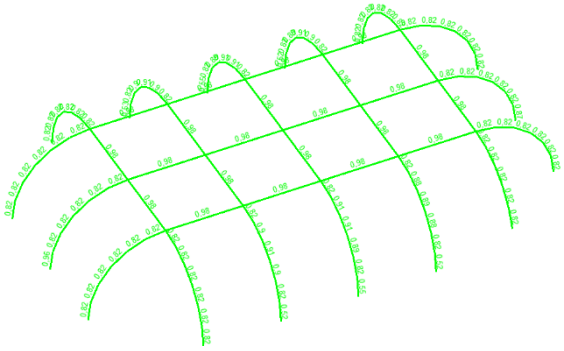


Рис. 3

Изначально всем несущим металлическим стержням системы задавалось одинаковое поперечное сечение и жесткость (трубы прямоугольные ГОСТ 30245-2003 сечением 60×40×4 мм), а в последствии производилась корректировка сечений с учетом полученных результатов.

Анализ наиболее оптимального пространственного покрытия выполнялся по критерию наименьшего расхода материала.

Таким образом, на основании проведенных расчетов, оптимальным пространственным покрытием крыши является первый вариант (рис. 2), представляющий собой плоскую поверхность, обрамленную полуарочными конструкциями, опирающимися по периметру перекрытия. Расход стали для этого варианта является наименьшим, поэтому он считается самым оптимальным, согласно установленному критерию. Однако, при использовании данного критерия оптимальности для большепролетных пространственных покрытий необходимо также учитывать сложности при монтаже узлов и изготовлении самих конструкций, поскольку они могут вносить корректировки в календарный график работ и увеличивать затраты на рабочие ресурсы. Также, применяемый в данной работе программный комплекс SCAD++, использующий метод конечных элементов, позволяет значительно ускорить работу по расчету конструкций, подбору сечений и выводу результатов в сравнении с ручными методами расчета.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев А.А. Металлические конструкции. Учебное пособие для техникумов. Издание 2-е, переработанное и доп. М., Стройиздат, 1976. 420 с.

2. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Учебник для ВУЗов по дисциплине Металлические конструкции. Издательство: М.: Стройиздат, 6-е издание, 1986. 560 с.

3. Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., и др. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. Т. 2. №17. С. 107-124.

4. Бондарев А.Б., Югов А.М. Методика расчета точности большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий // Инженерно-строительный журнал, №1, 2016. С. 60-73

5. Глухов Л.В. Динамика, прочность и надежность элементов инженерных сооружений. Изд-во АСВ, 2003. 304 с.

6. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А. [и др]. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 656 с.

7. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа – 4-е изд., перераб. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 с.

УДК 69.07

Е.С. Недвига, А.В. Горда
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АУТРИГЕРНЫХ ЭТАЖЕЙ НА КОНСТРУКТИВНУЮ СИСТЕМУ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Аутригерные этажи (пояса жесткости) зданий представляют собой системы конструктивных элементов, связывающие центральное ядро здания с периметральными несущими элементами. Введение аутригеров позволяет улучшить работу конструкции на наиболее значимое воздействие – опрокидывающий момент, возникающий вследствие воздействия боковых (ветровых или сейсмических) нагрузок [1].

Изучение аутригерных систем имеет особую важность для проектирования высотных зданий, возведение которых остается актуальным в условиях дефицита пригодных для строительства площадей на территориях современных мегаполисов. Использование аутригеров позволяет создать наиболее рациональною систему несущих конструкций здания, что, как следствие, способно привести к улучшению экономических показателей строительства. Несмотря на выработанные в ходе ряда исследований, таких как, например, [2, 3, 4], подходы к проектированию аутригерных систем, решения для каждого отдельного высотного здания подбираются индивидуально.

Выделяют два принципиальных вида аутригерных конструкций [5]:

- традиционные аутригеры, соединение ядра и периметральных колонн в которых реализуется за счет непосредственной связи через железобетонные стены, стальные фермы, сталежелезобетонные системы и др.;
- виртуальные аутригеры, в которых периметральных колонны взаимодействуют с ядром через опоясывающие ферменные или стеновые конструкции и диафрагмы перекрытий.

Цель данного исследования – выявление оптимальной конфигурации и положения аутригерного этажа для исследуемого объекта – 30-этажного высотного здания в г. Санкт-Петербурге с каркасно-стеновой конструктивной системой (несущие элементы представлены железобетонными перекрытиями, стенами ядра и колоннами). Расчетная модель здания с учетом статических и динамических нагрузок была получена в ПК SCAD (рис. 1).

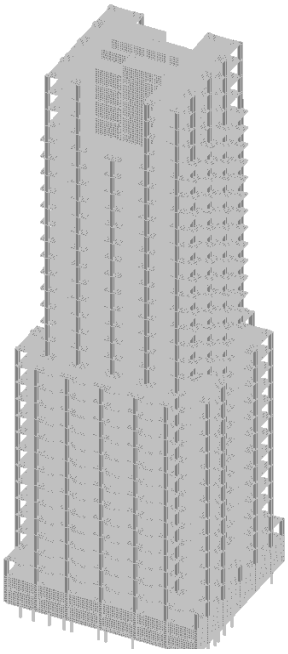


Рис. 1. Расчетная модель здания в ПК

Критериями оценки эффективности введения аутригерных систем были выбраны горизонтальное перемещение верха здания, частоты форм собственных колебаний, а также показатель динамической комфортности – максимальное ускорение верха здания.

Целью первого этапа исследования явился выбор оптимального положения аутригера в здании. Был проведен ряд расчетов для различных местоположений аутригерного этажа принятой конфигурации (виртуального, состоящего из железобетонных стен). В ходе анализа полученных значений перемещений и ускорений был выбран этаж оптимального расположения – 27-ой. Полученная зависимость максимального ускорения верха здания от расположения аутригерного этажа представлена на рис. 2.

На втором этапе исследования было изучено влияние введения второго аутригерного этажа в дополнение к выбранному на первом этапе.

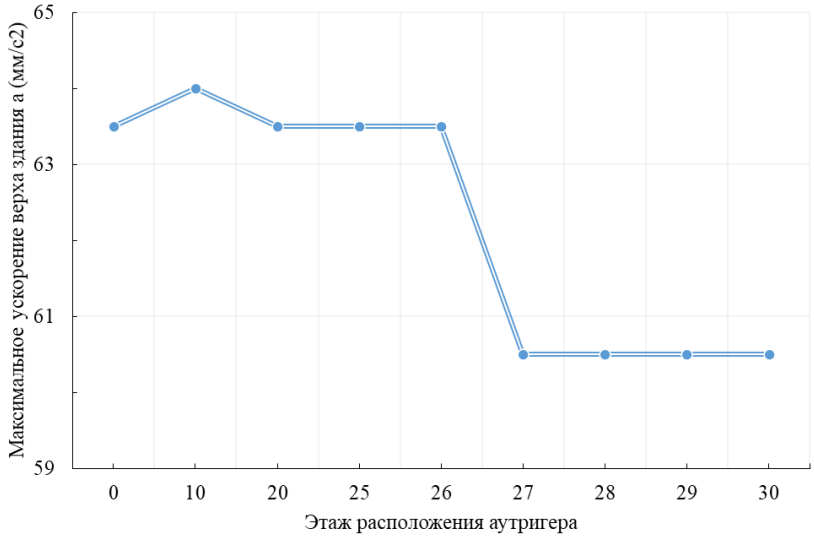


Рис. 2. Зависимость максимального ускорения верха здания от расположения аутригерного этажа

Анализ полученных значений показал, что введение второго аутригера для исследуемого здания не оказывает существенного влияния на его жесткость – значения ускорений и перемещений значительно не отличались от полученных на первом этапе. Однако лучшие показатели были получены для конфигурации двухэтажного аутригера (выбранный на первом этапе этаж и идущий следом за ним).

В рамках третьего этапа были исследованы различные конфигурации аутригеров в плане (традиционные и смешанного типа) для выбранных на первом и втором этапе положений (рис. 3). Наиболее удачной по совокупности параметров была признана конфигурация «Г» для одного этажа.

На четвертом этапе исследования были изучены различные варианты исполнения аутригерной системы для выбранных ранее местоположения и конфигурации: железобетонные стены, стальные ферменные конструкции с раскосами двутаврового сечения и из труб круглого сечения Х-образной и Л-образной решеток. Анализ полученных контрольных значений показал, что вариант с использованием железобетонных стен является самым экономичным и, к тому же, наименее трудоемким в исполнении.

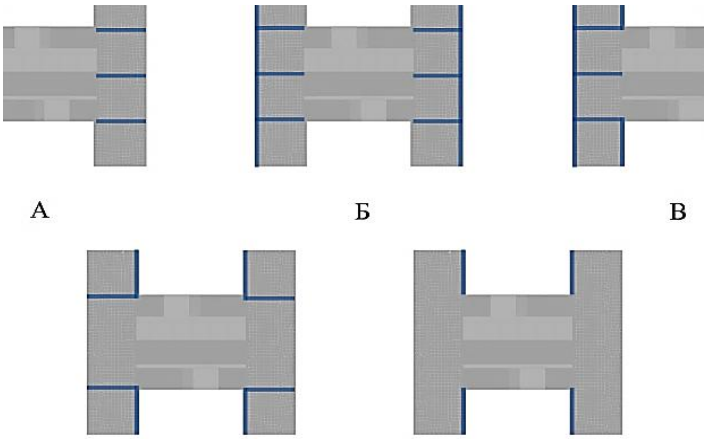


Рис. 3. Исследуемые конфигурации аутригера в плане

Таким образом, в ходе исследования было определено оптимальное положение аутригерного этажа для высотного здания и подобрана конфигурация расположения несущих элементов. Введением аутригера удалось добиться уменьшения горизонтального перемещения здания на 21%, уменьшения максимального ускорения верха здания на 6-7% и увеличения частот собственных колебаний 1-2 формы на 10-11%. Была также произведена оценка результативности добавления второго аутригерного этажа в конструкцию. Как видно, введение аутригера положительно влияет на работу высотного здания – позволяет снизить горизонтальные перемещения и ускорения и увеличить частоты форм собственных колебаний.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В., Салахутдинов М.А., Хайдаров Л.И., Исаев А.В., Фахрутдинов А.Э. Проектирование металлических конструкций. Часть 2: «Металлические конструкции. Специальный курс» // Издательство «Перо». 2020. С. 155-156.

2. Травуш В.И., Конин Д.В. Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров) // Вестник ТГАСУ. 2009. №2. С. 77-91.
3. Чой Х.С., Хо Г., Джосеф Л., Матиас Н. Проектирование аутригерных систем // Высотные здания. 2013. №5. С. 98-101.
4. Панасюк Л.Н., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Бойко А.Г. Эффективность конструктивных решений аутригерных этажей высотного здания // Строительство и архитектура. 2019. №7. С. 26-29.
5. Khan I.B.A.A, Gore N.G. Effect of Outrigger Structural System on Highrise Structures, Subjected to Lateral Loads // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2018. №15. С. 22-32.

УДК 69.04

В.И. Корсун, М.Е. Павлушкин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ВИДА РАСЧЕТНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОНН

Введение. Учет физически нелинейного деформирования материалов позволяет более точно определять напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкций, обоснованно оценивать резервы их несущей способности, обеспечивать конструкционную безопасность зданий и сооружений.

В данном исследовании рассмотрено влияние физической нелинейности деформирования материалов на характеристики напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых колонн каркасного здания.

Сопоставительные расчеты конструкций каркаса выполнены с помощью средств ПК «Лира-САПР 2017». В качестве расчетных приняты три типа диаграмм деформирования бетона: двухлинейная и трехлинейная согласно СП 63.13330.2018 и криволинейная согласно EN 1992-1-1 (рис. 1).

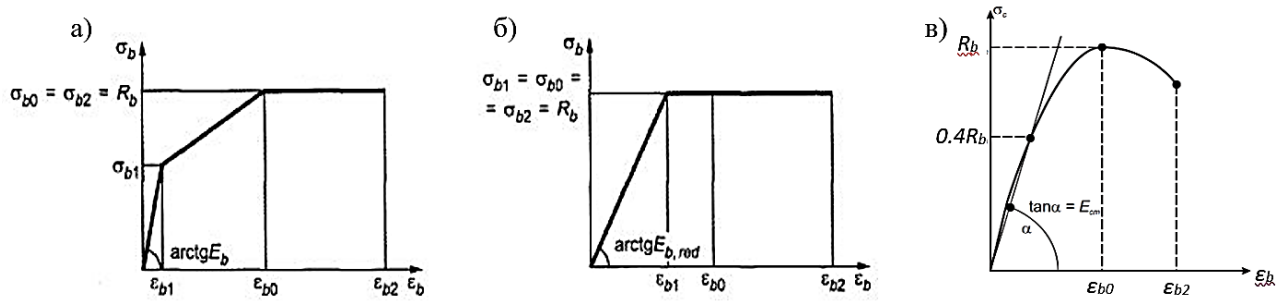


Рис. 1. Трехлинейная (*а*) и двухлинейная (*б*) диаграммы состояния сжатого бетона согласно СП 63.13330.2018; диаграмма деформирования согласно EN 1992-1-1 (*в*)

Указанные типы диаграмм широко применяются в практике проектирования конструкций [1-9], и количественная оценка влияния вида расчетной диаграммы деформирования бетона на напряженно-деформированное состояние внецентренно сжатых элементов конструкций является актуальной.

Цель исследования – определить расчетными методами влияние вида диаграмм деформирования бетона на НДС внецентренно сжатых колонн.

Для достижения поставленной цели выполнено решение следующих задач:

1. Построение расчетной конечно-элементной модели каркасного здания;
2. Расчет модели каркасного здания с использованием различных диаграмм деформирования бетона;
3. Анализ НДС колонн среднего и крайнего ряда первого этажа, сравнение результатов.

Методы исследования – теоретическое с применением средств ПК «Лира-САПР 2017».

Исходные данные для анализа. Здание 12-этажное, каркасное из монолитного железобетона размерами в плане 20,8×20,8 м, шаг колонн 5,2 м в обоих направлениях. Высота этажа – 3 м, сечение колонн – 400×400 мм, класс бетона колонн – В40, рабочая арматура – класса А400 и А240. Диаграммы деформирования бетона: двухлинейная и трехлинейная по СП 63.13330.2018 (рис. 1*а*, 1*б*) задавались в ПК «Лира САПР» законом деформирования 14. Нелинейная диаграмма по EN 1992-1-1 (рис. 1*в*) задавалась в ПК «Лира САПР» законом 12.

Закрепление колонн в основании здания принято жестким. Нагружение здания моделировалось поэтапным приложением возрастающей нагрузки до расчетных значений.

На первом этапе выполнен расчет конструкций в предположении упругой работы материалов. Расчет проведен при помощи модуля «Монтаж».

Для анализа результатов выбраны два типа колонн первого этажа – крайнего и среднего рядов.

Характерные точки для двухлинейной и трехлинейной диаграмм бетона (рис. 1*а*, 1*б*) приняты по пп. 6.1.20 и 6.1.21 СП 63.13330.2018 (табл. 1).

Таблица 1 – Характерные точки для 14 закона деформирования

Деформации	2-линейная диаграмма		3-линейная диаграмма	
	ε	σ, т/м^2	ε	σ, т/м^2
ε_{b2}	-0,0048	-2956,2	-0,0048	-2956,2
ε_{b0}	-	-	-0,0034	-2956,2
ε_{b1}	-0,0028	-2956,2	-0,00037	-1773,72
	0	0	0	0
ε_{bt1}	0,00022	214,1	0,000023	128,46
ε_{bt0}	-	-	0,00024	214,1
ε_{bt2}	0,00031	214,1	0,00031	214,1

Расчетные параметры материалов для 12 закона деформирования (рис. 1*в*) приведены в табл. 2. При этом значения предельной сжимаемости ε_{b0} для бетона приняты по табл. 6.10 СП 63.13330.2018, а значение ε_{b2} увеличенными в 1,4 раза в соответствии с рекомендациями EN 1992-1-1.

Таблица 2 – Заданные параметры бетона для 12 закона деформирования

Параметры	Ед. изм.	Значения
E_0^-	т/м^2	3669725
E_0^+	т/м^2	3669725
σ^-	т/м^2	-2956,2
σ^+	т/м^2	214,1
ε_{b2}	-	-0,0048
ε_{b0}	-	-0,0034
ε_{bt0}	-	0,00024

Примечание: знаками «-» и «+» отмечены значения для областей сжатия и растяжения соответственно.

Результаты расчета конструкций каркаса здания. В табл. 3 приведены внутренние усилия и относительные деформации анализируемых колонн типов 1 и 2 в конечной стадии нагружения. Значениями изгибающих моментов M_y в рассматриваемых колоннах пренебрегали ввиду их малости. Значения расчетных усилий в табл. 3 указаны в абсолютных величинах без учета знаков.

Таблица 3 – Расчетные усилия и деформации в колоннах

Колонна	Диаграмма деформирования (№ закона в ПК Лира САПР)	N, т	M_z, т · м	ε, ‰
1	Криволинейная (12)	304,5	0,286	0,677
	Двухлинейная (14)	304,4	0,144	1,500
	Трехлинейная (14)	310,3	0,431	0,373
2	Криволинейная (12)	175,1	6,359	0,325
	Двухлинейная (14)	175,8	4,377	0,846
	Трехлинейная (14)	168,5	6,294	0,206

Выводы:

1. При двухлинейной диаграмме деформирования бетона отмечаются меньшие значения изгибающих моментов в колоннах двух исследуемых типов, что объясняется учетом большей доли пластический деформаций в бетоне при сжатии.

2. Деформации укорочения колонн типов 1 и 2 при близких значениях продольных сил N являются наибольшими при двухлинейной диаграмме и наименьшие – при трехлинейной диаграмме. Расчетные значения деформаций укорочения колонн при применении криволинейной диаграммы по закону 12 занимают промежуточное значение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий // Макеевка: ДонГАСА, 2003. – 153 с.

2. Гавриленко А.В., Гультяев В.И., Субботин С.Л. Определение прогибов сжато-изогнутого предварительно напряжённого без сцепления железобетонного элемента при использовании двухлинейной диаграммы состояния бетона // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. 2019. №2 (40). С. 3-16. DOI: 10.26293/chgpu.2019.40.2.001.

3. Сейфуллаев Х.К., Гараев А.Н. Приложение нелинейной деформационной модели к расчету изгибаемых железобетонных элементов // Sciences of Europe. 2018. №33. С. 51-60.

4. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Лукин М.В. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №12. С. 58-64. DOI: 10.12737/22764.

5. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов // Инженерный вестник Дона. 2013. №3 (26). 127 с.

6. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и визуализация напряженного состояния. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 году. Сборник научных трудов РААСН. 2016. С. 535-542.

7. Адищев В.В., Мальцев В.В. Применение нелинейных диаграмм деформирования бетона для расчета напряженно-деформированного состояния в железобетонной балке численно-аналитическим методом // Известия вузов. Строительство. 2017. №1 (697). С. 5-17.

8. Власов В.М., Погребняк В.Н., Донов А.В., и др. Определение прочностных и деформационных характеристик бетона при длительном действии нагрузки одноосного и двухосного сжатия // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2010. №259. С. 57-70.

9. Зараковская К.И., Захаров В.Ф. Опытные диаграммы состояния бетона составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой после длительных испытаний // Вестник Евразийской науки. 2018. №4, том 10. 26 с.

УДК 624.072.21

Р.А. Мавлютов, С.С. Зимин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ И АРМИРОВАНИЯ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

С развитием технологий проектирования и строительства архитектура в нашем мире становится все более сложная и разнообразная. Государство, застройщики и инвесторы все чаще склоняются к участию в уникальных объектах, которые впечатляют своим внешним видом. Одним из признаков уникальности зданий и сооружений является консоль вылетом более 20 м.

В таких консольных балках прогиб больше, чем у опертых с двух сторон бетонных балок. Поэтому инженеру-строителю часто приходится сталкиваться с проблемой подбора наиболее экономичного сечения для консольных балок. Абдель Карим М. Аль-Шамма, Сохаиб К. Аль-Мамури решают эту проблему в рамках своей работы с применением алгоритмов Python [1].

Повсеместно известно, что железобетон имеет высокую огнестойкость. Однако из-за механических свойств железобетонной балки пожар в консольной конструкции может вызвать местные обрушения в здании или полное обрушение здания. Влияние огня на железобетонные консольные балки рассмотрены Юйчжуо Ван, Сиху Гао, Дебяо Чжу и Чуангуо Фу [2].

Примеры армирования монолитных железобетонных конструкций описаны И.Н. Тихоновым [3].

Цель работы – обеспечение необходимой надежности при достаточной экономии материала консольной балки из монолитного железобетона вылетом 20 метров.

Консольная конструкция обоснована архитектурными решениями и поддерживает перекрытие в зоне рекреации сотрудников. Для достижения заданной цели были поставлены следующие задачи:

- Разработать проект офисного здания с применением консольной железобетонной балки переменного сечения вылетом 20 м;
- Сравнить три различных варианта сечения балки;
- Оценить прогиб консоли, требуемое армирование и сечение стальных элементов;
- Разработать принципиальную схему армирования балки переменного сечения;

Был разработан проект офисного здания с консольной конструкцией вылетом 20 м. Основными несущими элементами в данной конструкции являются железобетонные балки переменного сечения. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции проводился с использованием ПО ЛИРА-САПР. Общий вид расчетной схемы здания представлен на рис. 1. Создание расчетной схемы происходило путем интеграции 3D-модели из ПО Autodesk Revit в программный комплекс САПФИР с дальнейшим переносом схемы в ПО ЛИРА.

Для корректного задания исходных данных в расчетную схему и дальнейшего рассмотрения полученных напряженно-деформированных схем изучены учебные пособия по программным комплексам ЛИРА [4] и САПФИР [5].

Для совместной работы всей консольной конструкции было принято решение объединить перекрытие второго этажа с покрытием стальной решеткой из раскосов и колонн. Также сталь использована в целях уменьшения веса консольной конструкции, в связи с чем покрытие в консольной части опирается на стальные двутавровые балки.

Балки жестко защемлены в ядре жесткости из железобетонных стен толщиной 500 мм. Перекрытие имеет толщину 200 мм. Фундамент имеет плитно-свайное исполнение с буронабивными сваями под ядром жесткости длиной 17 м.

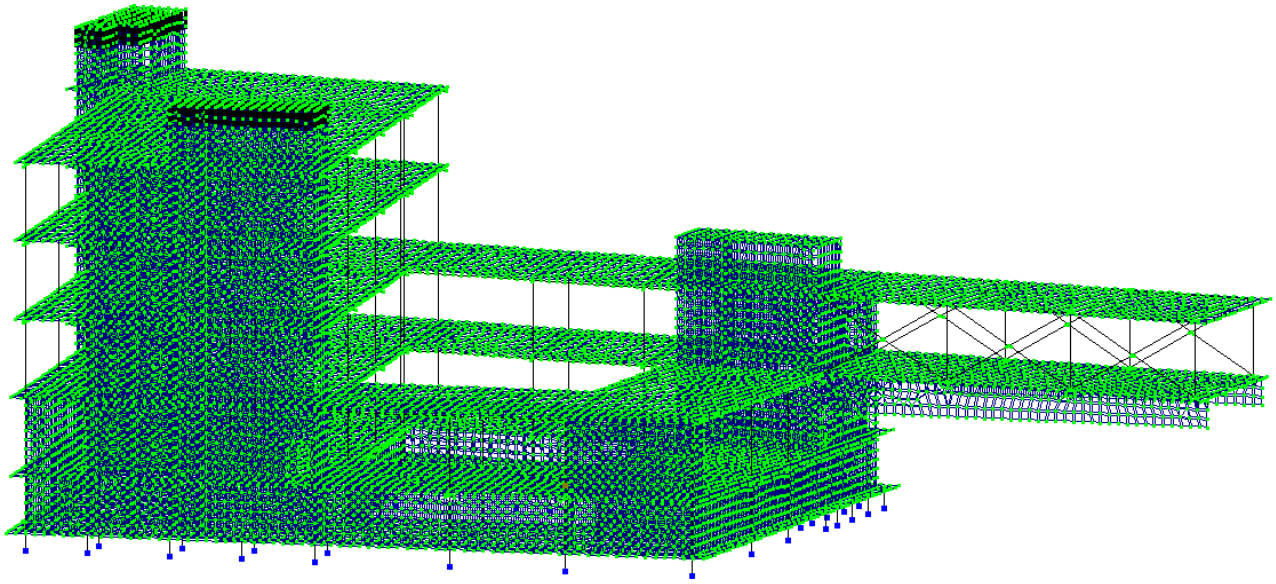


Рис. 1

Нагрузки и их сочетания заданы в соответствии со СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.

Метод подбора оптимального сечения балки – это сравнение результатов расчета трех различных вариантов исполнения балки. Были рассмотрены следующие размеры сечения:

1. Ширина балки 500 мм. Переменная высота балки – 1500…1000 мм.
2. 500×1500…2000 мм.
3. 500×2000…2500 мм.

Стены ядра жесткости и консольные балки выполнены из бетона класса В40. Перекрытие выполнено из бетона класса В30. Для моделирования балок переменного сечения был использован тип конечного элемента – пластина. Согласно СП 52-103-2007 п. 6.2.6 были снижены жесткостные характеристики вертикальных и горизонтальных сечений. Модули упругости материалов были приняты с понижающими коэффициентами: 0,6 – для вертикальных несущих конструкций, 0,3 – для горизонтальных. Так как консольные балки работают совместно с покрытием и стальными стержнями, то критериями для выбора сечения балок также будут являться площадь необходимой арматуры в покрытии и сечение стальных колонн, балок и раскосов. Также для консоли проверяется прогиб. Предельный прогиб равен:

$$f_u = \frac{l}{250},$$

где l – длина пролета.

$$f_u = \frac{20000}{250} = 80 \text{ мм}.$$

Результаты анализа трех вариантов сечения:

1. Сечение: 500×1000…1500 мм;
   Прогиб 65,1 мм;
   Продольное армирование балки: 4 шт. Ø32, 4 шт. Ø20, 6 шт. Ø16;
   Поперечное армирование балки: Ø12 ш.200;
   Дополнительное армирование покрытия: Ø25 ш.200;
   Сечения стальных стержней: 30К3, 25Б1, тр. 200×6.
2. Сечение: 500×1500…2000 мм;

Прогиб 59,3 мм;
Продольное армирование балки: 4 шт. Ø36, 12 шт. Ø16;
Поперечное армирование балки: Ø12, Ø16 ш.200;
Дополнительное армирование покрытия: Ø20 ш.200;
Сечения стальных стержней: 30К1, 20Б1, тр. 160×6.

3. Сечение: 500×2000…2500 мм;
Прогиб 50,5 мм;
Продольное армирование балки: 4 шт. Ø36, 14 шт. Ø12;
Поперечное армирование балки: Ø12, Ø16 ш.200;
Дополнительное армирование покрытия: Ø20 ш.200;
Сечения стальных стержней: 30К1, 20Б1, тр. 160×6.

Лучшим из трех вариантов является второй с размерами сечения балки 500×1500…2000 мм. Такая геометрия балки позволяет разгрузить покрытие, уменьшить сечение стальных элементов и оставить больше свободного пространства под консолью.

Выводы:

В ходе выполнения работы был проведен анализ трех вариантов расчетных схем, запроектирована консольная конструкция вылетом 20 м за счет применения железобетонных балок переменного сечения, разработана принципиальная схема армирования данных балок, показанная на рис. 2.

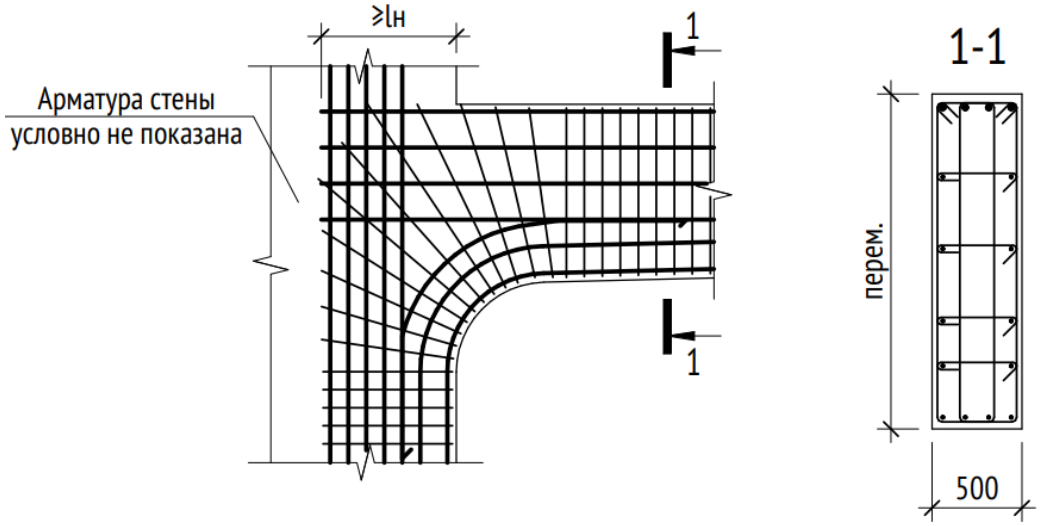


Рис. 2

По итогам данной работы были выявлены следующие преимущества второго варианта сечения:

- Экономия арматуры, т.к. площадь продольного армирования в сечении балки составляет 56,3 см^2, что сопоставимо с площадью 56,8 см^2 в первом варианте, однако площадь дополнительного армирования покрытия составляет 15,7 см^2/м, что на 26% процентов меньше 24,5 см^2/м в первом варианте.
- Экономия бетона в сравнении с третьим вариантом при сохранении тех же площадей армирования, и тех же сечений стальных элементов.

Недостаток второго варианта заключается в увеличении объема бетона по сравнению с первым вариантом сечения.

Таким образом, исходя из расчетов в качестве консольной конструкции с большим вылетом может выступать железобетонная балка переменного сечения. Однако на сегодняшний день существует лишь малый опыт применения подобных конструкций в реальных объектах.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Al-Shammaa A.K.M., Al-Mamoori S.K. A Design Chart for Optimum Dimensions of Reinforced Concrete Cantilever Beams. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume: 1094, February – 2021, p. 11.
2. Yuzhuo Wang, Xihu Gao, Debiao Zhu and Chuanguo Fu. Performance of Cantilever Beam in Fire. The Open Civil Engineering Journal, Volume: 11, June – 2017, pp. 847-853.
3. Тихонов И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию. Москва, 2007 г. 170 с.
4. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие. Киев-Москва, 2013 г. 376 с.
5. Бойченко В.В., Медведенко Д.В., Палиенко О.И., Шут А.А. Под ред. Академика РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого. САПФИР 3D. Учебное пособие. Киев, 2016 г. 130 с.

УДК 69.04

А.А. Кислицына, В.В. Лалин, В.С. Ненашев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ВНЕЦЕНТРЕННОГО СЖАТИЯ СТЕРЖНЯ С МАЛЫМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ АСИМПТОТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Решение задач устойчивости в большинстве случаев проводится с помощью приближенных – линеаризованных или сильно линеаризованных постановок задач [1]. При этом учитываются не все жесткости стержня. Для того, чтобы оценить погрешность приближенных решений необходимо иметь точные решения, в которых учитываются все жесткости стержня.

Целью данной работы является решение нелинейной задачи внецентренного сжатия стержня с малым эксцентриситетом. В дальнейшем эти результаты будут использованы для решения задачи устойчивости внецентренно сжатого стержня.

В работе используется геометрически точная нелинейная теория стержней [2,3] в которой перемещения и повороты являются независимыми функциями, а на величины деформаций, поворотов и перемещений не накладывается никаких ограничений. Материал стержня считается линейно-упругим, при этом учитываются все жесткости стержня: на растяжение-сжатие, сдвиг и изгиб.

В качестве метода решения нелинейной задачи используется асимптотический метод разложения по малому параметру [4, 5].

Рассмотрим консольную балку под действием силы T, приложенной с эксцентриситетом e (рис.1). Вследствие эксцентриситета возникает внешний момент M_{ex}.



Рис. 1. Расчетная схема для данной задачи

$$M_{ex} = Te.$$

Для данной задачи существует два граничных случая:

$$e \to 0:\ M_{ex} \to 0, T; \qquad e \to \infty: T \to 0, M_{ex}.$$

В данной работе будет рассмотрен первый граничный случай. Каждую точку стержня можно характеризовать радиус-вектором $\boldsymbol{r}$:

$$\boldsymbol{r} = \tilde{x}\boldsymbol{i} + \tilde{y}\boldsymbol{j},$$

где $\tilde{x}, \tilde{y}$ – текущие координаты точки стержня.

Уравнения статики для данной задачи [6]:

$$\begin{cases} (N\cos\varphi - Q\sin\varphi)' = 0 \\ (N\sin\varphi - Q\cos\varphi)' = 0 \\ M' + \tilde{x}'(N\sin\varphi + Q\cos\varphi) + \tilde{y}'(Q\sin\varphi - N\cos\varphi) = 0 \end{cases}.$$

$$\begin{cases} \dfrac{N}{k_1^*} = \tilde{x}'\cos\varphi + \tilde{y}'\sin\varphi - 1 \\ \dfrac{Q}{k_2^*} = -\tilde{x}'\sin\varphi + \tilde{y}'\cos\varphi \\ \dfrac{M}{k_3^*} = \varphi' \end{cases}.$$

где N, Q, M – неизвестные усилия в стержне; φ – угол поворота вокруг оси z; k_1^*– жесткость стержня на растяжение-сжатие, $k_1^* = EA$; k_2^*– жесткость стержня на сдвиг, $k_2^* = GA$; k_3^* – жесткость стержня на изгиб, $k_3^* = EI_y$; $()'$ – производная по переменной x_0 – координате точки стержня в недеформированном состоянии, $0 \le x_0 \le L$

Граничные условия:

$$x_0 = 0: \begin{cases} \tilde{x}(0) = 0 \\ \tilde{y}(0) = 0, \\ \varphi(0) = 0 \end{cases}$$

$$x_0 = L: \begin{cases} N\cos\varphi - Q\sin\varphi\,|_{x_0=L} = -T \\ N\sin\varphi - Q\cos\varphi\,|_{x_0=L} = 0 \\ M = Te \end{cases}.$$

В случае $e = 0$, изгибающий момент $M(L) = Te = 0$ и поставленная задача имеет точное решение, приведенное в безразмерном виде:

$$n_0 = -t;\ q_0 = 0;\ m_0 = 0;\ x_0 = \left(1 - \frac{t}{k_1}\right)s\ \ y_0 = 0;\ \varphi_0 = 0.$$

На примере величины $x(s)$ рассмотрим разложение преобразованных выше безразмерных неизвестных по степеням бесконечно малого параметра $\alpha = \frac{e}{L}$, при этом сохранять будем только первые три слагаемых, стоящих при степенях $\alpha^0; \alpha^1; \alpha^2$:

$$x(s) = x_0(s) + x_1(s)\cdot\alpha + x_2(s)\cdot\alpha^2 + \cdots$$

Аналогичную операцию проведем над неизвестными $n(s), m(s), q(s), y(s), \varphi(s)$.

Данные ряды будем подставлять в уравнения и граничные условия для поставленной задачи, которые так же приведем к безразмерному виду. Решение полученных уравнений будет заключаться в последовательном приравнивании к нулю значений коэффициентов при степенях малого параметра $\alpha^0; \alpha^1; \alpha^2$ для нахождения значений всех неизвестных.

В ходе проделанных операций было получено следующее *окончательное решение задачи:*

$$n(s) = -t + \frac{t^3(1 + 2\sin^2 H - \cos 2Hs)}{4H^2k_3^2\cos H}\alpha^2 + \cdots;$$

$$q(s) = \frac{t^2\sin Hs}{k_3 H\cos H}\alpha + \cdots;$$

$$m(s) = \frac{t\cos Hs}{\cos H}\alpha + \cdots;$$

$$x(s) = \left(1 - \frac{t}{k_1}\right)s + \frac{t^2 \sin 2Hs\left(t + tk_1 - k_1 - \frac{tk_l}{k_2}\right)}{4k_1k_3H^2\cos^2 H}\alpha^2 + \cdots;$$

$$y(s) = \frac{t^2(1 - cos\, Hs)}{cos\, H}\alpha + \cdots;$$

$$\varphi(s) = \frac{t\, sin\, Hs}{k_3 H\, cos\, H}\alpha + \cdots,$$

где $H = \sqrt{\frac{B}{k_3 t}}$; $B = (1 - \frac{t}{k_1} + \frac{t}{k_2})$.

Таким образом, получено асимптотическое решение нелинейной задачи о внецентренном сжатии стержня с малым эксцентриситетом. Решение получено с точностью до квадратичных слагаемых. В дальнейшем будет проведен сравнительный анализ полученного решения и решения, полученного с помощью приближенной постановки задачи. А также, полученное решение в дальнейшем будет использовано для решения задачи устойчивости внецентренно сжатого стержня.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2010. 682 с.
2. Жилин П.А. Прикладная механика. Теория тонких упругих стержней: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 101 с.
3. Елисеев В.В., Зиновьева Т.В. Механика тонкостенных конструкций. Теория стержней: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 95 с.
4. Алфимов Г. Л. Введение в асимптотический анализ. Серия Университетские учебники и учебные пособия. М.-Ижевск: Издательство «ИКИ»2017. 192 с.
5. Асимптотические методы в механике деформируемого твердого тела. Сборник трудов, посвященный 70-летию профессора П.Е. Товстика – СПб.: Изд-во ВВМ, 2006. – 116 с.
6. Кузнецова Д.А. Вариационные постановки и аналитические решения физически и геометрически нелинейных задач статики и устойчивости упругих стержней с учетом деформаций растяжения – сжатия и сдвига: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.17 / Кузнецова Дарья Александровна; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Санкт-Петербург, 2016.

УДК 69.04

В.В. Лалин, Е.П. Чуднова, Х.Х. Нго
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНТУРНЫХ УСИЛИЙ

Метод контурных усилий был разработан Лалиным В.В [1-3, 5] при решении вопроса алгоритмизации и эффективного практического применения метода сил. Вклад в развитие данного метода внесла Бугаева Т.Н. [3-5].

Цель работы – разработка алгоритма расчета статически неопределимых стержневых конструкций, основанном на методе контурных усилий, и его практическое применение. Особенностью метода контурных усилий является то, что стержневая система разбивается на некоторое количество статически неопределимых контуров, соблюдая следующий ряд условий:

1. Сумма всех степеней статической неопределимости контуров $\sum n_{\text{ст}}^i$ должна быть равна общей степени статической неопределимости $n_{ст}$ всей конструкции:

$$n_{\text{ст}} = \sum_i n_{\text{ст}}^i = n_{\text{ст}}^1 + n_{\text{ст}}^2 + \ldots + n_{\text{ст}}^i . \quad (1)$$

2. Контуры могут иметь ряд общих стержней, так и не иметь их вообще, но обязательным должно выполняться условие независимости каждого контура, т.е. наличие хотя бы одного отличного стержня. При этом, каждый стержень должен входить в состав хотя бы одного контура. В случае наличия загружений на всю систему, необходимо уравновесить контуры, чтобы все введенные усилия при сложении контуров взаимно уничтожались.
3. Пример разбиения плоской стержневой конструкции (рис. 1) на контуры представлен на рис. 2.

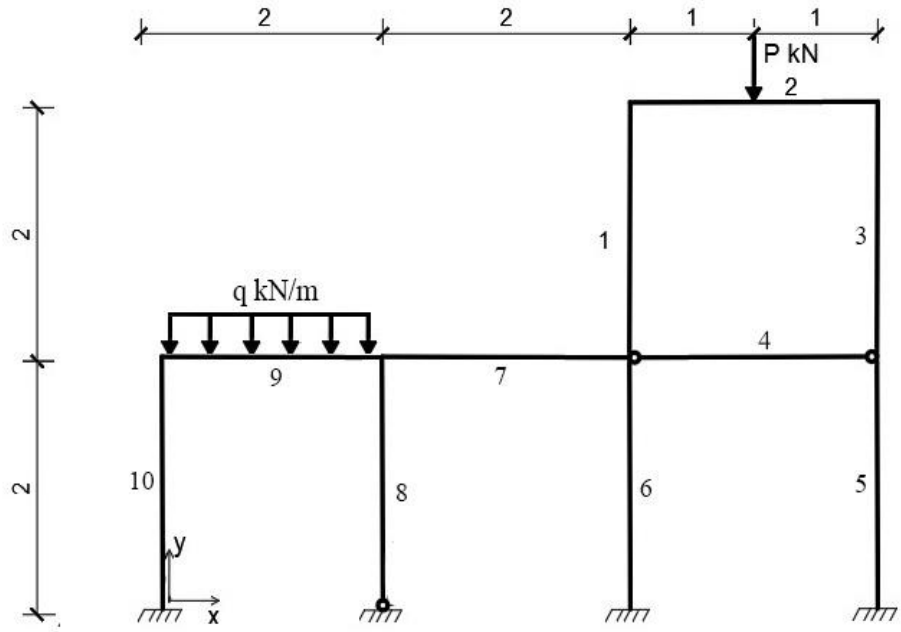


Рис. 1

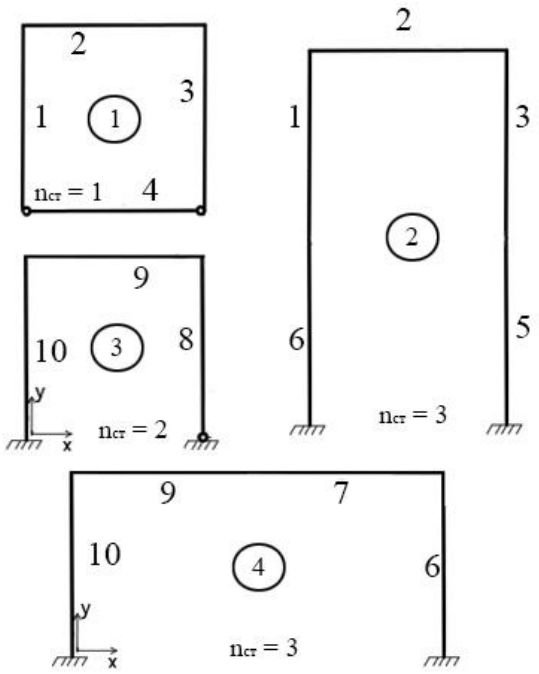


Рис. 2

Для выполнения поставленной задачи была решена задача расчета конструкции (рис. 1) с постоянной жесткостью (EI = const), нагруженная распределенной q = 2 кН/м и сосредоточенной P = 4 кН силами. Степень статической неопределимости всей системы равняется $n_{ст}$ = 9. Конструкция была разбита на четыре статически неопределимых контура (см. рисунок 2), в каждом проведен расчет усилий и построена матрица податливости.

Производится решение полной системы уравнений метода сил:

$$\Lambda X + Be^0 = 0; \qquad (2)$$

где Λ – квадратная матрица податливости конструкции, X – столбец контурных усилий, число которых равняется $n_{ст}$ системы, e^0 – столбец начальных деформаций, состоящий из блоков начальных деформаций, соответствующим отдельным контурам. Один блок равен алгебраической сумме деформаций элементов, принадлежащих соответствующему контуру, превращенному в статически определимый, B – матрица совместности деформаций контура. Размер матрицы податливости зависит от степени статической неопределимости системы, структура (положение нулевых и ненулевых блоков) зависит от порядка нумерации контуров. Матрица податливости заданной конструкции (см. рисунок 1) имеет вид:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_1+\Lambda_2+\Lambda_3+\Lambda_4 & -\Lambda_1-\Lambda_2-\Lambda_3 & 0 & 0 \\ -\Lambda_1-\Lambda_2-\Lambda_3 & \Lambda_1+\Lambda_2+\Lambda_3+\Lambda_5+\Lambda_6 & 0 & -\Lambda_6 \\ 0 & 0 & \Lambda_8+\Lambda_9+\Lambda_{10} & -\Lambda_9-\Lambda_{10} \\ 0 & -\Lambda_6 & -\Lambda_9-\Lambda_{10} & \Lambda_9+\Lambda_{10}+\Lambda_6+\Lambda_7 \end{bmatrix}.$$

Матрица совместности деформаций для заданной конструкции [4×10]:

$$B = \begin{bmatrix} B_1^1 & B_1^2 & B_1^3 & B_1^4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_2^1 & B_2^2 & B_2^3 & 0 & B_2^5 & B_2^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_3^8 & B_3^9 & B_3^{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_4^7 & B_4^8 & B_4^9 & B_4^{10} \end{bmatrix}.$$

После решения системы уравнений метода сил, определяются действующие в элементах усилия:

$$\sigma_i = B^T X, \qquad (3)$$

где B^T – транспонированная матрица совместности деформаций, σ_i – неизвестные усилия.

Из вышеприведённого следует, что решение задачи о действии нагрузки на статически неопределимую систему методом контурных усилий сводится к решению двух задач: расчет отдельных статически определимых контуров на заданную нагрузку и расчет исходной стержневой системы на начальные деформации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лалин В.В. Уравнения совместности деформаций как основа алгоритмизации метода сил для стержневых систем. СПб, СПбГТУ, 1998, 15 с.

2. Лалин В.В., Розин Л.А., Бугаева Т.Н. Метод контурных усилий в статике стержневых систем. СПб, СПбГТУ, 1998, 9 с.

3. Бугаева Т.Н., Лалин В.В. Построение матриц совместности деформаций для статически неопределимых стержневых систем. СПб, СПбГТУ, 1997, 20 с. – Депонировано в ВИНИТИ 02.04.97. № 1058-В97.

4. Бугаева Т.Н. Построение матрицы коэффициентов податливости отдельного стержня. СПб, СПбГТУ, 1997, 28 с. – Депонировано в ВИНИТИ 02.04.97, № 1056-В97.

5. Бугаева Т.Н., Лалин В.В. Алгоритмизация расчета плоскопространственных стержневых систем методом сил на основе уравнений совместности деформаций. СПб, СПбГТУ, 1997, 36 с. – Депонировано в ВИНИТИ 24.12.97. №3738-В97.

УДК 69.04

А.А. Тарасова, Е.С. Недвига
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ ВЫСОТНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ

В современных российский нормативных актах прописано требование к расчету зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, а также зданий и сооружений нормального уровня ответственности с массовым пребыванием людей на прогрессирующее разрушение. В статьях [1-5] рассматриваются варианты защиты от прогрессирующего обрушения зданий с каркасной конструктивной схемой. Целью данных статей был анализ работы конструктивных элементов при выходе из работы одного из них, а также выявление наиболее устойчивой к прогрессирующему обрушению системы, основой которой служит полный каркас. Однако, рассмотренные здания не являются уникальными, поэтому необходимо проверить целесообразность предложенных решений и выводов для высотных зданий путем их расчета на прогрессирующее разрушение.

Цель работы – проверка конструкций высотного каркасного здания на прогрессирующее разрушение методом конечных элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Создать расчетную схему высотного здания.
2. Изучить нормативную литературу, в которой описана методология расчета на прогрессирующее разрушение, а также его предотвращение конструктивными методами.
3. Провести расчет в программном комплексе и проанализировать полученные результаты.
4. Сформулировать выводы о необходимости защиты здания от прогрессирующего разрушения и подбор оптимального варианта усиления конструкций в случае необходимости.

При прогрессирующем разрушении выход из строя одного локального элемента, например, колонны или пилона, может спровоцировать лавинообразное разрушение всего здания. Поскольку вызвать аварийную ситуацию может как природное явление, так и деятельность человека, а исключить вероятность их возникновения невозможно, то необходимо провести дополнительный расчет путем удаления различных локальных элементов в наиболее опасных местах.

Рассчитываемое здание относится к зданию повышенного уровня ответственности КС-3 (объекты высотой более 100 м), поэтому необходимо произвести расчет на прогрессирующее разрушение. По результатам расчета необходимо произвести оценку целесообразности усиления конструкций для предупреждения прогрессирующего разрушения. Повышение прочностных характеристик может быть выполнено путем как общего упрочнения здания, так и местного усиления части конструкции, наиболее подверженной прогрессирующему разрушению.

Одним из неблагоприятных вариантов разрушения является вывод из строя угловых колонн на первом этаже или средних колонн крайнего ряда на первом этаже. Помимо этого, центральные колонны в подвале воспринимают максимальные продольные усилия, поэтому необходимо предусмотреть удаление вышеперечисленных элементов из расчетной схемы.

В программном комплексе были удалены элементы и смоделированы следующие расчетные ситуации для определения необходимости последующего усиления участков здания:

1. Удаление угловой колонны сечением 600×600 мм на отметке 0.000 м (рис. 1.).
2. Удаление наиболее нагруженной центральной колонны 1000×1000 мм на отметке 7.800 м (рис. 2.).

3. Удаление средней колонны крайнего ряда на отметке 0.000 м (рис. 3.).

Моделирование прогрессирующего обрушения производилось без учета физической и геометрической нелинейности. За основу взята модель высотного здания, полученная по результатам прочностного анализа. Далее, расчет производен на комбинацию нормативных значений постоянных и временных длительных нагрузок. Нагрузка от разрушившегося элемента задана в отдельном загружении как равномерно распределенная по площади, с учетом коэффициента динамичности (перегрузки) K_f = 2, чтобы учесть внезапность удаления элементов. Коэффициент надежности по ответственности был принят равным единице. Интервал неопределенности – 10%. При анализе результатов учитывалась проверка только по первому предельному состоянию (потеря прочности, устойчивости и выносливости).

Наибольшее количество вышедших из строя элементов наблюдается в случае выхода из строя центральной колонны крайнего ряда (рис. 2). Результаты расчета показаны в виде трёхцветной шкалы (рис. 4-6), где красным цветом подсвечены элементы, вышедшие из строя, желтым – элементы, которые с большой вероятностью выйдут из строя (от 90% до 110% с учетом интервала неопределенности 10%), а зеленым – остающиеся в работоспособном состоянии элементы.

Таким образом, высотное каркасное здание неустойчиво к прогрессирующему разрушению и требует дополнительного усиления для предотвращения лавинообразного обрушения. Выход из строя средней колонны крайнего ряда (рис. 2) – самый опасный случай из трех предложенных вариантов и несет за собой наибольшее количество вышедших из строя элементов.

Эффективными конструктивными мероприятиями для предотвращения возникновения прогрессирующего разрушения является добавление аутригерных конструкций (сплошных или сквозных), которые включают в работу наружные колонны; установка горизонтальных связей, связывающих наружные колонны, находящиеся в пределах одного этажа; а также вертикальные связи для сопряжения колонн офисного здания по всей высоте [6].

Добавление балок и введение жестких блоков, расположение которых зависит от этажности здания являются оптимальными методами, согласно [5], в то время как введение металлической пространственной системы наименее эффективно.

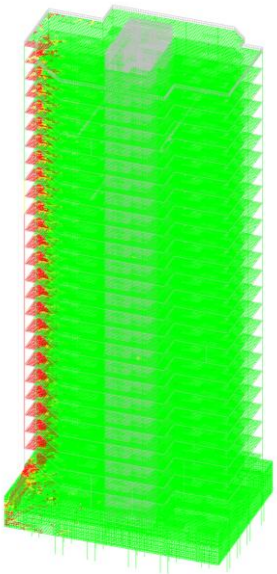


Рис. 1. Удаление угловой колонны сечением 600×600 мм на отметке 0.000 м

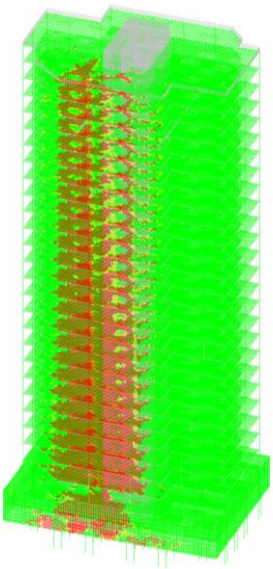


Рис. 2. Удаление средней колонны на отметке 0.000 м

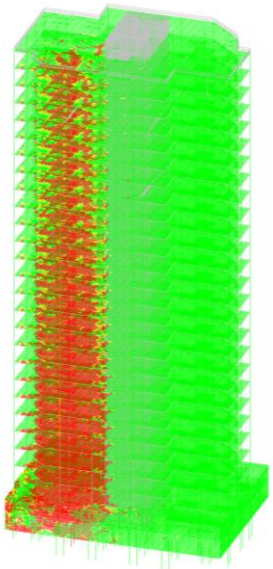


Рис. 3. Удаление наиболее нагруженной колонны 1000×1000 мм на отметке 7.800 м

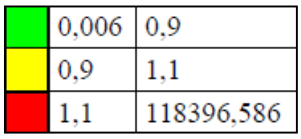


Рис. 4. Шкала результатов расчета при удалении угловой колонны

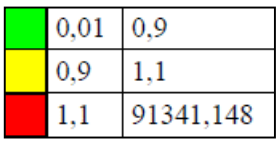


Рис. 5. Шкала результатов расчета при удалении средней колонны

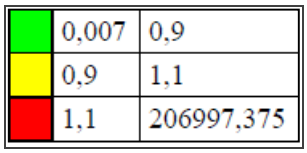


Рис. 6. Шкала результатов расчета при удалении центральной колонны в подвале

Таким образом, в проекте реализовано разработанное решение усиления здания путем добавления монолитных ограждающих стен на 13 и 23 этажах, а также замена безбалочного перекрытия на балочное, что способствует распределению усилий в случае выхода из строя одного из элементов, в то время как монолитные стены будет служить защитой для крайних колонн. Данное решение позволит избежать применение сложных аутригерных систем, которые в большинстве случаев являются сочетанием горизонтальных ферм и вертикальных связей, соединяющих фермы с центральным ядром. Помимо этого, в отличии от обычных аутригерных систем, этажи, усиленные монолитными наружными стенами, можно будет использовать под сдачу офисных помещений, т. к. они не занимают полезное пространство здания, что целесообразнее с экономической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Руденко Д.В., Руденко В.В. Защита каркасных зданий от прогрессирующего обрушения. Статья. СПбПУ, 2009г. 4с.
2. Пушкарев Б.А., Кореньков П.А. Противодействие прогрессирующему разрушению каркасов высотных зданий. Обзор состояния проблемы, определение задач исследования. Статья. НАПКС, 2011. 6 с.
3. Меркулов С.И., Полякова Н.В. Проектирование с учетом возможного прогрессирующего разрушения – обеспечение конструктивной безопасности в условиях аварийной ситуации. Статья. КГУ, 2016 г. 6 с.
4. Егоров П.И., Милевская О.Ю. Способы защиты зданий каркасного типа от прогрессирующего разрушения. Статья. ТГУ, 2014 г. 9 с.
5. Шашков А.А., Кожнов А.С., Антоненко Н.А., Костюшин Ю.М. Анализ процесса прогрессирующего разрушения высотных зданий каркасного типа. Рязанский институт, 2016 г. 6 с.

УДК 69.692

У.А. Шацкая, Н.С. Астафьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ БИЗНЕС-ЦЕНТРА С ВЕРТОЛЕТНОЙ ПЛОЩАДКОЙ НА АРМИРОВАННОМ АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ КРОВЛИ

Актуальность. Использование воздушного транспорта в черте города может казаться неразумным и дорогостоящим удовольствием, однако в последние годы во многих больших городах можно наблюдать резкое увеличение количества эксплуатируемых вертолетных площадок и вертодромов, причем чаще не столько на уровне земли, сколько на кровлях высотных зданий.

Объясняется данная статистика несколькими факторами:

– Из-за возросшей плотности застройки выделять земельные участки под вертодромы слишком дорого.
– Вопрос эвакуации людей из высотного здания при пожаре крайне важен и поднимется каждый раз при составлении раздела по пожарной безопасности объекта – использование альтернативных способов эвакуации способ повышения всеобщей безопасности.

Во многих научных работах [1] были предприняты попытки разработки с последующим внедрением в строительную деятельность практических рекомендаций и теоретических положений, которые могли бы стать основой для создания новых нормативных документов, регламентирующих проектирование и строительство вертолетных площадок. За счет рассмотрения требований к вертодромам [2] и перспектив развития данной инфраструктуры [3] были обоснованы создание и эксплуатация вертолетных площадок в системе города Санкт-Петербург и Ленинградской области.

Основную эксплуатационную проблему вертодромов и вертолетных площадок обуславливает не только функциональное назначение объекта, но и его расположение – в черте Ленинградской области можно столкнуться с частыми перепадами температур, что плохо влияет на сохранность покрытий вертолетных площадок, выполненных из асфальтобетона.

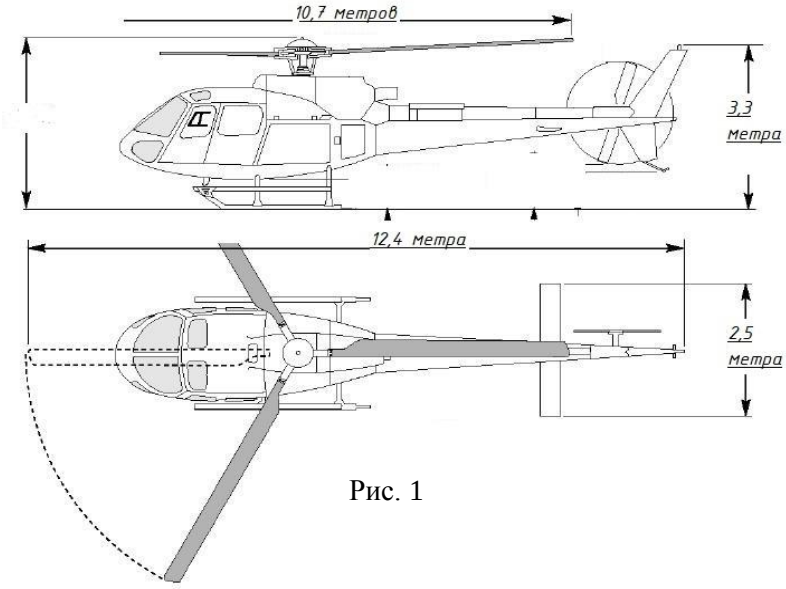


Рис. 1

Цель работы – разработка проектных решений на основе использования технологий информационного моделирования для возведения 28-ти этажного административного здания с возможностью эксплуатации вертолетов 1 категории на посадочной площадке, расположенной на отметке кровли, а также повышение долговечности асфальтобетонных покрытий путём обеспечения их трещиностойкости [4].

Так как для достижения первой поставленной цели утвержденных отечественных документов недостаточно, были изучены зарубежные источники технической литературы. Основными задачами являлись корректный сбор нагрузок на вертолетную площадку с учетом как статического, так и динамического воздействий, а также проектирование расчетной схемы здания с последующим анализом результатов расчета ПК SCAD.

Для сбора нагрузок типовой моделью эксплуатируемого вертолета выступал H-125 (рис. 1), многофункциональный легкий вертолет 1 категории – 2350 кг, который идеален для эвакуации в случае ЧП в связи с высокой маневренностью и вместительностью.

Общий расчет здания производился по методу конечных элементов с использованием программного комплекса SCAD. В процессе проектирования производился анализ результатов расчета по прочности и деформативности с учетом особенностей метода конечных элементов.

Исходными данными для построения модели являлись архитектурные решения (поэтажные планы) и принципиальные решения по конструктивной схеме здания и сечениям основных несущих элементов: железобетонные колонны, балки, плиты перекрытия, стены подвала. Лифтовой узел и лестничные клетки выполнены из несущих железобетонных стен и являются ядром жесткости здания. Учитывались мероприятия по обеспечению пожарной безопасности здания и комфортного доступа маломобильных групп населения.

На этапе проектирования (ПК Revit) была выбрана оптимальная для условий технического задания конструктивная схема здания, а также разработана его расчетная модель. В результате моделирования получены расчетные характеристики сечений

конструктивных элементов, выполнены проверки по 1 и 2 группам ПС, подобраны необходимые площади арматуры.

В международных рекомендациях по проектированию вертодромов в качестве покрытия предлагают использовать бетон и асфальтобетон, металлопокрытия, а также полиуритановые плиты. В разрабатываемом проекте было принято решение использовать асфальтобетон (h = 5-15 см) [5].

Исходя из опыта проектирования объектов гражданской авиации известно, что основной проблемой разрушения покрытий является усталость материала, вызванная перепадом температур и воздействием внешних нагрузок. Трещины в асфальтобетонном покрытии преимущественно начинают образовываться над швами расширения железобетонных плит основания.

Неравномерность распределения напряжений при появлении трещин можно устранить, использовав арматурные сетки. При использовании данного метода усиления покрытия следует учесть технологию его укладки. Необходимо предусмотреть мероприятия по защите арматурной сетки от коррозии – использовать плотные бетоны с низкой водонасыщенностью и битумную обмазку. А также избегать расположения сеток в верхней зоне покрытия, так как при укладке асфальтобетонной смеси могут возникнуть проблемы с короблением арматурных элементов.

Рассмотрим целесообразность армирования в зависимости от толщины покрытия. Нагрузки, приложенные к площадке, соответствуют статическим/динамическим воздействиям вертолета Н-125.

Эффективность сплошного армирования с разными параметрами высоты покрытия можно оценить по коэффициенту трещинообразования $К_т$:

$$К_т = \frac{\sum l_а}{l},$$

где l_a – суммарная длина трещин на армированном участке; l – длина трещин на том же участке без учета армирования.

В таблице 1 представлены результаты расчета коэффициентов трещинообразования асфальтобетонных покрытий с учетом длительности эксплуатации 5 лет.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента трещинообразования от толщины покрытия

h, см	$К_т$
5	0,6
10	0,25
15	0,15

Немаловажно, что $К_т$ при армировании продольных трещин практически не изменяется, ощутимую же разницу в результатах дает именно армирование поперечных.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Обнаружен недостаток отечественной нормативной документации, регламентирующей проектирование подобных объектов.
2. При увеличении толщины покрытия с 5 до 15 см $К_т$ при армировании уменьшается в 4 раза.
3. Армирование целесообразно при толщине покрытия от 10 см.
4. При усилении старых цементобетонных покрытий/ новом строительстве экономически эффективнее применять схемы ленточного армирования поперечных швов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Семин Е.Г., Скворцов А.А. Основы развития и строительства вертолетных площадок в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. – 2016 – №4 – С. 67-71.

2. Смирнова Е. И., Эрдниева А. Ю. Современное состояние и перспективы развития вертолетной индустрии в Российской Федерации. – 2020 – №11-2. – С. 333-339;
3. Федоров В.Н., Кузнецова Е.Б., Булавина И.Д., Новикова Ю.А., Тихонова Н.А. Гигиеническая оценка вертолетов гражданской авиации как источников шума и инфразвука в условиях территории населенных мест – 2006 – №4 (34)
4. Андронов В.Д. Разработка стратегии поддержания эксплуатационно-технического состояния аэродромных покрытий. – М., 2007, 170 с., 05.23.11
5. Михайловский А.С. Обоснование применения армированного асфальтобетона при усилении аэродромных покрытий. – М., 2007, 197 с., 05.23.11

УДК 69.04

Ю.А. Выборова, Е.В. Перевалов, Р.И. Багаутдинов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОГО СВАЙНО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

Введение. Комбинированный свайно-плитный фундамент является популярным вариантом в современном строительстве высотных зданий, обладающий большим количеством преимуществ, таких как: высокий уровень прочности и безопасности, повышенная устойчивость к опрокидыванию [1]. С развитием программных комплексов увеличивается количество методов расчета данного вида фундамента, начиная с упрощенных плоских линейных моделей и заканчивая сложными нелинейными объемными моделями основания, при учете совместного действия с каркасом здания и самого фундамента [2].

Согласно СП 50-102-2003 приблизительно принимают на сваи 85% общей нагрузки на фундамент, на плиту – 15%. В действительности результаты расчета и мониторинга реальных объектов показывают, что на ростверк может приходить и более 25%, вплоть до 45% общей нагрузки [3-5]. Именно поэтому для инженера возникает актуальный вопрос: как оптимизировать расчеты КСП-фундамента.

Цель работы. Определить метод упрощенной оценки распределения нагрузки между сваями и плитой в комбинированном свайно-плитном фундаменте.

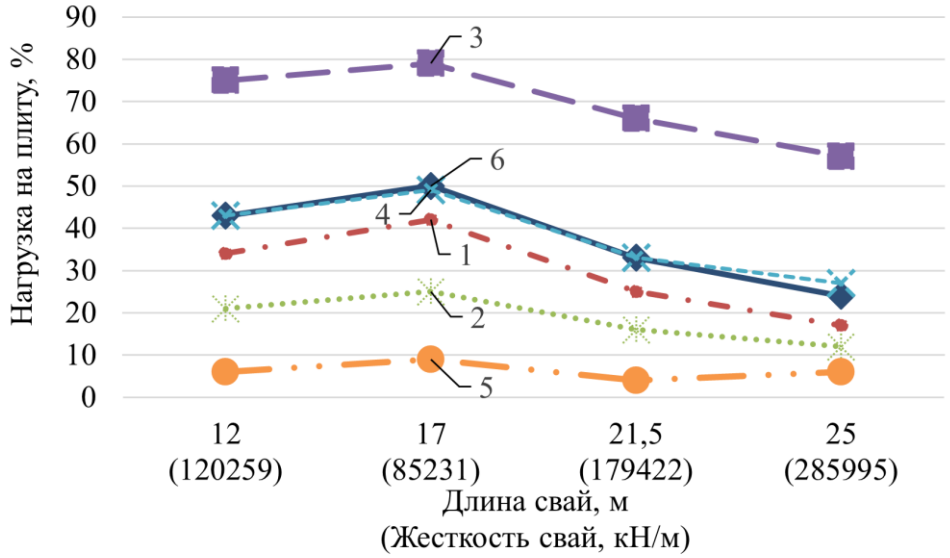
В данной работе рассматривался комбинированный свайно-плитный фундамент 5-ти пролетного 10-ти этажного здания из стального каркаса с различным соотношением длин свай и толщины плиты ростверка.

В расчетной модели учитывался собственный вес стальных конструкций, полезная нагрузка, ветровая нагрузка, вычисленная для II ветрового района и типа местности А, в соответствии с СП 20.13330.2016.

Для упрощенной оценки распределения нагрузки между сваями и плитой в комбинированном свайно-плитном фундаменте было произведено сравнение доли нагрузки, воспринимаемой плитой для различных расчетных схем и методов определения коэффициентов постели.

За основу сравнения была использована пространственная модель, которая рассчитывалась без учета совместной работы с основанием и с его учетом, посредством определения коэффициентов постели в ПК КРОСС. График зависимости включения в работу плиты в зависимости от длины сваи был получен в данном исследовании (кривая 1, рис. 1).

Далее для поиска упрощенного подхода была рассмотрена рама, в которой плитный ростверк был задан в виде балки и плиты, ширина которой равнялась шагу рам, а граничные условия учитывают прямосимметричное напряженно-деформированное состояние в поперечном к раме направлении (закрепление момента и горизонтального смещения из плоскости рамы).



1 – 3D модель; 2 – Рама «ростверк-балка» КРОСС; 3 - Рама «ростверк-балка» ЗАПРОС (8,4м х 8,4м); 4 – Рама «ростверк-балка» ЗАПРОС (42м х 42м); 5 – Рама «ростверк-балка» ПАСТЕРНАК; 6 – Рама «ростверк-плита» КРОСС

Рис. 1. Распределение нагрузки на плиту в зависимости от выбранного метода

В раме с плитой в виде балки были получены усилия в сваях:

- без учета работы основания;
- с назначением балкам коэффициентов постели, полученных расчетом 3D модели в КРОСС (кривая 2, рис.1);
- с назначением балкам коэффициентов постели, полученных при расчете осадки в ПК ЗАПРОС с учетом грузовой площади одной средней сваи (8,4×8,4 м) (кривая 3, рис.1);
- с назначением балкам коэффициентов постели, полученных при расчете осадки в ПК ЗАПРОС с учетом площади всей фундаментной плиты (42×42 м) (кривая 4, рис.1);
- с назначением балкам коэффициентов постели коэффициентов постели, полученных в ПК ПАСТЕРНАК (кривая 5, рис.1).

Рама с ростверком в виде плиты рассчитывалась также, как и пространственная модель, то есть без учета упругого основания и с его учетом (ПК КРОСС) (кривая 6, рис.1).

Из первых расчетов можно сделать вывод о влиянии жесткости сваи на то, сколько нагрузки возьмет на себя плита: плита несет на себе больше нагрузки, когда жесткость сваи меньше. Для более глубокого изучения необходимо провести исследования работы фундамента для различных вариантов грунтового основания.

Результаты. Согласно полученным расчетам, процент распределения нагрузки на плиту в 3D модели ближе всего совпадает со значениями, полученными в раме с ростверком в виде балки и коэффициентами постели из ПК ЗАПРОС с учетом площади всей фундаментной плиты и в раме с ростверком в виде плиты. Расхождение составило 8-10%.

Вывод. Расчет пространственной модели с большим количеством конечных элементов занимает достаточно много времени. В первом приближении оценки распределения нагрузки между плитой и сваями можно использовать упрощенную расчетную схему в виде вырезанной рамы в средней части здания с фундаментом в виде балки, с рассчитанными коэффициентами постели в ПК ЗАПРОС с учетом всей фундаментной плиты. Также можно использовать модель с фундаментом в виде плиты с шириной равной грузовой и произвести расчет коэффициентов постели в ПК КРОСС. Расхождение между этими методами составляет 1-3%. А процент включения в работу плиты варьируется от 25 до 50% в зависимости от длины свай.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Покидаева О.С. Основные преимущества и расчет свайно-плитного фундамента / О.С. Покидаева, И.Н. Сегаев // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 4 (20). С. 212-214.
2. Семенов В.В. Расчет комбинированных свайно-плитных фундаментов с использованием контактной модели / В.В. Семенов, Д.Ю. Чунок // Вестник МГСУ. – 2006. № 1. С. 133-135.
3. Лукьянов А.И. Рациональные конструкции комбинированных свайно-плитных фундаментов / А.И. Лукьянов, В.В. Кочерженко // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – С. 95-102.
4. Глухов В.С. Свайно-плитные фундаменты на комбинированном основании / В.С. Глухов, О.В. Хрянина, М.В. Глухова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – С. 229-237.
5. Алехин А.Н., Алехин А.А. Определение параметров нелинейной модели грунта по данным полевых испытаний // Основания и фундаменты высотных зданий – Москва, 2010. – 1201-1209 с.

УДК 624.012.35

Г.С. Горбачев, И.И. Лещенко, Р.И. Багаутдинов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ СТЫКА СОЕДИНЕНИЯ В СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЯХ

При строительстве из железобетона всегда стоит выбор между сборным или монолитным строительство, каждое имеет преимущества и недостатки. Строительство из монолитного железобетона привлекает уникальной архитектурой и планировкой для каждой постройки. Интерес к строительству из сборного железобетона растет, т.к. это позволяет снизить сроки строительства в несколько раз, сократить количество рабочей силы на стройплощадке, повысить качество возводимых зданий.

Однако в сборном строительстве остро стоит тема узлов соединения сборных элементов. Поиск оптимального узла соединения актуален не только для практического применения, а также для создания корректной расчетной модели в программных комплексах, так как на данный момент, расчетные модели не отражают фактическую работу узлов соединения сборного железобетона.

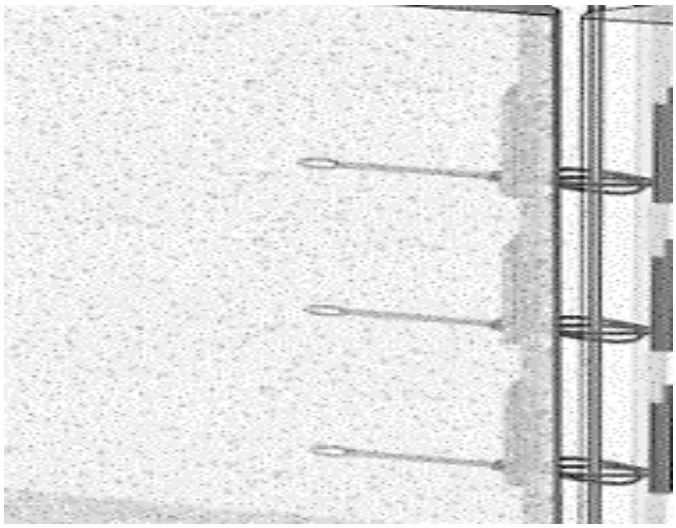


Рис. 1. Тросовые петли PVL
в соединении стеновых панелей

В работе [1] рассмотрен специальный инструмент «Стык» ПК ЛИРА-САПР для моделирования и расчета стыков крупнопанельных зданий.

Авторы данной статьи рассматривают стыковые соединения дискретного типа, а также приводят описание методик учета податливости стыковых соединений сборных железобетонных панелей [6]. Полносборное домостроение из крупных железобетонных элементов заводской готовности стало главным направлением технического прогресса в строительстве в нашей стране. Сборность конструкций крупнопанельных и каркасно-панельных зданий накладывает существенные особенности на их работу.

В книге даны некоторые рекомендации по практическому расчёту пространственной работы зданий на действие ветровой нагрузки. Приведены коэффициенты податливости соединений стыков сборных многоэтажных рам и примеры расчетов рам с учетом податливости их стыков [3].

Инновационные системы панельно-каркасного домостроения, а также преимущества использования плит перекрытия с многопустотными усилителями описаны в работе [4].

В работе [5] изложена методика определения вероятности безотказной работы стыковых соединений сборных железобетонных конструкций зданий и сооружений, приведены результаты расчета параметров надежности горизонтального контактного стыка панельных зданий.

Цель работы – учёт влияния различных факторов на жесткости узлов стыков панели.

Основной задачей является анализ влияния бетона на прочностные и жесткостные качества стыка.

Тросовые петли PVL фирмы Peikko (рис. 1) сделаны из высокопрочного стального троса и оцинкованного металлического корпуса. Петли PVL используются для соединения стеновых панелей между собой по вертикали. Тросовые петли PVL воспринимают усилия на срез, которые возникают в узлах соединений стеновых панелей.

Для создания модели будем использовать ПК САПФИР 3D 2017 года, так как в этой версии реализована функция СТЫК. Инструмент Стык предназначен для создания стыков элементов конструкции из сборного железобетона. При помощи стыков можно соединять стеновые панели между собой и с плитами перекрытия.

В библиотеке стыков необходимо выбрать схему необходимого типа стыка. В таблице параметров задаем следующие параметры стыка: материал шва, длина шва, шаг узлов разбиения, толщина шва. Для задания характеристик закладных деталей используем диалоговое окно «Закладные детали», здесь необходимо задать расположение деталей и задать жесткостные характеристики.

Используя, разработанный специально для строительной компании «Bonava» СТО 36554501-026-2012 «Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на росовых петлевых соединениях и многопустотными плитами безопалубочного формования», произведем расчет жесткостных характеристик закладных деталей и определим параметры стыка. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Жесткость закладных деталей

	К, кН/м			
	В15	В20	В30	В40
Жесткость вертикального стыка на горизонтальное растяжение	12945,57	12945,57	12945,57	12945,57
Жесткость вертикального стыка на вертикальный сдвиг (в плоскости панелей)	53997,57	64797,11	82799,93	100795,59
Жесткость вертикального стыка на горизонтальный сдвиг (из плоскости стены)	53997,57	64797,11	82799,93	100795,59
Жесткость горизонтального стыка на вертикальное сжатие	255988,9	293320,56	346665,97	383983,31
Жесткость горизонтального стыка на горизонтальный сдвиг (в плоскости панелей)	410862,12	413490,02	418289,76	422669,63
Жесткость горизонтального стыка на горизонтальный сдвиг (из плоскости панелей) принимается равной жесткости на сдвиг в плоскости панелей	410862,12	413490,02	418289,76	422669,63

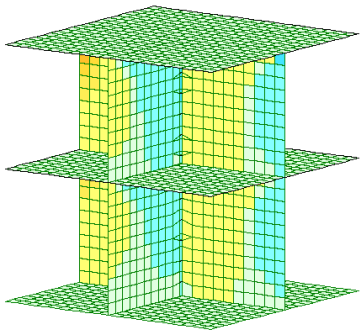


Рис. 2. Расчетная модель

Получив жесткостные характеристики закладных деталей, а также зная характеристики стыка, смоделируем двухэтажное здание в ПК Сапфир. К центру каждого из этажей приходят три стены, которые образуют Т-образный стык (перекрытие 200 мм, стены 160 мм, фундаментная плита 600 мм) (рис. 2). Приложим к перекрытиям ветровую нагрузку. Сделаем проект, в нем будем изменять материал замоноличивания стыка – бетон В15/20/30/40. Результаты будем оценивать по эпюрам напряжений в ПК Лира-САПР.

Таблица 2 – Результаты характеристик стыков

Марка бетона	В15	В20	В30	В40
E, кН/м^2	15335031,2	16883941,95	19042544,1	20517261,8
G, кН/м^2	6134006,6	6753576,7	7617013,7	8206898,8
M_{max} кН·м	3,355	2,521	2,02	1,001
X, мм	0,00625	0,00601	0,00565	0,00506

Выводы. В работе был произведен расчет петель Peikko для вертикальных стыков сборных железобетонных панелей, а также расчет жесткостных характеристик закладных деталей для горизонтальных стыков. С помощью программного комплекса Сапфир (стык) были учтены жесткости узлов соединения панелей. Была получена зависимость жесткости стыка, максимального момента в стыке и перемещения от характеристик бетона в шве бетонирования. Полученные результаты приведены в таблице 2.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Водопьянов Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК Лира-САПР 2017 // Жилищное строительство, 2017
2. Чистяков Е.А., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш. и др. Учёт податливости стыковых соединений дискретного типа в расчётах конструктивных систем крупнопанельных зданий // Архитектура и строительство, 2017
3. Васильков Б.С., Володин Н.М., Расчет сборных конструкций заданий с учетом податливости соединений // Стройиздат, 1985
4. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Хаютин Ю.Г. Инновационность системы панельно-каркасного домостроения // Жилищное строительство. 2014
5. Тамразян А. Г., Дехтерев Д. С., Черник В. И. Расчет параметров надежности стыковых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // Инновации и инвестиции. 2020

УДК 69.04

А.А. Сигунова, Р.И. Багаутдинов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРКАСОВ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ ПОЛУРАСКОСНЫХ СВЯЗЕЙ

Введение. Метод оптимизации может быть использован для решения многих сложных задач проектирования [1]. Наиболее эффективный путь оптимизации каркасов зданий – это выбор рациональной конструктивной схемы с концентрацией материала в определенных элементах системы [2]. Генеративный дизайн позволяет проектировать, используя определенные алгоритмы. Система самостоятельно создаёт множество вариантов, сравнивает их и отбирает самые хорошо оптимизированные модификации [3-5].

Цель работы: определение наиболее экономически эффективного положения полураскосных связей при обеспечении прочности и устойчивости каркаса.

Для достижения поставленной цели решалась следующая задача: нахождение объема конструкции в зависимости от этажа фермы и угла наклона раскосов, используя условие прочности сжатого или растянутого стержня и условие устойчивости сжатого стержня.

В данной работе рассматривается стальной каркас 10-ти этажного здания с различным углом наклона раскосов. Фрагмент каркаса представлен на рис. 1.

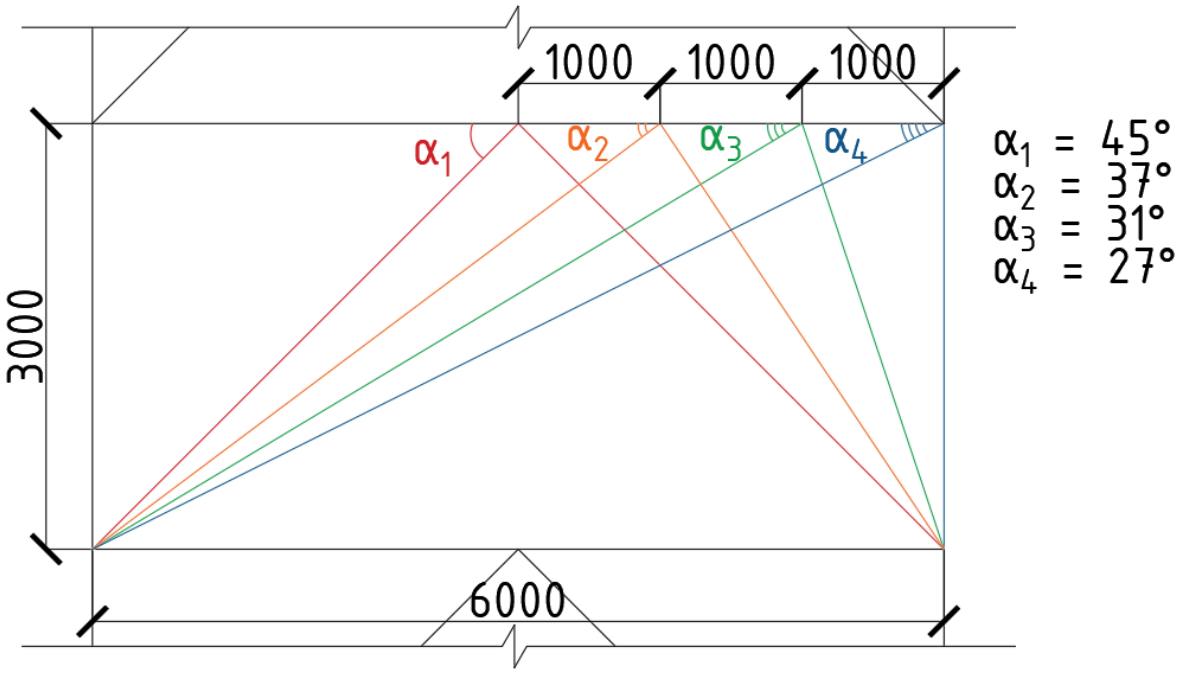


Рис. 1. Фрагмент каркаса 10-ти этажного здания

В расчетной модели учитывалась ветровая нагрузка, вычисленная для II ветрового района и типа местности Б в соответствии с СП 20.13330.2016.

Из условия устойчивости сжатого стержня найдем площадь поперечного сечения раскоса №3 и его объем. Коэффициент приведения длины стержня принят равным 1 ($\mu = 1$), $F_k = N$.

$$I_{min} \geq \frac{Nl^2}{\pi^2 E}.$$

В качестве раскосов используются стальные трубы круглого сечения. Момент инерции такого стержня равен:

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4).$$

где D и d соответственно больший и меньший диаметр трубы. Примем отношение $\frac{d}{D} = b = 0{,}96$: $I = \frac{\pi}{64}(D^4 - (bD)^4)$.

Площадь поперечного сечения трубы вычисляется по формуле:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(D^2 - (bD)^2) = \frac{\pi D^2}{4}(1 - b^2).$$

Выразим больший диаметр трубы: $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi(1-b^2)}}$.

Определим значение площади поперечного сечения через I_{min}:

$$A = \sqrt{\frac{4I\pi(1-b^2)}{(1+b^2)}} = \sqrt{\frac{4Nl^2(1-b^2)}{\pi E(1+b^2)}}.$$

В таблице 1 представлены значения объемов сжатого стержня №3 в зависимости от угла α на 1-ом, 5-ом и 10-ом этажах соответственно.

Таблица 1 – Значения объемов сжатого стержня №3

№	α	V_1, см^3	V_5, см^3	V_{10}, см^3
1	45°	1682,79	1280,33	384,04
2	37°	1128,67	859,34	258,71
3	31°	799,1	607,97	182,04
4	27°	0	0	0

В таблицах 2, 3 и 4 представлены результаты расчета объемов стержней в зависимости от угла α на 1-ом, 5-ом и 10-ом этажах соответственно.

Таблица 2 – Значения объемов стержней на 1-ом этаже

α	Стержень №1	Стержень №2	Стержень №3	Стержень №4	Стержень №5	Стержень №6
	V, см^3					
45°	$1{,}270\cdot10^{-3}$	593,449	1682,791	1270,321	266,611	329,343
37°	$1{,}270\cdot10^{-3}$	820,965	1128,669	1270,321	118,354	557,896
31°	$1{,}270\cdot10^{-3}$	1126,191	799,099	1270,321	29,693	844,790
27°	$1{,}269\cdot10^{-3}$	1477,964	0	1568,298	0	1183,124

Таблица 3 – Значения объемов стержней на 5-ом этаже

α	Стержень №1	Стержень №2	Стержень №3	Стержень №4	Стержень №5	Стержень №6
	V, см^3					
45°	$0{,}392\cdot10^{-3}$	343,529	1280,325	392,074	141,147	203,879
37°	$0{,}392\cdot10^{-3}$	474,750	859,335	392,074	62,732	334,570
31°	$0{,}392\cdot10^{-3}$	652,776	607,968	392,074	15,683	496,628
27°	$0{,}392\cdot10^{-3}$	850,487	0	565,215	0	693,815

Таблица 4 – Значения объемов стержней на 10-ом этаже

α	Стержень №1	Стержень №2	Стержень №3	Стержень №4	Стержень №5	Стержень №6
	V, см^3					
45°	0	30,909	384,043	0	0	31,366
37°	0	43,536	258,708	0	0	41,821
31°	0	59,787	182,041	0	0	52,277
27°	0	77,569	0	15,683	0	62,732

На рис. 2 представлены окончательные и оптимальные объемы конструкции в зависимости от угла α на 1-ом, 5-ом и 10-ом этажах.

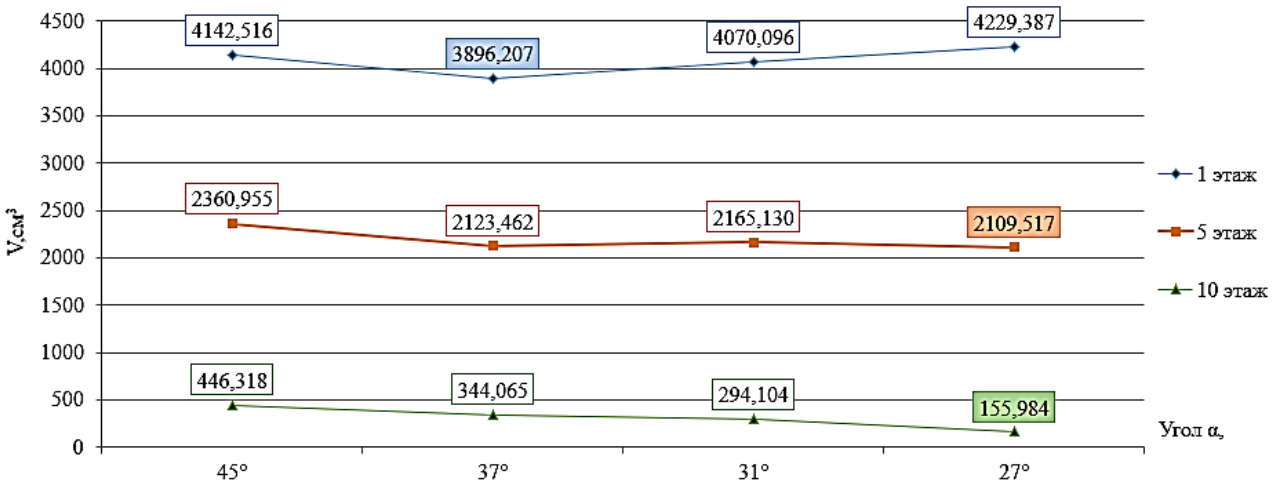


Рис. 2. Окончательные и оптимальные объемы конструкции
в зависимости от угла α на 1-ом, 5-ом и 10-ом этажах

Вывод. Решение задач оптимизации в современных условиях, в частности при проектировании, является актуальным, поскольку способствует определению наиболее рациональных каркасов. В работе показано, что наиболее экономически эффективное положение полураскосных связей зависит от конкретного этажа здания. Отслеживается определенная взаимосвязь: чем выше этаж, тем меньше угол α. При заданном значении нагрузки наиболее эффективным положением является: для первого этажа – α = 37°, для пятого этажа – α = 27°, для десятого этажа α = 27°.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kicinger, R., Arciszewski, T., De Jong, K. A. Morphogenesis and structural design: cellular automata representations of steel structures in tall buildings // Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation. 2004. PP. 411-418.
2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. №1. С. 12-30.
3. Слиж В.Д., Сальников В.Б., Ким В.В., Придвижкин С.В. Генеративный дизайн в современном подходе к проектированию в строительстве// Материалы III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 161-165.
4. Пархимович А.Б., Краснова А.В., Воейко О.А. Генеративный дизайн как новая ступень проектирования // Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 125-129.
5. Дмитриева Т.Л., Минь Дат Ле Чан. Оптимальное проектирование металлического каркаса // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. С. 136-145.

УДК 69.07

А.Д. Гроховская, К.Н. Дуванова, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ БАЛКАМ

В настоящее время довольно широкое распространение получила тенденция совершенствования уже известных материалов в сфере строительства и применение более прогрессивных решений. Толчком к этому послужило желание сократить материалоемкость и стоимость строительных конструкций. Именно эти показатели позволяют улучшить использование сталежелезобетонных перекрытий.

Главная цель данного исследования – разработка конструкции перекрытия в виде сталежелезобетонного элемента по металлическим балкам двутаврового сечения, сравнение целесообразности применения данной технологии при строительстве высотного здания с учетом прочностных и экономических факторов.

Перед началом работы над данным исследованием необходимо изучить преимущества применения сталежелезобетонных конструкций в высотном строительстве, которые осветили в своей работе П.И. Егоров и С.А. Королев [1]. Также стоит учесть достоинства и недостатки сталежелезобетонных плит перекрытий с профилированным настилом. Их описание детально рассматривается авторами в [2].

В работах [3, 5] авторы рассматривают конструктивные решения по обеспечению совместной работы плиты из железобетона и стального профилированного настила.

Статья [4] раскрывает вопросы, связанные с моделированием сталежелезобетонных перекрытий в программном комплексе. Основные сведения о сталежелезобетонных конструкциях, а также их моделирование описано в [6].

После изучения научной литературы можно сделать вывод о том, что требуется провести дополнительное исследование, результаты которого представлены в данной работе. В задачи исследования входит:

1. Изучение актуальности применения сталежелезобетонных конструкций в строительстве;
2. Формирование расчетной модели в программном комплексе SCAD;
3. Расчет сталежелезобетонного перекрытия согласно актуальным нормативным документам;
4. Проведение анализа полученных результатов;
5. Формулирование выводов о проведенном исследовании.

В ходе исследования было пройдено три основных этапа по изучению актуальности применения сталежелезобетонных конструкций и анализу полученных результатов. Во время работы над первой частью были выявлены достоинства применения данной конструкции:

Во-первых, применение сталежелезобетонных конструкций снижает расход бетона до 30% по сравнению с традиционными решениями.

Во-вторых, сталежелезобетонная конструкция перекрытия обладает меньшим весом, что позволяет снизить количество необходимых опор и фундаментов. Кроме того, экономически выгодно использовать данный тип конструкции еще по одной причине. Она позволяет не использовать опалубку. Сталь и бетон имеют хорошую сочетаемость, благодаря чему стальные профили могут выступать т как несущие элементы, и как опалубка.

В-третьих, данная конструкция обеспечивает большую устойчивость колонн и балок, так как сопутствует равномерному распределению горизонтальной нагрузки. Также использование сталежелезобетонных перекрытий позволяет увеличить жесткость проектируемой конструкции.

Следующий этап работы заключался в расчете элементов проектируемого перекрытия. Первым шагом расчета являлось конструирование стального профилированного настила с целью определения по полученным нагрузкам и прогибам шага второстепенных балок. Нами были рассмотрены конструктивные решения по обеспечению совместной работы стального профилированного настила и железобетонной плиты.

На основе полученных промежуточных сведений был выполнен расчет второстепенных балок и главной балки конструкции для жесткого защемления и шарнирного опирания.

Схема расположения балок представлена на рисунке 1. Шаг второстепенных балок составляет 1,5 м согласно расчету.

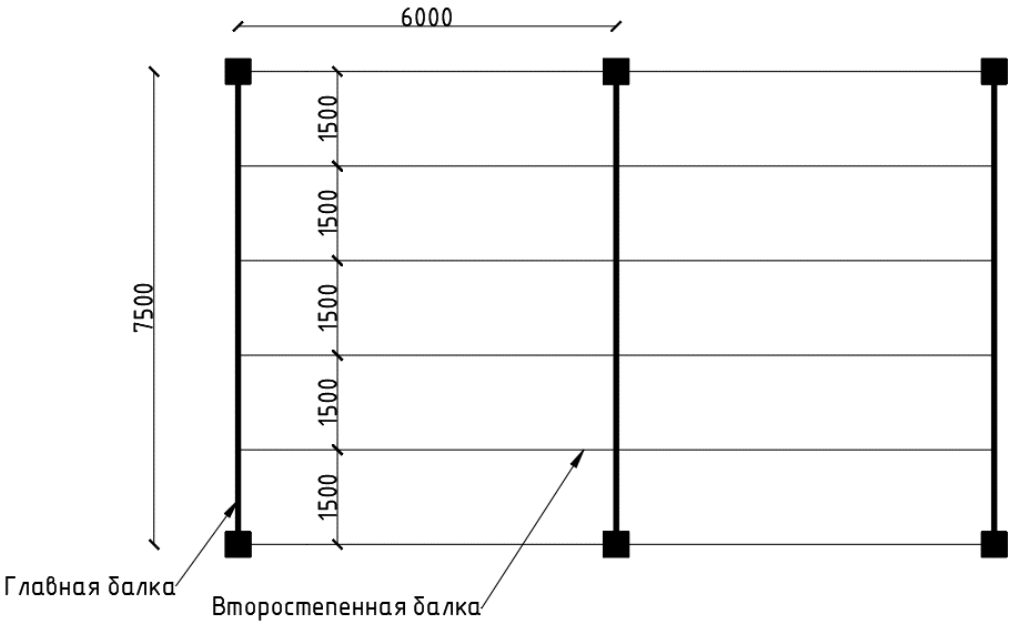


Рис. 1. Схема расположения балок

Расчетная схема главной балки с шарнирным опиранием приведена на рисунке 2 и представляет собой пятипролетную балку.

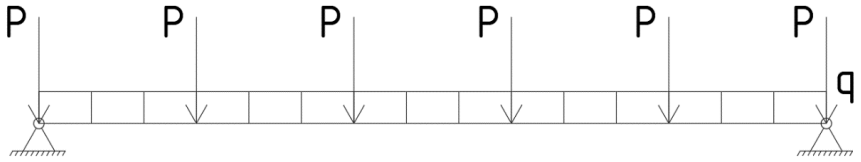


Рис. 2. Расчетная схема балки

Итоговая расчетная схема главной балки с шарнирным опиранием отображена на рисунке 3.

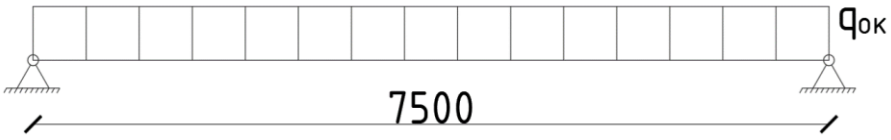


Рис. 3. Итоговая расчетная схема главной балки с шарнирным опиранием

Рассчитываемая главная балка выполнена из бетона класса В25. В ходе расчета был получен максимальный изгибающий момент $M_{\max} = 282{,}44$ кН·м, на основании которого было подобрано двутавровое сечение с параллельными гранями полок 60Ш2. Фактический прогиб рассчитываемой балки составил $f = 34{,}8$ мм, что меньше предельно допустимого значения $f_u = 37{,}5$ мм.

Заключительной частью работы являлся анализ полученных результатов, сравнение применения сталежелезобетонного перекрытия с традиционным аналогом, проведение расчета пространственной рамы с помощью программного комплекса SCAD Office. Были выявлены экономические и прочностные преимущества и недостатки каждого метода.

По итогам исследования можно сделать следующие выводы:

1. На стадии расчета профилированного настила увеличение шага второстепенных балок приводит к достижению недопустимых прогибов на стадии возведения, что является основанием к учащению шага для расчета главной балки;

2. По сравнению с жестко защемленным закреплением главной балки, шарнирное опирание соответствует большим моментам, а, следовательно, большим прогибам, что приводит к необходимости использования сечения увеличенного размера (двутавр 60Ш2). Такой результат говорит о экономических недостатках использования сталежелезобетонных конструкций в высотных сооружениях;
3. Преимуществом конструкции данного типа перед железобетонным перекрытием является обеспечение большей устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Егоров П.И., Королев С.А. Сталежелезобетонные перекрытия // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. No1. С. 310-313.
2. Тамразян А.Г., Арутюнян С.Н. К оценке надежности сталежелезобетонных плит перекрытий с профилированными настилами // Вестник гражданских инженеров. 2014. №6(53). С.52-57.
3. Колякова В.М., Шармаков Е.Л. Особенности работы сталежелезобетонных пролетных конструкций при обеспечении их анкеровки в пролете // Наукові нотатки. 2011. №46. С.280-285.
4. Михаськин В.В., Карачева М.А. Моделирование сталежелезобетонного перекрытия с профилированным настилом и оценка расчетной схемы в сравнении с ручным расчетом // Вопросы науки и образования. 2018. №7(19). С.56-58.
5. Айрумян Э.Л., Каменьщиков Н.И., Румянцева И.А. Особенности расчета монолитных плит сталежелезобетонных перекрытий по профилированному настилу // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №9. С.21-26.
6. Тихонов С.М., Алехин В.Н., Беляева З.В., и др. Проектирование металлических конструкций. Часть 1. Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования. Учебник для ВУЗов // Издательство «Перо». 2020. с. 278-312.

УДК 69.04

Д.И. Зверев, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ И ПОДБОР АРМИРОВАНИЯ В БАЛКАХ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСОЛЬНЫМИ ВЫЛЕТАМИ

Несомненно, здания формируют образ городов и потому к их внешнему виду предъявляются определённые требования. Часто создание уникального облика здания предполагает использование консолей, в том числе и в высотных зданиях. Однако свойства железобетона ограничивают длину консоли [1]. Исследование же относительно коротких консолей в настоящий момент не имеет широкого рассмотрения в литературе [2] и, следовательно, представляет интерес с точки проектирования зданий.

Цель работы – проанализировать армирование монолитных балок с консолями вылетом 6000, 5100, 4440, 3770, 2440 и 2070 мм. Задачи работы: получить эпюру изгибающих моментов в балках, рассчитать необходимое армирование, подобрать арматурные стержни.

Рассматриваемые балки являются частью несущего каркаса здания бизнес-центра (в зданиях до 35 этажей наибольшее распространение получила каркасная схема [3]). Количество этажей здания 29, архитектурная высота 117,6 м, что больше 100 м и, вследствие чего, согласно ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ оно является уникальным. Использование консолей обусловлено выбранным внешним обликом здания. Кроме того, это позволяет увеличить полезную площадь этажей [4]; длина вылета консолей принята не более 10 м [1].

Сечение рассматриваемых балок, расположенных по контуру здания, 400×400 мм, толщина перекрытия 200мм. Данные балки опираются на колонны сечением 400×400 мм. Во всех упомянутых железобетонных конструкциях используется бетон В35.

На первом этапе расчёта была создана конечно-элементная модель в программном комплексе SCAD++. Шаг разбиения сетки 0,5м, что обеспечивает достаточную точность расчёта [5]. Балки и колонны заданы стержнями, перекрытия и стены – пластинами. Нагрузка от навесного фасада задана равномерно распределённой по контуру перекрытия, остальные – равномерно распределённые по площади. Для расчёта горизонтальных элементов принят по п.6.2.6 СП 52-103-2007 понижающий коэффициент модуля упругости 0,3, для вертикальных – 0,6. В узле соединения балки и колонны задано абсолютно жёсткое тело (АЖТ) для корректного отображения значений эпюры моментов и во избежание завышенных значений подобранной арматуры. Влияние АЖТ на эпюру изгибающих моментов в балке видно на рис. 1.

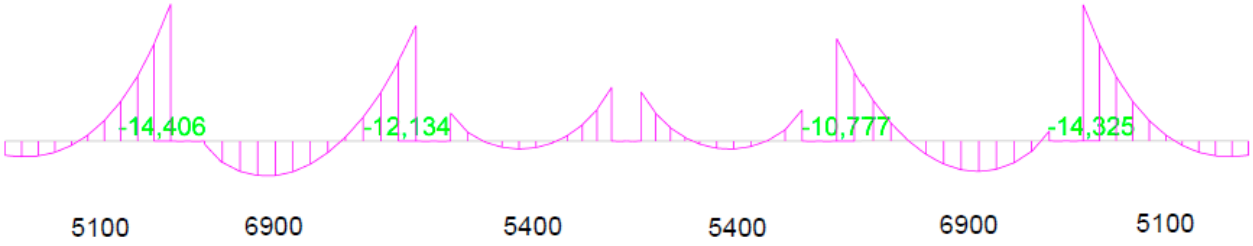


Рис. 1. Эпюра изгибающих моментов *My*, т·м в балке с вылетом консоли 5,1 м на отм. +98,4 м. Внизу приведены расстояние между осями, мм

Поля армирования для этой же балки приведены на рис. 2.



Рис. 2. Поля армирования, см^2 в балке с вылетом консоли 5,1 м на отм. +98,8 м

Следует отметить, что наличие изгибающего момента на конце балки объясняется тем, что при максимальном вылете (5,1 и 6 м в зависимости от стороны здания), концы балок пересекаются друг с другом. При среднем вылете (4,44 и 3,77 м) консоли не соприкасаются и изгибающий момент на их концах отсутствует (рис.3).

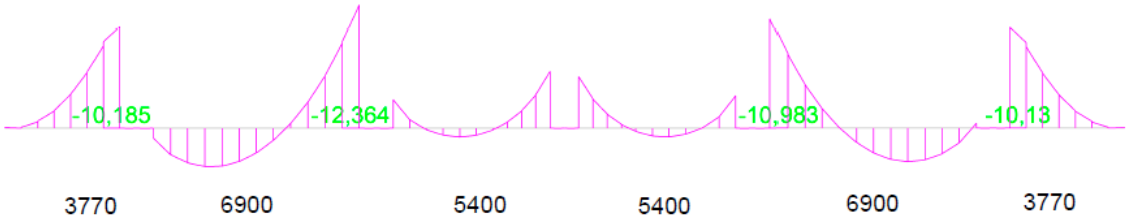


Рис. 3.Эпюра изгибающих моментов *My*, т·м в балке с вылетом консоли 3,77 м на отм. +94,6 м. Внизу приведены расстояние между осями, мм

Армирование, принятое по полученным результатам, приведено в табл.1.

Таблица 1 – Армирование балок

Вылет, м	Необходимое армирование, см^2	Принятые стержни А500С, мм	Площадь принятого армирования, см^2	Разница между принятым и необходимым армированием, %
6,00	15,88	4Ø25	19,64	19
5,1	16,6	4Ø25	19,64	15
4,44	12,59	4Ø20	12,56	0
3,77	14,01	4Ø22	15,20	8
2,44	12,7	4Ø20	12,56	-1
2,07	8,43	4Ø18	10,18	17

Нижнее армирование, ввиду малой требуемой площади (рис.4), принято конструктивно 4Ø12.



Рис.4 Поля армирования, см^2 в балке с вылетом консоли 3,77 м на отм. +94,6 м

Далее выполнена проверка по 2 группе предельных состояний. Вид одной из деформированных балок показан на рис. 5.

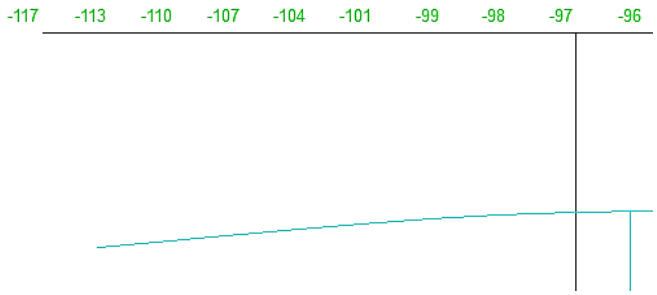


Рис. 5. Деформированная схема и прогибы,
мм консоли балки вылетом 3,77м на отм. +94,6м.

Допустимый прогиб консоли – 1/75 её вылета согласно п.15.2.3 СП 20.13330.2016. Как видно из табл. 2, существующие прогибы меньше предельных.

Таблица 2 – Прогибы консолей балок

Вылет консоли *l*, м	Допустимый прогиб *l*/75, мм	Перемещение на конце	Перемещение на опоре	Прогиб
6	80	133	90	43
5,1	68	133	98	32
4,44	59	116	89	27
3,77	50	117	97	20
2,44	33	95	88	7
2,07	28	100	96	4

В результате работы выполнен подбор арматуры в балках с консольными вылетами 6000, 5100, 4440, 3770, 2440 и 2070мм. Принятое армирование находится в традиционно используемом диапазоне. Проведена проверка по II группе предельных состояний, из которой следует, что рассматриваемая конструкция пригодна к эксплуатации. Показано, что использование исследуемых консолей в уникальных зданиях не требует специальных конструктивных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Свитлик И.В. Сравнительный анализ конструктивных систем высотных зданий с консольными и подвешенными этажами. Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. 2019, с.332-336
2. Lima, M., Rocha, P., Silveira, R. and K. Silva Analysis and design of concrete structures using strut and tie model by FEM Application in foundation blocks, short consoles, wall beams and rigid shoes
3. Mir M. Ali, Kyoung Sun Moon. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. Architectural Science Review. 2007, 50:3, p.205-223
4. Кретов М.Г. Перспективы строительства зданий с консольными этажами в России. XXXII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. 2004. ч.I, с.87-89
5. Завьялова О.Б., Куликов В.В. Оценка влияния плотности сетки конечных элементов на точность расчёта конструкций здания в программном комплексе «Мономах-САПР»

УДК 69.07

П.Л. Десятова, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ГОРЫ ПРИЗЕМЛЕНИЯ ЛЫЖНОГО ТРАМПЛИНА К-60 В Г. КРАСНОЯРСКЕ

Введение. Министерством спорта Российской Федерации 1 октября 2018 года был подписан приказ №839 «Об утверждении программы развития прыжков на лыжах с трамплина в Российской Федерации на 2018-2022 годы». Одной из важнейших задач программы является модернизация и обновление материальной базы прыжков на лыжах с трамплина. В связи с этим в настоящее время активно проектируются и строятся новые тренировочные комплексы с трамплинами в разных регионах страны. Но информация по этому вопросу в отечественной литературе представлена в очень небольшом количестве.

В статье Блянкинштейна О.Н. [1] рассказывается история спортивных сооружений для зимних видов спорта, в том числе трамплинов, в Красноярском крае. К Зимним спартакиадам СССР 1982 и 1986 гг. в Красноярске на Николаевской сопке был создан комплекс из 5 трамплинов: К-15, К-31, К-56, К-90 и К-120, которые позже были утеряны, а на их месте в настоящее время строятся новые. Из учебника Виршилло Р. [2] следует, что для горы приземления возможны два варианта устройства: путем проведения земляных работ с приданием склону необходимого профиля или частичное возведение поддерживающих конструкций. Компоновочные схемы в учебнике металлических конструкций Горева В.В. [3] не учитывают того, что трамплин комплексное сооружение и состоит не только из горы разгона, но и горы приземления. В статье Гавриловой Д.С. и Филиппова П.Н. [4] наглядно представлено изменение профиля горы приземления трамплина в Холменколлене (Норвегия) связанное с развитием данного вида спорта. В работе Кадзуя Сео [5] описана процедура оптимизации геометрии посадочного склона прыжкового трамплина на горе Зао в Японии.

Цель и задачи. Целью работы является выбор оптимального варианта конструктивного решения для горы приземления лыжного трамплина К-60 в г. Красноярске. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Оценка размещения профиля трамплина на рельефе предполагаемого места строительства;
2. Обзор применяемых пирогов для конструкции горы приземления лыжного трамплина;
3. Сбор нагрузок с учётом специфики для данной части спортивного сооружения;
4. Расчет и конструирование выбранной конструкции горы приземления.

Основная часть. На первом этапе исследования рассматривалось размещение профиля лыжного трамплина на предполагаемом месте строительства. Гора приземления и выкат занимают значительный объем всей конструкции трамплина, поэтому максимальное использование естественного склона позволяет сократить затраты на строительство. Габариты горы приземления трамплина в Красноярске в плане: длина 110,4 м, ширина меняется от 8,5 м под столом отрыва до 17 м на выкате, перепад высот составляет 40,2 м. Чаще всего гора приземления частично надстраивается, а в некоторых местах склону придается необходимый профиль с помощью отсыпки грунтом. Иногда можно обойтись без поддерживающих конструкций и выполнить только отсыпку профиля. В случае трамплина К-60 в г. Красноярске возможно выполнить его посадку на рельеф максимально близко к естественному склону без устройства балочных или рамных поддерживающих конструкций, но необходимо выполнить планировку склона.

На втором этапе исследования рассмотрены применяемые на практике пироги горы приземления. Варианты конструкции пирога горы приземления были отобраны и систематизированы из типового проекта комплекса учебно-тренировочных трамплинов «Малыш» с официального сайта Федерации прыжков на лыжах с трамплинов и лыжного

двоеборья России, а также других реализованных проектов трамплинов в России компании ООО «Архитектурная мастерская Десятова», г. Екатеринбург. Конструкция пирога зависит от размещения трамплина на рельефе, материала применяемых конструкций, требований к пластиковому покрытию, а также возможной стоимости строительства. Поскольку размещение на склоне не предполагает поддерживающих конструкций, был выбран вариант устройства плиты по грунту. Так как трамплин К-60 относится к средним по мощности трамплинам и находится в одном из крупнейших городов России с развитой МТБС, решено применить более дорогостоящие и долговечные железобетонные конструкции.

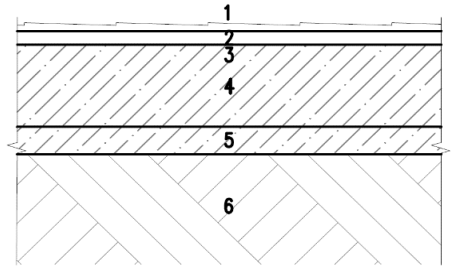


Рис. 1

Конструкция выбранного пирога горы приземления показана на рис. 1, где 1 – искусственное пластиковое покрытие 25 мм; 2 – амортизирующий материал (резина) 50 мм; 3 – гидроизоляция 5 мм; 4 – монолитная ж/б плита (толщина и армирование по расчету); 5 – подготовка из бетона В7,5 100 мм; 6 – уплотненный грунт основания.

На третьем этапе был выполнен сбор нагрузок с учётом спортивной специфики данной части лыжного трамплина.

Помимо собственного веса пирога учитывалась временная нагрузка от утрамбованного снежного покрытия, нагрузка от ратрака и барабана для уплотнения и разрыхления снега, а также технологическая от системы снегоудержания. Ратрак даёт также динамическую нагрузку, которую обязательно нужно учитывать, если гора приземления имеет металлические поддерживающие конструкции. Учёт этих нагрузок обусловлен требованиями по подготовке снега в п. 417 Международных правил соревнований по лыжным видам спорта. Комбинации загружений выполнены согласно СП 20.13330.2016.

На четвертом этапе был выполнен расчет выбранной конструкции горы приземления в ПК ЛИРА-САПР с назначением материалов и сечений. Плита горы приземления опирается на буронабивные сваи (Ø320 мм, h = 5м) и разделена 4-мя температурно-усадочными швами на 5 частей, не превышающих по длине 25 м.

Для расчета армирования был замоделирован один участок (рис. 2) размером в осях 20 м, под углом 34,9°, с двух сторон опёртый на сваи (57 КЭ), по модели грунта были вычислены и приложены коэффициенты постели.

В результате расчета была принята монолитная железобетонная плита толщиной 300 мм из бетона класса В25, W6, F150. Поперечное и продольное фоновое армирование выполнено конструктивно из арматуры диаметра Ø10 класса А500С с шагом 200 мм.

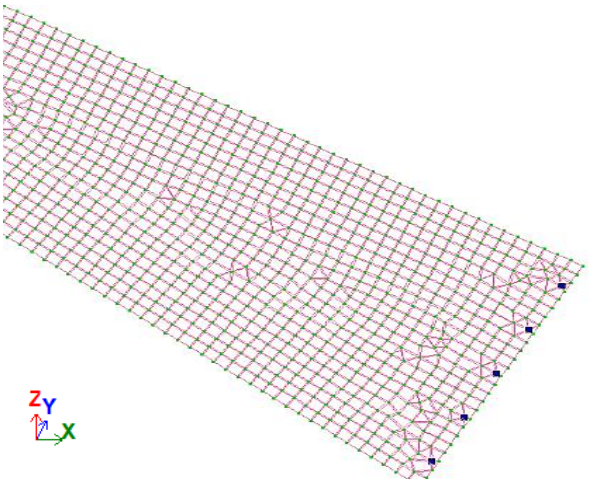


Рис. 2. Конечно-элементная модель

Выводы.

1. Размещения профиля трамплина на рельефе предполагаемого места строительства определяет конструкцию горы приземления. Это либо расположение по естественному склону с приданием горе необходимого профиля, либо частичное возведение самостоятельных поддерживающих конструкций.
2. Конструкции пирога горы приземления базируются на основных материалах несущих конструкций: железобетон, металл, древесина и подбираются под конкретный случай. Конструкция пирога зависит от размещения трамплина на рельефе, материала применяемых поддерживающих конструкций, требований к пластиковому покрытию и стоимости строительства.
3. При расчете конструкции горы приземления сбор нагрузок должен учитывать специфические особенности данного вида спорта. Должна быть учтена нагрузка от утрамбованного снежного покрытия, нагрузка от ратрака и барабана для уплотнения и разрыхления снега, а также технологическая от системы снегоудержания.
4. Таким образом, оптимальный вариант конструктивного решения горы приземления лыжного трамплина К-60 в г. Красноярске представляет собой железобетонную плиту по грунту. Плита горы приземления опирается на буронабивные сваи $\varnothing 320$ мм, h = 5 м с шагом в осях 20 м вдоль горы приземления, армирование плиты конструктивное: $\varnothing 10$ класса А500С с шагом 200 мм. Пирог конструкции горы приземления имеет следующий вид:
   1 – искусственное пластиковое покрытие 25 мм;
   2 – амортизирующий материал (резина) 50 мм;
   3 – гидроизоляция 5 мм;
   4 – монолитная ж/б плита 300 мм;
   5 – подготовка из бетона В7,5 100 мм;
   6 – уплотненный грунт основания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Блянкинштейн О.Н. Сооружения для зимних видов спорта в Красноярском крае периода советской истории //Баландинские чтения. – 2015. – Т. 10. – №. 2.
2. Виршилло Р. Спортивные сооружения / Под ред. Р. Вирпшлло //Варшава: Аркады. – 1968.
3. Горев В.В. Металлические конструкции. том 3 Специальные конструкции и сооружения //Высшая школа. – 2002.
4. Гаврилова Д. С., Филиппов В.Н. Архитектура современных лыжных трамплинов //Региональные архитектурно-художественные школы. – 2014. – №. 1. – С. 129-134.
5. Seo K. et al. Design Optimization of the Landing Slope of a Ski Jumping Hill //International Congress on Sports Science Research and Technology Support. – Springer, Cham, 2015. – С. 57-70.

УДК 69.07

А.К. Демиденко, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ КОНСОЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ МАЛОЭТАЖНОГО БИЗНЕС-ЦЕНТРА

Введение. Вопрос выбора конструктивных решений и используемых несущих конструкций имеет первостепенное значение при проектировании уникальных зданий и сооружений. При решении данного вопроса важно учитывать влияние соотношения геометрических характеристик здания на его напряженно-деформированное состояние, оптимально подбирать используемые конструкции и материалы [1].

Объектом научного исследования является концепция здания малоэтажного бизнес-центра с консольным вылетом, выполненная в формате *.rte со следующими характеристиками:

- этажность здания:
  4 надземных ($h_{эт}$ = 4,8 м) этажа,
  2 подземных ($h_{эт}$ = 3,5 м) этажа;
- этажность консоли:
  3 этажа (2-4 этаж);
- длина консольной части:
  переменная от 0 до 24 м.

Концептуальная модель здания представлена на рис. 1.

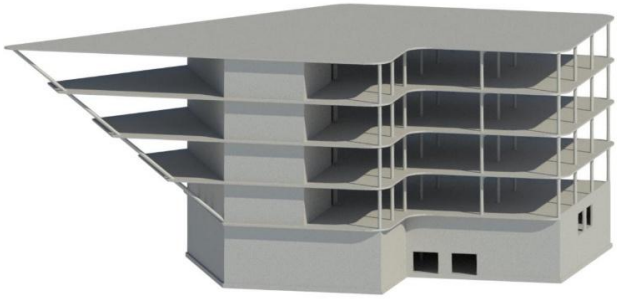


Рис. 1

Основная конструктивная схема здания – каркасная, с несущими ж/б колоннами с диаметром сечения 400 мм, несущими плитами перекрытий толщиной 200 мм, продольно-поперечными ж/б балками прямоугольного сечения 600×400 мм и фундаментной плитой толщиной 500 мм. Лестнично-лифтовой узел является ядром жесткости и состоит из ж/б стен толщиной 200 мм. Наружные стены подвала – ж/б толщиной 200 мм.

Целью исследования является выбор и расчет несущих конструкций консольного выступа здания под действием нагрузок.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать несущие конструкции существующих зданий с консольной частью и создать предварительную аналитическую модель в программе Autodesk Revit 2021 для предложенной концепции.
2. Произвести расчеты экспортированной модели на различные виды нагрузок в программном комплексе SCAD Soft;
3. Проанализировать результаты расчета по двум группам предельных состояний для корректировки конечно-элементной модели и характеристик используемых конструкций;
4. По результатам расчетов выбрать проектное решение, удовлетворяющее требованиям нормативных документов.

Результаты анализа существующих проектов Villa Méditerranée by Boeri Studio и The Porsche Museum in Stuttgart показали, что для устройства эксплуатируемой консоли с вылетом более 20 метров целесообразно применение ферменных конструкций из профилей металлопроката, соединенных с ядром жесткости из железобетонных колонн, стен и плит перекрытий. Пространственная схема фермы, а также профили поясов, раскосов и стоек были приняты в соответствии с рекомендациями [2-3]. Выбранные фермы были установлены на 4 этаже здания по обоим краям его консольной части.

Для предварительного расчета пространственной схемы в ПК SCAD ++ было принято жесткое защемление фундаментной плиты, выбраны следующие параметры несущих конструкций:

- колонны: монолитный ж/б, бетон В25, Ø400 мм;
- наклонные колонны: монолитный ж/б, бетон В25, Ø500 мм;
- балки: монолитный ж/б, бетон В25, 600х400 мм;
- перекрытия: монолитный ж/б, бетон В25, 200 мм;
- фундаментная плита: монолитный ж/б, бетон В25, 500 мм;
- стены: монолитный ж/б, бетон В25, 200 мм;
- верхний и нижний пояса фермы: двутавр 50Б1 ГОСТ 26020-83;
- раскосы и стойки фермы: квадратные трубы 300х5,5 ГОСТ Р 54157-2010.

Были произведены предварительные расчеты здания под приложенной нагрузкой от собственного веса. Для уменьшения прогибов в перекрытиях консольной части здания было

принято решение по установке дополнительных ферм на 3 этаже по краям консольной части, а также установке ферм на 3 и 4 этажах посередине консольной части.

В соответствии с рекомендациями [4] была подключена модель песчаного грунта с коэффициентами постели C_1 = 120 т/м^3 и C_2 = 2882 т/м. Жесткостные характеристики железобетонных конструкций были уменьшены: для вертикальных элементов – до значений 0,6*EI*, для горизонтальных элементов консольной части – до 0,2*EI*, для горизонтальных элементов основной части – до 0,3*EI*.

Были собраны постоянные, длительные и кратковременные нагрузки на здание, составлены таблицы расчетных сочетаний усилий (РСУ) и расчетных сочетаний нагрузок (РСН), произведен расчет по методу PARFES.

Подобно [5] был произведен анализ по II группе предельных состояний. Так как полученные значения прогибов в консольной и основной частях здания превышали соответствующие предельно допустимые по требованиям СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», то с помощью дальнейших итераций и изменений расчетной схемы класс бетона был увеличен до В35, под фермами 3-го этажа были установлены дополнительные наклонные колонны на 2 этаже, опирающиеся на ядро жесткости. Были оптимизированы сечения ферменных конструкций. Увеличена толщина фундаментной плиты.

Значения максимальных вертикальных перемещений несущих конструкций от расчетных сочетаний нагрузок составили:

– для перекрытия в консольной части здания: $\Delta_к = 279 - 176 = 103$ мм;
– для перекрытия в основной части здания: $\Delta_{осн} = 200 - 171 = 29$ мм;
– относительная разность осадок фундаментной плиты: $\Delta s/l = (182 - 74)/50912 = 0{,}0021$.

В соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» прогибы конструкций не должны превышать:

– для перекрытия в консольной части здания: $2l/250 = 2 \cdot 24/250 = 0{,}192$ м $= 192$ мм;
– для перекрытия в основной части здания: $l/225 = 9/225 = 0{,}04$ м $= 40$ мм.

В соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», предельная относительная разность осадок фундаментов зданий с монолитным железобетонным каркасом составляет 0,003. Вычисленные деформации несущих конструкций не превысили предельно допустимых значений. Требования I и II групп предельных состояний были соблюдены.

Итоговые материалы несущих конструкций: бетон класса В35, рабочая арматура класса А500 периодического профиля с диаметром от 16 до 28 мм, сталь обыкновенная марки С345. Сечения из гнутосварных профилей приняты по ГОСТ Р 54157-2010. Геометрические размеры и жесткостные характеристики несущих конструкций здания представлены на рис. 2.

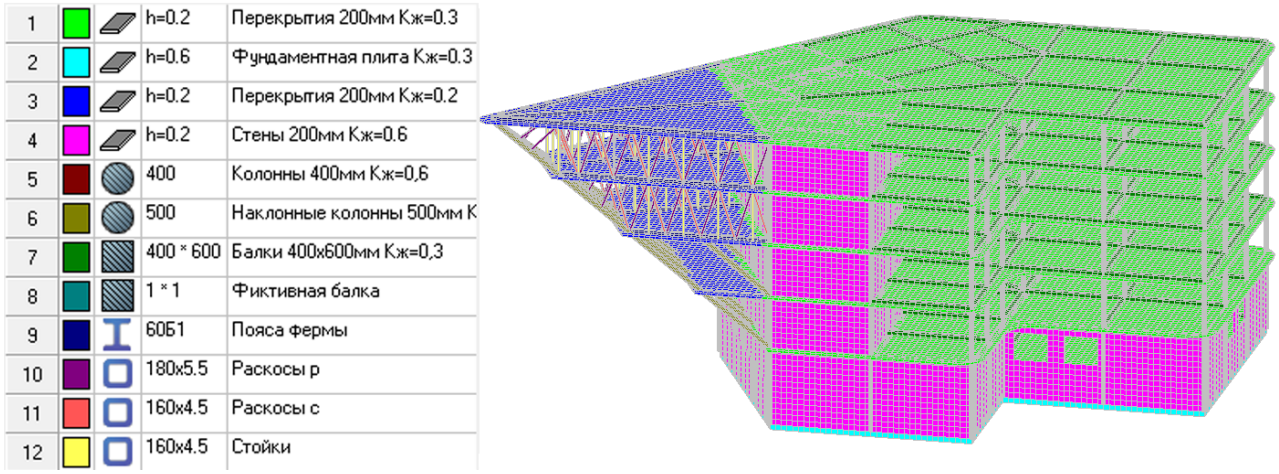


Рис. 2

Выводы:

1. Результаты анализа существующих зданий с консольной частью более 20 м показали, что устройство данного вида пространственной геометрии достигается при совместной работе ядра жесткости из монолитного железобетонного каркаса и металлических ферменных конструкций.

2. Отличительной чертой проектируемого объекта стало сочетание наклонных железобетонных колонн и металлических ферм, что позволило распределить усилия, возникающие в консольной части, на ядро жесткости, организовать оптимальную конструкцию переменной длины и упростить узлы сопряжения ферм и железобетонных элементов в сравнении с объектами-аналогами, консоли которых имели прямоугольную геометрию.

3. Проведенный ряд итераций расчетной схемы, заключавшийся в поэтапном введении дополнительных конструктивных элементов в места с наибольшими деформациями, позволил свести критические значения прогибов несущих конструкций к допустимым значениям, а также максимально эффективно расположить конструктивные элементы в схеме.

4. Полученные результаты и последовательность произведенных итераций могут найти практическое применение при строительстве уникальных зданий и сооружений с похожей пространственной геометрией консольной части.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Нефёдов С.А., Ильюшенко М.С., Кузьминых А.Р. Работа пространственной стержневой системы в зависимости от её геометрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №5 (56). С. 33-46.
2. Павлушкин М.Е., Зимин С.С. Разработка конструкции консольной части здания // Неделя науки СПБПУ: материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. 2019. С. 131-133.
3. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет, предельный и сравнительный анализ плоской балочной фермы // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. строительство и архитектура. 2015. №3 (39). С. 86-93.
4. Егорова Е.С., Иоскевич А.В., Иоскевич В.В., Агишев К.Н., Кожевников В.Ю. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №3 (42). С. 31-60.
5. Карнаух А.С. Сравнение напряженно-деформированных состояний монолитных плит перекрытия без использования и с использованием предварительного напряжения арматуры // Инновационная наука. 2019. №1. С 31-45.

УДК 69.07

Е.С. Трунова, Ф.С. Школяр
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АРМИРОВАНИЕ КОНСОЛИ ПЕРЕКРЫТИЯ В ВЫСОТНОМ ЗДАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЁ ВЫЛЕТА

В настоящее время здание не только выполняет функции убежища и жилища, но также играет свою роль в формировании облика окружающего пространства – улицы, города. Поэтому в современном мире требования к внешнему виду зданий возрастают. Однако, на данный момент в области конструктивных решений накопился огромный опыт, позволяющий создавать здания и сооружения самых различных форм.

Одним из распространённых способов создания уникального облика является использование консоли. Их применение широко встречается как в строительстве коттеджей и загородных домов, так и в строительстве высотных зданий [1, 2]. Поэтому использование данного конструктивного решения является перспективным в архитектуре [3].

Однако особенности материала железобетона ограничивают применение консолей большого вылета [4]. Так как в растянутой верхней зоне потребуется значительная площадь арматуры.

Цель работы – сравнение различных конструкций консоли перекрытия в высотном здании, подбор арматуры для консолей различных вылетов.

Для достижения поставленной цели была создана аналитическая модель высотного здания с консольными капительными перекрытиями в программном комплексе SCAD [5]. Вылеты консолей: 1,0;1,5; 2,0; 2,5; 3,0 м.

Для осуществления расчёта аналитической модели в программном комплексе SCAD был произведён сбор нагрузок. Расчёт здания производился на основное сочетание нагрузок, включающее в себя:

1. Собственный вес конструкций (учтён в SCAD);
2. Постоянная нагрузка:
   а) вес конструкций пола и кровли;
   б) вес ограждающих конструкций и перегородок;
   в) вес лестничных маршей;
   г) вертикальное и боковое давление грунта на фундаментную плиту и стены подвала этажа соответственно.
3. Временная длительная нагрузка:
   а) вес временных перегородок.
4. Кратковременная нагрузка:
   а) полезная нагрузка на перекрытия;
   б) снеговая;
   в) ветровая.

По результатам расчёта, полученным в SCAD, были подобраны диаметр и шаг арматурных стержней для каждого вылета консоли. В качестве нижнего и верхнего фонового армирования была выбрана арматура диаметром 12 мм с шагом 200 мм. В нижней зоне усиление не требовалось. В верхней зоне требовалось усиление в зонах над опорами (колоннами). Результаты подбора арматуры усиления для верхней зоны представлены в Таблице 1 (шаг арматуры – 200 мм).

Из Таблицы 1 видно, что диаметр арматуры увеличивается с повышением вылета консоли. Это связано с увеличением изгибающего момента над опорами.

Таблица 1 – Арматура усиления верхней зоны

Длина консоли, м	Диаметр арматуры, мм	Процент армирования, %
1	18	1,43
1,5	18	1,43
Длина консоли, м	Диаметр арматуры, мм	Процент армирования, %
2	20	1,61
2,5	22	1,82
3	22	1,82

Кроме того, из программного комплекса SCAD были получены значения относительных вертикальных перемещений на концах консолей. Вертикальные перемещения на концах консолей составляют: для консоли длиной 1 м – 2,737 мм, для консоли длиной 1,5 м – 1,836 мм, для консоли длиной 2 м – -1,59 мм, для консоли длиной 2,5 м – -3,85 мм, для консоли длиной 3 м – -7,465 мм. Все перемещения не превышают предельно допустимых. График зависимости прогибов от длины консоли представлен на рис. 1.



Рис. 1. График зависимости прогибов от длины консоли

Выводы

В работе были рассмотрены пять консолей перекрытий с различными вылетами. Для каждой консоли было подобрано армирование, а также найдены перемещения на концах консолей и выявлена зависимость прогибов от длины консольного участка. Для консолей длиной 1 и 1,5 м для верхней зоны усиления была подобрана арматура диаметром 18 мм, процент армирования составляет 1,43%. Для консоли длиной 2 м была принята арматура диаметром 20 мм, процент армирования – 1,61%. Для консолей длиной 2,5 и 3 м была подобрана арматура диаметром 22 мм, процент армирования – 1,82%.

Кроме того, в работе были получены зависимости процента армирования и прогибов от вылета консоли. Диаметр верхней арматуры зон усиления и перемещения на концах консоли увеличиваются с повышением длины консоли.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Донченко О.М. Эффективные архитектурно-планировочные и конструктивные решения многоэтажных гражданских зданий / О.М. Донченко, М.В. Перькова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 1. – С.96-100.
2. Карамышева А.А. Несущие системы со стволами жесткости. Перспективы применения при проектировании и строительстве высотных зданий и сооружений / А.А. Карамышева, А.А. Аракелян, Б.П. Бинятов // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4.
3. Грузков А.А. Консольные здания и их особенности / А.А. Грузков, В.Д. Матвиенко, П.Е. Солянник, Н.А. Вернин // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 10. – С.179-184.
4. Кашина И.В. К вопросу разработки конструктивных схем каркасов высотных монолитных железобетонных зданий / И.В. Кашина, Н.И. Закиева, Д.В. Калиберда, и др. // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 1.
5. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++: Учебное пособие/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко и др. – М.: СКАД СОФТ, 2015. – 847 с.

УДК 69.07

И.Ю. Воронов, А.В. Кравченко, М.А. Трубкин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ЖЕСТКОЙ АРМАТУРОЙ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Актуальность. С каждым днем строительство высотных зданий развивается и набирает все большую актуальность. При проектировании таких зданий необходимо учитывать достаточно большие нагрузки на несущие конструкции и основания, которые могут достигать высоких показателей при многоэтажном строительстве. Применение сталежелезобетонных конструкций в высотных сооружениях на сегодняшний день относится к одному из необходимых направлений.

Колонны многоэтажных высотных зданий воспринимают значительные нагрузки. В современных высотных зданиях, проектируемых в основном в связевой системе, когда горизонтальные нагрузки воспринимаются центральным вертикальным ядром, на колонны, поддерживающие перекрытия, передается вертикальная нагрузка, вызывающая их сжатие. Для армирования таких колонн целесообразно наряду с гибкой арматурой применять жесткую арматуру, создавая таким образом композитную конструкцию [1].

Методы исследования. В работе были произведены расчеты сталежелезобетонной колонны с жесткой арматуры в форме двутавра и в форме крестообразного сечения.

Цели и задачи работы. Разработать и рассчитать конструктивные схемы колонн квадратного сечения, армируемые обычной арматурой и жесткой арматурой из двутавра и колонны с обычной арматурой и двумя накрест расположенными двутаврами. Полученные результаты проанализировать оценить и сравнить несущую способность полученных колонн, сделать выводы о недостатках и преимуществах применения двух разных типов жесткого армирования.

Сталежелезобетонные конструкции – класс особых конструкций в строительстве, который отличается от обычных видов железобетона повышенным соотношением стальной и бетонной составляющих из СП 266.1325800.2016. Отличительная особенность такого типа конструкций – использование стальных профилей для увеличения жесткости конструкций.

Сталежелезобетонные конструкции разделяют на четыре типа:

- профили расположены вне бетонного элемента и являются внешним несущим элементом, например, в балах перекрытий и мостов;
- профили расположены внутри бетонного элемента, например, в колоннах, опорах и балках;
- листовой прокат или профили, которые расположены по периметру или по граням бетонного сечения;
- несъемная опалубка, которая после затвердевания бетона становится внешней арматурой [2].

Свойства сталежелезобетонных конструкций обеспечиваются совместной работой железобетонной и профильной частей. Сдвиг конструкций относительно друг друга исключается за счет адгезионных свойств, трения по большой площади контакта элементов. Увеличение сцепления может быть достигнуто с помощью дополнительных упоров и анкеров, предусмотренных в конструкции.

Одно из преимуществ сталежелезобетонных изгибаемых элементов – повышение жесткости (вертикальной и горизонтальной) и прочности конструкций. В связи с этим становится возможным уменьшение размеров поперечного сечения несущих элементов. В свою очередь это приводит к уменьшению массы конструкции, а значит к экономии строительных материалов [3].

Сталежелезобетонные колонны представляют собой конструкции, в которых стальной сердечник из жесткой арматуры и гибкая арматура объединены и работают совместно после обетонирования. В некоторых случаях гибкая арматура в сталежелезобетонных колоннах отсутствует [4].

Колонны в многоэтажном здании – это основной конструктивный элемент каркаса, передающий на фундамент нагрузки, действующие на здания [5].

Для сравнения конструкций несущей колонны были выбраны два вида: железобетонная с обычной арматурой и жесткой арматурой из двутавра и железобетонная с обычной и жесткой арматурой из двух накрест расположенных двутавров.

Двутавры использованы с размерами профиля 40К2 и 40Б2, которые соответствует ГОСТ 26020-83 и показаны на рисунке 1.

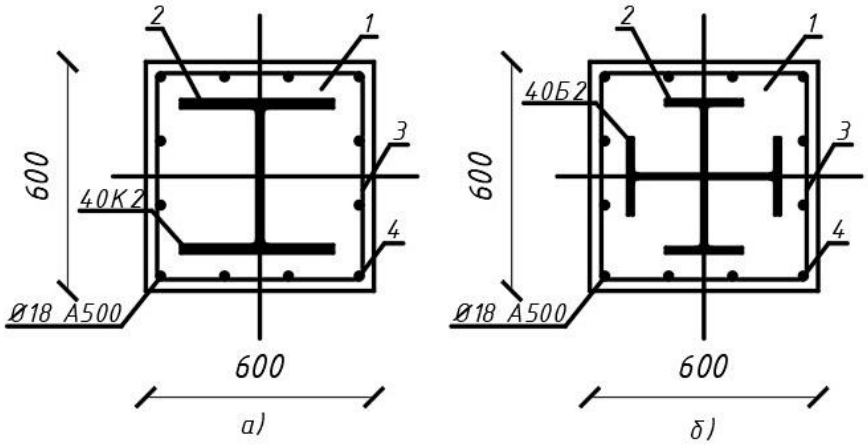


Рис. 1. Поперечные сечения железобетонных конструкций с жесткой арматурой:
1 – бетон, 2 – жесткая арматура, 3 – поперечная гибкая арматура, 4 – продольная гибкая арматура;
а – жесткая арматура в форме двутавра; *б* – жесткая арматура в форме крестообразного сечения

Проверка прочности выполняется по формуле 7.3 СП 266.1325800.2016:

$$N \le \frac{1}{\frac{1}{N_x}+\frac{1}{N_y}-\frac{1}{N_{ult}}};$$

$$N_1 = \frac{1}{\frac{1}{2149,6}+\frac{1}{1580,1}-\frac{1}{4111}} = 1170,96 \text{ т} = 1,15\cdot10^7 \text{ Н};$$

$$N_2 = \frac{1}{\frac{1}{2332,04}+\frac{1}{1635,2}-\frac{1}{4298,8}} = 1237,62 \text{ т} = 1,21\cdot10^7 \text{ Н}.$$

Результаты и выводы. В результате исследования были разработаны конструктивные схемы колонн квадратного сечения, армируемые обычной арматурой и жесткой арматурой из двутавра и колонны с обычной арматурой и двумя накрест расположенными двутаврами. Конструкция колонны с жесткой арматурой из двух накрест расположенных двутавров обеспечивает прочностные характеристики сталежелезобетонной колонны лучше на 5-6%, чем колонна с обычной арматурой и жесткой арматурой из двутавра, и является наиболее рациональной из двух рассмотренных вариантов с одинаковой площадью поперечного сечения. Нагрузка в колонне с накрест лежащим двутавром распределяется более равномерно. Также было выявлено, что в связи с повышением жесткости (вертикальной и горизонтальной) и прочности конструкций возможно уменьшение размеров поперечного сечения несущих элементов. В свою очередь это приводит к уменьшению массы конструкции, а значит к экономии строительных материалов.

ЛИТЕРАТУРА
1. Виноградова Н.А., Швец Г.А. Исследования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2020. – №42 – С.114-128.
2. Десяткин М.А., Конин Д.В., Мартиросян А.С., Травуш В.И. Расчет сталежелезобетонной колонны высотного дома на косое внецентренное сжатие // Жилищное строительство. 2015. №5. С. 92-95.
3. Мартиросян А.С., Травуш В.И., Кашеварова Г.Г. Исследование влияния геометрии жесткой арматуры на распределение нагрузки в элементах сталежелезобетонной конструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 1(25). С. 147-158.
4. Тихонов С.М., Алехин В.Н., Беляева З.В., и др. Проектирование металлических конструкций под общ. ред. А.Р. Туснина. Часть 1. Москва: Изд-во Перо, 2020. С. 278.
5. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В., и др. Проектирование металлических конструкций под общ. ред. А.Р. Туснина. Часть 2. Москва: Изд-во Перо, 2020. С. 86.

УДК 692.522

Л.Ю. Юрченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В ВЫСОТНОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ЗДАНИИ

Создание конструктивных условий для совместной работы стали и бетона в сталежелезобетонных конструкциях стало одним из важных достижений в усовершенствовании каркасных высотных зданий со значительными вертикальными нагрузками. Наметившиеся тенденции последних лет лишь подтверждают экономическую целесообразность применения данной технологии, а также ряд других ее преимуществ по сравнению с использованием традиционных перекрытий [1].

Вновь возросший интерес к сталежелезобетонным конструкциям и расширение их применения в строительной практике нашей страны актуализирует их дальнейшее исследование. Существовавшая нормативно-правовая база претерпевает изменения в соответствии с развитием информационных технологий, появляются новые испытания. Выход Свода Правил СП 266.1325800.2016. «Конструкции сталежелезобетонные», а также учебника 2020 года по проектированию металлических конструкций, состоящего из двух частей [2, 3], поспособствовал развитию сталежелезобетонного строительства.

Цель работы заключается в расчете сталежелезобетонного перекрытия по металлическим балкам двутаврового сечения, а также последующем выявлении превосходства использования данного типа перекрытия в сравнении с монолитным капительным перекрытием из железобетона.

Целесообразность применения сталежелезобетонных конструкций обусловлена следующими достоинствами [4-6]:

- экономия строительных материалов: снижается объем используемого бетона;
- СПН воспринимает монтажные нагрузки на стадии возведения, благодаря этому снижаются затраты на устройство временной опалубки;
- профилированный настил способен выполнять функции внешнего армирования и на небольших пролетах перекрытия позволяет отказаться от армирования бетонной полки плиты;
- относительно небольшие сроки строительства, раннее использование;
- простота в проведении реконструкционных работ;
- небольшое сечение при высокой несущей способности;
- удобство в размещении инженерных систем;

В ходе выполнения работы необходимо решить следующие задачи:

1. Заменить расчетную схему с капителями и плитами на схему с применением сталежелезобетонных перекрытий:
2. Рассчитать сталежелезобетонное перекрытие согласно актуальным нормам и правилам.
3. Провести сравнительный анализ количества расходуемых материалов для двух видов перекрытия.
4. Подвести итоги о возможности использования сталежелезобетонного перекрытия в уникальном высотном здании

Расчет сталежелезобетонных перекрытий проводился согласно СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования», а также «Рекомендациям по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом».

Шаг колонн в обоих направлениях проектируемого здания – 7,2 м. Было принято решение ввести между главными балками две второстепенных (рис. 1.). Тогда плита будет представлять собой трехпролетную неразрезную балку с длиной пролета 2,4 м.

Расчет сталежелезобетонных конструкциях производился на нескольких стадиях [4].

Первая стадия – стадия бетонирования. При расчете определяют его прочность и жесткость как для стального тонкостенного изгибаемого элемента, работающего на нагрузку от собственной массы настила, массы свежеуложенной бетонной смеси и монтажной нагрузки, включающей массу оборудования и людей в процессе возведения перекрытия.

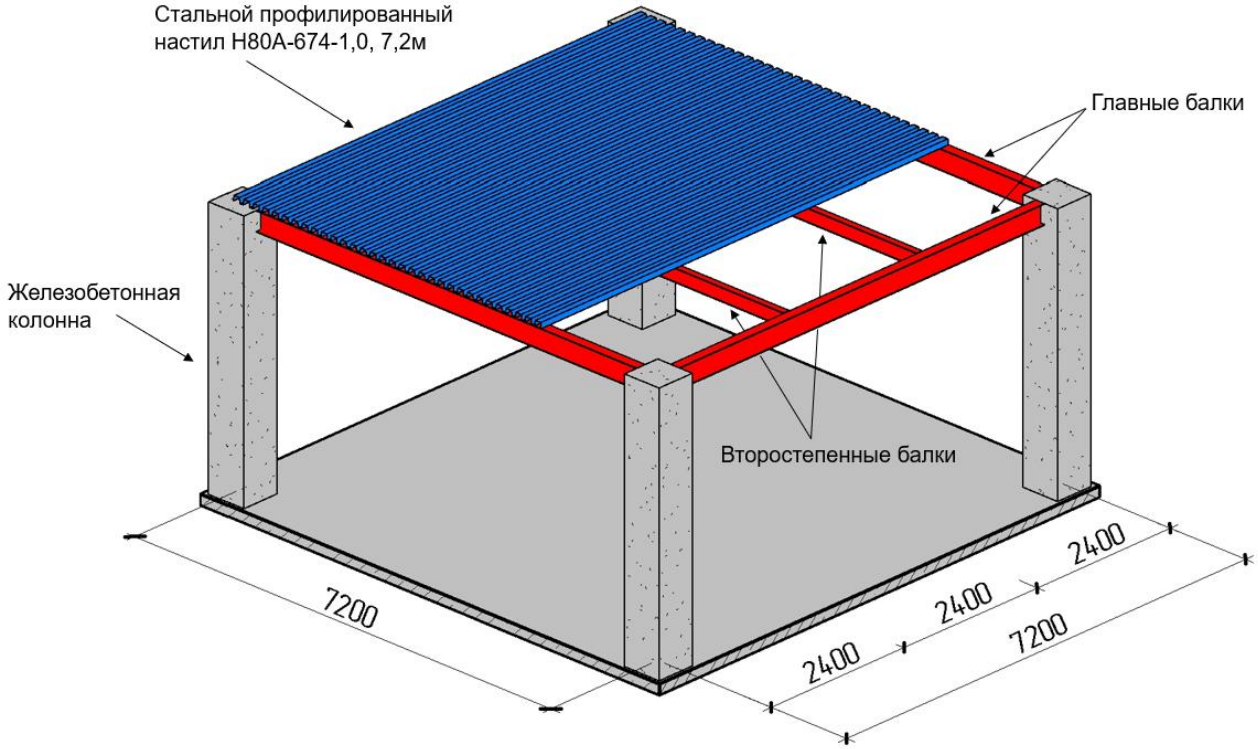


Рис. 4. Схема размещения главных и второстепенных балок в пролете плиты

Вторая стадия – эксплуатационная. На данной стадии плита рассчитывается как железобетонная конструкция с внешней арматуры из стального профилированного настила и включением в сечение гибкой стержневой арматуры.

Расчет подтвердил, что сталежелезобетонное перекрытие (стальной профилированный настил Н80А-674-1,0 высотой сечения бетона 150 мм) по металлическим балкам (двутавр нормальный (б) по ГОСТ 26020-83: 16Б2, сталь марки С235) прошло проверку на двух стадиях, следовательно, его можно применять как альтернативу обычному перекрытию толщиной 200 мм с устройством капителей 2×х2 м.

Суммарная приведенная толщина бетонной смеси в случае использования СПН складывается из приведенной толщины бетона в пределах высоты сечения настила и толщины бетона над верхними полками настила:

$$h_f + h_b = h_f + \frac{b+b'}{2S_n} h_n = 99{,}6 \text{ мм}.$$

Следовательно, объем бетонной смеси, необходимый для рассматриваемой сталежелезобетонной плиты перекрытия, ниже в два раза, чем для традиционной плиты толщиной 200 мм.

Нельзя исключить из внимания тот факт, что в масштабах здания применение сталежелезобетонных перекрытий, обладающих сравнительно небольшим весом, позволяет снизить нагрузки на фундамент – самую затратную часть строения.

Расчетная равномерно распределенная нагрузка от собственного веса плиты перекрытия в случае применения сталежелезобетона:

$$q_0 = \frac{g\left(\frac{\gamma_{fb} r_b A_b}{10^6} + \frac{\gamma_{fs} r_s (A_s + A_s')}{b_f \cdot 10^3} + \gamma_{fn} m\right)}{10^3} = 2{,}9 \text{ кН/м}^2.$$

Собственный вес обычной железобетонной плиты при толщине h = 200 мм из бетона В40 с двухрядным армированием составил: $q_0 = 5$ кН/м^2.

Таким образом, собственный вес традиционной железобетонной плиты на 42% больше собственного веса плиты с использованием стального профилированного настила. Для высотного строительства данный показатель играет ключевую роль и при больших показателях высот дает значительное превосходство за счет снижения нагрузки на фундамент здания и уменьшения объема используемого бетона.

Выводы. В ходе выполнения работы безбалочные плиты перекрытия в расчетной схеме были заменены на сталежелезобетонные. Сталежелезобетонные конструкции были рассчитаны согласно актуальным рекомендациям, нормам и правилам.

Сравнительный анализ количества расходуемых материалов для двух видов перекрытий продемонстрировал преимущества использования сталежелезобетона:

1. Объем бетонной смеси, необходимый для рассматриваемой сталежелезобетонной плиты перекрытия размером 7,2×7,2 м, на 5,16 м^3 (на 50%) ниже, чем для традиционной плиты толщиной 200 мм, без учета капителей;
2. Собственный вес традиционной железобетонной плиты размером 7,2×7,2 м на 108,86 кН (на 42%) больше собственного веса плиты с использованием стального профилированного настила;
3. Суммарная приведенная толщина бетонной смеси в случае использования сталежелезобетона равна 99,6 мм, для традиционной плиты перекрытия в рассматриваемом случае данный показатель составляет 200 мм.

Подводя итоги сравнительного анализа, использование сталежелезобетонного перекрытия в уникальном высотном здании является оптимальным из рассмотренных решений и превосходит по показателям применение традиционного перекрытия.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Рихтер Д.А., Иовенко А.А., Ершов М.Н. Проектирование сталежелезобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу с применением анкерных упоров Hilti XHVB // Технология и организация строительного производства. 2013. №4. С. 17-22.
2. 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.
3. Проектирование металлических конструкций. Часть 2. Металлические конструкции. Специальный курс. Учебник для ВУЗов / А.Р. Туснин, В.А. Рыбаков, Т.В. Назмеева и др.; под общей ред. А.Р. Туснина – М.: Издательство «Перо», 2020 – 436 с., ил.
4. Кибирева Ю.А., Астафьева Н.С. Применение конструкций из сталежелезобетона // Экология и строительство. – 2018. – № 2. – С. 27-34.
5. Бажин Г.М. Оценка прогибов в балках покрытия при включении в совместную работу профилированного настила. – Успехи современной науки. – 2016, №2, Том 1, 107-112 с.
6. Замалиев Ф.С. К расчету сталежелезобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом. – Известия КГАСУ. – 2016, №3 (37), с.129-134.

УДК 69.07

П.А. Громыко, Ю.Д. Садкова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Актуальность. Строительство высотных зданий – наиболее современный тип развития крупных городов в настоящее время. Большая часть многоэтажных зданий являются уникальными. К высотным и уникальным многоэтажным зданиям предъявляются повышенные требования, учитывающие особенности их проектирования, строительства и эксплуатации, поэтому применяемые инженерные решения для возведения высотных и уникальных зданий, а также проектируемые в этих зданиях конструкции также относятся к уникальным [1-3]. Применение сталежелезобетонных конструкций в многоэтажных сооружениях на сегодняшний день относится к одному из инновационных направлений высотного строительства в мире, так как сочетание тяжелого высокопрочным железобетона со стальными прокатами позволяет существенно сократить расход строительных материалов, а также изменить конструктивные системы высотных зданий в значительной степени, что в свою очередь открывает возможность строительства сверхвысоких зданий и сооружений. Актуальность расширенного использования сталежелезобетонных конструкций в строительной отрасли только возрастает ввиду совершенствования улучшения показателей эффективности строительства, а именно таких как, материалоемкость, стоимость, трудоемкость и сроки строительства [4-5].

Методы исследования. В работе были произведены расчеты сталежелезобетонного перекрытия на металлических балках на стадиях возведения и эксплуатации.

Цели и задачи работы. Разработать конструктивную схему сталежелезобетонного перекрытия на металлических балках двутаврового сечения, применимую для строительства высотного здания. Произвести расчет полученной запроектированной конструктивной схемы. Проанализировать полученные результаты, оценить несущую способность конструкции, сделать выводы о преимуществах и недостатках применения сталежелезобетонных конструкций.

Сталежелезобетонные конструкции представляют собой системы, в которых стальные элементы работают совместно с железобетоном. Основное требование при проектировании сталежелезобетонных конструкций это обеспечить совместную работу стали и железобетона.

Сталежелезобетонное перекрытие представляет собой конструкцию, в которой монолитный железобетон и гофрированные листы (профилированный настил) работают совместно. На стадии изготовления плиты – гофрированные листы выполняют функцию несъемной опалубки, а на стадии эксплуатации гофрированные листы работают, как внешняя рабочая арматура совместно с рабочим армированием плиты. Варианты монолитных перекрытий с объединением железобетонной плиты и стальных балок в сталежелезобетонную конструкцию позволяют уменьшить расход стали на перекрытие, вследствие чего высота таких перекрытий меньше по сравнению с перекрытиями, где балка и плита не объединены. В объединенной конструкции плита работает в основном на сжатие, стальная балка – преимущественно на растяжение [1]. Для обеспечения совместной работы двух конструктивных материалов (железобетона и стали) в данной работе учитывались следующие условия:

- Принималась конструктивная схема, в которой прочность, устойчивость и пространственная неизменяемость были обеспечены как для всей конструкции, так и для отдельных элементов;
- Применялись рациональные профили проката, элементы конструкций с минимальными сечениями, удовлетворяющими требованиям существующих сводов правил, сортаментов на прокат стали;
- Предусматривалась технологичность и наименьшая трудоемкость изготовления, транспортирования, монтажа. Учитывались производственные возможности технологического оборудования предприятий – изготовителей конструкций, монтажных организаций [2-3].

Расчет сталежелезобетонного перекрытия (рис.1) производится по методике СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» для двух стадий работы:

1. Стадия возведения.
2. Стадия эксплуатации.

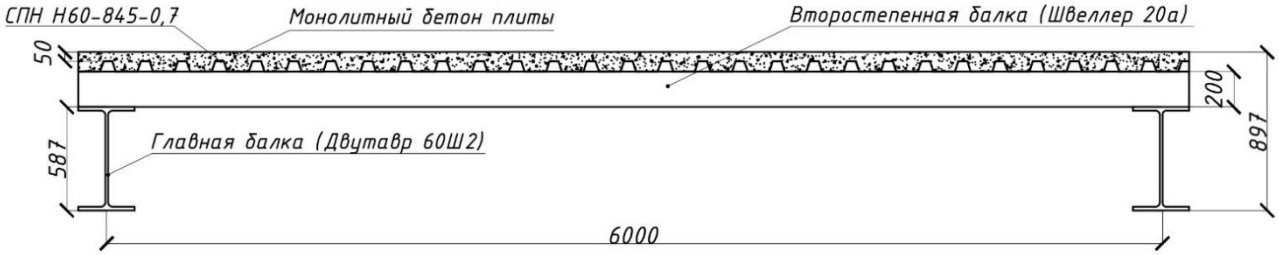


Рис. 1. Фрагмент конструкции сталежелезобетонного перекрытия

Несущей конструкцией на стадии возведения является стальной профилированный настил Н60-845 толщиной 7 мм. Были произведены расчеты настила пролетом 3 метра и 1,5 м для определения прочности и жесткости. Принята пятипролетная расчетная схема настила с жестким защемлением на крайних опорах (рис. 2). Учитывались такие нагрузки как собственная масса настила, масса свежеуложенного бетона и монтажная нагрузка, которая включает в себя массу оборудования и людей в процессе возведения перекрытия. При расчете настила пролетом 3 м не выполнено условие прогиба, следовательно, данную расчетную схему использовать невозможно.

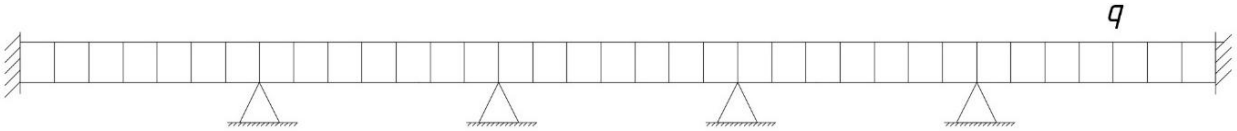


Рис. 2. Расчетная схема профилированного настила

Следующим этапом был произведен расчет на прочность и прогиб второстепенных балок с шагом 1,5 м, на которых расположен СПН. Результатом расчета является оптимально подобранное сечение швеллера. Расчетная схема второстепенных балок представлена на рис. 3.

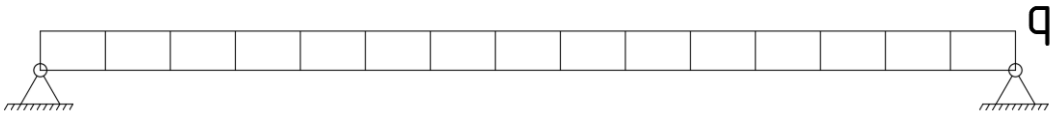


Рис. 3. Расчетная схема второстепенной балки. Подбор швеллера

Второстепенные балки расположены на главных балках пролетом 6 м, которые также были рассчитаны для подбора размеров двутаврового сечения. Расчетная схема главной балки представлена на рис. 4.

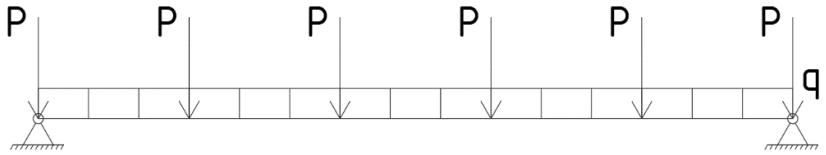


Рис. 4. Расчетная схема главной балки. Подбор двутавра

На стадии эксплуатации плита рассчитана как железобетонная конструкция со сложным сечением. Произведены расчеты на прочность нормальных и наклонных сечений плиты и анкеровки настила, на смятие ребер плиты по плоскости опор, по деформациям – определению прогиба.

Для расчетов определена рабочая высота сечения. Возможны три случая расчета:

1. Нейтральная ось находится в пределах толщины полки плиты и не пересекает стенок профилированного настила
2. Нейтральная ось находится в пределах высоты ребер плиты пересекает стенки профилированного настила
3. Нейтральная ось находится на уровне верхней полки профилированного настила

На финальном этапе производим расчет комбинированной балки аналогично двум стадиям работы. По окончании расчета, были сделаны выводы о целесообразности применения сталежелезобетонного перекрытия, его использования в конструкции высотных зданий, об эффективности использовании данной конструкции с экономической точки зрения.

Результаты и выводы. В результате данного исследования была разработана конструктивная схема сталежелезобетонного перекрытия на стальных балках, применимая для высотного здания. Прочность, устойчивость и пространственная неизменяемость была обеспечена как для всей конструкции, так и для ее отдельных элементов на стадиях возведения и эксплуатации. Для элементов конструкции были подобраны и обоснованы размеры сечений. Несущая способность конструкции позволяет применять ее при строительстве уникальных, многоэтажных сооружений. Несмотря на сложностях расчета, основанных главным образом на стадийности работы конструкции, сталежелезобетонное перекрытие на стальных профилях даёт возможность увеличить горизонтальную и вертикальную жесткость конструкции, снижая высоту и собственный вес перекрытия; позволяет сэкономить расход бетона до 30%, стали до 50%, исключить расход средств на устройство строительных лесов и опалубки, сократить сроки строительства здания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тихонов С.М., Алехин В.Н., Беляева З.В., и др. Проектирование металлических конструкций под общ. ред. А.Р. Туснина. Часть 1. М.: Изд-во Перо, 2020. 468 с.
2. Туснин А.Р., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В., и др. Проектирование металлических конструкций под общ. ред. А.Р. Туснина. Часть 2. М.: Изд-во Перо, 2020. 436 с.

3. Виноградова Н.А., Швец Г.А. Исследование сталежелезобетонных изгибаемых конструкций. Изд-во: Вестник инженерной школы ДВФУ, 2020. 114-128 с.
4. Hotma P., Nicxson P. Experimental analysis of T-beam reinforced concrete with holes. MATEC Web of conferences, 2018. 206-216 pp.
5. Ren X., Zhou B. Design and analysis of a reinforced concrete beam retrofitted by externally bonded H-type steel member. Proc. Eng, 2011. 2133-2140 pp.

УДК 624.154.1

Т.Д. Волков, Н.А. Позднышев, С.А. Сычёв
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Тезисы данного доклада посвящены вибрационным воздействиям при забивке свай в условиях городской застройки; расширенная версия опубликована авторами в научном издании «AlfaBuild» выпуск 5, 2019 г. [1].

Введение. В современных условиях развивающегося строительства и урбанизации расстояния между сооружениями, необходимые для безопасного возведения свайных фундаментов сокращаются. Приходится возводить свайные фундаменты в условиях плотной городской застройки, что негативно сказывается на располагающихся в непосредственной близости от строительства уже существующих зданий. На эти здания оказываются сильные вибрационные воздействия, оцениваемые с помощью виброскорости и виброускорения, что может разрушать отдельные узлы строения, такие как фундамент, перекрытия, стены, несущие колонны [2].

Нормативных документов, регламентирующих методики расчетов деформаций существующих зданий и сооружений в зависимости от расстояния производимых строительных работ по устройству свай нет [3].

В статье авторов Жусупбеков А.Ж., Омаров А.Р., Лукпанов Р.Е., Жукенова Г.А., Танырбергенова Г.К., проведен анализ влияния забивки свай на существующий фундамент нефтегазового комплекса, а именно нарушение целостности фундаментов, все измерения проводить при помощи специального прибора с использованием 3D-сейсмодатчика, также, Смолин Ю.П. и Белобородов В.Н. оценил воздействие колебаний на близкорасположенные гражданские здания при погружении свай.

Цели и задачи работы. Целью данной статьи является определение виброускорений, возникающих при забивке свай в условиях плотной городской застройки. Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

- Построить график зависимости виброускорений, возникающих при различных способах забивки свай от расстояния до зданий, находящихся в непосредственной близости к строительной площадке.
- Определить необходимые безопасные расстояния от места забивки свай до существующих зданий и сооружений, при которых на них не будут действовать разрушающие виброускорения.

Влияние на близлежащие здания. По способу погружения забивных свай в грунт выделяют следующие механизмы: дизельный молот, гидравлический молот, вибропогружатель, молот одиночного действия. Эти механизмы вызывают вибрацию грунтов, что негативно влияет на фундаменты прилегающих зданий во время кратковременного усиления волн при нескольких ударах одновременно, также сильное усиление вибрационных воздействий происходит из-за эффекта резонанса, который происходит при использовании нескольких сваебоечных установок одновременно [4].

Методика расчета виброскоростей и виброускорений, вызываемых забивкой или вдавливанием свай. Виброскорость и виброускорение – это значение вибрации, прямо связанное с силой, вызвавшей вибрацию. Виброускорение характеризует то силовое динамическое взаимодействие, которое вызывает механизм при совершении работы. В нашем случае при забивке или вдавливании свай в грунт.

Частота возбуждающей силы f определяется исходя из характеристик механизма для забивки свай.

Определение коэффициента упругого равномерного сжатия грунта C_z

$$C_z = k_0 E(1 + \sqrt{A_0/A}),$$

где k_0 – коэффициент, зависящий от типа грунта (для песка – 1; для супесей – 1,2); E – модуль общей деформации грунта, кПа; A_0 = 10 м^2; A – площадь поперечного сечения сваи, м^2;

Определение жесткости системы «механизм-свая-грунт»:

$$K_z = C_z A.$$

Определение амплитуды вибросмещения сваи:

$$A_{m\phi} = F_m/(K_z - m_\Sigma \omega^2),$$

где F_m – возмущающая сила, Н; K_z – жесткость системы «механизм-свая-грунт», Н/м; m_Σ – масса системы «механизм-свая», кг; ω – круговая частота возмущающей силы, с$^{-1}$.

Определение относительного расстояния от источника вибрации до расчетной точки:

$$\delta = r/R,$$

где r – расстояние от источника вибрации до расчетной точки, м; R – радиус (приведенный радиус) сваи, м.

Определение амплитуды вибросмещения:

$$A_{mr} = A_{m\phi}\left(\frac{1}{\delta(1 + (\delta^2 - 1)^2} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1)\sqrt[3]{3\delta}}\right).$$

Определение амплитуды виброскорости и виброускорения, а также их среднеквадратические значения:

$$v_{mr} = 2\pi f A_{mr}; v = v_{mr}/\sqrt{2},$$

где v, v_{mr} – соответственно среднеквадратическое и амплитудное значения виброскорости на расстоянии r от источника вибрации.

$$a_{mr} = 2\pi f v_{mr}; a = a_{mr}/\sqrt{2},$$

где a, a_{mr} – соответственно среднеквадратическое и амплитудное значения виброускорения на расстоянии r от источника вибрации.

Расчет виброускорение производился для таких механизмов забивки свай как:

- дизельный молот;
- вибровдавливатель;
- гидромолот;
- молот одиночного действия.

Для расчета выбраны средние значения параметров всех видов механизмов забивки свай в грунт [5]. Рассматриваемые сваи – круглого сечения диаметров: 25, 30, 35, 40, 45 см.

Расчеты производятся для каждого вида механизмов, учитывая разные размеры свай, приняв расстояния от источника вибрации до точки измерения равные: 10, 25, 50, 100, 150 м.

Результаты и обсуждение

Допустимая скорость вибрации при частотах до 10 Гц составляет 5 мм/с [6]. Согласно ВСН 490-87 максимальные допустимые виброускорения для фундаментов составляют от 0,5 до 1 м/с^2.

В результате работы была разработана методика определения безопасных расстояний до существующих зданий при устройстве свай. По результатам расчетов был получен график зависимости виброускорений, вызываемых разными типами механизмов забивки свай, от расстояния до площадки строительства (рис. 1).

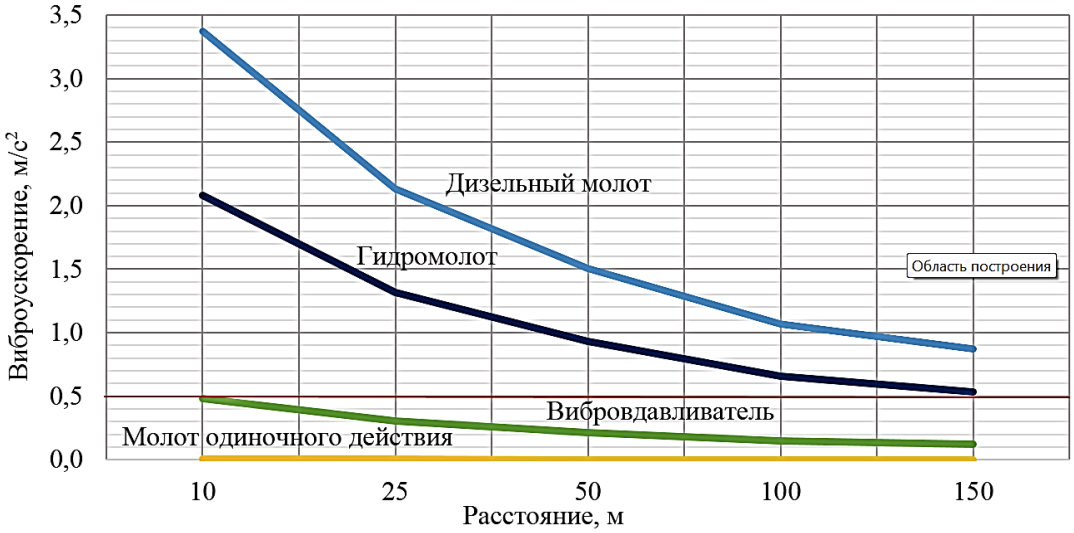


Рис. 1. График зависимости виброускорений, вызываемых разными типами механизмов забивки свай, от расстояния до строения

Из рисунка 1 видно, что при помощи вибровдавливателя и молота одиночного действия можно избежать критических вибрационных нагрузок на близлежащие здания в условиях плотной городской застройки, так как виброускорения возникающие при забивке свай таким способом не превышают предельно допустимых – 0,5 м/с^2. Но молот одиночного действия обладает очень малой эффективностью, поэтому его использование не выгодно. Гидромолот и дизельный молот оказывают вибрационные воздействия в несколько раз превышающие допустимые значения.

Выводы

Виброускорения, возникающие при забивке свай равны:

а) на расстоянии 10 м от зданий при использовании гидромолота – 2,1 м/с^2; дизельного молота – 3,4 м/с^2; молота одиночного действия и вибровдавливателя – менее 0,5 м/с^2

б) на расстоянии 50 м от зданий при использовании гидромолота – 0,9 м/с^2; дизельного молота – 1,5 м/с^2; молота одиночного действия и вибровдавливателя – менее 0,5 м/с^2

Необходимые безопасные расстояния от зданий при забивке свай равны:

а) при использовании гидромолота и дизельного молота – 150-200 м

б) при использовании вибровдавливателя и молота одиночного действия – 10 м

ЛИТЕРАТУРА:

1. Волков Т.Д., Позднышев Н.А. Вибрационные воздействия при забивке свай в условиях городской застройки // Журнал «AlfaBuild». 2019. №5. С.34-43.

2. Волохов Е.М., Зеленцов С.Н., Хуцкий В.П. Проблемы нормативного и методического обеспечения оценки вредного влияния подземного строительства и мониторинга деформаций для условий Санкт-Петербурга // Записки Горного института. 2012. С.260-262.

3. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В. Проблемы проектирования фундаментов зданий и сооружений, возводимых в условиях плотной городской застройки // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2008. №21. С.159-161.

4. Жусупбеков А.Ж., Омаров А.Р., Лукпанов Р.Е., Жукенова Г.А., Танырбергенова Г.К. Анализ влияния забивки свай на существующий фундамент (вибромониторинг) // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. 2005. С.131-138

5. Ушаков Л.С. Гидравлические машины ударного действия. // М: Машиностроение. 2000. С.100-101.

6. Лютоев В.А. Определение предельно допустимых уровней вибрации при забивке свай для инженерных сооружений // Вестник института геологии Коми научного центра уральского отделения Ран. 2008. С.15-18

UDC 691.494

K.G. Younes, O.N. Stolyarov
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

CHARACTERIZATION OF CREEP BEHAVIOR OF NONWOVEN GEOTEXTILE

Objective of the work – to study the nonwoven geotextile materials and the prediction of their creep behavior, in order to get a clear idea about the design life of geosynthetic-based structures.

Geosynthetic materials are finding increasing use in a wide range of applications in civil engineering [1, 2]. Geosynthetics are a class of materials that have exceptional time-dependent mechanical properties. In practical case, geosynthetics like geofabrics or geogris are subjected to loading or elongation and such a stressed-strained state may remain for a long time. The deformation stiffness and consequently their response to subsequent mechanical effects are essentially a function of time and therefore these properties should be analysed. Modeling and prediction of such behaviour over time requires a detailed study [3-6].

To achieve this goal, we aim to define, at the first stage, the appropriate tests and procedures in both numerical and experimental way that could help us to characterize the real viscoelastic creep behavior of nonwoven geotextile, by conducting creep and recovery test as showed in Fig.1. Numerical models (finite element, finite difference and discrete element methods, for instance) can be useful tools for the understanding of such behavior (Fig. 2).

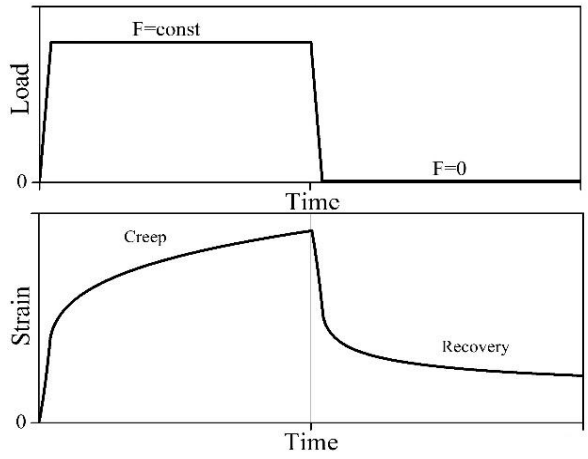


Fig. 1

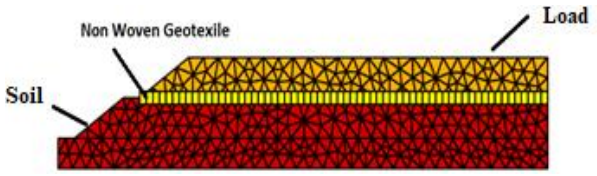


Fig. 2

In our experimental study, nonwoven fabric made of polypropylene fibers was investigated. Areal weight of nonwoven fabric is 160 g/m^2. The tensile and creep tests were performed on an Instron universal testing machine (model 5965). The determination of the time-dependent mechanical behavior of nonwoven fabrics was performed under uniaxial loading, including creep at different levels of loading. The "family" of creep and stress relaxation curves was obtained at various values of load and strain up to 50% of the tensile strength.

The breaking characteristics of fabrics are: tensile strength of 8,8 kN/m, strain at maximum load is 68%. The families of creep and recovery process, which were obtained for nonwoven needledpunched fabrics as shown in Fig 3a, and also calculated values of creep compliance by following equation

$$D(t) = \frac{1}{E(t)} = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma}, \qquad (1)$$

where E(t) is a relaxation modulus; σ is a applied stress and $\varepsilon(t)$ is a strain.

The Figs 3a and b illustrate the time dependence of the elongation (creep strain (a) and creep compliance (b)) at the temperature 293 ^{0}K, such as the indicated assigned loads during the test are (in kN/m): 10%T_f – 0,86; 20%T_f – 1,72; 30%T_f – 2,58; 40%T_f – 3,44; 50%T_f – 4,3.

We deduce that if load and deformation had no activating effect on the relaxation time, all of the curves in Fig. 3a would coincide. In other words, the observed effect of the given deformation conditions on the dependence of the creep compliance and relaxation modulus on time illustrates the activating character of the nonlinearity of the relaxation "kernel", and also the retardation and relaxation spectrums.

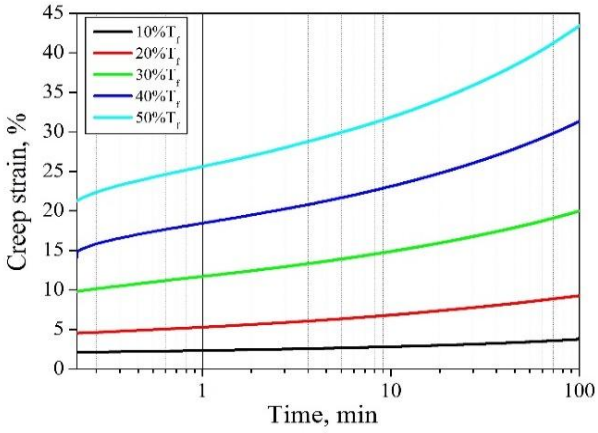


Fig. 3a

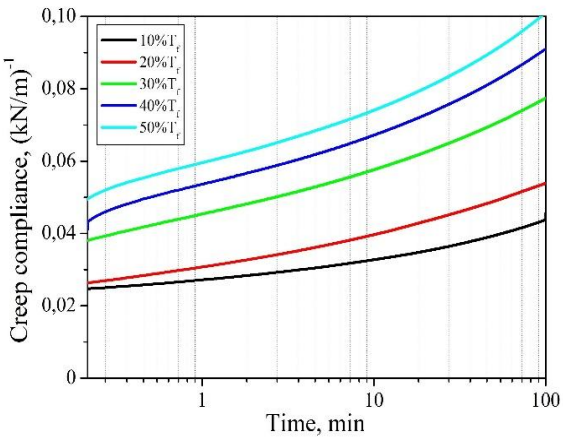


Fig. 3b

The mechanical characteristics with the results of laboratory measurements in creep at different levels of nonwoven fabrics were determined. The time-dependent mechanical behavior is analytically well explained and described by the activating action of external mechanical loading.

REFERENCES:

1. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics, 6th Ed. Xlibris Publ. Co. 2012. 914 pages in two volumes.
2. Sarsby R.W. Geosynthetics in Civil Engineering. Woodhead Publishing Ltd. 2007. pp. 295.
3. ISO/TR 20432:2007 Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement.
4. Palmeira E.M. Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysis, Geotext. Geomembr., vol. 27, no. 5, pp. 368–390, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.geotexmem.2009.03.003.
5. De Mello. (2015). Influence of soil confinement on the creep behavior of geotextiles. Geotextiles and Geomembranes. 2015. No. 43(4). pp. 351-358.
6. Srungeri S.G., Alekseev N., Kovalenko I., and Stolyarov O. Creep behavior of geosynthetics by temperature accelerated testing. 2017, doi: 10.18720/MCE.76.22.

УДК 624.15

В.В. Комолов, А.А. Беликов, П.А. Деменков
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОТЛОВАНА ПОЛУЗАГЛУБЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ, СООРУЖАЕМОГО СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

Цель работы – провести анализ работы несущих конструкций котлованов полузаглубленных сооружений. Определить результат изменения параметров элементов и схемы котлована на деформации грунта в конкретных условиях строительства. Определить наиболее оптимальную конструктивную схему сооружения котлована при строительстве полузаглубленных сооружений в условиях плотной городской застройки [8].

Геомеханическая оценка и численное моделирование строительства полузаглубленного сооружения под защитой «стены в грунте» в объёмной постановке задачи выполнены в программном комплексе Plaxis 3D. Трёхмерная модель позволяет получить представление общей картины напряженно-деформированного состояния грунта на строительной площадке и вести расчёт с учётом всех этапов строительства полузаглубленного сооружения. Численный анализ помогает производить точный прогноз развития осадок грунта при помощи

использования усовершенствованных моделей грунта. Данные модели учитывают нелинейную работу грунта при действии нагрузки [1-3, 9].

В зависимости от физико-механических свойств породы и глубины котлована существует три основных варианта сооружения глубокого котлована.

Консольная заделка как правило используется в котлованах глубиной не более 5 м, в связных грунтах. Распорная система широко применяется на практике. По сравнению с системой грунтовых анкеров она проста в использовании и требует меньших экономических и технологических затрат [1-3]. В данной работе рассматривается тип сооружения котлована с использованием системы распорок.

Описание модели. Ширина котлована – 20 м, длина – 40 м, глубина – 19 м. Для предотвращения горизонтальных смещений стенок котлована используется «стена в грунте», выполненная из бетона класса В40. Для повышения ее жесткости применяется распорная система, устанавливаемая с шагом 5 м по глубине котлована. Грунт разрабатывается в пять этапов. Уровень грунтовых вод понижался на 1,0 м ниже дна котлована на всех этапах. В качестве распорок используется стальная труба диаметром 500 мм, толщиной 10 мм. В качестве распределительного пояса принят двутавр №55. Поперечные распорки устанавливаются с шагом – 5 м, угловые – под углом в 45° (рис. 1). Данные параметры расположения конструктивных элементов наиболее распространены.

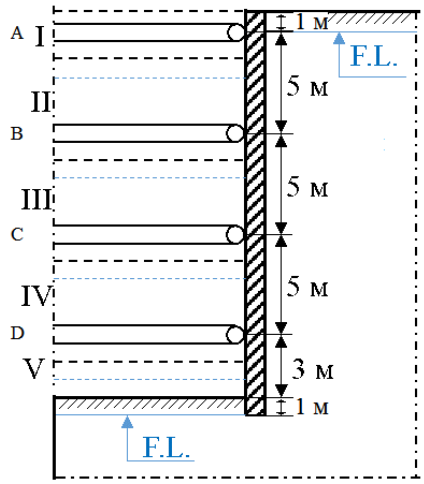
Для моделирования были приняты грунты, наиболее характерные для Санкт-Петербурга, физико-механические свойства которых представлены в таблице 1. В расчетах использовалась упругопластическая модель упрочняющегося грунта, учитывающая изменение свойств при малых деформациях.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунта

γ_{unsat}, кН/м^3	γ_{sat}, кН/м^3	e_o	E_{so}, мПа	E_{oed}, мПа	E_{ur}, мПа	m	c'	φ', град.
18,5	21	0,70	14	14	56	0,9	23	21

Численные эксперименты выполнялись в объемной постановке при помощи программного комплекса Plaxis 3D.

а)



б)

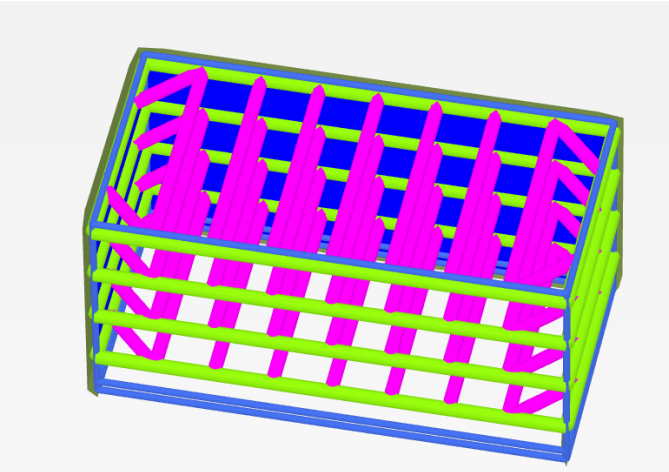


Рис. 1. Этапы моделирования и общий вид несущих конструкций: *а* – поперечное сечение котлована с указанием этапов моделирования; *б* – 3D-модель распорной системы котлована; A-D – яруса распорных систем; I-V – этапы разработки котлована

Результаты расчетов. На первом этапе моделирования была определяли оптимальную толщину стены в грунте. Для этого были построены модели с толщиной стенки от 500 до 1000 мм. Модели с толщиной стенки менее 500 мм в процессе решения не имели точек сходимости, что говорит о недостаточной жёсткости. С увеличением толщины увеличиваются сжимающие продольные силы, действующие в поперечных распорках на всех ярусах, а максимальные изгибающие моменты на ярусе *B* уменьшаются, но в ярусе *C* наблюдается экстремум при толщине стенки в 800 мм, при этом на ярусе *D* подобного экстремума нет. Следовательно, в данных условиях наиболее рационально использовать «стену в грунте» толщиной 800 мм [4]. Дальнейшие модели будут рассматриваться именно с такой толщиной стенки.

Сравнив результаты расчетов по двум схемам: базовой и схемы I, можно определить, что в поперечных распорках сжимающие силы увеличились незначительно, а моменты уменьшились. В угловых распорках величина сжимающей силы не изменилась, а момент уменьшился. Это прослеживается на всех ярусах. Таким образом, новая схема расположения распорок более предпочтительна.

Недостатком схемы I является то, что по ширине котлована центральная часть торцевой стенки имеет наименьшую жёсткость. Это приводит к максимальным оседаниям земной поверхности в этой области [5]. В связи с этим предложен вариант добавления второго ряда угловых распорок.

Рассмотрим две схемы устройства распорок котлована. В схеме II второй ряд угловых распорок устанавливается на расстоянии 2,5 м от первого ряда угловых распорок. В схеме III – второй ряд угловых распорок устанавливается на расстоянии 5 м от первого ряда угловых распорок.

При рассмотрении усилий в поперечных распорках сделан вывод, что в схеме II минимальные моменты, а в схеме III – завышенные показатели моментов и сжимающей силы. В первом ряду угловых распорок в схеме II возникают наименьшие усилия.

Во втором ряду угловых распорок сжимающая сила больше в схеме II, а моменты в схеме III. Для выбора схемы с наименьшими напряжениями необходимо учитывать совместное действие сжимающей силы и изгибающего момента [6, 7].

Далее выполним оценку величины углубления стены котлована в грунт. Изначально моделировалась стена с заглублением на 1 м. Сравнив напряжённо-деформируемое состояние распорок при углублении стенки на 3 и 5 м, из положительных влияний можно заметить только уменьшение моментов в первом ряду угловых распорок, в остальных случаях мы наблюдаем увеличение сжимающей силы. В тоже время увеличиваются смещения поверхности грунта как вмещающего котлован, так и его дна (рис. 2).

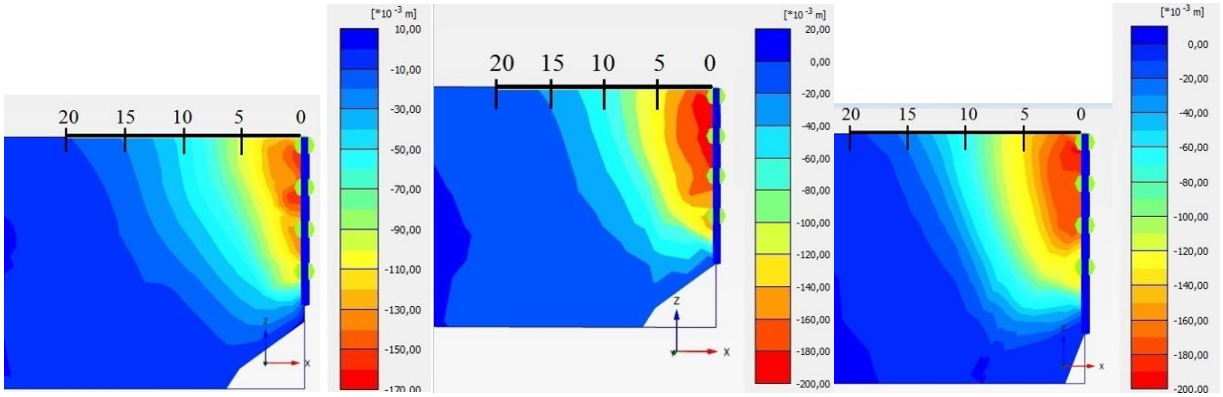


Рис. 2. Вертикальные перемещения грунта:
слева – углубление стенки на 1 м; по центру – углубление на 3 м; справа – углубление на 5 м

Таким образом, в глинистых обводнённых грунтах схема котлована III имеет наибольшую жёсткость конструкции и вызывает наименьшие оседания земной поверхности, в то время как схема II обеспечивает наиболее рациональную работу конструктивных элементов. Увеличивать толщину стены более 800 мм для данных условий не целесообразно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Деменков П.А., Беляков Н.А., Очкуров В.И. Прогноз безопасной зоны влияния строительства полузаглубленных подземных сооружений на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 4. 2017. С. 311-324
2. Деменков П.А., Белаков Н.А., Очкуров В.И. Аварийная оценка полуразрушенного строительства// Международный журнал прикладных инженерных исследований ISSN 0973 – 4562 Том 11, номер 21 (2016). P. 10698-10707.
3. Деменков П.А., Голдобина Л.А., Трушко О.В. Метод прогнозирования деформаций земной поверхности при устройстве котлованов в условиях плотной городской застройки с применением способа «стена в грунте» // Записки Горного института. СПб., Т. 233, 2018. С. 480-486.
4. Alonso, E.E., Gens, A., Alcoverro, J. & Ortuño, L. 2007. Неожиданное поведение большой выемки в насыщенных песках. Прок. 14-й Европейской конференции по SMGE, Мадрид. Том. 2. С. 495-502.
5. Брандл, Х. 2007. Обрушение глубокого котлована в городских окрестностях. Прок. 14-й Европейской конференции по SMGE, Мадрид. Том. 2. С. 545-552.
6. Сычунь Лонг, Вэй Чжоу, Цзиньлэй Фу и Лия Чжан. Мониторинг деформаций, моделирование и прогнозирование глубоких выработок метрополитена. Электронный журнал геотехнической инженерии, 2018 (23.04). С. 768-710.
7. Закон К.Х., Зубайда Исмаил и Росланхашим. 3D Конечно-элементный анализ глубокой выемки с учетом влияния анизотропной жесткости стенок // 19-я Юго-Восточная Азиатская геотехническая конференция и 2-я конференция AGSSEA (19SEAGC & 2AGSSEA). Куала-Лумпур, 31 мая – 3 июня 2016 г.
8. Romanovich, M., Simankina, T. Urban Planning of Underground Space: The development of Approaches to the Formation of Underground Complexes – Metro Stations as Independent Real Estate Objects. Procedia Engineering, 165 (2016), 1587-1594. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.897
9. Simankina, T., Romanovich, M., Tsvetkov, O. Wavelet analysis function of changing average work amounts in monolithic construction. MATEC Web of Conferences 53, 01054 (2016) DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/20165301054

УДК 691.328.43

Ю.А. Демидова, В.Я. Ольшевский, О.Н. Столяров
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТОНКОСТЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ТЕКСТИЛЬНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА

Цель работы – разработка тонкостенных пространственных покрытий из текстильно-армированного бетона.

Появление в 60-х годах прошлого столетия фибробетона инициировало разработку облегченных бетонных строительных конструкций. Основные направления такой работы были связаны с поиском оптимальной арматуры в виде волокон. Однако форма, размеры и свойства волокон в то время значительно ограничивали возможности проектируемых конструкций. Развитие этого направления послужило развитию применения высокопрочных и высокомодульных текстильных полотен, изготовленных из щелочестойких (ЩС) стеклянных или углеродных ровингов. Все это привело к появлению принципиально нового класса строительных материалов – текстильно-армированного бетона (ТАБ) [1, 2]. Появившись сравнительно недавно, два десятилетия назад, ТАБ нашел ряд областей применения, включая ненесущие как ограждающие конструкции (сэндвич-панели, архитектурные элементы) [3], так и несущие конструкции (внешнее усиление, пешеходные

мосты, перекрытия) [4]. Применение текстильной арматуры позволяет изготавливать экстремально тонкие бетонные конструкции. Это открывает новые перспективы в разработке и применении облегченных строительных конструкций, особенно имеющих сложную пространственную форму.

В данной работе продемонстрирована возможность создания пространственного покрытия из ТАБ. В качестве арматуры использовалось основовязаное полотно из ЩС стеклянных ровингов с линейной плотностью 2400 текс [5]. Текстильная арматура для бетона представляет собой плоский каркас, состоящий из открытых квадратных ячеек размером 6 на 6 мм, способствующих проникновению бетонной матрицы в структуру армирующего полотна (рис. 1). Прочность при растяжении данного полотна составляют 880 МПа. Мелкозернистый бетон, используемый для ТАБ, имеет водоцементное отношение 0,3-0,4 с содержанием связующего в 40-50% по объему. Максимальный размер заполнителя составляет не более 2,5 мм.

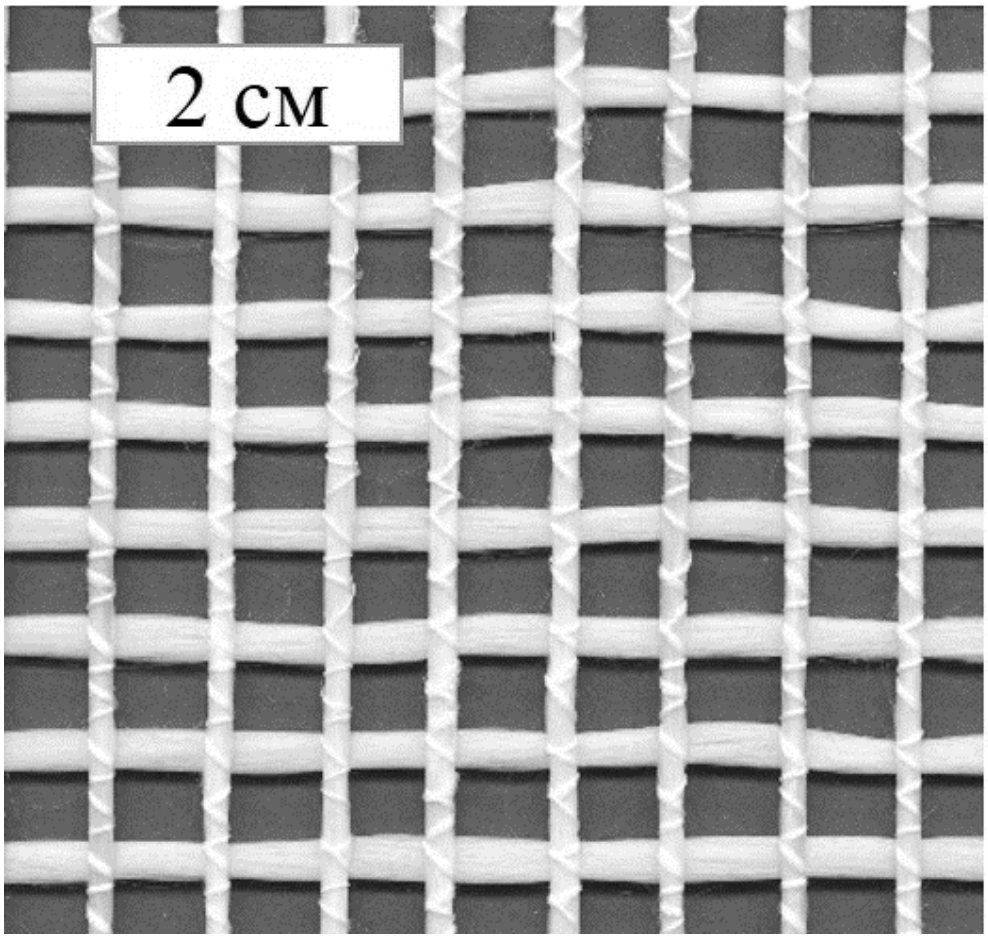
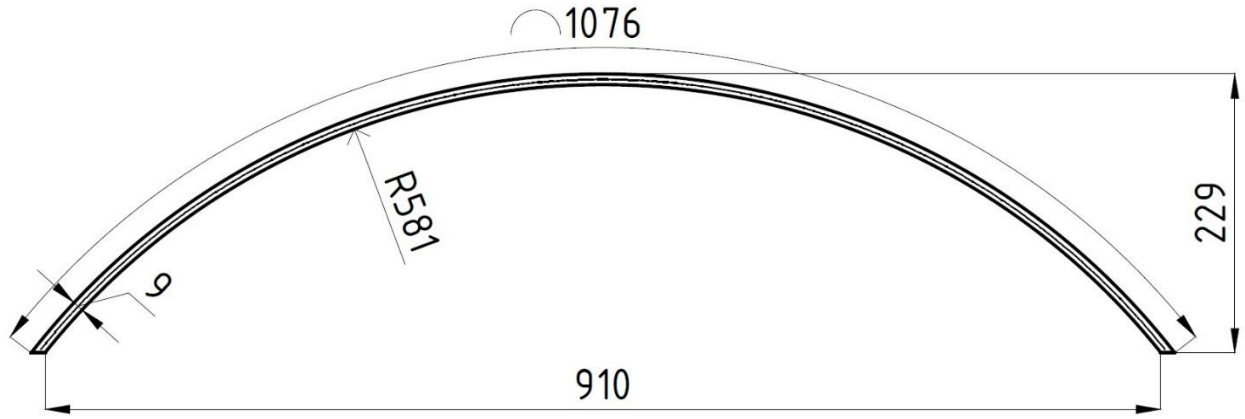


Рис. 1. Строение текстильной арматуры

На рис. 2*а* представлена конструкция разработанной опытной модели тонкостенного покрытия из ТАБ. Армирующее полотно укладывалась между слоями бетонной смеси. Первоначально производилась укладка нижнего слоя бетона толщиной в 4 мм. Далее производилась укладка текстильной арматуры и укладкой верхнего слоя бетона аналогичной толщины. Готовый вид тонкостенного бетонного изделия показан на рис. 2*б*. Итоговая толщина изделия составила 9 мм.

а)



б)



Рис. 2. Конструкция опытной модели тонкостенной бетонной конструкции

В результате выполнения работы показана возможность изготовления тонкостенных пространственных бетонных покрытий с применением текстильной арматуры из не подверженного коррозии щелочестойкого стекла, что и определяет возможность создания таких изделий. Продемонстрирована гибкость технологии при изготовлении ТАБ тонких изделий сложной формы. Выполнены расчеты разработанной конструкции, позволяющие вести рациональное проектирование тонкостенных материалоемких пространственных покрытий из ТАБ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лесовик, В.С. Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего / В.С. Лесовик, Д.Ю. Попов, Е.С. Глаголев // Строительные материалы. – 2017. – №3. – С.81–84.
2. Peled A. / Textile reinforced concrete: монография / A. Peled, A. Bentur, B. Mobasher – Boca Raton: CRC Press. Taylor and Francis Group, 2017. – 473 с.
3. Shams A. Experimental investigations on textile-reinforced concrete (TRC) sandwich sections / A. Shams, M. Horstmann, J. Hegger // Composites Structures. – 2014. – №118. – С. 643–653.
4. Scholzen A. Thin-walled shell structure made of textile reinforced concrete. Part I: structural design and construction / A. Scholzen, R. Chudoba, J. Hegger // Structural Concrete. – 2015. – №16. – С.106–114.
5. Gries T. Manufacturing of textiles for civil engineering applications / T. Gries, M. Raina, T. Quadflieg, O. Stolyarov: в монографии Textile Fibre Composites in Civil Engineering; под.общ. ред. T. Triantafillou – Cambridge: Elsevier, 2016. – С.3–24.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Высшая школа Промышленно-гражданского и дорожного строительства 3
Секция «Цифровое строительство зданий и сооружений» 3
Наджмудинов А.Х., Зимин С.С. Напряженно-деформированное состояние геодезических куполов в условиях крайнего севера 3
Алиулова В.А., Петроченко М.В. Графическое представление уровня качества проектной документации повторного использования.....6
Аушева К.В., Рубанова Э.А., Горшков А.М., Спицкая А.Ш., Киселев П.Д. Возможности применения БПЛА для цифровизации производства сжиженного природного газа в арктических условиях.....9
Бабушкина А.В., Петроченко М.В. Вариантное проектирование паркинга с применением линейного программирования 11
Бабушкина А.В. Математическое обоснование оптимального угла расстановки машино-мест для паркинга 14
Белоногова М.М., Кукина А.А., Петроченко М.В. Обоснование возможности и необходимости использования информационной модели здания как инструмента для оценки качества проекта.....17
Горбулин Л.А., Петроченко М.В., Кукина А.А. Анализ применимости универсального формата IFC при проектировании сложных промышленных объектов.....19
Дмитриев И.И., Шахова М.А., Гравит М.В. Цифровое проектирование железобетонных плитных конструкций 22
Недвига Е.С., Дронов Д.С. Особенности применения систем интеллектуального здания при проектировании школы 25
Елесина Ю.В., Петроченко М.В. Автоматизация проектирования строительного генерального плана с учетом критериев безопасности 28
Забирова А.И., Талипова Л.В. Определение оптимального маршрута общественного транспорта с использованием алгоритма A*.....31
Задорин О.Р., Гаевская З.А. Оценка влияния формы здания в плане на величину энерго- и материальных затрат.....33
Школяр Ф.С., Кротов О.М. Определение прочностных характеристик напечатанных на строительном принтере конструктивных элементов.....35
Макаренко А.Н., Муравьева М.Д., Рябов А.И. Совместное использование Connected BIM, IIoT и Blockchain для мониторинга строительных конструкций.....38
Монастырева Д.Е., Астафьева Н.С. Использование внешнего хранилища Estorage для защиты данных BIM-модели в процессе инвестиционного контроля.....41
Муратова К.В., Стрелец К.И., Tschuchnigg F., Marzouk I. Оптимизация параметров расчетной модели грунта в программном комплексе SoilTest 43
Николаева Ю.К., Талипова Л.В. Выбор цветов и яркости для устройства медиа-фасада в бизнес-центре.....46
Овсянникова В.А., Школяр Ф.С. Технико-экономический анализ конструктивного решения утепления кровли 48
Покуль А.Ю., Кукина А.А. Проблемы применения BIM-технологий при проектировании объектов атомных электростанций 50
Савельев И.А., Яваров А.В. Опыт создания информационной модели на основе геологических данных.....53
Самохвалова К.А., Клещевникова В.И., Беляева С.В. Экспериментальное исследование свойств бетонных смесей для 3D-печати 56

Самохвалова К.А., Рогозинникова Д.В., Беляева С.В. Смеси для строительной печати в условиях пониженных температур 59
Синдаловский А.С., Багаутдинов Р.И., Комаров Ю.П. Выбор оптимальной конструкции узла для достижения наименьшей металлоёмкости несущего каркаса здания 62
Стольникова К.А., Петроченко М.В. Зависимость сметной стоимости работ по устройству свайного фундамента от уровня детализации (LOD) BIM-модели 64
Табаченко А.А. Олехнович Я.А. Обработка плотного облака точек при геоинформационном моделировании зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства 67
Хритова К.Д., Немова Д.В. Комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности высотного офисного здания 70
Черных А.А. Контроль ресурсов на строительном объекте с помощью BIM технологий 73
Ярашов П., Городишенина А.Ю. Алгоритм создания скрипта для автоматизированного теплотехнического расчета в Dynamo 75
Гаврилов В.А., Петроченко М.В. Автоматизация проектирования отделочных работ с помощью BIM-технологий 78
Дриго Д.Е., Талипов Л.В. Моделирование формы высотного здания в Санкт-Петербурге с целью снижения ветровых потоков 81
Куленич А.В., Бардина Г.А. Градостроительный анализ территории складов Северного страхового общества, складов Кororева 83
Мамаева Е.А., Джарагян И.С., Занина А.Д. Сравнение критериев объемно-планировочных решений квартир жилых зданий в странах Европы и России 86
Остапова А.В., Кашин Г.И., Олехнович Я.А. Анализ возможности использования облака точек при нивелировании по квадратам 89
Савченко Е.Т., Гравит М.В., Кирик Е.С. Цифровая модель Римского Колизея для расчета эвакуации 91
Астафьева Н.С., Садовский А.Д., Филатова Ю.С. Программные ограничения при проектировании зданий из сборного железобетона с использованием технологии информационного моделирования 94
Шашков А.Ф., Олехнович Я.А. Мониторинг зданий и сооружений с использованием беспилотных летательных аппаратов 97
Школьникова А.А., Терех М.Д. Градостроительное энергетическое моделирование как инструмент цифрового строительства 100
Занина А.Д., Князева А.С., Палий Е.А., Тулешова М. Моделирование каркаса оболочковой системы здания с использованием инструментов по Autodesk Revit 103
Столярова Е.А., Бардина Г.А. Объемно-планировочные решения «умной поликлиники» 106
Слизова С.А., Кукина А.А. Проблемы применения технологий информационного моделирования при разработке конструктивного раздела 108
Леонов А.В., Талипова Л.В. Планировочные решения многофункционального высотного здания в условиях повышенного эпидемиологического риска 111
Секция «Технология, организация и экономика строительство» 114
Alalili M.R., Kolosov E.S. Technology of use recycled concrete in the Middle East. Mechanical properties of recycled concrete 114
Alalili M.R., Kolosova N.B. Technology of use recycled concrete in the Middle East. Physical properties of recycled aggregates 116
Барабанов А.С., Талипова Л.В. Двойные фасады в высотном здании бизнес-центра в климатических условиях г. Санкт-Петербург 118
Борисова Ю.А., Талипова Л.В. Сравнение российских и европейских норм проектирования офисных зданий 121

Брайцев Э.В., Сиссе М., Ватин Н.И. Определение звукоизоляции воздушного шума перегородок готовых сантехнических модулей компании «Modulbau» Россия.....123
Бронзова А.В., Немова Д.В. Эффективность ограждающих конструкций, созданных аддитивным методом.....126
Воронин А.С., Усанова К.Ю. Применение светопрозрачного бетона при строительстве 129
Герасимов Д.В., Шин Л.А. Технико-экономические показатели быстровозводимых конструкций на основе тонкостенных профилей 132
Гришина Н.М., Величкин В.З. Пакеты строительно-монтажных работ и преимущества их использования.....134
Гуричева А.В., Жигирь А.А. Управление риском инвестиционно-строительного проекта.....137
Демидова Ю.А. Особенности технологии укладки и эффективность использования керамогранитных плит крупного формата 139
Загумённых Т.А., Птухина И.С. Использование сценарного метода в социальных проектах квартальной застройки.....141
Захарова О.В., Зимин С.С. Система автоматизированного мониторинга технического состояния многофункционального высотного здания 144
Золотарев В.П., Гамаюнова О.С. Офисные перегородки из smart-стекла 146
Каримова А.А. Экономическая оценка повышения энергоэффективности ограждающих конструкций 150
Кирсанов Д.А., Доронина Л.А., Талипова Л.В. Применение солнечных панелей в высотном строительстве.....152
Кирсанова Т.А. Особенности учётной политики инвестиционно-строительного проекта с точки зрения кадровой политики 154
Козак Е.С., Радаев А.Е. Оптимизационная модель кластеризации элементов объемно-планировочного решения в составе объекта коммерческой недвижимости.....157
Киркина Е.Г., Птухина И.С. Оценка рисков административного высотного здания 160
Лебедева А.Е., Терех М.Д. Железобетонные конструкции на основе материалов рециклинга строительных и бытовых отходов 163
Мулюкова А.Ф., Стрелец К.И., Корнеева Е.А. Классификация и критерии оптимизации конструктивных решений светопрозрачной купольной кровли.....166
Никифоров С.Н., Стрелец К.И. Разработка технического решения строительства подземного резервуара в условиях вечномерзлых грунтов.....169
*Кашин Г.И., Павлова Л.С., Олехнович Я.А. А*нализ методик выноса осей зданий и сооружений.....171
Оникийчук К.А. Влияние рисков на строительство высотного здания 174
Павшукова М.А., Бардина Г.А. Оптимальная конструкция перегородок административного здания.....176
Ракова А.П., Терех М.Д. Применение сортировки на строительной площадке как этап метода «5С» концепции бережливого строительства 179
Рожина М.Д., Бардина Г.А. Проблемы инвестирования в объекты культурного наследия.....181
Рубайло Т.В., Филатова Ю.С., Петроченко М.В. Разработка математической модели комплексного показателя качества общестроительных работ.....184
Рыбаков Д.А., Радаев А.Е. Оптимизационные модели обоснования параметров объектов жилищного строительства.....186
Савватеев Д.В., Городишенина А.Ю. Оптимизация использования материальных ресурсов при строительстве высотного офисного здания 189
Сергеев В.В., Колосова Н.Б., Птухина И.С. Сравнительная оценка методов подсчета экономического ущерба от подтопления 192

Соколов В.И., Немова Д.В. Фотовольтаика в высотном строительстве.....195
Спицкая А.Ш., Радаев А.Е. Обоснование характеристик комплектов строительных машин с применением элементов теории систем массового обслуживания 198
Стугирёв И.Д., Астафьева Н.С. Использование лазерного сканирования как способа сбора данных при создании информационной модели здания 201
Терещенков Д.А., Стрелец К.И., Аверьянова О.В. Энергоэффективность индивидуальной системы вентиляции с рекуперацией тепла в квартире.....203
Хасанова Э.Р., Стрелкова М.Д., Стрелец К.И. Эффективность применения сборных железобетонных конструкций для строительства жилых зданий 206
Цыпленков Д.Е., Гамаюнова О.С. Экономическая эффективность применения автоматизированной системы управления офисным зданием 209
Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Современные тенденции повышения энергоэффективности зданий 212
Черненко В.А., Стрелец К.И. Технологии инъецирования слабых грунтов и оснований полимерными смолами.....215
Юрина С.Е., Немова Д.В. Влияние вертикального озеленения на энергоэффективность ограждающих конструкций 218
Чиркова Ю.Э., Бабаев М.В., Птухина И.С. Преимущества применения энергоэффективных технологий в зданиях 220
Секция «Дороги автомобильные, мосты и транспортные тоннели».....224
Аверченко Г.А., Зорина Е.А., Ким Д., Наборщикова Д.Н. Лесохозяйственные дороги на болотах 224
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.....227
Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А., Баланин А.П., Гуга Н.А. Диагностика, испытания и контроль строящихся и эксплуатируемых мостов методом акустической эмиссии 229
Алексеев С.В., Трифонова А.А., Вуколов С.А., Озорнин А.А., Егошин А.М. Способ расчета несущей способности свайно-винтового анкерного устройства повышенной устойчивости 231
Баранова Д.А., Ершова Д.С., Бегич Я.Э. Применение геосинтетических материалов из пенополистирола в облегченных насыпях на участках автодорог общего назначения...234
Алексеев С.В., Огурцов Г.Л., Трифонова А.А., Аверченко Г.А. Сравнение характеристик композитных материалов, применяемых в опорах мостовых сооружений 237
Телегина М.Е., Ермошин Н.А., Бирюков О.Р. Водонасыщение и плотность асфальтобетонов.....239
Наумов Н.А., Ермошин Н.А., Бирюков О.Р. Моделирование упоров сталежелезобетонных мостов в программном комплексе SOFISTIK.....242
Лютый Д.Ю., Кашин Г.И., Олехнович Я.А. Повышение безопасности ограждающих конструкций на автомагистралях 245
Олейник М.С., Симонов Д.Л., Кириллова Д.Ю. Формирование объектного классификатора автомобильной дороги на примере насыпи 247
Тепкина А.А., Коробова Е.Д., Морозов А.А., Симонов Д.Л. Использование продуктов переработки полимерных отходов при создании асфальтобетонной смеси.....249
Самойлов К.А., Борисова А.А., Алексеев С.В. Программные комплексы для имитационного моделирования транспортных потоков.....252
Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.....255

Глебов Н.В., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Применение дорожно-пропиточных материалов для продления срока службы асфальтобетонного покрытия 258
Железнов С.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Использование фиброармированного пластика в конструкции опор мостов 261
Телегина М.Е., Ермошин Н.А., Бирюков О.Р. Выявление закономерностей истираемости асфальтобетона экспериментальными методами 263
Лукина К.А., Полудницына П.Н., Новик А.Н. Дорожные пропиточные материалы – свойства и экономичность 266
Козлов А.Н., Новик В.А., Новик А.Н. Оценка влияния модификатора на физико-механические свойства вяжущего 269
Созонтова А.Н., Шевченко С.М., Алексеев С.В. Мероприятия по безопасности дорожного движения на крутом повороте автомобильной дороги 271
Новик А.Н., Пахомов К.А. Методические аспекты определения температуры размягчения мастичных гидроизоляционных материалов 274
Пашовкин Р.А., Новик А.Н. Применение универсальных сборно-разборных конструкций пролетных строений временных мостов с учетом многократной оборачиваемости используемых материалов 276
Литвинова И.А., Соколова А.С., Лунёв Д.В. Влияние освещенности автомобильной дороги на безопасность дорожного движения 279
Полудницына П.Н., Бердник А.В., Лукина К.А. Использование регенерированного асфальтогранулята в новых асфальтобетонных смесях 281
Жаворонков Г.В., Трепалин В.А. Проблема износа верхних слоев дорожного покрытия 284
Черных А.А., Серебров Д.А., Мясникова Е.П. Автоматизированная система управления дорожным движением 287
Saif K., Alekseev S.V. Bridge safety is not for granted- approach to bridge management 289
Трифонова А.А., Алексеев С.В. Виды заполнителей деформационных швов автодорожных мостов 291
Кириллов С.В., Эрдоган Б. Концептуальная модель функционирования улично-дорожной сети крупных городов при возникновении чрезвычайных ситуаций 294
Васильев К.А., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Выбор способа устройства поперечного уклона проезжей части при ремонте автомобильной дороги 297
Гурьянов В.А., Шевченко С.М. Оптимизация аэроснимков при создании ортофотопланов автомобильных дорог 300
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 302
Рафикова И.В., Цыбин Д.Ю., Шевченко С.М. Оценка эффективности применения комплексного модификатора «Эладорм» для щебеночно-мастичного асфальтобетона 305
Бульковская К.Э., Волкова Э.С., Обширнов М.В., Сидякина А.А. Роль экопарковок в озеленении города 308
Зорина Е.А., Ким Д., Наборщикова Д.Н. Особенности антикоррозийного покрытия металлических мостов 311
Тепкина А.А., Коробова Е.Д., Морозов А.А., Лунёв Д.В. Природные формы в архитектуре пешеходных мостов из композитных материалов 314
Исмаилов А.М., Алексеев С.В., Трифонова А.А. Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края 317
Бояджи Ю.С., Алексеев С.В., Уколов С.А. Оценка возможности применения базальтопластиковых труб в дренажной системе автомобильных дорог 319

Бердник А.В., Соколова Д.В. Экономическая эффективность устройства ветрогенераторов на линейных объектах 322
Ионова Е.Д., Хайкара В.С., Линин М.М. Торфяные грунты в дорожном строительстве 325
Ионова Е.Д., Хайкара В.С., Линин М.М. Влияние системных факторов дорожно-транспортной инфраструктуры на происшествия на автомобильных дорогах 328
Тепкина А.А., Коробова Е.Д., Морозов А.А., Алексеев С.В. Теплофизический расчет конструкции земляного полотна, выполненной с применением XPS-плит.....331
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 333
Борисова А.В., Самойлов К.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Технические решения элементов улично-дорожной сети в целях обеспечения безопасности дорожного движения 336
Алексеев С.В., Исмаилов А.М., Уколов С.А. Защитные гидрофобизирующие составы для продления срока службы объектов транспортной инфраструктуры 338
Попков И.В., Алексеев С.В. Расчёт экономической целесообразности применения противодеформационных мероприятий в основании дорожной одежды для предупреждения образования колейности 341
Ахмед Х.А., Кириллов С.В. Организация и технология ремонта покрытий городских дорог из асфальтобетона и состояние вопроса в Йемене и за рубежом 344
Курбанов Н.Н., Бирюков О.Р., Алексеев С.В. Оценка качества сцепления шумовых полос 347
Ушаков В.В., Гуртяк М.А. Анализ напряженно-деформированного состояния цементобетонных покрытий 350
Бородин А.А. Оценка влияния погодно-климатических факторов на покрытия автомобильных дорог 353
Ермошин Н.А., Егошин А.М., Букатов Д.С. Применение пневматического пенетрометра для определения степени прочности дорожных покрытий автомобильных дорог 355
Ермошин Н.А., Кириллова Д.Ю., Егошин А.М., Букатов Д.С. Применение лазерного прогибомера для определения технического состояния эксплуатируемых автомобильных дорог 357
Секция «Проектирование и расчет строительных конструкций и оснований» 360
Тур В.Н., Жигирь А.А. Исследование технологии «top-down» для устройства подземной части зданий, применительно к центральному району Санкт-Петербурга 360
Воробьева А.Д., Страхов Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния железобетонных колонн с учетом нелинейной ползучести и геометрической нелинейности..... 363
Бойцов А.А., Черняев И.С. Влияние сталефибробетона на поэтажные спектры отклика..... 366
Бойцов А.А., Черняев И.С. Влияние сталефибробетона на прочностные характеристики балки при расчете на изгиб 368
Бойцов А.А., Черняев И.С. Влияние сталефибробетона на прочностные характеристики ВЗО при действии запроектного давления..... 370
Кабанов Д.М., Страхов Д.А. Метод последовательных приближений при решении задачи 373
Овсюков Н.В., Жигирь А.А. Анализ применения различных типов свай на примере многоквартирного жилого дома в петроградском районе Санкт-Петербурга.....376
Корсун В.И., Кхон К., Ха В.К. Влияние климатических условий Юго-Восточной Азии на прочность и модуль упругости бетона.....379
Корсун В.И., Кхон К., Ха В.К. Температурные моменты в статически неопределимых балках из высокопрочного бетона при одностороннем нагреве 382
Кузнецов М.В., Дуванова К.Н., Олехнович Я.А. Влияние цикличности прогрева каменных конструкций на их прочностные характеристики 385

Лалин В.В., Рыбаков В.А., Печерских М.Н. Учет инерции вращения при модальном анализе консольной балки....388
Сабуров Д.А., Недвига Е.С. Подбор конструкции капители для высотного офисного здания....391
Абичев Е.Л., Дьяков С.Ф. Выбор оптимальной схемы и узловых соединений в зданиях со смешанным деревянным каркасом. Определение жесткости узловых элементов....394
Шокин А.А., Семенов Д.А. Учет взаимодействия сооружения с основанием при расчете на сейсмическое воздействие....397
Лысенко Д.А. Проектирование балочного железобетонного перекрытия с армированием напрягаемыми канатами....400
Зданчук Е.В., Никитина О.Д. Определение ветровой нагрузки на фасады высотных зданий....403
Ташчи О.Б., Талай Т.Д. Расчет сейсмического поведения атомных электростанций с нелинейными материалами....406
Талай Т.Д., Ташчи О.Б., Бойцов А.А. Расчет поведения конструкций АЭС при возможных ударах самолета с нелинейных материалах....409
Глухова Д.А., Недвига Е.С. Выбор оптимальной конструктивной системы для высотных зданий с консольными перекрытиями....411
Стрепет Е.В., Зимин С.С. Определение оптимального угла наклона конструктивных элементов диагридной решетки....414
Бондарь В.Т., Назмеева Т.В. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния профилированных листов С-44-1.5, С-21-1.5, CIMC-D02-01A 1.6....417
Бабаев Ф.А., Зданчук Е.В. Влияние окружающей застройки при численном моделировании ветрового воздействия....420
Галямичев А.В., Бабаев М.В. Оценка эффективности применения нормативной документации к проектированию фасадных светопрозрачных конструкций....423
Фисенко Р.С., Зимин С.С. Оптимизация конструкции монолитного железобетонного перекрытия....425
Быков Е.Н., Недвига Е.С. Влияние способа моделирования свайного фундамента на его напряженно-деформированное состояние....428
Буланчик Д.Ю., Лалин В.В. Назначение нагрузок с учетом срока службы строительного объекта как фактор снижения материалоемкости несущих конструкций....431
Яковлев М.А., Зимин С.С., Беспалов В.В. Выбор оптимального конструктивного решения пространственного покрытия крыши административного здания....433
Недвига Е.С., Горда А.В. Анализ влияния аутригерных этажей на конструктивную систему высотного здания....436
Корсун В.И., Павлушкин М.Е. Влияние вида расчетных диаграмм деформирования бетона на напряженно-деформированное состояние внецентренно сжатых колонн....438
Мавлютов Р.А., Зимин С.С. Подбор оптимального сечения и армирования консольной балки из монолитного железобетона....441
Кислицына А.А., Лалин В.В., Ненашев В.С. Решение нелинейной задачи внецентренного сжатия стержня с малым эксцентриситетом асимптотическим методом....444
Лалин В.В., Чуднова Е.П., Нго Х.Х. Алгоритм расчета статически неопределимых стержневых конструкций с помощью метода контурных усилий....446
Тарасова А.А., Недвига Е.С. Расчет высотных каркасных зданий на прогрессирующее разрушение....449
Шацкая У.А., Астафьева Н.С. Проектирование и расчет высотного здания бизнес-центра с вертолетной площадкой на армированном асфальтобетонном покрытии кровли....451

Выборова Ю.А., Перевалов Е.В., Багаутдинов Р.И. Оптимизация расчета комбинированного свайно-плитного фундамента....454
Горбачев Г.С., Лещенко И.И., Багаутдинов Р.И. Расчет стыка соединения в сборных железобетонных панелях....456
Сигунова А.А., Багаутдинов Р.И. Оптимальное проектирование каркасов при варьировании конструктивной формы полураскосных связей....458
Гроховская А.Д., Дуванова К.Н., Школяр Ф.С. Расчет сталежелезобетонного перекрытия по металлическим балкам....461
Зверев Д.И., Школяр Ф.С. Расчет и подбор армирования в балках с различными консольными вылетами....464
Десятова П.Л., Школяр Ф.С. Конструктивное решение горы приземления лыжного трамплина К-60 в г. Красноярске....467
Демиденко А.К., Школяр Ф.С. Разработка расчетной схемы консольной части здания малоэтажного бизнес-центра....469
Трунова Е.С., Школяр Ф.С. Армирование консоли перекрытия в высотном здании в зависимости от её вылета....472
Воронов И.Ю., Кравченко А.В., Трубкин М.А. Применение сталежелезобетонных колонн с жесткой арматурой в высотных зданиях....475
Юрченко Л.Ю. Использование сталежелезобетонных перекрытий в высотном общественном здании....477
Громыко П.А., Садкова Ю.Д. Применение сталежелезобетонных перекрытий в высотных зданиях....480
Волков Т.Д., Позднышев Н.А., Сычёв С.А. Вибрационные воздействия при забивке свай в условиях городской застройки....483
Younes K.G., Stolyarov O.N. Characterization of creep behavior of nonwoven geotextile....486
Комолов В.В., Беликов А.А., Деменков П.А. Исследование работы несущих конструкций котлована полузаглубленного сооружения, сооружаемого способом «стена в грунте»....487
Демидова Ю.А., Ольшевский В.Я., Столяров О.Н. Тонкостенные пространственные покрытия из текстильно-армированного бетона....490

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ

Сборник материалов
Всероссийской конференции

26–30 апреля 2021 года

Часть 2

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 30.04.2021. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 31,5. Тираж 52. Заказ 2071.

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.