

№3 (13)
2023

Инженерные --- ИССЛЕДОВАНИЯ

ISSN 2782-5582

СОДЕРЖАНИЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БЕТОНА Е.С. Бабурина, Т.А. Коряковцева	3-11
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТЕКЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ Д.И. Арзиманов, З.А. Гаевская	12-18
ПРОДОЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В.А. Рыбаков, А.А. Цветкова	19-32
ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В НЕОДНОРОДНЫХ УЗЛАХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ А.А. Абдулин, Р.У. Якупнова, А.В. Толстых	33-43
ГОСУДАРСТВО И ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ: МЕТОДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ Ф.А. Алексанян, И.С. Птухина	44-51

CONTENTS

USING CHARCOAL ADDITIVE TO CREATE HEAT-INSULATING CONCRETE E.S. Baburina, T.A. Koriakovtseva	3-11
PARAMETRIC ENERGY EFFICIENT CLT RESIDENTIAL BUILDING'S GLAZING OPTIMIZATION D.I. Arzimanov, Z.A. Gaevskaya	12-18
LONGITUDINAL WALL PANEL VERTICAL JOINT STIFFNESS OF MULTI-STOREY BUILDINGS V.A. Rybakov, A.A. Tsvetkova	19-32
HEAT TRANSFER PROCESSES IN INHOMOGENEOUS NODES OF ENCLOSING STRUCTURES A.A. Abdulin, R.U. Yakpunova, A.V. Tolstykh	33-43
THE STATE AND INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS: METHODS OF INTERACTION TO INCREASE EFFICIENCY F.A. Aleksanyan, I.S. Ptukhina	44-51

УДК 691.32

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БЕТОНА

Е.С. Бабурина, Т.А. Коряковцева

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Технический прогресс строительной отрасли создает тенденцию постоянно разрабатывать новые конструкции. Применение теплоизоляционных бетонов в составе наружных стен уменьшили тепловые потери здания. Для создания такого бетона чаще всего используют органические, синтезированные заполнители или вторичное сырье. В данной работе рассмотрена идея использования продуктов вторичного сырья, сыпучей добавки из древесного активированного угля, в качестве заполнителя бетонной смеси. Измерения коэффициента теплопроводности исследуемого бетонного композита размерами 250,7x243,2x30,9 мм проведены с помощью прибора ПИТ-2.1 во влажном и сухом состоянии до и после пребывания композита в климатической камере ускоренного действия - везерометре. Цикл работы камеры (20 суток) везерометра приравнивается к 16,5 годам в условиях реальной эксплуатации г. Санкт-Петербург. По результатам опыта коэффициент теплопроводности материала увеличился на 5,13% и 7,43% в сухом и влажном состоянии, следовательно, характеристики материала изменились, а теплотехнический расчет показал увеличение тепловых потерь на 2,5% и 2,86%.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплоизоляционный бетон, бетон с добавками, теплотехнические характеристики, сыпучая добавка, теплопроводность, везерометр.

Ссылка для цитирования: Бабурина Е.С., Коряковцева Т.А. Использование угольной добавки для создания теплоизоляционного бетона // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 3-11. EDN: DYFSAT.

USING CHARCOAL ADDITIVE TO CREATE HEAT-INSULATING CONCRETE

E.S. Baburina, T.A. Koriakovtseva

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The technical progress of the construction industry creates a tendency to constantly develop new designs. The use of heat-insulating concrete as part of the exterior walls has reduced the heat loss of the building. Organic, synthesized aggregates or secondary raw materials are most often used to create new type of concrete. In this paper, the idea of using the products of secondary raw materials, the loose activated charcoal additive is considered as a filler of a concrete mixture. Measurements of the thermal conductivity coefficient of the investigated concrete composite with dimensions of 250,7x243,2x30,9 mm were carried out using the PIT-2.1 device in a wet and dry states before and after the composite stays in an accelerated climate chamber – an accelerated weathering machine. The operation cycle of the camera (20 days) of the weatherometer is equivalent to 16,5 years in real operation in Saint-Petersburg. According to the results of the experiment, the thermal conductivity coefficient of the material increased by 5,13% and 7,43% in dry and wet conditions, therefore, the characteristics of the material changed, and the thermal calculation showed an increase in heat losses by 2,5% and 2,86%.

Keywords: building envelope, heat-insulating concrete, concrete with additives, thermomechanical characteristics, granular additive, thermal conduction, accelerated weathering machine.

For citation: Baburina E.S., Koriakovtseva T.A. Using charcoal additive to create heat-insulating concrete // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 3-11. EDN: DYFSAT.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности является одной из важнейших задач при создании какого-либо объекта строительства. Наиболее энергозатратными являются системы отопления, так как из-за больших тепловых потерь через ограждающие конструкции приходится использовать достаточно мощное отопительное оборудование для поддержания требуемой температуры в помещениях. Ужесточение требований теплозащиты здания [1] поспособствовало расширению сырьевой базы, и, как следствие, созданию энергоэффективных ограждающих конструкций [2]. К примеру, качественные утеплители и отделка в составе стеновой конструкции способны сократить до 30-50% тепловых потерь здания, что делает их весьма востребованными на рынке. Исследование [3] показывает, что использование утеплителя толщиной 120-210 мм в составе наружной стеновой конструкции удерживает значение расчетного термического сопротивления выше требуемого на протяжении 60 лет при идеальных условия (т.е. без переувлажнения и плесневения материала). По достижению данного срока необходимо провести капитальный ремонт с полной заменой утеплителя и отделкой здания, в то время как несущая часть ограждающей конструкции способна эксплуатироваться 120-150 лет (если рассматривать бетонные и железобетонные типы зданий). Использование толстого слоя утеплителя и его последующая замена может быть экономически невыгодной. Решение данной проблемы видно в использовании специальных добавок для создания теплоизоляционного бетона.

Согласно ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» теплоизоляционный бетон – бетон, предназначенный для изготовления теплоизоляционных изделий, устройства теплоизоляции чердаков, кровель, теплоизоляции стен, строительных конструкций. Высокие теплотехнические характеристики бетона достигаются за счет малой плотности и высокой пористости бетонной смеси. Для создания теплоизоляционного бетона используют растительные или синтезированные заполнители, которые делают бетон более пористым, но при этом оставляют его прочным и долговечным; иногда в качестве заполнителя выступают невостребованное вторичное сырье. Выбор заполнителя зависит от его доступности, стоимости, экологичности и безопасности использования.

Использование невостребованных отходов производства в качестве заполнителя бетонной смеси способствует улучшению экологической обстановки, снижению экономических затрат на добычу, производство и доставку отдельных материалов.

В данной работе в качестве заполнителя в бетонную смесь используется сыпучая добавка на основе отработанного древесного активированного угля из фильтров ФОПС. Древесный активированный уголь после очистки поверхностных сточных вод является сравнительно малозагрязненным материалом, обладающим существенной остаточной сорбционной способностью, что позволяет использовать его не только в почвогрунтах [4], но и в строительных бетонных композитах.

Цель работы – определить свойства бетонного композита с заполнителем из отработанного активированного угля.

Задачи:

1. Изучить свойства бетона в составе с заполнителем, в частности определить теплопроводность образца в сухом и во влажном состоянии с помощью прибора ПИТ-2.1;
2. Определить теплотехнические характеристики образца;
3. Провести испытания образца в везерометре Xenon Lamp Aging Test Chamber;
4. Повторно определить теплопроводность образца во влажном и сухом состоянии.

ИЗУЧЕНИЕ ПУБЛИКАЦИЙ

Эффективной мерой решения вопроса об энергосбережении является применение пассивных технологий, например стену Тромба-Мишеля; внедряя данную конструкцию можно добиться высоких результатов по повышению энергоэффективности [5]. Но, к сожалению, данная конструкция используется редко ввиду высоких экономических затрат на ее производство. В работе [6] автор приходит к выводу о необходимости дополнительно утеплять фасады и даже применять дополнительный слой теплоизоляции. Для утепления наружных стеновых конструкции целесообразно использовать сыпучую добавку из угля в составе бетонной смеси.

Активированный уголь – это углерод, полученный из углеродосодержащих исходных материалов, таких как бамбук, кокосовая шелуха, ивовый торф, древесина, кокосовое волокно, лигнит, уголь и нефтяной пек. Измельченный активированный уголь используют во многих отраслях строительства: он придает материалам повышенную прочность и пористость, а также низкую теплопроводность. Исследование [7] показывает, что улучшение эксплуатационных характеристик и долговечности бетона

связано с наличием в бетоне активированного угля. К тому же, данный материал безопасен для использования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СОЗДАННОГО БЕТОННОГО КОМПОЗИТА

Для исследования была выбрана сыпучая добавка на основе отработанного древесного активированного угля. Данный материал обладает развитой пористостью, высокими адсорбционными свойствами [8]. В настоящее время бетон с добавкой из угля не применяется при строительстве зданий и сооружений.

Для создания бетонного композита было принято ввести 0,5% активированного угля от общего объема образца. Полный состав бетонного композита представлен в табл. 1. Размеры полученного бетонного композита 250,7x243,2x30,9 мм.

Таблица 1. Состав бетонного композита
Table 1. The composition of the concrete composite

Объем получаемой смеси, л	Цемент, г	Песок, г	ПАВ, г	Вода, г	Добавка, г
2,25	1546	2829	16	570	25

Коэффициент теплопроводности образца был измерен с помощью ПИТ-2.1 (рис. 1). Метод измерения заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец, длина и ширина которого определяются согласно инструкции, а толщина образца задается на графическом дисплее прибора. Исследуемый образец был помещен между двумя нагревательными пластинами, далее на дисплее были заданы значения толщины пластины – 30,9 мм, и средняя температура - 25°C. Во время расчета на дисплее отображается график текущей теплопроводности образца (рис. 2). При выходе на стационарный режим прибор изменит знак «≠» на «=» рядом со значением измеренной теплопроводности [9]. Образец был измерен по одному разу с каждой стороны в каждом состоянии, значения полученных коэффициентов представлены усредненные (табл. 2).



Рис. 1. Внешний вид прибора
Fig. 1. Appearance of the instrument

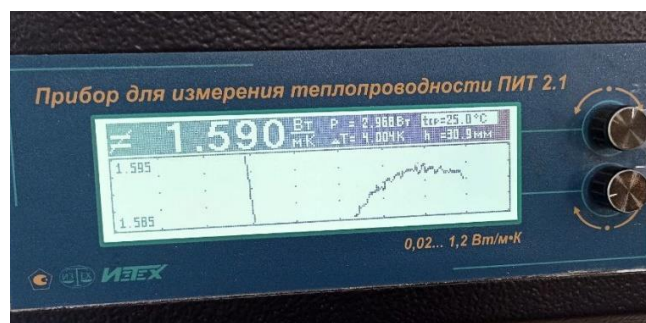


Рис. 2. Дисплей прибора
Fig. 2. Display of the instrument

Коэффициент теплопроводности образца измеряется прибором по формуле (1):

$$\lambda = \frac{P \cdot h}{S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где P – мощность нагревателя;
h – высота образца;
S – площадь измерительного нагревателя;
 ΔT – разность температур нагревателей.

Таблица 2. Первое измерение бетонного композита
Table 2. The first measuring of the concrete composite

Показатель	Влажное состояние	Сухое состояние
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	1,48	1,17
Масса, г	4185,5	4080,1

Данный тип бетона имеет пористую структуру, поэтому при измерении теплопроводности во влажном состоянии необходимо учесть, что вода будет распределяться в порах. Во время своего эксплуатационного срока бетон не может постоянно находиться в состоянии постоянной влажности – это приведет к развитию плесени и потере прочности в конструкции.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Исходные данные для расчета:

- Климатические условия – г. Санкт-Петербург;
- Толщина наружной стены – 0,3 м.

Значение градусо-суток отопительного периода, °С·сут/год, определяется по формуле (2):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \quad (2)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3: по поз. 1 – по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20–22 °С).

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,2)) \cdot 211 = 4473,2 \frac{\text{°С} \cdot \text{сут}}{\text{год}}$$

Требуемое сопротивление теплопередаче, $R_0^{\text{ТР}}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (3):

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012.

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 4473,2 + 1,4 = 2,9656 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Нормированное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{\text{НОРМ}}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (4):

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} \cdot m_p \quad (4)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. Принимается равным 1.

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} = 2,9656 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Расчетное термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (5):

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимается по таблице 4 СП 50.13330.2012 равным 8,7 Вт/(м²·°С);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, принимается по таблице 6 СП 50.13330.2012 равным 23 Вт/(м²·°С);

δ – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя конструкции, Вт/(м·°С).

Для сравнения берется бетона без добавок (контрольный) с плотностью $\rho=2400$ кг/м³, коэффициентом теплопроводности в условиях эксплуатации Б равный $\lambda=1,86$ Вт/(м·°С) (по СП 50.13330.2012) имеющий массу (при размере бетона 250,7х243,2х30,9 мм):

$$m = \rho \cdot V = 2400 \cdot \frac{(250,7 \cdot 243,2 \cdot 30,9)}{10^6} = 4521 \text{ г}$$

Расчетное термическое сопротивление:

$$R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{1,86} + \frac{1}{23} = 0,32 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Количество тепла, Q, кВт·ч, теряемое зданием через ограждающую конструкцию с термическим сопротивлением R, площадью стены S=1 м², с температурным перепадом Δt (между помещением и улицей), в течение отопительного периода T для г. Санкт-Петербург рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{S \cdot \Delta t \cdot T}{R} = \frac{1 \cdot (20 - (-24)) \cdot (211 \cdot 24)}{0,32} = 696,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчет термического сопротивления бетонного композита в сухом состоянии:

$$R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{1,17} + \frac{1}{23} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Тогда:

$$Q = \frac{1 \cdot (20 - (-24)) \cdot (211 \cdot 24)}{0,41} = 543,45 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Повторим те же действия с композитом во влажном состоянии. Результаты сведены в табл. 3.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха – t_н, °С, принимаемой в соответствии с пояснениями к формуле (5.4) по СП 50.13330.2012.

Относительную влажность внутреннего воздуха для определения точки росы следует принимать 55%. Тогда температура точки росы равна:

$$t_{\text{т.росы}} = 10,69 \text{ (°C)}$$

Температура внутренней поверхности стены определяется по формуле (6):

$$t_{\text{вн.пов.}} = t_{\text{в}} - K \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в}}} \tag{6}$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (7):

$$K = \frac{1}{R_0^{\text{расч}}} \tag{7}$$

Расчет обычного бетона в условиях эксплуатации Б:

$$K = \frac{1}{0,32} = 3,125 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$t_{\text{вн.пов.}} = 20 - 3,125 \cdot \frac{20 - (-24)}{8,7} = 4,2 \text{ °C}$$

Расчет бетонного композита в сухом состоянии:

$$K = \frac{1}{0,41} = 2,439 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$t_{\text{вн.пов.}} = 20 - 2,439 \cdot \frac{20 - (-24)}{8,7} = 7,7 \text{ °C}$$

Аналогично проведем расчет бетонного композита во влажном состоянии. Результаты и разница с контрольным образцом сведены в табл.3.

Таблица 3. Результаты расчета
Table 3. The measuring results

		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·°C)	Термическое сопротивление, (м ² ·°C)/Вт	Тепловые потери через стену, кВт·ч	Температура внутренней поверхности стены, °C
Обычный бетон в условиях эксплуатации Б		1,86	0,32	696,3	4,2
Бетонный композит	В сухом состоянии	1,17	0,41	543,45	7,7
	Во влажном состоянии	1,48	0,36	618,93	6
	Разница в сухом состоянии, %	-37,1	+28,13	-21,95	+83,33
	Разница во влажном состоянии, %	-20,43	+12,5	-11,11	+42,86

Теплотехнический расчет показывает, что бетонный композит имеет большее термическое сопротивление и температуру внутренней поверхности стены, чем обычный бетон, как в сухом, так и во влажном состоянии. Тепловые потери бетонного композита сократились на 21,95% и 11,11% в сухом и во влажном состоянии соответственно. А масса бетонного композита меньше на 441 г (на 9,75%) при одинаковых размерах. В то же время для соблюдения всех требований теплозащиты необходимо использовать данный композит с утеплителем.

ИСПЫТАНИЕ НА СТАРЕНИЕ

Испытания на атмосферостойкость проводились с помощью прибора Xenon Lamp Aging Test Chamber (рис. 3) на базе СПбПУ. Климатическая камера представляет собой комплексное устройство для климатических испытаний на старение, в котором используется ксеноновая дуговая лампа для улучшения испытаний материалов на деградацию в зависимости от световой энергии, температуры и влажности, имитируя полный спектр солнечного света. На основании стандарта ASTM G154 был выбран цикл со следующим графиком: 8 часов УФ-излучения при температуре черной панели 65°C (±3°C), затем 4 часа при 100% относительной влажности и температуре черной панели 55°C (±3°C) [10]. Все данные для расчета задавались на дисплее (рис. 4).



Рис. 3. Камера для испытаний на старение
 Fig. 3. Xenon Lamp Aging Test Chamber



Рис. 4. Дисплей прибора
 Fig. 4. Display of the instrument

Расчет времени пребывания образца в камере составлен на основе комбинации из нескольких коэффициентов ускорения старения. Для расчета коэффициента ускорения была использована пропорция между общей УФ-энергией во время старения и естественным процессом старения на открытом воздухе. Согласно [11], формула (8) для расчета комбинированного коэффициента старения:

$$F_{UV+t/RH} = \frac{1}{3}(AF_{T1} \cdot AF_H) + \frac{2}{3}(AF_{T2} \cdot AF_{UV}) \quad (8)$$

где AF_{T1} – коэффициент температурного ускорения в течении 4-часового испытательного цикла, когда достигались высокие значения температуры и относительной влажности;

AF_H – коэффициент ускорения влажности;

AF_{T2} – коэффициент температурного ускорения в течении 8-часового испытательного цикла при высокой температуре и УФ-излучении.

AF_{UV} – коэффициент ускорения УФ-излучения.

Расчет коэффициента температурного ускорения проводится на основе уравнения Аррениуса (9):

$$AF_T = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U} \right)} \quad (9)$$

где E_A – энергия активации механизма. Это минимальная энергия, необходимая для инициирования химической реакции, зависит от самого материала [12, 13];

K – постоянная Больцмана;

T_A – температура ускорения в Кельвинах;

T_U – температура условий эксплуатации в Кельвинах.

Для расчета коэффициента ускорения и времени, необходимого пребывания образца в условиях испытаний, учитывается температура испытания 65°C, а температура условий эксплуатации принимается 15°C.

Коэффициент ускорения по влажности рассчитывается на основе модели Пека [13]. Это модель с двумя факторами воздействия, основанная на температуре и относительной влажности. Таким образом, исследуется влияние каждого напряжения на свойства образцов, и испытание на старение моделируется как комбинация двух различных процессов старения, по формуле (10):

$$F_{TH} = AF_T \cdot AF_H \quad (10)$$

где AF_H – коэффициент ускорения влажности, рассчитывается по формуле (11):

$$AF_H = \left(\frac{RH_A}{RH_U} \right)^m \quad (11)$$

где RH_A – относительная влажность, принимается равной 100%;

RH_U – относительная влажность в естественных климатических условиях, принимается 40%;

m – константа влажности, равная 2,66.

Коэффициент ускорения УФ-излучения рассчитывается по формуле (12):

$$AF_{UV} = \frac{\Phi_A}{\Phi_U} \quad (12)$$

где Φ_A – общая энергия УФ-излучения при ускоренном старении, равная 1200 кВт/м²;

Φ_U – энергия УФ-излучения при естественном старении на открытом воздухе (усредненное значение солнечной радиации в час за 5 лет). Значение принимается равным 95,89 кВт/м².

$$AF_{T1} = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{A1}} - \frac{1}{T_U} \right)} = 2,178^{-\frac{70000}{8,314} \left(\frac{1}{338} - \frac{1}{288} \right)} = 75,5$$

$$AF_{T2} = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{A2}} - \frac{1}{T_U} \right)} = 2,178^{-\frac{70000}{8,314} \left(\frac{1}{328} - \frac{1}{288} \right)} = 35,33$$

$$AF_H = \left(\frac{100}{40} \right)^{2,66} = 11,44$$

$$AF_{UV} = \frac{1200}{95,89} = 12,51$$

Тогда значение комбинированного коэффициента старения равно:

$$F_{UV+t/RH} = \frac{1}{3} (75,5 \cdot 11,44) + \frac{2}{3} (35,33 \cdot 12,51) = 584,03$$

Таким образом, эксплуатация длительностью 5 лет (43800 ч) будет воспроизведена в везерометре за 75,0 часов, что составит 3,1 суток или 6 циклов по 12 часов.

Образец был выдержан в камере на протяжении 20 циклов по 12 часов, следовательно, он состарился на 16,5 лет.

Для проведения измерений теплопроводности при такой выдержке образец извлекали из камеры влажности, обертывали полиэтиленовой пленкой для сохранения влажности образца и через несколько часов по достижению комнатной температуры была измерена их теплопроводность.

Результаты повторных измерений в ПИТ-2.1 и разница теплопроводности до и после использования камеры представлены в табл. 4.

Таблица 4. Повторное измерение образца
Table 4. The second measuring of the concrete composite

Показатель	Влажное состояние	Сухое состояние
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	1,59	1,23
Изменение коэффициента теплопроводности, %	+7,43	+5,13
Масса, г	4170,18	4026,9
Изменение массы, %	-0,37	-1,3

Повторный теплотехнический расчет бетонного композита сведен в табл. 5.

Таблица 5. Результаты повторного расчета
Table 5. The second measuring results

		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·°С)	Термическое сопротивление, (м ² ·°С)/Вт	Тепловые потери через стену, кВт·ч	Температура внутренней поверхности стены, °С
Первый расчет	В сухом состоянии	1,17	0,41	543,45	7,7
	Во влажном состоянии	1,48	0,36	618,93	6
Повторный расчет	В сухом состоянии	1,23	0,40	557,04	7,4
	Во влажном состоянии	1,59	0,35	636,62	5
Разница в сухом состоянии, %		+5,13	-2,44	+2,5	-3,9
Разница во влажном состоянии, %		+7,43	-2,78	+2,86	-16,67

Как видно из таблицы, коэффициент теплопроводности бетонного композита увеличился на 5,13% и 7,43% после испытаний в везерометре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были установлено, что добавление 0,5% сыпучей добавки в бетонную смесь увеличило пористость бетона, уменьшило его вес на 9,75%, коэффициент теплопроводности увеличился на 37,1% и 20,43%, тепловые потери уменьшились на 21,95% и 11,11% в сухом и во влажном состоянии соответственно. После 20 циклов в везерометре или 16,5 лет условий реальной эксплуатации бетонный композит ухудшил свои характеристики: коэффициент термического сопротивления увеличился на 5,13% и 7,43%, термическое сопротивление уменьшилось на 2,44% и 2,78%, тепловые потери увеличились на 2,5% и 2,86% в сухом и во влажном состоянии соответственно. Температура внутренней поверхности стены во всех расчетах была ниже точки росы.

Применение данного заполнителя поспособствовало уменьшению веса конструкции и улучшению его теплоизоляционных свойств. Сопротивление теплопередаче у бетонного композита выше, чем у обычного бетона, но всё так же не соответствует требованиям тепловой защиты. Использование данного вида бетона целесообразно применять совместно с тонким слоем утеплителя.

ИНФОРМАЦИЯ О ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

Статья выполнена при поддержке Российского научного фонда, соглашение 21-79-10283 от 29.07.2021 <https://rscf.ru/project/21-79-10283/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3(30). С. 7-37. EDN TUHVST.
2. Атамуротов О.Э., Самандаров А.И., Юсупова Л.Ш. Энергоэффективные ограждающие конструкции // Scientific progress. 2021. №2(3). С. 170-174. ISSN: 2181-1601.
3. Иванцов, А. И., Куприянов В. Н. Прогнозирование срока службы наружных стен жилых зданий по критерию теплозащиты // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4(30). С. 139-147. EDN TSMOVZ.
4. Фёдоров М.П., Масликов В.И., Чечевичкин А.В., Чечевичкин В.Н., Якунин Л.А. Применение отработанных сорбентов очистки поверхностных сточных вод для интенсификации роста растений // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 7. С. 26-31. DOI 10.18412/1816-0395-2021-7-26-31. EDN IDCDQK.
5. Зубарев К.П., Зобнина Ю.С. Анализ особенностей исполнения стены Тромба-Мишеля // Перспективы науки. 2022. № 8(155). С. 98-102. EDN DBHTBV.
6. Гамаюнова О.С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 89-97. EDN ANXMJJ.
7. Шабанов Е.А., Гилязидинова Н.В. Исследование свойств бетонных смесей с применением отходов угледобычи для строительства шахт // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 240-244. EDN ICSZZI.
8. Aiswarya S, Malvin T Moses, Lloyd Bennet Thomas J.S., Dev and G. V. Prospective Benefits of Using Activated Carbon in Cement Composites- An Overview // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). 2019. № 3(10). С. 289–296. DOI: 10.34218/IJARET.10.3.2019.027

9. Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д. Испытания экологического бетонного композита на основе растительной добавки и угольного фильтра // Строительство и техногенная безопасность. 2023. № 30(82). С. 47-57. EDN TVFVAF.

10. Berardi U., Nosrati R.H. Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions // Energy. 2018. Vol. 147. P. 1188-1202. DOI: 10.1016/j.energy.2018.01.053

11. Jelle BP. Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory. J Mater Sci 2012; DOI: 10.1007/s10853-012-6349-7.

12. Aegerter M.A., Leventis M.M.K. Aerogels handbook. Springer Science & Business Media. 2011.

13. Escobar L, Meeker WQ. A review of accelerated test models. Stat Sci 2007. DOI: 10.1214/088342306000000321.

ОБ АВТОРАХ

Елена Сергеевна Бабурина – студент магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: baburina.es@edu.spbstu.ru

Татьяна Александровна Коряковцева – кандидат технических наук, доцент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства (ВШГиЭС), Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tamusorina@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Elena S. Baburina – Master’s student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: baburina.es@edu.spbstu.ru

Tatiana A. Koriakovtseva – PhD, associate professor of the Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction, Institute of Civil Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tamusorina@mail.ru

УДК 697.133

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТЕКЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ

Д.И. Арзиманов, З.А. Гаевская

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Современная экологическая парадигма диктует необходимость снижать затраты энергии на отопление и вентиляцию жилого здания. Остекление фасадов жилого здания напрямую связано с показателями расхода тепловой энергии, поэтому его оптимизация является актуальной проблемой проектирования. Для решения такой задачи используется параметрический редактор Grasshopper. В статье исследуются параметрические зависимости между площадью остекления фасадов жилого здания из CLT-панелей и параметрами энергоэффективности. Используются возможности программы Grasshopper и генетического алгоритма Galapagos для параметрической оптимизации площадей остекления. Проведенная в 2 этапа оптимизация привела к сокращению площадей остекления в 2 раза, благодаря чему было достигнуто снижение расхода энергии на отопление и вентиляции за отопительный период на 10%. Методика и результаты оптимизации, изложенные в статье, будут полезны проектировщикам для принятия решений в части выбора объемно-планировочных решений на начальной стадии проектирования многоэтажного многоквартирного жилого дома.

Ключевые слова: оптимизация, энергоэффективность, Grasshopper, Galapagos, генетический алгоритм, CLT, жилое здание, площадь остекления, параметризация, расход энергии.

Ссылка для цитирования: Арзиманов Д.И., Гаевская З.А. Параметрическая энергоэффективная оптимизация остекления жилого здания из CLT-панелей // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 12-18. EDN: LSGRZO.

PARAMETRIC ENERGY EFFICIENT CLT RESIDENTIAL BUILDING'S GLAZING OPTIMIZATION

D.I. Arzimanov, Z.A. Gaevskaia

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The modern ecological paradigm dictates the need to reduce energy costs for heating and ventilation of residential buildings. Glazing of facades of residential buildings is directly related to the indicators of heat energy consumption, so its optimization is an urgent design problem. To solve such a problem, the parametric editor Grasshopper is used. The paper investigates parametric dependencies between the area of glazing of residential building facades made of CLT-panels and energy efficiency parameters. Grasshopper and Galapagos genetic algorithm were used for parametric optimization of glazing areas. The optimization carried out in 2 stages resulted in the reduction of glazing areas, thanks to which a 10% reduction of energy consumption for heating and ventilation during the heating period was achieved. The methodology and optimization results presented in the article will be useful for designers to make decisions regarding the choice of volume-planning solutions at the initial stage of design of a multi-storey apartment building.

Keywords: optimization, energy efficiency, Grasshopper, Galapagos, genetic algorithm, CLT, residential building, glazing area, parameterization, energy consumption.

For citation: Arzimanov D.I., Gaevskaia Z.A. Parametric energy efficient CLT residential building's glazing optimization // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 12-18. EDN: LSGRZO.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергоэффективности архитектурно-строительных решений сегодня является актуальной проблемой [1]. Появление новых строительных материалов, таких как CLT (ДПК, древесина перекрестно-клееная, от англ. Cross Laminated Timber) может поспособствовать ее решению [2]. В [3] был проведен сравнительный анализ энергозатрат различных деревянных ограждающих конструкций, и сделан вывод о снижении на 20% потребности в отоплении здания из CLT-панелей. Однако на стены и перекрытия приходится треть всех теплопотерь здания.

Согласно исследованию [4], доля теплопотерь для окон составляет от 24 до 35%. Это означает, что при проведении соответствующих мероприятий можно сократить на треть все потери тепла здания. Таким образом, оптимизация параметров остекления является актуальной строительной задачей.

Однако, ручной метод подбора нужных параметров с целью уменьшения расхода энергии может оказаться затруднительным, в связи с необходимостью постоянно пересчитывать показатели. Поэтому хорошим решением будет использование средств визуального программирования для параметризации [5].

Наиболее популярным параметрическим редактором сегодня является Grasshopper. Он позволяет создавать визуальные блок-схемы (ноды), соединяемые между собой для создания зависимостей (рис. 1) [6].

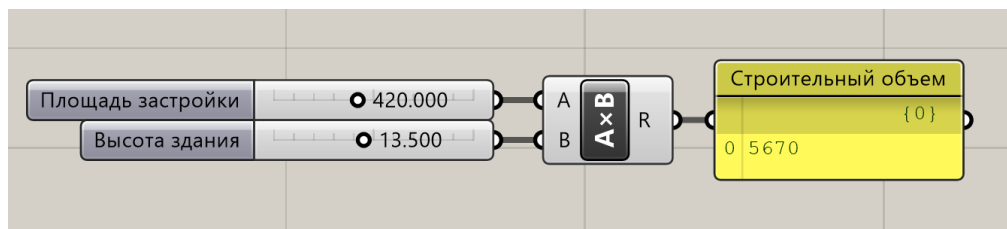


Рис. 1. Использование нодов для параметризации строительного объема здания. Автор: Д.И. Арзиманов
Fig. 1. Using nodes to parameterize the construction volume of a building. Author: D.I. Arzimanov

Как правило, строительные задачи не ограничиваются двумя-тремя параметрами, а содержат большое количество со-зависимых переменных, сплетенных в сложную структуру-сеть из нодов. Для решения таких проблем метод ручного перебора параметров уже не является эффективным и задействуется генетический алгоритм оптимизации [7], основанный на принципе эволюции. Существующие гены – параметры конструкции скрещиваются, комбинируются и варьируются, создавая популяции – наборы генов. Затем процесс повторяется до тех пор, пока не будет получен такой набор параметров, который будет наиболее приспособленный к условиям задачи [8]. К примеру, в [9] так была оптимизирована арка и подобрано сечение двутавровой балки.

В среде Grasshopper генетический алгоритм представлен нодом Galapagos. Нод имеет всего 2 входа: fitness (приспособленность) и genome (набор генов) (рис. 2).

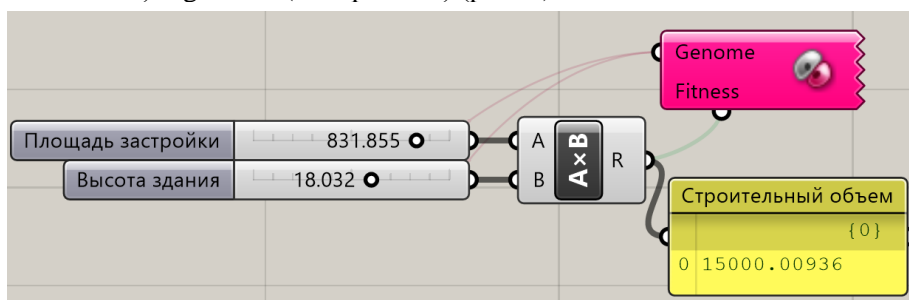


Рис. 2. Использование Galapagos для оптимизации параметров строительного объема. Автор: Д.И. Арзиманов
Fig. 2. Using Galapagos to optimize the parameters of the building volume. Author: D.I. Arzimanov

Цель исследования – оптимизация пофасадных площадей остекления жилого здания из CLT-панелей для минимизации расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период с помощью параметрического энергомоделирования в Grasshopper.

Задачи исследования:

1. Определение переменных и констант объемно-планировочных решений по нормативным документам;
2. Проведение первоначального расчета показателя расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;

3. Изучение возможностей Grasshopper для параметризации;
4. Интерпретация переменных в среде визуального программирования Grasshopper;
5. Проведение оптимизации параметров остекления с помощью генетического алгоритма Galapagos;
6. Анализ и сравнение результатов оптимизации с первоначальным расчетом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ И КОНСТАНТ

Все переменные, используемые в статье взяты из формул, указанных в Приложении Г СП50.13330.2012¹. Климатические параметры взяты для г. Санкт-Петербург. Значение градусо-суток отопительного периода (ГСОП), °С·сут/год, посчитано по формуле:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) z_{om} = (20 - (-1,2)) 211 = 4473,2, \quad (1)$$

где t_{om} , z_{om} - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330² для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°С;

t_e - расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3 ГОСТ 30494³.

Значения термического сопротивления теплопередачи R ограждающих конструкций из CLT- панелей посчитаны в работе [10].

В рамках исследования рассматривается жилое многоквартирное многоэтажное здание со следующими архитектурно-строительными параметрами (табл. 1).

Таблица 1. Архитектурно-строительные параметры здания
Table 1. Architectural and construction parameters of the building

Наименование параметра	Значение параметра	Ед. изм.
Отапливаемый объем здания	6340.66	м ³
Площадь крыши	301.023	м ²
Площадь наружных стен	1332	м ²
Суммарная площадь окон	417	м ²
Площадь наружных дверей	3.9	м ²
Площадь жилых помещений	1723	м ²
Высота здания	24.8	м

Суммарная площадь окон рассматривается как переменная величина и для первичных расчетов была принята равной 417 м².

Следующие показатели посчитаны в соответствии с методикой, изложенной в СП50.13330.2012, Приложение Г:

Удельная теплозащитная характеристика здания определена по формуле:

$$k_{o\delta} = \frac{1}{V_{om}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,j}^{np}} \right) = \frac{1}{6340.66} \left(1 \frac{301.023}{3.14} + 1 \frac{1332}{3.14} + 1 \frac{417}{0.56} + 1 \frac{3.9}{0.83} + 0.85 \frac{301.023}{3.14} \right) = 0.213, \quad (2)$$

где $R_{o,j}^{np}$ - приведенное сопротивление теплопередаче i-го фрагмента теплозащитной оболочки здания, (м²·°С)/Вт;

$A_{\phi,i}$ - площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²;

V_{om} - отапливаемый объем здания, м³;

$n_{t,i}$ - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП.

Удельная вентиляционная характеристика здания посчитана по формуле:

¹ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменениями N 1,2)

² СП 131.13330.2020 СНиП 23-01-99* Строительная климатология

³ ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

$$k_{\text{вент}} = 0.28c \left(L_{\text{вент}} \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} n_{\text{вент}} (1-k) + G_{\text{инф}} n_{\text{инф}} \right) / (168V_{\text{от}}) = 0.28 \cdot 1(13784 \cdot 1.29 \cdot 168 \cdot (1-0.6) + 210 \cdot 168) / (168 \cdot 6340.66) = 0.444 \quad (3)$$

Удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания определена по формуле:

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})} = \frac{17 \cdot 1723}{6340.66 \cdot (20 - (-1.2))} = 0.218 \quad (4)$$

Коэффициент полезного использования посчитан по формуле:

$$\beta_{\text{КПИ}} = K_{\text{рег}} / (1 + 0.5n_{\text{в}}) = 0.7 / (1 + 0.5 \cdot 2.855) = 0.288 \quad (5)$$

Основной переменной величиной в задаче является удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации $k_{\text{рад}}$, Вт/(м³·°C), определяемая по формуле:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11.6Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \text{ГСОП})}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$ - теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год;

$V_{\text{от}}$ - отапливаемый объем здания, м³;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода;

Согласно п.10.3 СП345.1325800.2017, $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}} \tau_{2\text{ок}} (A_{\text{ок1}} I_1 + A_{\text{ок2}} I_2 + A_{\text{ок3}} I_3 + A_{\text{ок4}} I_4) + \tau_{1\text{фон}} \tau_{2\text{фон}} A_{\text{фон}} I_{\text{гор}}, \quad (7)$$

где $\tau_{1\text{ок}}$, $\tau_{1\text{фон}}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации;

$\tau_{2\text{ок}}$, $\tau_{2\text{фон}}$ - коэффициенты, учитывающие затенение светового проема;

$A_{\text{ок1}}$, $A_{\text{ок2}}$, $A_{\text{ок3}}$, $A_{\text{ок4}}$ – площадь световых проемов фасадов здания, м²;

$A_{\text{фон}}$ – площадь световых проемов зенитных фонарей здания, м²;

I_1 , I_2 , I_3 , I_4 - средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальную поверхность;

$I_{\text{гор}}$ (Q_i^{hor}) – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность

Переменными являются площади окон. Фонари в проекте не предусмотрены. В качестве окон выбран двухкамерный стеклопакет из обычного стекла с межстекольным расстоянием 12 мм.

Далее определяются расчетные характеристики для солнечной радиации на вертикальную поверхность (табл. 2).

Таблица 2. Расчетные характеристики солнечной радиации для определения количества суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность

Table 2. Calculated solar radiation characteristics for determining the amount of total solar radiation to a vertical surface

Месяцы отопитель- ного периода	S_i^{hor} МДж м ²	k_{ij}				D_i^{hor} МДж м ²	Q_i^{hor} МДж м ²	A_i^{cal} %	I_j , МДж/м ² ,			
		С	Ю	З	В				С	Ю	З	В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
январь	3		7.20	1.19	0.76	20	24	62	17.44	39.04	21.01	19.72
февраль	32		3.50	1.18	0.87	52	73	62	48.63	160.63	86.39	76.47
март	98		1.85	0.66	0.66	117	215	41	102.58	283.88	167.26	167.26
апрель	176	0.02	1.03	0.56	0.64	168	344	17	116.76	294.52	211.80	225.88
октябрь	33		2.60	0.74	0.72	61	94	21	40.37	126.17	64.79	64.13
ноябрь	6		5.50	0.86	0.86	21	27	39	15.77	48.77	20.93	20.93
декабрь	2					12	14	56	9.92	9.92	9.92	9.92
Итого за отопительный период $I_j =$									351.46	962.92	582.09	584.30

В рамках исследования допустим, что минимальная площадь остекления фасада равна 50 м². Максимальная – 150 м². Таким образом, получаем систему выражений:

$$\begin{cases} Q_{рад}^{zод} = 0.76 \cdot 0.78 (A_{ок1} \cdot 351.46 + A_{ок2} \cdot 962.92 + A_{ок3} \cdot 582.09 + A_{ок4} \cdot 584.30); \\ 50 \leq A_{ок1} \leq 150; \\ 50 \leq A_{ок2} \leq 150; \\ 50 \leq A_{ок3} \leq 150; \\ 50 \leq A_{ок4} \leq 150 \end{cases} \quad (8)$$

Однако, суммарная площадь остекления нужна при расчете удельной теплозащитной характеристики здания. Кроме того, она напрямую связана с площадью окон лестничной клетки, учитываемую при расчете удельной вентиляционной характеристики здания. Таким образом, необходимо параметризовать выражения.

GRASSHOPPER ДЛЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

Посчитанные выше показатели интерпретированы в пространстве программы как константы – вещественные числовые ноды. Переменные заданы в виде слайдеров вещественных чисел. Для каждого фасада предусмотрена группа, включающая переменную площадь окон и фиксированные значения суммарной радиации на вертикальную поверхность (рис. 3).

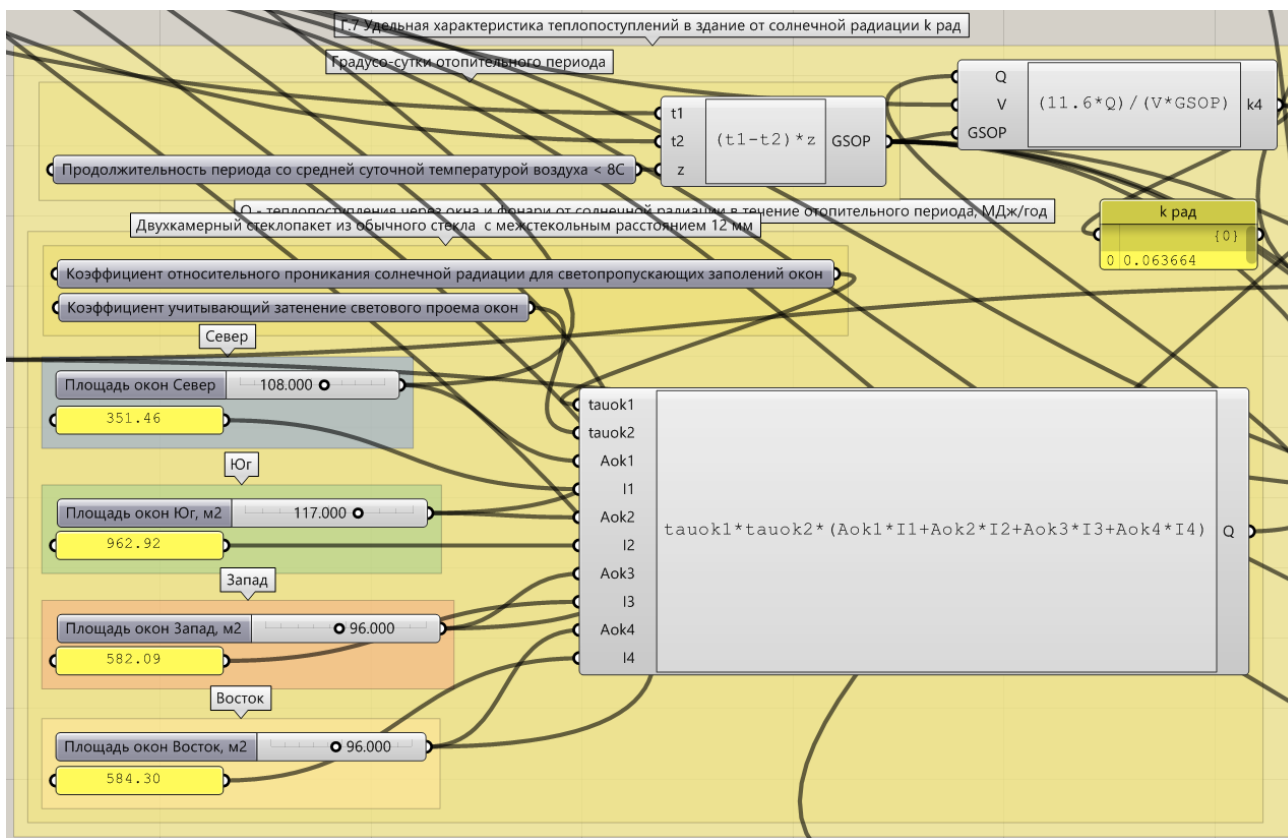


Рис. 3. Параметризованный показатель удельной характеристики теплопоступлений в здание от солнечной радиации. Автор: Д.И. Арзиманов

Fig 3. Parameterized index of specific characteristic of heat inputs into a building from solar radiation. Author: D.I. Arzimanov

Для первой итерации площади окон были приняты соответственно 108 м² для севера, 117 м² для юга, 96 м² для запада и 96 м² для востока. Таким образом $Q_{рад}^{zод} = 155664.98$;

Все ноды завязаны на промежуточную формулу – расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляции. Для текущих параметров она равна:

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПП} (k_{быт} + k_{рад}) = 0.213 + 0.444 - 0.305 \cdot (0.218 + 0.063) = 0.57, Bm / (m^3 \cdot ^\circ C) \quad (9)$$

Конечным выражением является расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, определенный по формуле:

$$Q_{om}^{zod} = 0.024 GCOPIV_{om} q_{om}^p = 0.024 \cdot 4473.2 \cdot 6340.66 \cdot 0.57 = 388811.7, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{год} \quad (10)$$

ОПТИМИЗАЦИЯ В GALAPAGOS

Геномы Galapagos – это 4 слайдера, управляющие площадями остекления каждого фасада. Функция приспособленности будет стремиться достичь локального минимума значения Q_{om}^{zod} из поколения в поколение приближаясь к цели.

Первое приближение рассчитано на 30 генераций. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию составил 358560.8 кВт·ч/год. Площади окон соответственно 52.19 м² для севера, 50 м² для юга, 52.045 м² для запада и 89.39 м² для востока (рис.4).

Второе приближение также рассчитано на 30 поколений. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию составил 351181.3кВт·ч/год. Площади окон соответственно 57.92 м² для севера, 51.91 м² для юга, 50 м² для запада и 51.77 м² для востока (рис. 5).

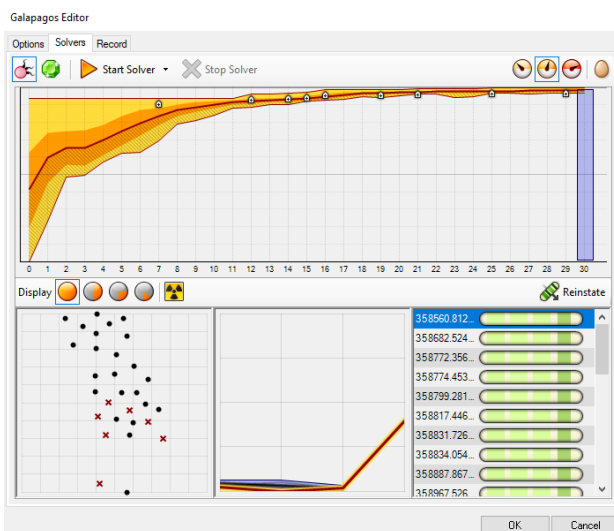


Рис. 4. Результаты первого приближения.

Автор: Д.И. Арзиманов

Fig. 4. First approach result. Author: D.I. Arzimanov

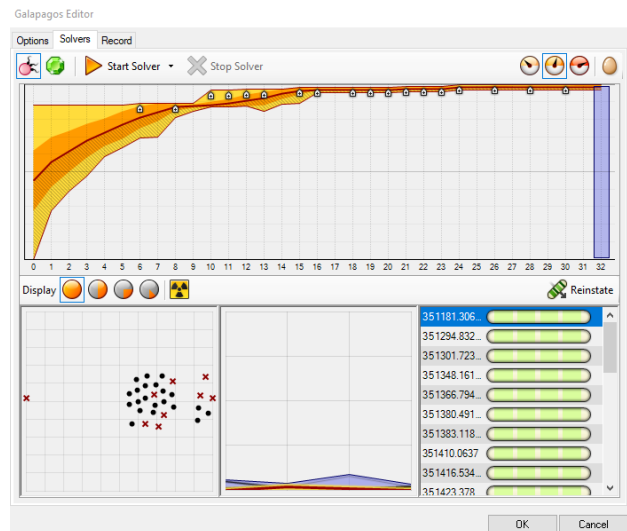


Рис. 5. Результаты второго приближения.

Автор: Д.И. Арзиманов

Fig. 5. Second approach result. Author: D.I. Arzimanov

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения исследования были решены следующие задачи:

1. Согласно изученным нормативным документам, было установлено, что, при расчете расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, константами могут являться следующие объемно-планировочные величины: отапливаемый объем здания, площадь крыши, площадь наружных стен, суммарная площадь окон, площадь наружных дверей, площадь жилых помещений и высота здания. Переменными в задаче являются пофасадные площади остекления.

2. По методикам, изложенным в нормативных документах, был выполнен расчет удельных характеристик теплопоступлений $k_{быт}$, $k_{рад}$, удельной теплозащитной характеристики $k_{об}$, удельной вентиляционной характеристик $k_{вент}$, коэффициента полезного использования теплопоступлений $\beta_{кпи}$. При площадях окон 108 м² для севера, 117 м² для юга, 96 м² для запада и 96 м² для востока расход энергии составил 388811.7 кВт·ч/год.

3. Исследованы возможности Grasshopper для параметризации расхода энергии на отопление и вентиляцию. Программа позволяет задавать переменные в виде слайдеров-ползунков, а также константы с помощью узлов вещественных чисел. Есть возможность прописывать математические формулы и создавать зависимости, соединяя узлы между собой.

4. Проведена параметризация математических зависимостей и выражений, данных из нормативной документации с помощью Grasshopper. Построенная цепочка узлов позволяет моментально отслеживать изменения в удельных характеристиках энергии и показателях расхода энергии на отопление и вентиляцию здания.

5. С помощью встроенного генетического алгоритма Galapagos проведена оптимизация расхода энергии. Оптимизация проводилась в 2 этапа. Первая итерация заняла 30 поколений и сократила расход энергии на 30250.9 кВт·ч/год. Вторая итерация также заняла 30 поколений и сократила расход энергии еще на 7379.5 кВт·ч/год.

6. Проведен сравнительный анализ результатов оптимизации с первоначальным расчетом. Разница в расходе энергии составила 37630.4 кВт·ч/год. При этом площади окон сократились на 50.08 м² для северного фасада, на 65.09 м² для южного, на 46 м² для западного, на 44.23 м² для восточного. Полученные значения приближенные к минимальным свидетельствуют об обратной зависимости между площадью окон и расходом энергии. Сокращение площадей остекления фасадов в 2 раза привело к сокращению расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период на 10%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верижников Е.Ю. Современные методы повышения энергоэффективности зданий в строительстве // Научный журнал молодых ученых. 2023. №3(33). С.21-25. EDN: EGJNUE
2. Bruno R., Bevilacqua P., Cuconati T., Arcuri N. Energy evaluations of an innovative multi-storey wooden near Zero Energy Building designed for Mediterranean areas // Applied Energy. 2019. No.238. Pp. 929-941. DOI:10.1016/j.apenergy.2018.12.035
3. Dadoo A., Gustavson L., Sathre R. Lifecycle carbon implications of conventional and low-energy multi-storey timber building systems // Energy and Buildings. 2014. No.82. Pp. 194-210. DOI:10.1016/j.enbuild.2014.06.034
4. Кормашов А.И., Кормашова Е.Р. К вопросу повышения энергоэффективности // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы. 2023. №1. С.244-245. EDN: JDKXMV
5. Георгиев Н.Г., Шумилов К.А. Применение визуального программирования при моделировании строительных конструкций // Инновации. Наука. Образование. 2021. №34. С.1418-1422. EDN: AAXTTM
6. Голикова Я.А., Киселев С.В., Талипова Л.В. Применение генеративного дизайна при расчете параметров солнечного воздействия // Вестник гражданских инженеров. 2023. №3(98). С.77-87. EDN: YINIUA
7. Østergård T., Jensen R., Maagaard S. Building simulations supporting decision making in early design – A review // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2016. No.61. Pp.187-201. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.045
8. Yunsong H., Hong Y., Cheng S. Simulation-Based Multiobjective Optimization of Timber-Glass Residential Buildings in Severe Cold Regions // Sustainability. 2017. No.9(12). Pp. 1-18. DOI:10.3390/su9122353
9. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Применение теории эволюции Дарвина в процессе оптимизации конструкций // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2014. №1. С.534-538. EDN: SJJQVB
10. Арзиманов Д.И., Гаевская З.А. Сравнительный анализ энергоэффективности CLT-панелей для жилой многоэтажной застройки Санкт-Петербурга // Инженерные исследования. 2023. №2(12). С.11-18. EDN: HGAQIZ

ОБ АВТОРАХ

Давид Ифтихарович Арзиманов – студент магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: arzimanov.david@mail.ru

Злата Анатольевна Гаевская – доцент, к. арх. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gaezlata@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

David I. Arzimanov – the Master degree student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: arzimanov.david@mail.ru

Zlata A. Gaevskaya – Associate Professor, architecture PhD. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gaezlata@yandex.ru

УДК 69.04

ПРОДОЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В.А. Рыбаков, А.А. Цветкова

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. В данном исследовании проводится анализ характера работы вертикального стыка стеновых панелей многоэтажных зданий в продольном направлении и приводятся зависимости для расчета соответствующей жесткости. Для анализа применяется численное моделирование методом конечных элементов в линейной постановке с использованием SCAD Office. В первой части статьи проводится сравнение жесткостей стыков с петлевой, прямой арматурой и без арматуры, делается вывод о необходимости включения арматуры в расчет при предположении, что бетон стыка не разрушается и полностью включается в работу. Во второй части определяется величины растягивающих усилий при постоянных, длительных (собственный вес, «полезная» нагрузка), кратковременных (ветровая) и особых (сейсмических) воздействиях, проводится сравнение значений полученных значений усилий с усилиями трещинообразования. Анализируются тестовые схемы этажностью 6, 12, 16 этажей. В третьей части сравниваются 2 варианта значений жесткостей: жесткость, полученная по зависимости, обычно используемой в практике проектирования и по вновь предложенной зависимости, их влияние на результаты расчета 5-ти этажного здания. По результатам расчета делается вывод о том, что значения напряжений, полученные по обычно используемой в практике проектирования зависимости, завышены, что приводит к неоправданному перерасходу материалов.

Ключевые слова: жесткость, крупнопанельные здания, вертикальный стык, сейсмическое воздействие, метод конечных элементов, упругая стадия.

Ссылка для цитирования: Рыбаков В.А., Цветкова А.А. Продольная жесткость вертикальных стыков стеновых панелей многоэтажных зданий // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 19-32. EDN: RBIKQZ.

LONGITUDINAL WALL PANEL VERTICAL JOINT STIFFNESS OF MULTI-STOREY BUILDINGS

V.A. Rybakov, A.A. Tsvetkova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. In this study the work in the longitudinal direction of the wall panel vertical joint of a multi-storey building is analyzed, relations for calculating longitudinal stiffness are given. Numerical modelling by finite element method in SCAD Office software is being used and the elastic stage of the work of the material is being considered for the analysis. In the first part of the article, the stiffness of vertical joints with loop, straight reinforcement and without reinforcement is compared, it is concluded whether including reinforcement in the calculation is necessary, assuming that the concrete of the joint does not collapse and fully perceives the load. In the second part, the values of tensile longitudinal forces in vertical joints from constant, long-term (dead load, actual load), short-term (wind) loads and seismic impact are defined. The obtained values of tensile forces are compared with the values leading to cracking of concrete. The test models with 6, 12, 16 floors are analyzed. In the third part, the two values for stiffness are compared: the value obtained by the relation commonly used in the design practice² and the value obtained by the proposed relation. The influence of these values of longitudinal stiffness on the results of the 5-storey panel building calculation is analyzed. It is concluded that the stresses in the model with the value of stiffness obtained by the relation commonly used in the design practice² are overestimated and lead to excess material consumption.

Keywords: stiffness, large-panel buildings, vertical joint, seismic impact, the finite element method, the elastic stage.

For citation: Rybakov V.A., Tsvetkova A.A. Longitudinal wall panel vertical joint stiffness of multi-storey buildings // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 19-32. EDN: RBIKQZ.

ВВЕДЕНИЕ

В практике расчетов крупнопанельных зданий принято моделировать вертикальные стыки стеновых панелей упругими связями. В SCAD Office это специальные конечные элементы КЭ-55 [1]. Использование данных элементов предполагает задание их жесткостей по направлениям X, Y, Z. (рис. 1).

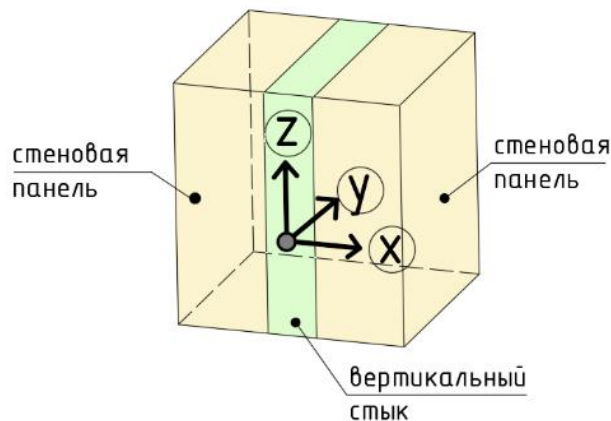


Рис. 1. Местная система координат вертикального стыка
Fig. 1. Local coordinate system of the vertical joint

Задание данных жесткостей регламентируется нормативными документами: СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы», СТО 3655401-026-2012 «Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков...», «Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий к СНиП 2.08.01-85».

Обзор русскоязычных [2-17] и иностранных [18-26] источников показал, что жесткость в направлении Z, рассчитанная по зависимостям нормативных документов, значительно занижена, для расчета жесткостей по направлению Y в нормативных документах указано только рекомендуемое значение 0,5 мм/м; для расчета жесткостей по направлению X в нормативных документах отсутствуют какие-либо рекомендации, а в практике проектирования для расчета жесткостей по данному направлению используются научно не обоснованные зависимости, например, в [27] используется модификация формулы (1). Ранее авторами данной статьи была обоснована возможность применения зависимости плоской задачи теории упругости для расчета жесткостей по направлениям Z, Y (в плоскости и из плоскости панелей) [28], а также получена формула для расчета жесткостей по направлению Z [29]. Настоящее исследование посвящено обоснованию методики расчета жесткостей по направлению X.

По состоянию на начало XXI века крупнопанельные здания рассчитывают в упругой стадии, и жесткость вертикального стыка по направлению X находят как обратную величину от перемещений от единичной силы по общеизвестному закону Гука, однако единого ответа на вопрос, включать в расчет бетон стыка, арматуру, или учитывать их совместную работу, пока нет. Поиск ответа на данный вопрос является предметом настоящего исследования.

Найдем значения перемещений от единичной силы и обратную им величину – жесткости, для двух вариантов: при учете работы только арматуры, перемещения будут найдены по формуле (1):

$$\Delta l_a = \frac{l}{2n \cdot k \cdot EA} \quad (1)$$

где l – длина стыка;

n – число петель на 1 метр по высоте стыка;

E – модуль упругости стали;

A – площадь арматурного стержня петли;

k – линейный размер конечного элемента.

При учете работы только бетона, формула для расчета перемещений примет вид (2):

$$\Delta l_{\sigma} = \frac{l}{EA} \quad (2)$$

где l – длина стыка;

n – число петель на 1 метр по высоте стыка;

E – модуль упругости бетона стыка;

A – площадь сечения бетона, сопротивляющаяся растяжению-сжатию, например, при толщине панели 0,16м и расстоянии между соседними упругими связями 0,3м (размер конечного элемента), площадь составит $0,3 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ м}^2$;

k – линейный размер конечного элемента.

Вычислим продольные жесткости по зависимостям (1) и (2). Например, для стеновых панелей толщиной 0.16 метров при длине стыка 0.16м, размере конечного элемента 0.3м, шаге арматурных петель 0.25м и бетоне замоноличивания стыка В15 (без учета ползучести) значения жесткостей составят:

$$k_a = \frac{1}{\Delta l_a} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 0,3 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 0,008^2}{4} \right)}{0,16} = 158256 \text{ кН / м}$$
$$k_{\sigma} = \frac{1}{\Delta l_{\sigma}} = \frac{0,048 \cdot 23500000}{0,16} = 7200000 \text{ кН / м}$$

Как видим, значения жесткостей, рассчитанные по формулам (1) и (2), отличаются почти в 50 раз, а в научной литературе и нормативных документах отсутствуют какие-либо рекомендации по применению каждой из этих формул, в связи с чем была сформулирована цель настоящего исследования: обоснование области применения формулы (2), учитывающей, как и в предыдущих работах авторов [28, 29], работу бетона стыка, для расчета продольных жесткостей вертикальных стыков крупнопанельных зданий, в том числе при сейсмических воздействиях.

Основными вопросами, на которые предстоит ответить в рамках данной цели, являются:

1. Определить степень влияния арматурных петель на перемещения в стыке от единичной силы и, следовательно, необходимость включения их в расчет при использовании формулы (2).

2. Определить величины растягивающих напряжений в вертикальных стыках при постоянных, длительных, кратковременных нагрузках и сейсмических воздействиях, и понять, достигают ли растягивающие напряжения значений, при которых в бетоне возникают трещины, и бетон выключается из работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ АРМАТУРНЫХ ПЕТЕЛЬ НА ПРОДОЛЬНОЮ ЖЕСТКОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЫКА

Для решения данной задачи воспользуемся методом конечных элементов в линейной постановке: замоделируем в SCAD Office стык вместе с частью бетона панели высотой, равной расстоянию между арматурными выпусками, в трех вариантах: с арматурными выпусками в виде петель, с прямой арматурой и без арматуры и рассчитаем перемещения в данных схемах от нагрузки 100кН (рис. 2, 4, 6). Жесткостные характеристики схемы: арматура Ø8 (петли лежат в разных плоскостях), бетон панели В25, бетон замоноличивания стыка В15. Бетон был замоделирован объемными конечными элементами-призмами и кубами со стороной ребра 20мм, арматура моделировалась стержневыми конечными элементами круглого сечения с модулем упругости $2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Высота модели равна расстоянию между арматурными петлями по высоте стыка. Результаты расчета представлены на рисунках 3, 5, 7 и в табл. 1.

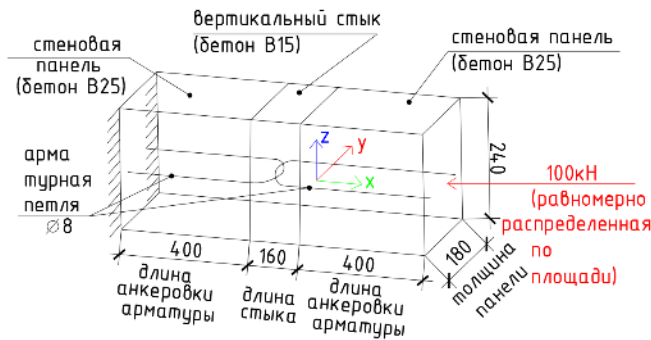


Рис. 2. Расчетная схема стыка с петлевой арматурой
 Fig. 2. Design scheme of the joint with loop reinforcement

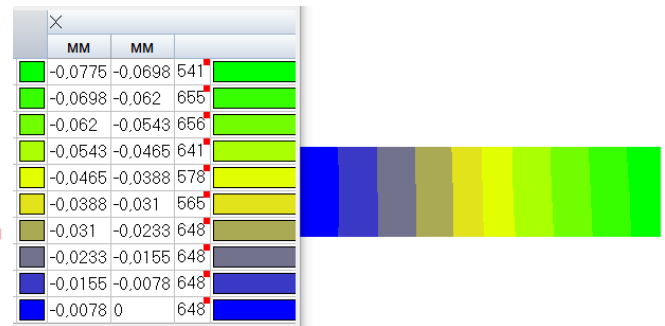


Рис. 3. Перемещения по X в схеме с петлевой арматурой
 Fig. 3. Displacement along X axis in the scheme with loop reinforcement

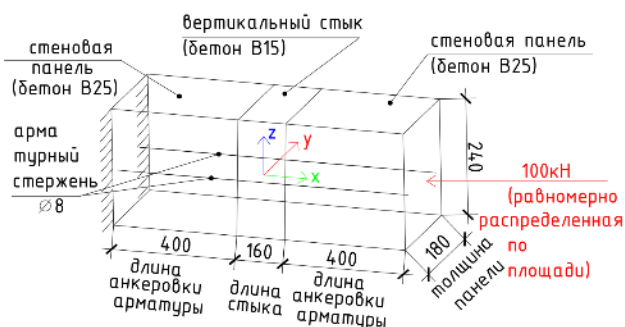


Рис. 4. Расчетная схема стыка с прямой арматурой
 Fig. 4. Design scheme of the joint with straight reinforcement

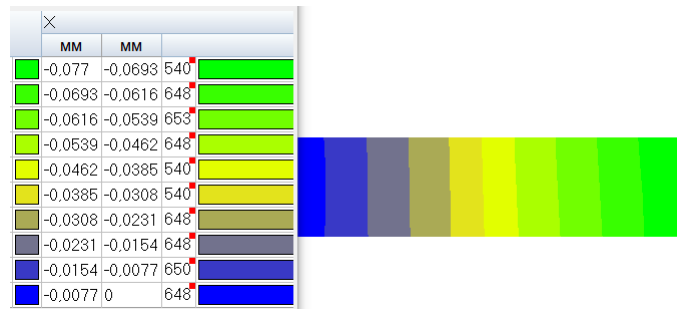


Рис. 5. Перемещения по X в схеме с прямой арматурой
 Fig. 5. Displacement along X axis in the scheme with straight reinforcement

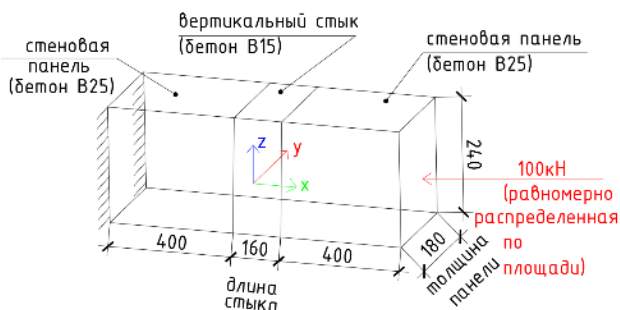


Рис. 6. Расчетная схема стыка без арматуры
 Fig. 6. Design scheme of the joint without reinforcement

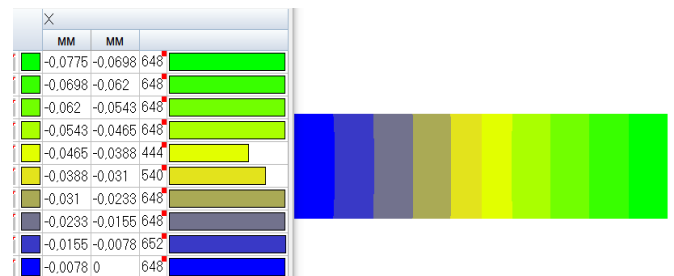


Рис. 7. Перемещения по X в схеме без арматуры
 Fig. 7. Displacement along X axis in the scheme without reinforcement

Таблица 1. Перемещения в модели и ее жесткость в схемах с петлевой, прямой арматурой и без арматуры
 Table 1. Displacements in the model and its stiffness in the schemes with loop, straight reinforcement and without reinforcement

№п/п	Схема	Перемещения, мм	Жесткость, Н/м · 10 ⁶	Δ, %
1	С петлевой арматурой	0,0775	1,290	0
2	С прямой арматурой	0,0770	1,299	0,7
3	Без арматуры	0,0775	1,290	0

В результате сравнения перемещений установлено, что наличие арматуры в стыке не влияет на результат расчета жесткости.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПРОДОЛЬНЫХ УСИЛИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКАХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПОСТОЯННЫХ, ДЛИТЕЛЬНЫХ И КРАТКОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Для решения данной задачи, как и предыдущей, будем использовать метод конечных элементов в линейной постановке. Замоделируем в SCAD Office 3 тестовые схемы со следующими параметрами: высота этажа – 3 м, шаг поперечных стен – 3 м, количество пролетов, как в продольном, так и в поперечном направлении – 3, количество этажей в схемах – 6, 12, 16. Выбор такой этажности был обусловлен ограничениями табл. 6.1. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». Для сейсмичности 7 баллов максимальная этажность составляет 16 этажей, для сейсмичности 9 баллов – 12 этажей. Внешний вид расчетных схем представлен на рис. 8. Жесткостные характеристики схем следующие: фундаментная плита 0,6м, перекрытия 0,22м, стеновые панели 0,18м. Общий вид расчетных схем представлен на рисунке ниже (рис. 8.) Особенности данных расчетных схем было то, что с целью определения напряжений в вертикальных стыках по направлению X, панели соединялись между собой стержневыми конечными элементами – стержнями Ø10мм (рис. 9), для которых можно получить продольные усилия N.

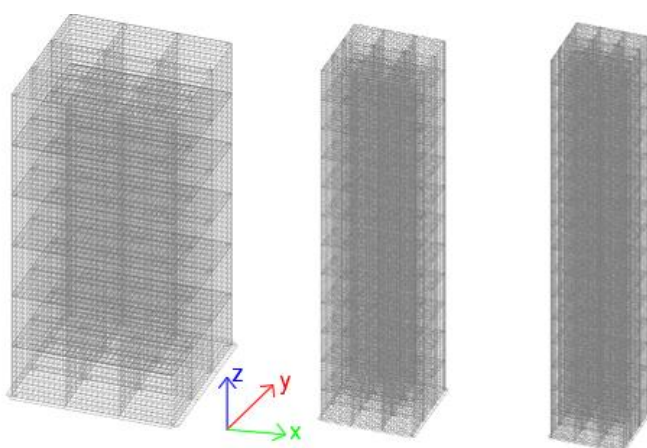


Рис. 8. Общий вид тестовых расчетных схем.
Fig. 8. The overall view of the test design schemes

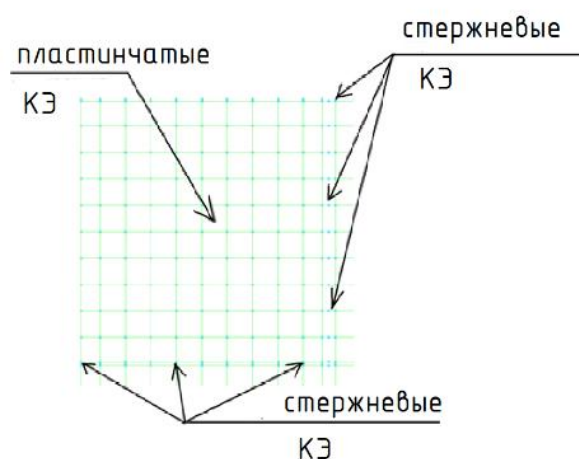


Рис. 9. Особенности тестовых расчетных схем
Fig. 9. Features of test calculation schemes

Были заданы нагрузки: собственный вес стен и удвоенный собственный перекрытий, имитирующий «полезную» нагрузку, ветровая нагрузка по СП 20.13330.2016. Сейсмическое воздействие было задано 7, 8, 9 баллов для схем 6 и 12 этажей, 7 баллов для схемы 16 этажей, как максимально возможные для данной этажности. Результаты расчета усилий в стержнях от нагрузки от собственного, в том числе удвоенного для перекрытий, веса, от ветровой нагрузки, от сейсмической нагрузки были сведены в таблицу 2. Результаты расчета усилий в графическом виде представлены на рисунках 10-12. Рисунки а) – усилия от ветровой нагрузки б) – усилия от 7-балльного сейсмического воздействия в) – усилия от 8-балльного сейсмического воздействия г) – усилия от 9-балльного сейсмического воздействия.

Сравним значения полученных растягивающих усилий с усилиями трещинообразования. Напряжение, при котором происходит трещинообразование в бетоне В25 – 1,55МПа, соответственно, усилие трещинообразования найдется по формуле 8.2.13 СП 63.13330.2018(3):

$$N_{cr} = R_{bt,ser} \cdot b \cdot h \quad (3)$$

где $R_{bt,ser}$ – сопротивление осевому растяжению для бетона В25 для предельных состояний второй группы;

b – ширина панели;

h – расстояние между упругими связями по высоте (размер пластинчатого конечного элемента стеновой панели).

$$N_{cr} = 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,18 = 83,7 \text{ кН}$$

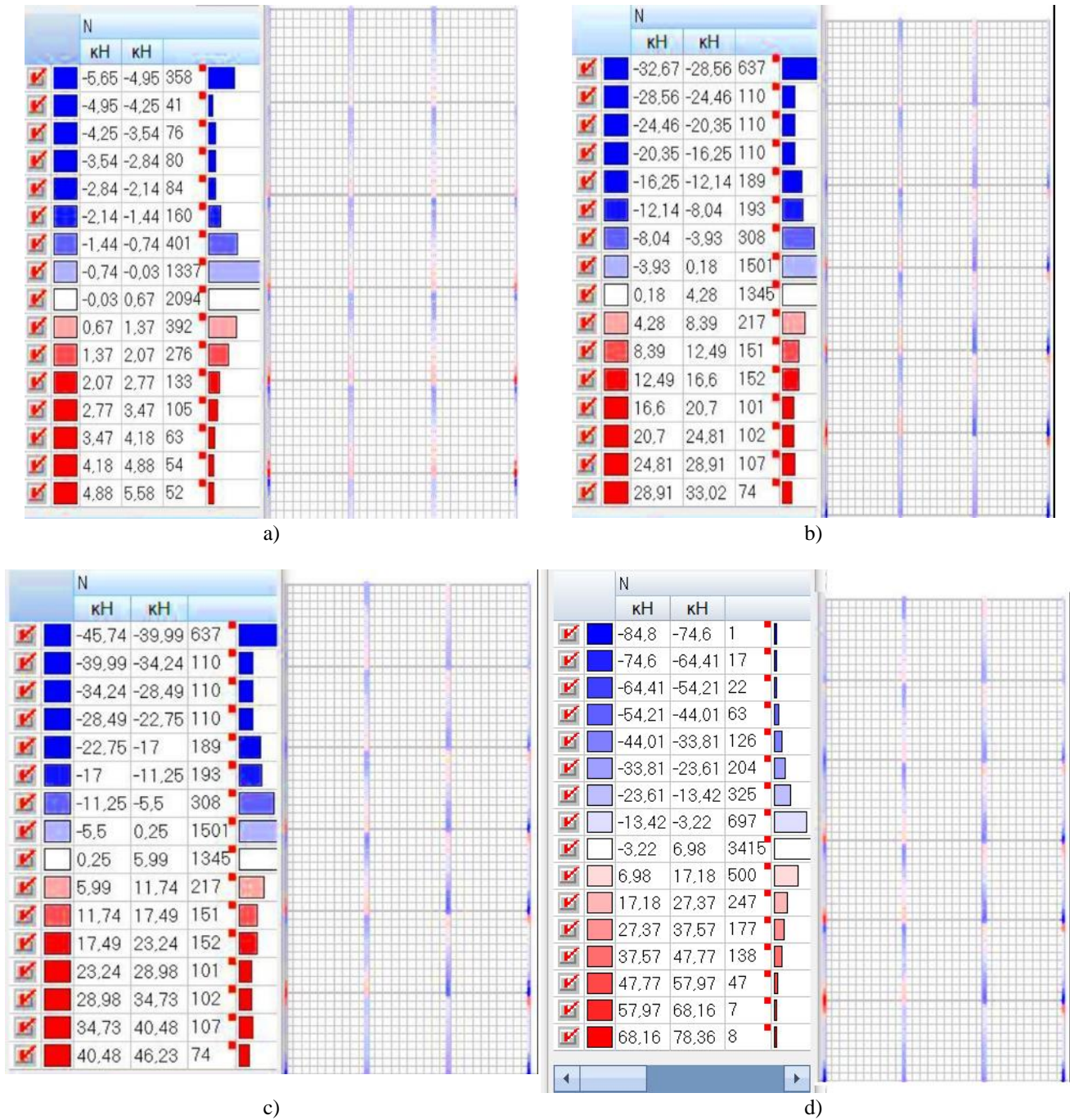
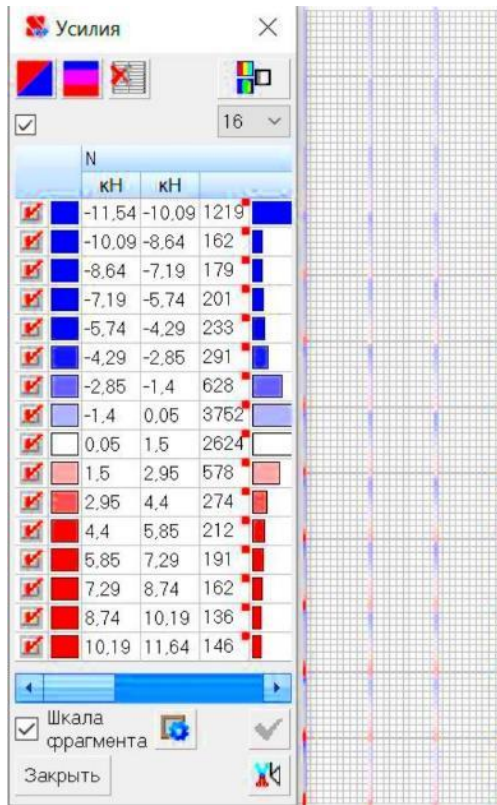


Рис. 10. Продольные усилия в вертикальных стыках для тестовой схемы 6 этажей:

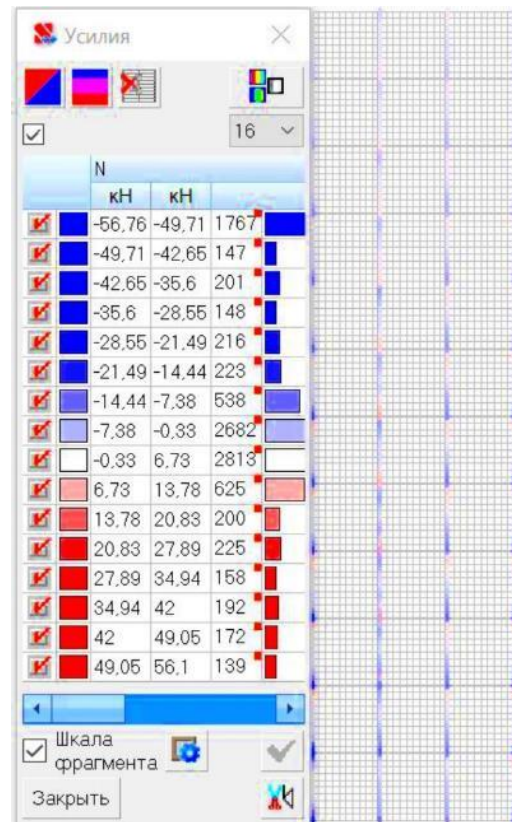
а – от ветровой нагрузки; б – от 7-балльного сейсмического воздействия;

с – от 8-балльного сейсмического воздействия; д – от 9-балльного сейсмического воздействия

Fig. 10. Longitudinal forces in vertical joints for the 6-floor scheme: а – from wind load; б – from 7-point seismic impact; с – from 8-point seismic impact; д – from 9-point seismic impact



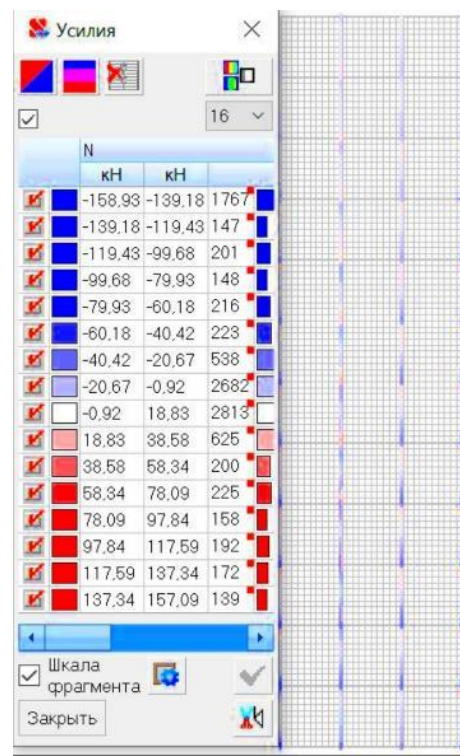
a)



b)



c)



d)

Рис. 11. Продольные усилия в вертикальных стыках для тестовой схемы 12 этажей:

a – от ветровой нагрузки; b – от 7-балльного сейсмического воздействия;

c – от 8-балльного сейсмического воздействия; d – от 9-балльного сейсмического воздействия

Fig. 11. Longitudinal forces in vertical joints for the 12-floor scheme: a – from wind load; b – from 7-point seismic impact; c – from 8-point seismic impact; d – from 9-point seismic impact

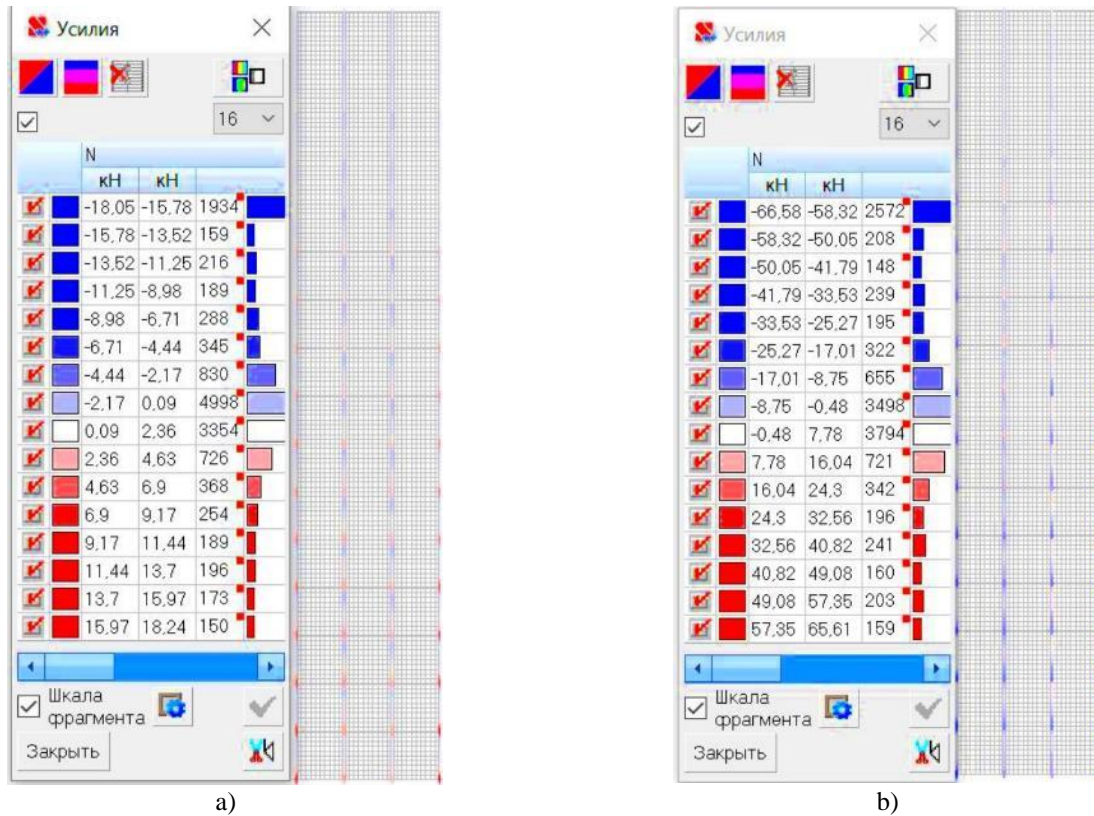


Рис. 12. Продольные усилия в вертикальных стыках для тестовой схемы 16 этажей:
 а – от ветровой нагрузки; б – от 7-балльного сейсмического воздействия

Fig. 12. Longitudinal forces in vertical joints for the 16-floor scheme: a – from wind load; b –from 7-point seismic impact

Таблица 2. Продольные усилия в стыках для тестовых схем 6,12,16 этажей
Table 2. Longitudinal forces in the joints for the 6,12,16 floor test schemes

№ п/п	Этаж-ность	Нагрузка (воздействие)	Максимальные растягивающие усилия, кН	Усилие трещинообразования, кН	Факт превышения усилия трещинообразования		
1	6	Собственный вес стен и удвоенный вес перекрытий	10,09	83,7	нет		
		Ветровая	5,58		нет		
		Сейсмическое 7 баллов	33,02		нет		
		Сейсмическое 8 баллов	46,23		нет		
		Сейсмическое 9 баллов	78,36		нет		
2	12	Собственный вес стен и удвоенный вес перекрытий	15,91		83,7	нет	
		Ветровая	11,64			нет	
		Сейсмическое 7 баллов	56,1			нет	
		Сейсмическое 8 баллов	78,55			нет	
		Сейсмическое 9 баллов	157,09			да	
3	16	Собственный вес стен и удвоенный вес перекрытий	16,12			83,7	нет
		Ветровая	18,24				нет
		Сейсмическое 7 баллов	65,61				нет
		Сейсмическое 8 баллов					Не допускается нормами
		Сейсмическое 9 баллов					

Как видно из табл. 2, усилие трещинообразования в бетоне вертикального стыка превышено только для 12-этажной тестовой схемы при сейсмическом воздействии 9 баллов. В остальных случаях растягивающее усилие на арматуру не передается и для расчета жесткости вертикального в продольном направлении допустимо использование формулы (2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проверим, как отражается применение жесткостей упругих связей, рассчитанных по зависимостям (1) и (2) на результатах расчета здания средней этажности методом конечных элементов в линейной постановке. В SCAD Office была задана схема 5-ти этажного крупнопанельного здания со стыками панелей на петлевых выпусках, размеры здания в осях 40x14м. К зданию были приложены регламентированные СП 20.13330.2016 – постоянные, длительные, кратковременные (табл. 3). Общий вид расчетной схемы представлен на рис. 13. Жесткостные характеристики схемы: толщина стеновых панелей 0.16м, толщина перекрытий 0.16м, бетон панелей и перекрытий В25.

Таблица 3. Таблица нагрузок и воздействий
Table 3. Table of loads and impacts

№ п/п	Наименование	Расчетное значение
1	Нагрузка от собственного веса железобетонных конструкций	Интерактивная
2	Нагрузка от собственного веса фасадных конструкций	0.62кПа
3	Нагрузка от собственного веса остекления	1.06кН/м
4	Нагрузка от собственного веса вентиляционных блоков	2.12кН/м
5	Нагрузка от собственного веса кровли	2.14кПа
6	Нагрузка от собственного веса полов	2.01 кПа
7	Нагрузка от перегородок	0.64кН/м
8	Нагрузка от активного давления грунта обратной засыпки	Трапециевидная от 35.65кПа в нижней точке до 11.28кПа в верхней точке
9	Равномерно распределенная нагрузка с нормативным значением до 2,0кПа	1.95кПа – для квартир 0.91кПа – для технического подполья
10	Равномерно распределенная нагрузка с нормативным значением от 2,0кПа	2.40кПа – для инженерно-технических помещений подвала 3.60 кПа – для общих зон 4.80 кПа – для балконов квартир на участке 0,8м вдоль ограждения балконов
11	Снеговая нагрузка	5.61кПа – для основной части покрытия 8.44кПа – в зоне снеговых мешков 4.40кПа – для покрытия ЛУ
12-15	Ветровая нагрузка по 4м взаимноисключаемым направлениям	В соответствии с СП.20.13330.2016
16	Сейсмическое воздействие	9 баллов, коэффициенты – в соответствии с СП 14.13330.2018

Было проведено сравнение динамических характеристик здания, а также напряжений, возникающих при сейсмическом воздействии 9 баллов, в стеновых панелях для схем с жесткостями, рассчитанными по формулам (1) и (2).

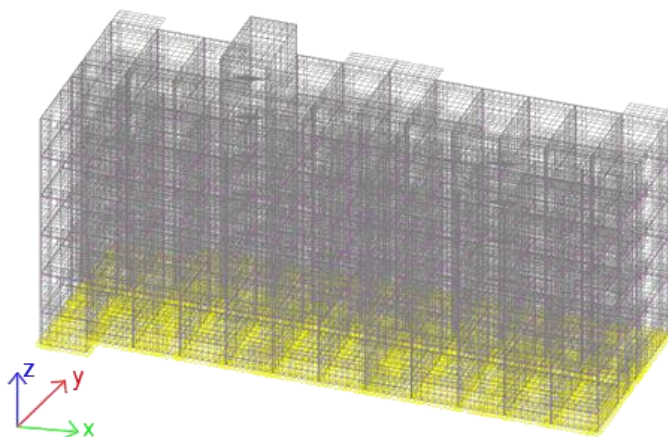


Рис. 13. Общий вид расчетной схемы
Fig. 13. General view of the calculating scheme

Результаты расчета динамических характеристик схемы представлены на рисунках 14, 15.

Загрузка		Номер формы	Собственное значение	Частота		Период	Модальные массы (%)		
				рад/сек	Гц		X	Y	Z
16	Модальный анализ	1	0,159	6,309	1,004	0,996	0,02	60,223	0,222
		2	0,091	10,982	1,748	0,572	45,765	0,082	1,31
		3	0,088	11,309	1,8	0,556	16,002	0	0,319
		4	0,06	16,806	2,675	0,374	4,324	0,332	94,13
		5	0,047	21,35	3,398	0,294	28,188	0	3,655
		6	0,044	22,912	3,647	0,274	0	0	0,136
		7	0,041	24,193	3,851	0,26	0	0	0,707
		8	0,038	26,462	4,212	0,237	0	37,226	0,153
		9	0,034	29,217	4,65	0,215	0,019	0,011	0
		10	0,033	29,915	4,761	0,21	0	0,195	0
Сумма модальных масс							94,319	98,912	99,789

Рис. 14. Динамические характеристики схемы с жесткостью вертикальных стыков по X 158256 кН/м
Fig. 14. Dynamic characteristics of the model with the longitudinal stiffness of vertical joints 158256 кН/м

Загрузка		Номер формы	Собственное значение	Частота		Период	Модальные массы (%)		
				рад/сек	Гц		X	Y	Z
16	Модальный анализ	1	0,158	6,309	1,004	0,996	0,021	60,224	0,222
		2	0,091	11,012	1,753	0,571	50,055	0,082	1,427
		3	0,088	11,409	1,816	0,551	11,56	0	0,224
		4	0,059	16,81	2,675	0,374	4,338	0,332	94,17
		5	0,047	21,379	3,403	0,294	28,501	0	3,598
		6	0,044	22,917	3,647	0,274	0	0	0,137
		7	0,041	24,197	3,851	0,26	0	0,711	0
		8	0,038	26,464	4,212	0,237	0	37,227	0,153
		9	0,034	29,285	4,661	0,215	0,014	0,013	0
		10	0,033	29,928	4,763	0,21	0	0,191	0
Сумма модальных масс							94,489	98,918	99,795

Рис. 15. Динамические характеристики схемы с жесткостью вертикальных стыков по X 7200000 кН/м
Fig. 15. Dynamic characteristics of the model with the longitudinal stiffness of vertical joints 7200000 кН/м

Из сравнения видно, что с увеличением значений жесткостей вертикальных стыков возрастает техническая частота здания, что должно привести к увеличению отклика здания на сейсмическое воздействие.

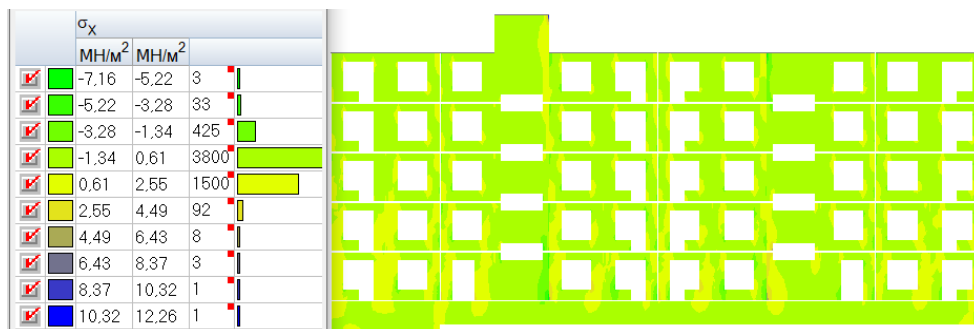


Рис. 16. Напряжения σ_x при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 158256кН/м

Fig. 16. The σ_x stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 158256 кН/м

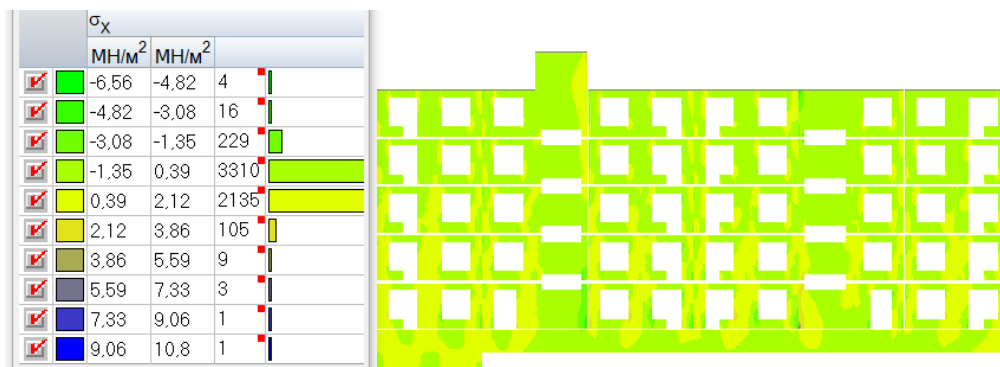


Рис. 17. Напряжения σ_x при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 7200000кН/м

Fig. 17. The σ_x stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 7200000 кН/м

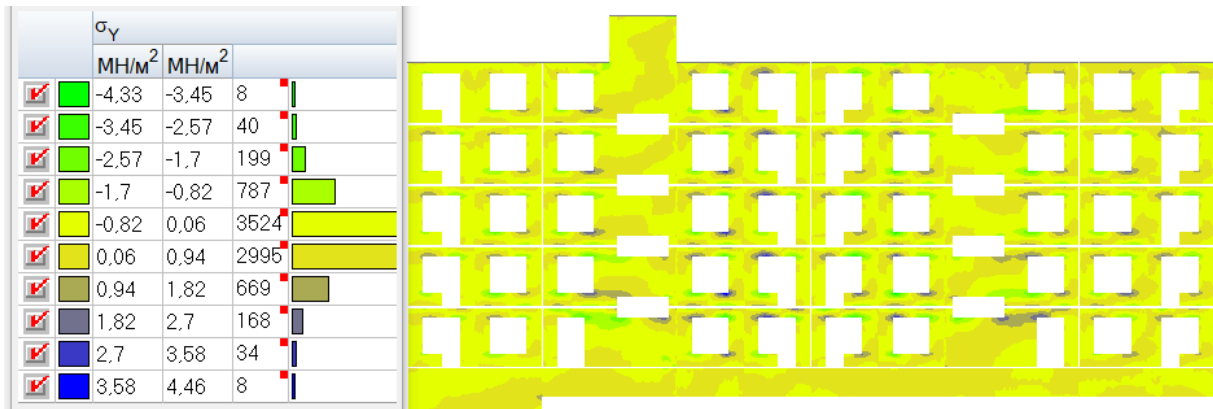


Рис. 18. Напряжения σ_y при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 158256кН/м

Fig. 18. The σ_y stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 158256 kN/m

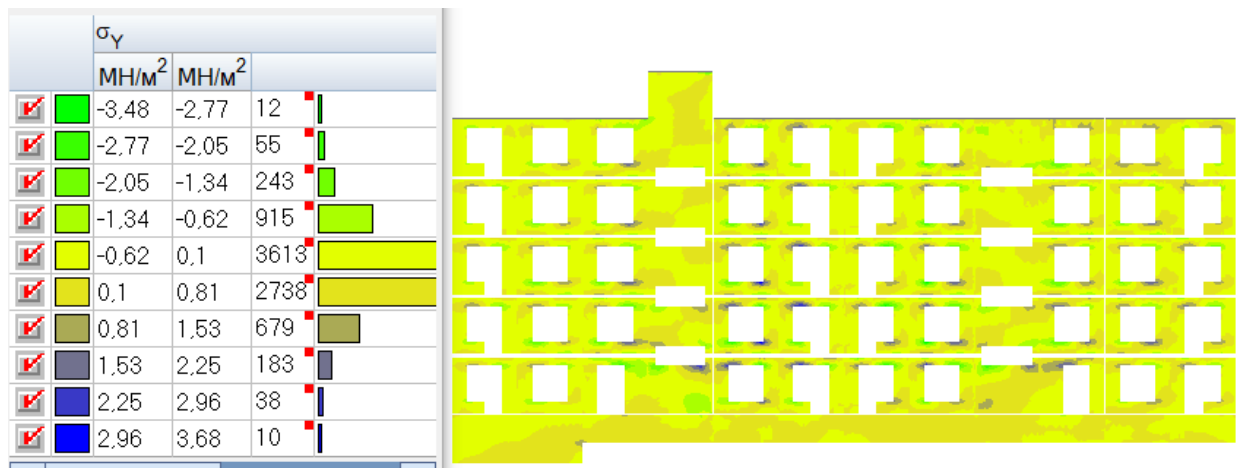


Рис. 19. Напряжения σ_y при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 7200000кН/м

Fig. 19. The σ_y stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 7200000 kN/m

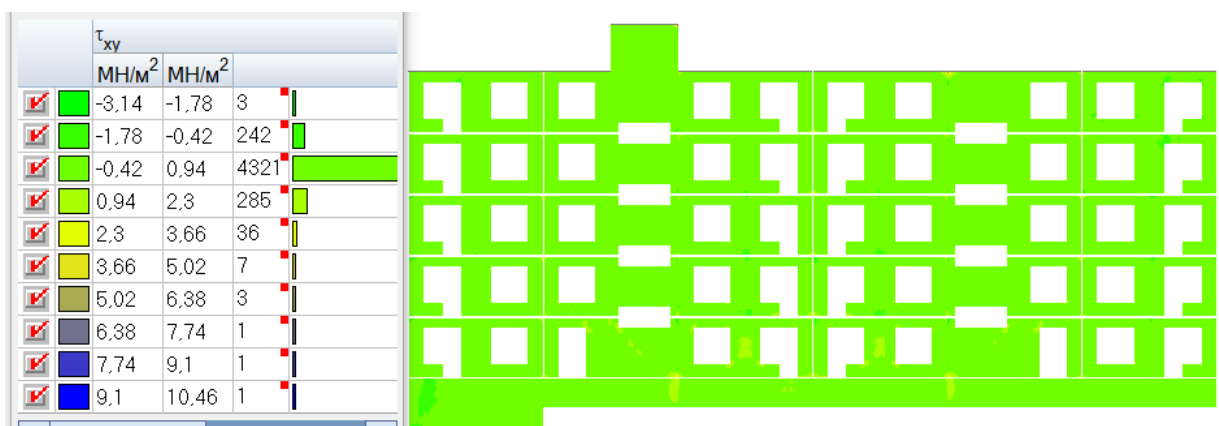


Рис. 20. Напряжения τ_{xy} при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 158256кН/м

Fig. 20. The τ_{xy} stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 158256 kN/m

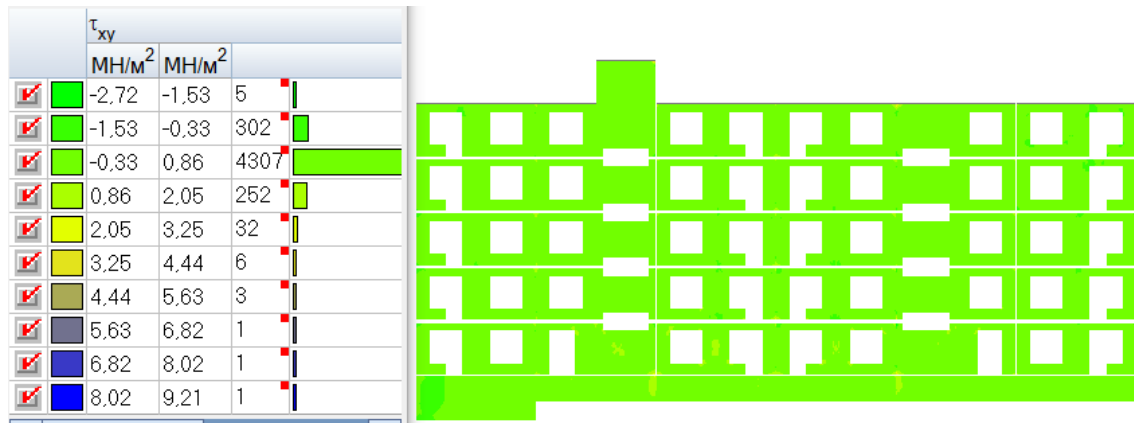


Рис. 21. Напряжения τ_{xy} при сейсмическом воздействии при продольной жесткости вертикальных стыков 7200000кН/м

Fig. 21. The τ_{xy} stress from seismic impact in the scheme with longitudinal stiffness of vertical joints 7200000 kN/m

Результаты расчета были сведены в табл. 4.

Таблица 4. Напряжения в наружной стене по оси D от сейсмического воздействия 9 баллов

Table 4. Stresses in the outer wall along D-axis from 9 point seismic impact

№ п/п	Компонент напряжения	Максимальное значение, МПа		Δ , %
		При жесткости 158256кН/м	При жесткости 7200000кН/м	
1	σ_x «+»	12,26	10,80	13,52
2	σ_x «-»	-7,16	-6,56	9,15
3	Σy «+»	4,46	3,68	21,20
4	Σy «-»	-4,33	-3,48	24,43
5	τ_{xy} «+»	10,46	9,21	13,57
6	τ_{xy} «-»	-3,14	-2,72	15,44

Для сравнения, приведем значения напряжений при данных значениях жесткостей для статической нагрузки от собственного веса конструкций (табл.5).

Таблица 5. Напряжения в наружной стене по оси D от собственного веса конструкций

Table 5. Stresses in the outer wall along D-axis from dead load

№ п/п	Компонент напряжения	Максимальное значение, МПа		Δ , %
		При жесткости 158256кН/м	При жесткости 7200000кН/м	
1	σ_x «+»	1,18	1,29	-8,53
2	σ_x «-»	-2,41	-2,32	3,88
3	Σy «+»	0,80	0,794	0,76
4	Σy «-»	-0,89	-0,89	0,00
5	τ_{xy} «+»	1,30	1,29	0,78
6	τ_{xy} «-»	-1,88	-1,80	4,44

ВЫВОДЫ

1. Предложено использование формулы для расчета продольных жесткостей вертикальных стыков крупнопанельных зданий и определены области ее применения.
2. Обосновано, что при расчете жесткостей по предложенной формуле арматуру стыка включать в расчет не требуется.
3. Обосновано, что растягивающие усилия в вертикальном стыке при применении бетона В25 не превышают, в том числе при сейсмических воздействиях, значений усилий трещинообразования в бетоне, за исключением 9-балльного сейсмического воздействия для здания 12 этажей.
4. Показано, что для зданий средней этажности при 9-балльном сейсмическом воздействии значения напряжений, полученные для расчетных схем с продольными жесткостями упругих связей, рассчитанными по формуле (1), завышены в среднем на 16%, что приводит к перерасходу материалов.

5. Показано, что при статических нагрузках для зданий средней этажности значения напряжений, полученные для расчетных схем с продольными жесткостями упругих связей, рассчитанными по формуле (1), практически не отличаются от значений напряжений в схемах с жесткостями упругих связей, рассчитанным по предложенной зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SCAD office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++ / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Малайренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, С.Ю. Фиалко. М.: Издательство «СКАД СОФТ». 2015. 848 с.
2. Блажко В.П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 17-21. EDN: YHZFAN.
3. Водопьянов Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК Лира-САПР 2017 // Жилищное строительство. 2017. №3. С. 42-48. EDN: YHZFCV.
4. Грановский А.В., Доттуев А.И., Смирнов В.А. Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности контактно-платформенных стыков крупнопанельных зданий // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2016. №12. С. 65-70. EDN: XISJCI.
5. Губченко В.Е. Работа с инструментом «Стык» ПК Лира-САПР // Жилищное строительство. 2018. №3. С. 30-35. EDN: YVXFU.
6. Данель В.В. Жесткости стыков железобетонных элементов, пересекаемых стержнями, при растяжении и сдвиге // Строительство и реконструкция. 2014. №6 (56). С. 25 -29. EDN: TCWPXN.
7. Данель В.В. Определение жесткостей платформенных стыков // Жилищное строительство. 2012. № 2. С. 32-35. EDN OWJHYX.
8. Данель В.В. Параметры 3D стержней, моделирующих стыки в конечно-элементных моделях // Жилищное строительство. 2012. №5. С. 22-27.
9. Данель В.В. Совершенствование конструкций и расчетных схем крупнопанельных зданий // Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 55-59. EDN SFMQUD.
10. Дербенцев И.С., Карякин А.А., Тарасов М.В., Попп П.В. Исследование усилий в вертикальных шпоночных стыках крупнопанельного здания в процессе возведения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Т.20, №1. С. 24-33. EDN: BIJCDP.
11. Дербенцев И.С. Тарасов М.В., Карякин А.А. Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т.21. №3. С. 13-22. EDN: FQWZWI.
12. Каргина Е.Е., Чубаров В.Е. Анализ существующих методов оценки податливости связей крупнопанельных зданий // Молодой исследователь Дона. 2017. №5(8). С.64-71. EDN: ZMQMGX.
13. Конотоп Л. В. Платформенные стыки в многоэтажных зданиях с использованием многопустотных плит безопалубочного формования // Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 68-й студенческой научно-технической конференции, 15 мая 2012. Минск: БНТУ, 2012. С. 95-100.
14. Коянкин А.А., Митасов В.М. О применимости двучленного закона трения Дерягина к вопросам совместного деформирования разновозрастных бетонов в сборно-монолитных конструкциях // Инженерный вестник Дона. 2021. № 9(81). С. 278-291. EDN DOOZKP.
15. Коянкин А.А., Митасов В.М., Цхай Т.А. Совместность деформирования сборного тяжёлого и монолитного лёгкого бетонов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 8(84). С. 162–172.
16. Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. Анализ работы вертикального стыка монолитного шпоночного соединения двух железобетонных панелей с использованием гибкой стержневой арматуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 33-38. DOI 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268. EDN YXMXNB.
17. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Усиление платформенных стыков панелей крупнопанельных зданий // Жилищное строительство. 2014. №5. С. 52-53. EDN: SFMQTJ.
18. Aparup V., Kumar S., Meher P. Modelling of wall panels and vertical joints between them for pushover analysis of a precast wall type building // Journal of Structural Engineering (Madras). 2020. No.47 (4). Pp. 295-307.
19. Allan B.F., Chen S.K., Henry R.S., Ingham J.M. Experimental Testing of Concrete Panel Connections // The New Zealand Concrete Industry Conference 2012, Claudelands, Hamilton 11-13 October.
20. Robert L., Vollum A. Investigation of headed bar joints between precast concrete panels // Structural Engineering & Mechanics. 2013. No.10. DOI: 10.12989/sem.2013.48.2.221
21. Burley J., Faitotoa T., Pouya S., Richard S. Out-of-plane behaviour of connections between precast concrete panels and their foundations // The New Zealand Concrete Industry Conference. October, 2014. Pp. 1-8.
22. Malakhova A, Davletbaeva D. The consideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings // E3S Web of Conferences. 2019. No.4010. Pp. 1-10. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704010
23. Fischinger M., Faijar P., Capuder F. Earthquake resistance of the «SCT» large panel building system // Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. 1987. No.20(4). Pp. 281-289. DOI: 10.5459/bnzsee.20.4.281-289

24. Shuvalov A., Gorbunov I., Kovalev M., Faizova A. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings// MATEC Web of Conferences. 2018. No.02049. Pp. 1-8.

25. Yang X., Xiaoyoung L., Minliang X., Zhen P., Junfeng C. Jinhong L. Simplified Analytical Methods for Prefabricated Concrete Wall Panel Building System with Alveolar-Type Joints // Buildings. 2023. No.13 (5). Pp. 1177. DOI: 10.3390/buildings13051177

26. Xuhong Z., Tianxiang X., Jiepeng L., Xuanding W. Seismic performance of concrete-encased column connections for concrete filled thin-walled steel tube piers // Engineering Structures. 2022. No.269(2). P. 114803.

27. Расчетно-пояснительная записка ООО «Т-Консульт» по объекту: Трехсекционный жилой дом №1 по адресу: Московская область, Люберецкий район, п. Томилино, микрорайон Птицефабрика.2016.

28. Рыбаков В.А., Цветкова А.А. Жесткость вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей на сдвиг в плоскости и из плоскости панелей до момента трещинообразования // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 03-09 апреля 2023. Том Часть 2. Санкт-Петербург: СПбПУ, 2023. С. 376-378. EDN WGHACX.

29. Цветкова А.А. Жесткость стыков сборных железобетонных стеновых панелей на сдвиг в их плоскости до момента трещинообразования // Инженерные исследования. 2022. №4(9). С. 26-33. EDN: HYZLEU.

ОБ АВТОРАХ

Владимир Александрович Рыбаков – к.т.н., доцент ВШПГиДС ИСИ, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: fishermanoff@mail.ru

Анна Андреевна Цветкова – студент магистратуры, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: annatsvetkova2014@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Rybakov – Ph.D. assistant professor of Higher School of Industrial, Road and Civil Engineering of Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: fishermanoff@mail.ru

Anna A. Tsvetkova – the Master degree student Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: annatsvetkova2014@mail.ru

УДК 536:21:699.86

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В НЕОДНОРОДНЫХ УЗЛАХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

А.А. Абдулин, Р.У. Якпунова, А.В. Толстых

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск (Российская Федерация)

Аннотация. В статье проводится оценка теплозащитных свойств покрытия и наружных стен, выполненных из сэндвич панелей, входной группы административного здания с металлическим каркасом, а также прогнозирование температурных режимов в ограждающих конструкциях этого здания при эксплуатации в климатических условиях г. Томска, проверка ограждающих конструкций на соответствие требованиям нормативной документации, оценка дополнительной теплоизоляции металлической балки, являющейся мостиком холода. На основе численного моделирования стационарного теплопереноса в наружных ограждающих конструкциях входной группы административного здания с металлическим каркасом рассчитаны температурные поля в выбранных неоднородных фрагментах. Определены приведенные теплозащитные характеристики ограждающих конструкций. Выполнена проверка соответствия температурных режимов на внутренних поверхностях теплонапряженных элементов требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплоперенос, температурный режим, температурное поле, термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче, конденсация влаги, сэндвич панель.

Ссылка для цитирования: Абдулин А.А., Якпунова Р.У., Толстых А.В. Процессы теплопереноса в неоднородных узлах ограждающих конструкций // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 33-43. EDN: TCNCVP.

HEAT TRANSFER PROCESSES IN INHOMOGENEOUS NODES OF ENCLOSING STRUCTURES

A.A. Abdulin, R.U. Yakpunova, A.V. Tolstykh

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk (Russian Federation)

Abstract. The article evaluates the heat-protective properties of the coating and external walls made of sandwich panels, the entrance group of an administrative building with a metal frame, as well as predicts the temperature regimes in heterogeneous nodes of the enclosing structures of this building when operating in the climatic conditions of Tomsk, checks the enclosing structures for compliance with the requirements of regulatory documentation, assessment of additional thermal insulation of the metal beam, which is a cold bridge. On the basis of numerical simulation of stationary heat transfer in the external enclosing structures of the entrance group of an administrative building with a metal frame, the temperature fields in the selected heterogeneous fragments were calculated. The given heat-protective characteristics of the enclosing structures are determined. The compliance of temperature regimes on the internal surfaces of heat-stressed elements with the requirements of regulatory documentation was carried out. Assessments of possible condensation of moisture on the internal surfaces of the building envelope were carried out.

Keywords: building envelope, heat transfer, temperature regime, temperature field, thermal resistance, heat transfer resistance, moisture condensation, sandwich panel.

For citation: Abdulin A.A., Yakpunova R.U., Tolstykh A.V. Heat transfer processes in inhomogeneous nodes of enclosing structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 33-43. EDN: TCNCVP.

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент, соблюдение требований к сопротивлению теплопередаче наружных стен зданий при применении однослойных и однородных конструкций становится практически невозможным [1], поэтому возникает необходимость в разработке новых технических решений неоднородных наружных ограждений, обладающих повышенными теплозащитными свойствами и содержащих воздушные прослойки различной конфигурации, утепляющие вставки и прочие неоднородные элементы. В таких конструкциях широко применяются и различные металлические теплопроводные включения (гибкие связи, коннекторы, ребра, профили различной конфигурации и др.), что оказывает значительное влияние на величину и характер тепловых потерь [2].

Поэтому актуальными являются исследования, проводимые в процессе проектирования реальных зданий с многослойными и неоднородными ограждающими конструкциями [3-8], связанные с разработкой программ и проведением расчетов тепловых режимов многослойных ограждений зданий, позволяющих наметить пути к созданию конструкций, имеющих хорошие теплозащитные свойства [9].

В данной работе для определения теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций проектируемой входной группы административного здания и проверки допустимости температурных режимов, прогнозируемых в ходе эксплуатации, были проведены расчеты двумерных стационарных температурных полей в неоднородных узлах наружных стен [10], примыкающих к покрытию здания.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЯ

Теплофизические расчеты проведены для климатических условий г. Томска. Расчетная температура - 39 °С, температура внутреннего воздуха в помещениях пристройки 20 °С, относительная влажность внутреннего воздуха 55%.

Рассматривается прямоугольное одноэтажное в плане строение с размерами в осях 11,1x24,0 м. Высота помещения составляет 4,5 м.

Конструктивная схема здания представляет собой металлический каркас и фундамент (рис. 1, рис. 2). В основе быстровозводимого здания с металлическим каркасом находится прочный металлический каркас, который базируется на ленточном фундаменте. Стены монтируются из сэндвич панелей МП ТСП-Z-200-1000-Г-Г-МВ.



Рис. 1. Расположение главных балок покрытия

Fig. 1. Location of the main roof beams

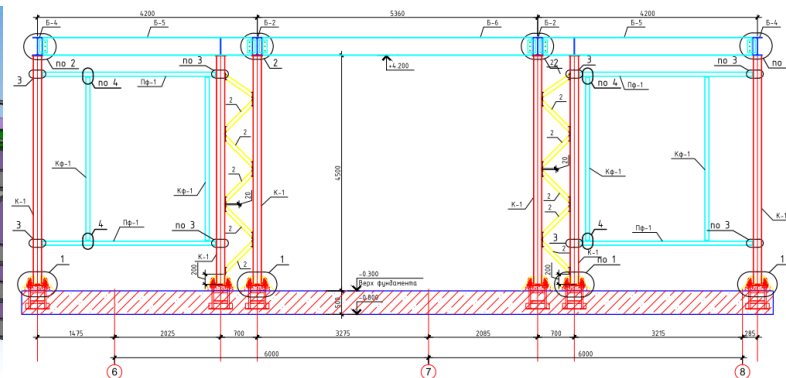


Рис. 2. Схема расположения колонн

Fig. 2. Column layout

Каркас здания выполнен из стали марки 350 по ГОСТ Р52246-2004, базы колонн, а также все сварные элементы – из стали марки С255.

Колонны – стальные 160x5 выполненные по ГОСТ 30245-2012, балки – двутавры, соответствующие требованиям СТО АСЧМ 20-93.

Покрытие многослойное: ПВХ мембрана; изоспан А; 2 слоя утеплителя XPS Carbon толщиной 50 мм со слоем XPS КЛИН (1,7 %); слой утеплителя ТЕХНОРУФ Н 30 толщиной 50 мм; паробарьер С; профлист Н60-845-0.8.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВУМЕРНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ФРАГМЕНТОВ

Для определения теплозащитных характеристик покрытия вне зоны влияния неоднородностей, расположенных в местах прохода металлических балок (двутавров) через наружные ограждающие

конструкции, и наружных стен входной части административного здания, достаточно провести расчет двумерных температурных полей в 2-х расчетных фрагментах:

1) Фрагмент покрытия (2 слоя утеплителя XPS Carbon толщиной 50 мм и слой утеплителя ТЕХНОРУФ Н 30 толщиной 50 мм) с примыкающей балкой (двухавром);

2) Фрагмент наружной стены с примыкающими металлическими колоннами (160x5 ГОСТ 30245-2012), выполненный из сэндвич панели¹ толщиной 200 мм.

Схемы этих расчетных фрагментов представлены на рис. 3, рис. 4.

Расчеты выполнялись в двумерной системе координат, для проведения расчетов были созданы скрипты, реализованные в пакете FlexPDE. Программная среда FlexPDE, позволяет получать решение дифференциальных уравнений, описывающих не только процессы распространения тепла, но и связанные с другими физическими задачами. В результате проведенных расчетов были получены двумерные поля температур в сечениях выбранных расчетных фрагментов.

В результате моделирования теплопереноса в неоднородных ограждающих конструкциях были определены общие термические сопротивления и сопротивления теплопередаче характерных фрагментов, выполнена проверка на возможность образования конденсата как на глади наружной стены и покрытия, так и в углах, где возможно локальное снижение температуры.

Наружная стена фасада

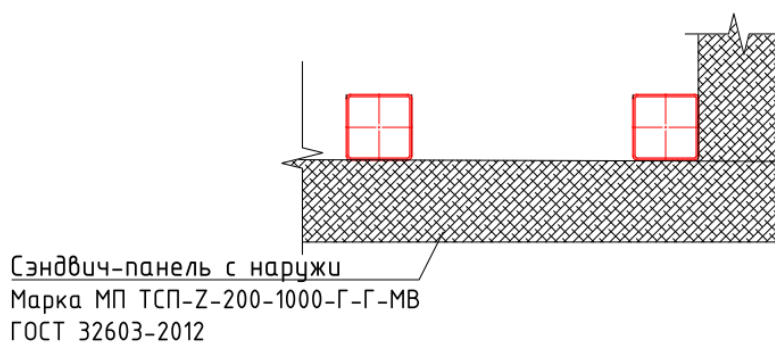


Рис. 3. Схема угла стены из сэндвич панелей с примыкающими колоннами
Fig. 3. Diagram of the corner of a wall made of sandwich panels with adjacent columns

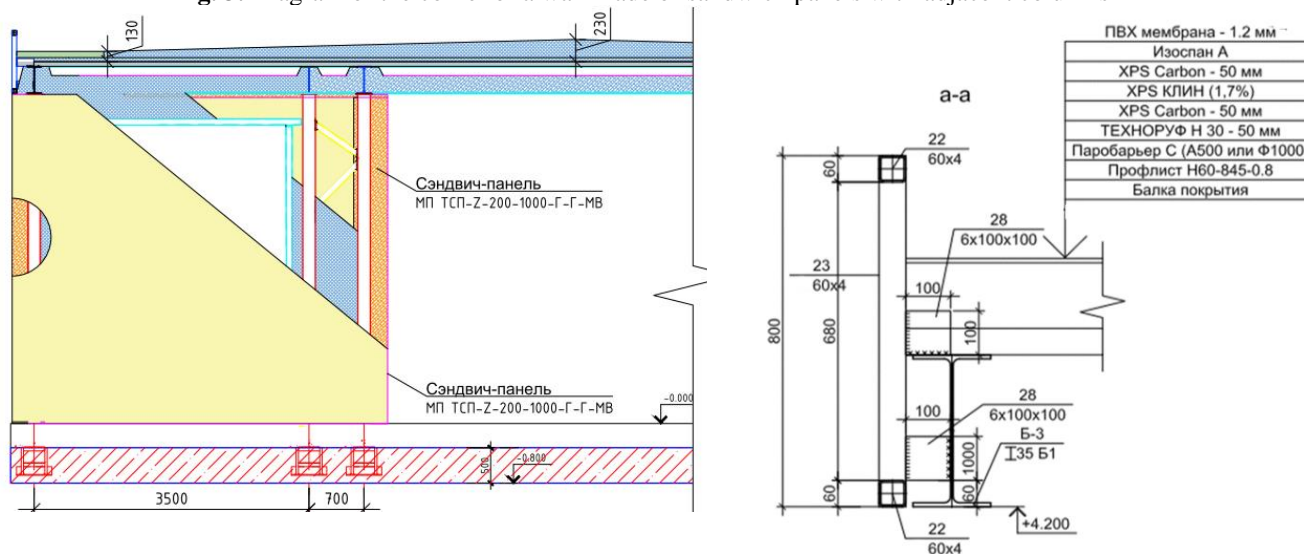


Рис. 4. Схема утепления кровли здания
Fig. 4. Roof insulation scheme of the building

¹ ТПК Профиль. Стеновые сэндвич панели [Электронный ресурс]. – URL: <https://profilvtomske.ru/sendvich-paneli/>. (дата обращения: 20.10.2023)

Все расчеты проводились в соответствии с нормативной документацией СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». ГОСТ 32494-2013. «Межгосударственный стандарт здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций», и рекомендациями технического руководства.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФРАГМЕНТА ПОКРЫТИЯ С ПРИМЫКАЮЩЕЙ БАЛКОЙ (ДВУТАВРОМ)

Для выяснения теплового режима эксплуатации рассматриваемой входного группы административного здания важны результаты расчета теплопередачи в фрагменте покрытия с примыкающей балкой (двутавр - 35Б1 СТО АСЧМ 20-93), покрытой слоем теплоизоляции ППУ² толщиной 10 см. В этом варианте расчета предусматривалось использование металлического профлиста, как основы покрытия, при толщине слоя утеплителя ТЕХНОРУФ Н 50 мм и толщине 2-х слоев утеплителя XPS Carbon 50 мм в кровельном пироге.

Расчет выполнялся в двумерной декартовой системе координат, использовался программный пакет FlexPDE.

Было получено двумерное поле температур (рис. 6) в сечении выбранного расчетного фрагмента (рис. 5). По рассчитанному полю тепловых потоков было определено термическое сопротивление (Rk) и сопротивление теплопередаче (Ro) выбранного фрагмента (рис. 7):

Rk= 4.738221 (м²·°C)/Вт - приведенное термическое сопротивление всего расчетного фрагмента;

Ro= 4.896642 (м²·°C)/Вт - приведенное сопротивление теплопередаче всего расчетного фрагмента.

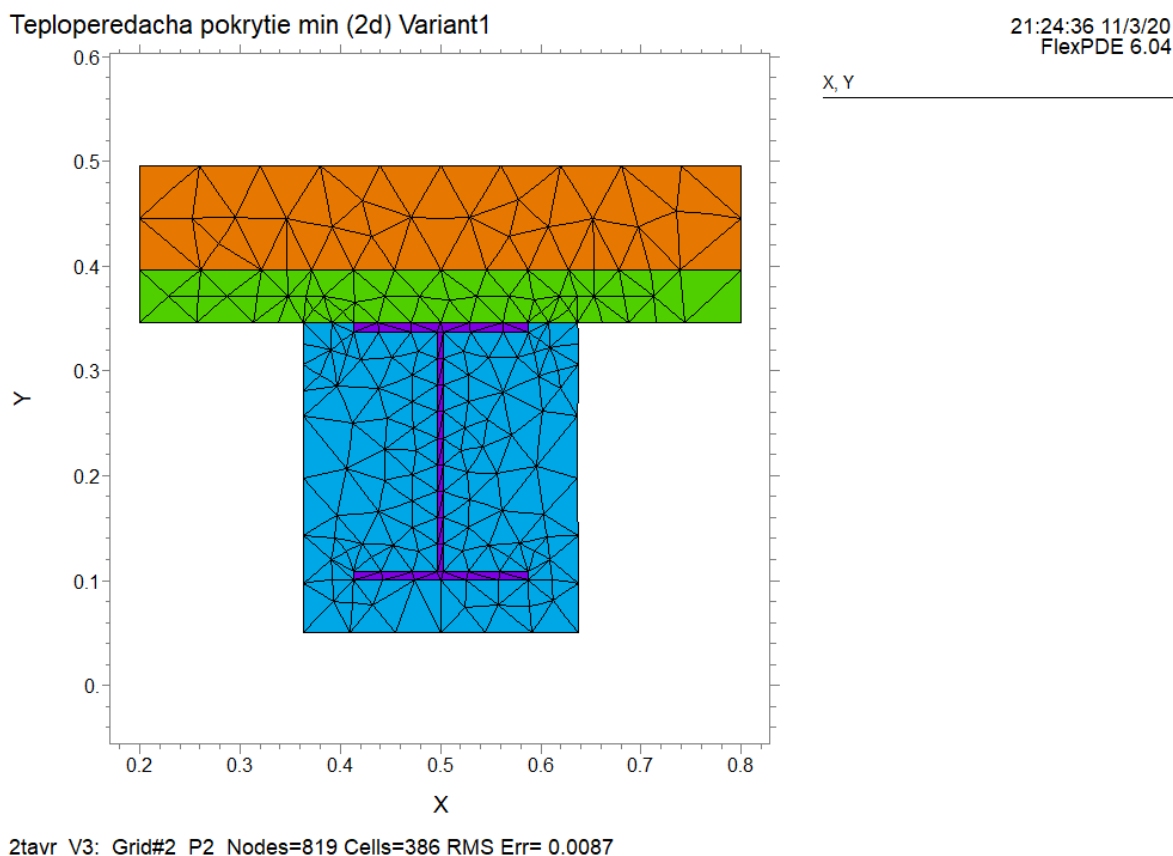


Рис. 5. Схема расчетного фрагмента, на которой показана конечно-элементная сетка
Fig. 5. Schematic of a computational fragment showing a finite element mesh

² Теплоизоляция и шумоизоляция пенополиуретаном [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.centrrpu.ru/?page=3&submenu=34>. (дата обращения: 18.10.2023)

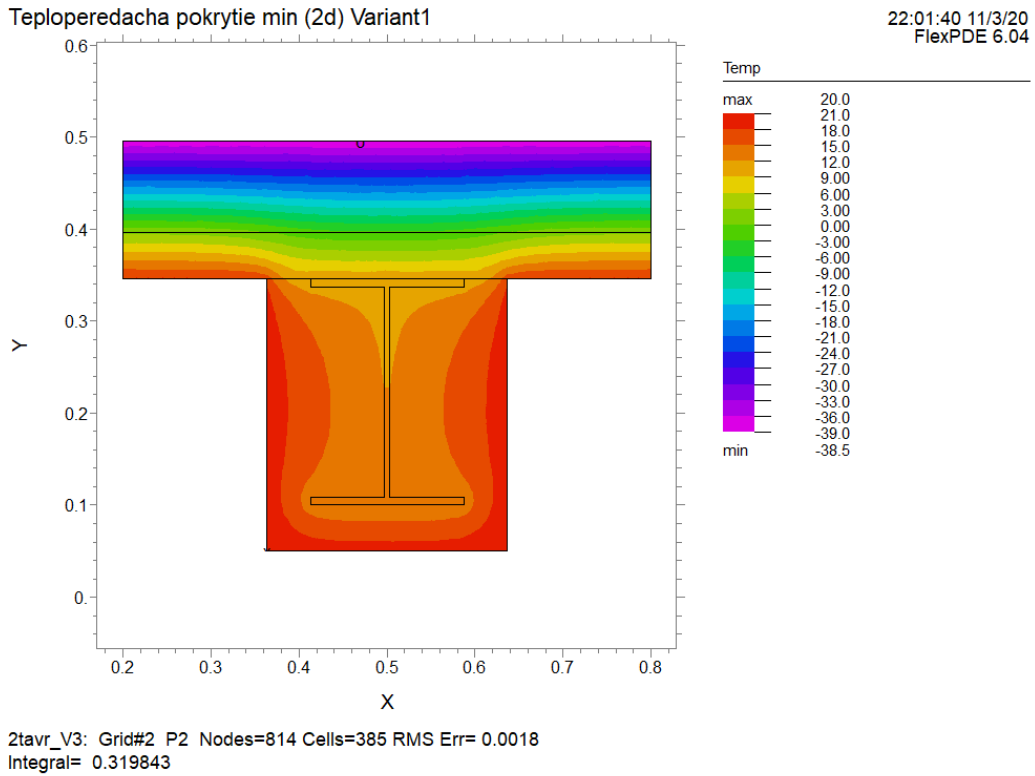


Рис. 6. Распределение температур в расчетном фрагменте
Fig. 6. Temperature Distribution in the Computational Fragment

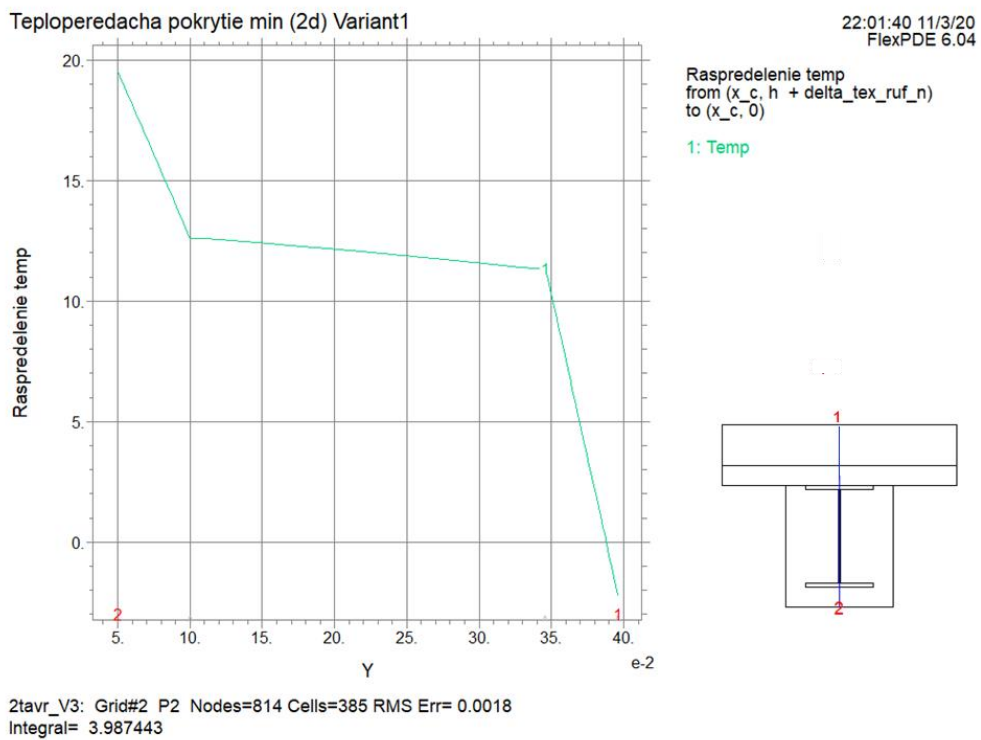


Рис. 7. Распределение температуры по толщине покрытия и в балке (по центру расчетного фрагмента)
Fig. 7. Temperature distribution over the coating thickness and in the beam (at the center of the design fragment)

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче покрытий для административных зданий в климатических условиях г. Томска составляет $4,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Так как полученное расчетом сопротивление теплопередаче расчетного фрагмента больше требуемого, можно сделать вывод о том, что теплозащитные свойства покрытия соответствуют требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Расчетом установлено, что температура на внутренней поверхности покрытия составляет 19°C (рис. 1, рис. 7), а перепад относительно температуры внутреннего воздуха 20°C , соответственно, 1°C .

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФРАГМЕНТА НАРУЖНОЙ СТЕНЫ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ СЭНДВИЧ ПАНЕЛИ ТОЛЩИНОЙ 200 ММ

Участок наружной стены, выполненной из сэндвич панели толщиной 200 мм – это еще один неоднородный фрагмент ограждений, температурное поле в котором может быть смоделировано в рамках двумерной задачи.

Далее представлены результаты расчета теплопередачи, в указанном выше, фрагменте стены с примыкающими колоннами для входной группы административного здания.

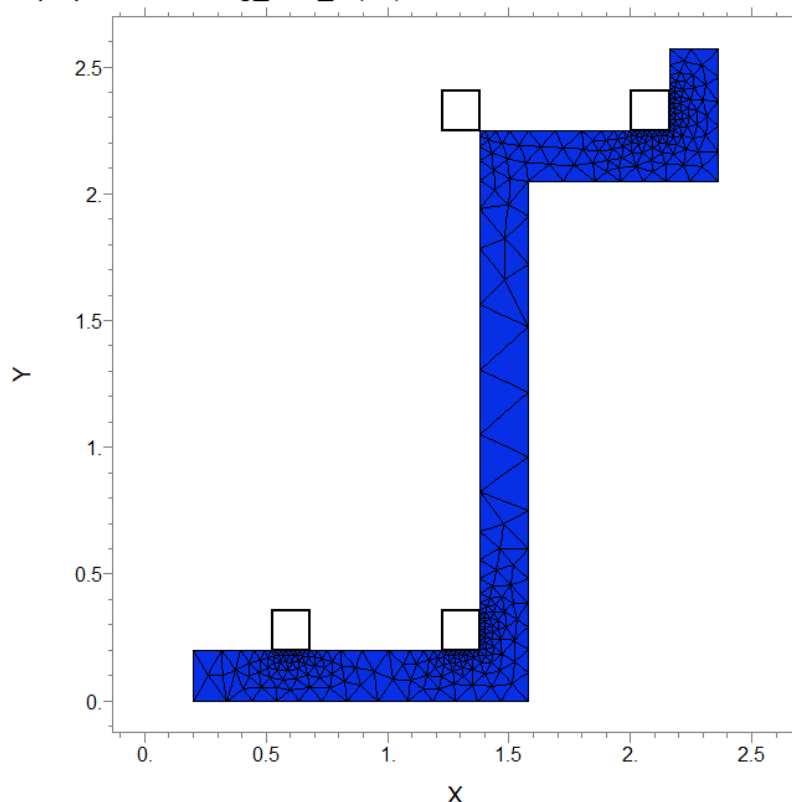
В результате выполненных численных расчетов в пакете FlexPDE было получено двумерное поле температур (рис. 9) в сечении выбранного расчетного фрагмента (рис. 8). По рассчитанному полю тепловых потоков было определено термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче выбранного фрагмента:

$R_k = 4.719317 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ - приведенное термическое сопротивление всего расчетного фрагмента;

$R_o = 4.877738 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ - приведенное сопротивление теплопередаче всего расчетного фрагмента.

Требуемое (нормируемое) сопротивление теплопередаче стен для административных зданий в климатических условиях г. Томска составляет $3,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Теплоperedacha frag_sten_1 (2d) Variant1



frag_sten_1_V1: Grid#1 P2 Nodes=1852 Cells=785 RMS Err= 0.0167

Рис. 8. Схема расчетного фрагмента, на которой показана конечно-элементная сетка

Fig. 8. Schematic of a computational fragment showing a finite element mesh

Расчетом установлено, что температура на внутренней поверхности глади стены (в том числе и при контакте с колоннами) составляет $17 \div 19^\circ\text{C}$ (рис. 9, рис. 10–12), а перепад относительно температуры внутреннего воздуха 20°C , соответственно, $3 \div 1^\circ\text{C}$.

Расчетный температурный перепад Δt_0 , °C, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормируемой величины для стен $\Delta t_n = 4$ °C, согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Температура во внутренних углах (рис. 13, рис. 14) составляет 17 °C. Это выше температуры точки росы при влажности внутреннего воздуха в помещении 55% – 10,7 °C.

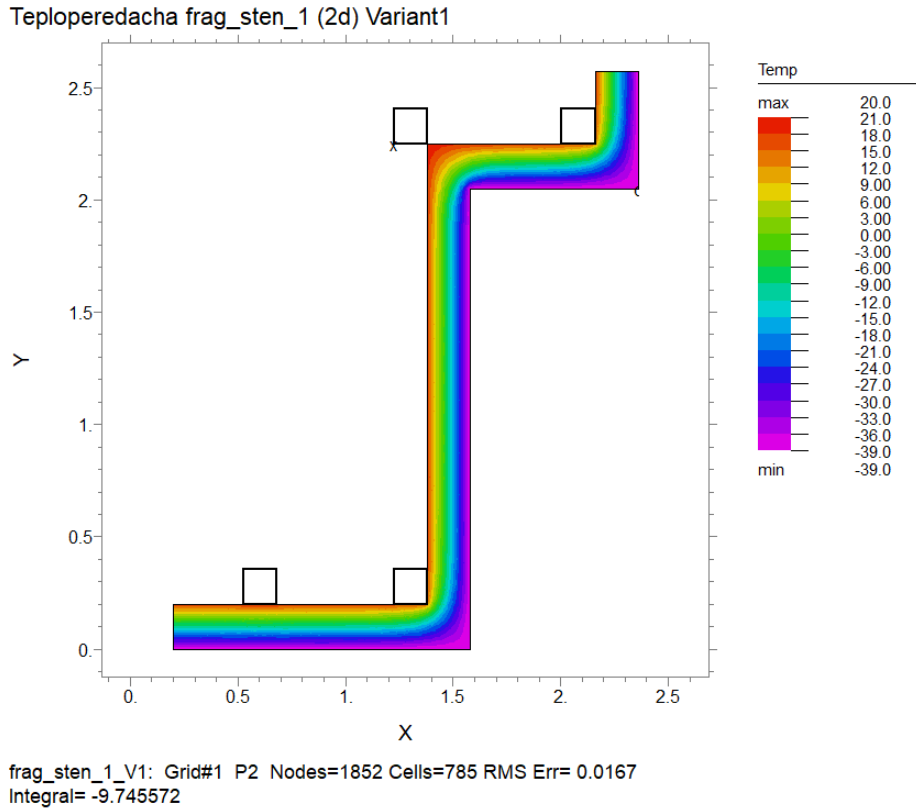


Рис. 9. Распределение температур в расчетном фрагменте
Fig. 9. Temperature Distribution in the Computational Fragment

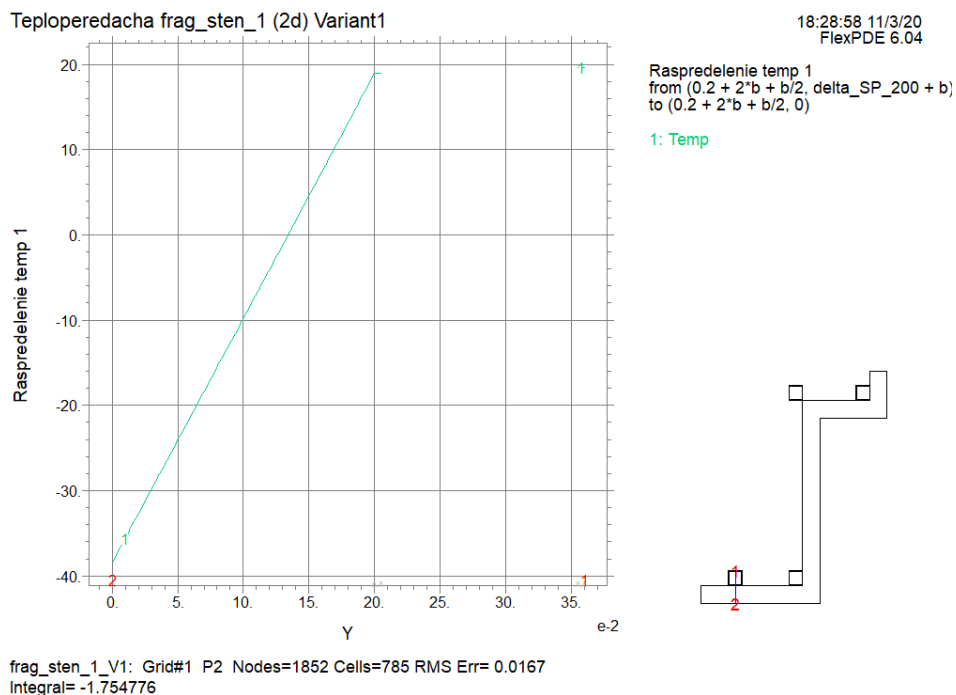


Рис. 10. Распределение температуры по толщине сэндвич панели и колонны 1
Fig. 10. Temperature Distribution by Thickness of Sandwich Panel and Column 1

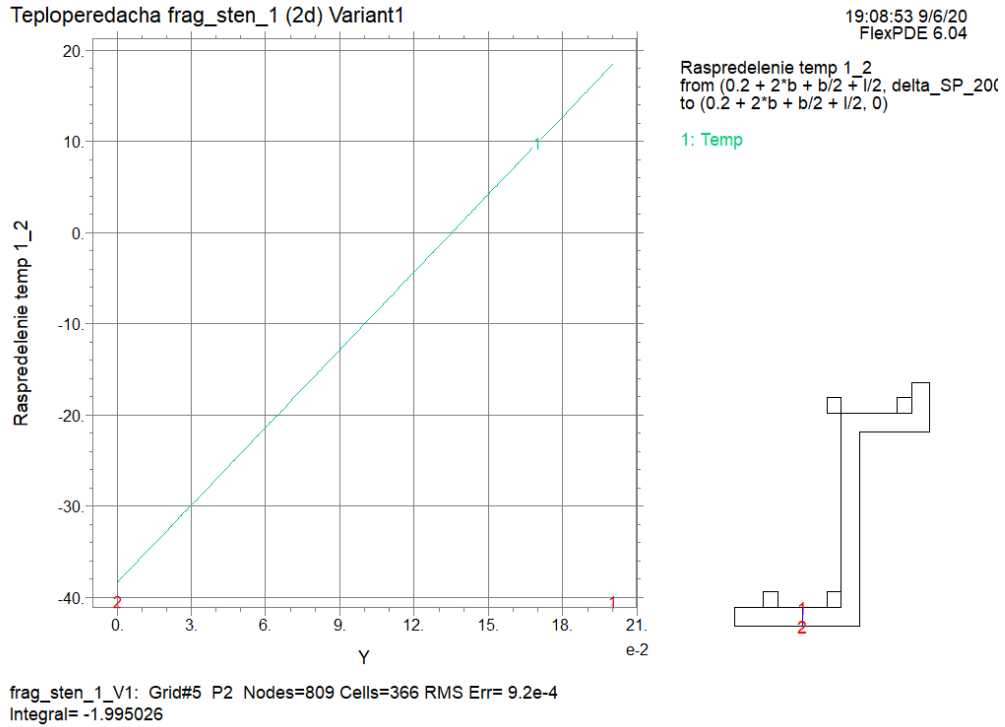


Рис. 11. Распределение температуры по толщине сэндвич панели в поперечном сечении между колонной 1 и колонной 2

Fig. 11. Temperature Distribution by Thickness of Sandwich Panel in Cross-Section between Column 1 and Column 2

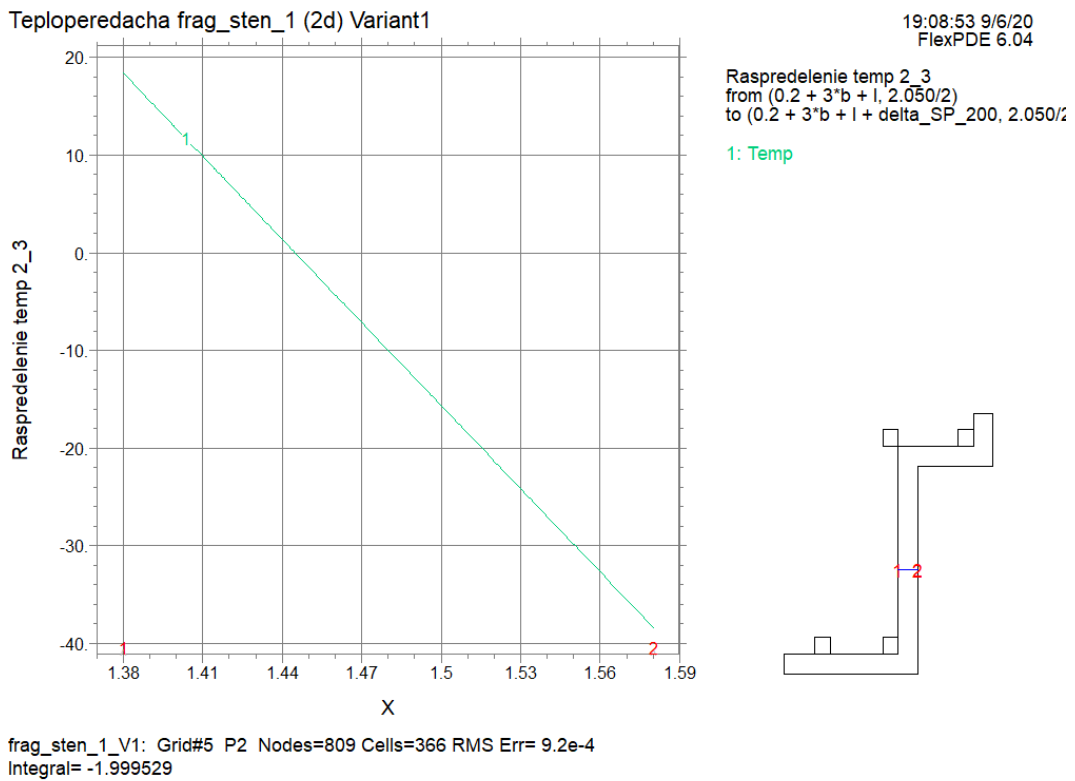


Рис. 12. Распределение температуры по толщине сэндвич панели в поперечном сечении между колонной 2 и колонной 3

Fig. 12. Temperature Distribution by Thickness of Sandwich Panel in Cross-Section between Column 2 and Column 3

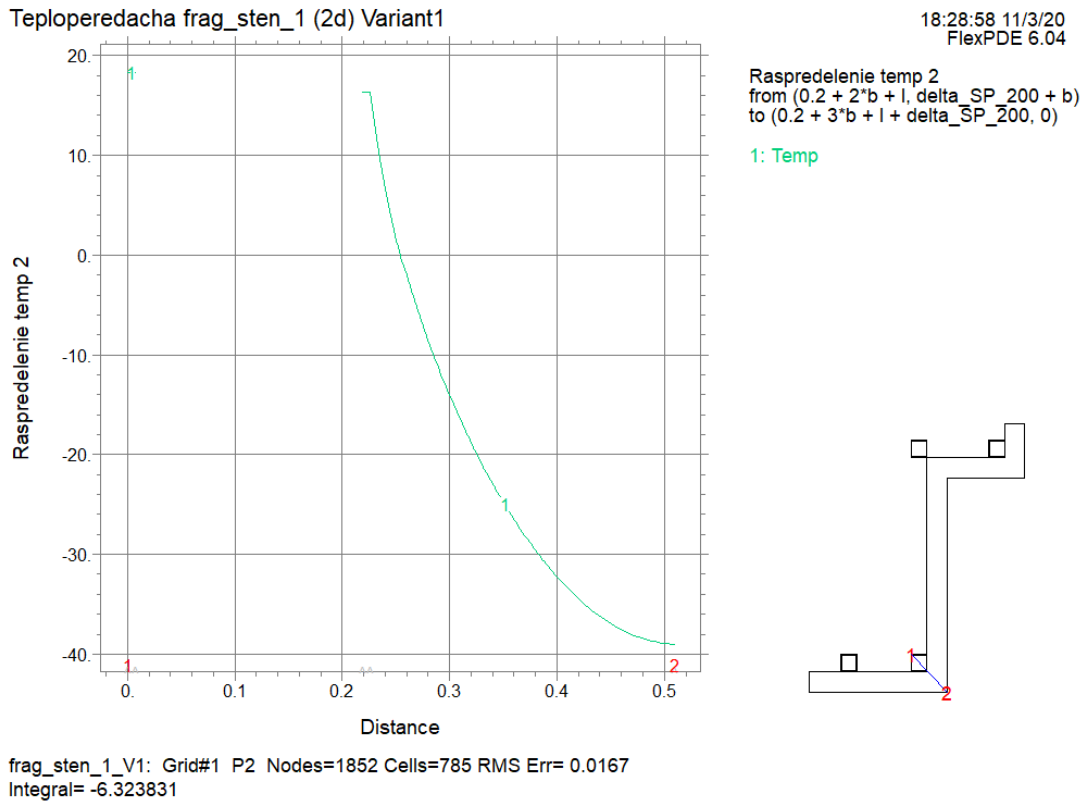


Рис. 13. Распределение температуры в углу 1 в сэндвич панели и в колонне 2
Fig. 13. Temperature Distribution in Corner 1 in Sandwich Panel and in Column 2

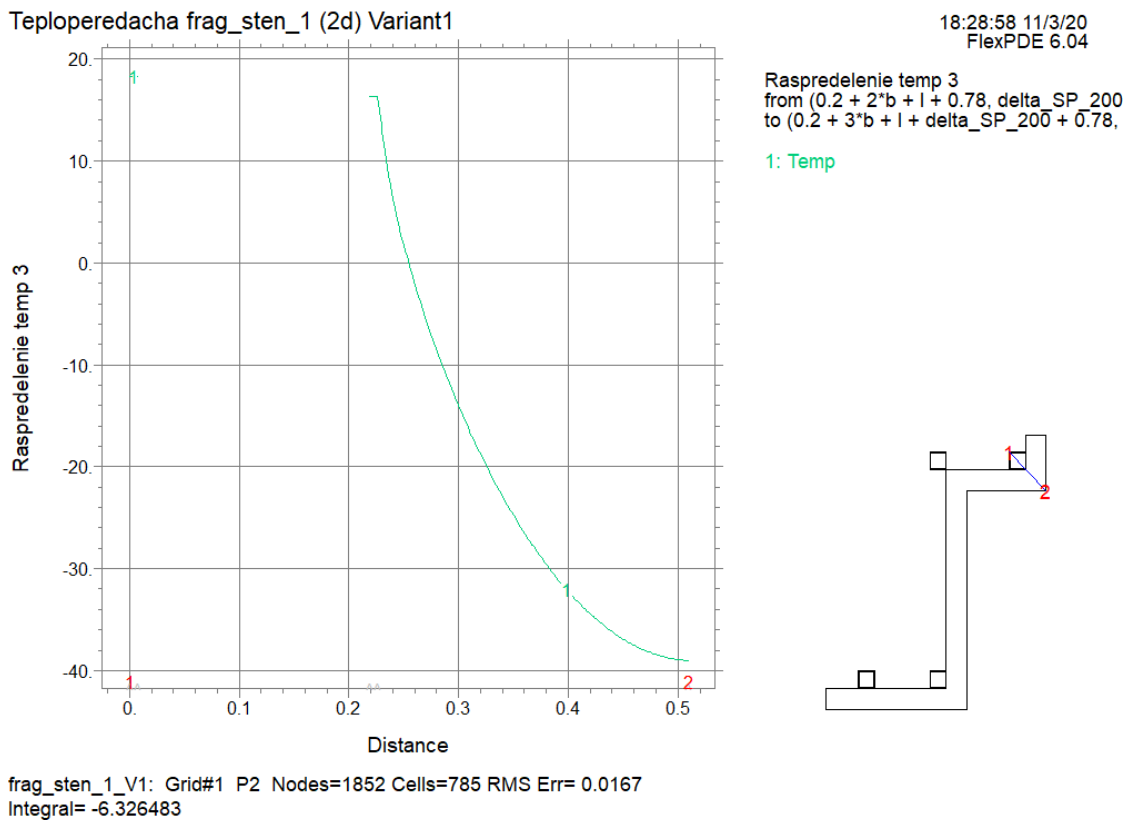


Рис. 14. Распределение температуры в углу 2 в сэндвич панели и в колонне 4
Fig. 14. Temperature Distribution in Corner 2 in Sandwich Panel and in Column 4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных расчетов установлено: Конструкция покрытия в целом (без учета неоднородностей) при толщине слоя утеплителя ТЕХНОРУФ Н 50 мм и использовании 2 слоев утеплителя XPS Carbon толщиной 50 мм с ТЕХНОРУФ Н КЛИН (1,7%) соответствует требованиям к теплозащите административных зданий СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Теплозащитные свойства наружной стены, выполненной из сэндвич панелей толщиной 200 мм соответствуют требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» как по сопротивлению теплопередаче, так и в части требуемого температурного перепада между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции. Конструкция стен соответствует требованиям, направленным на предотвращение конденсации влаги.

Для обеспечения нормативного температурного режима на внутренних поверхностях отапливаемого помещения входного блока административного здания, необходимо покрыть все металлические части балок (двутавров) (расположенные внутри помещения), проходящие вдоль наружной стены слоем тепло-изоляции - закрыто-ячеистым ППУ толщиной 10 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гражданкин А.А., Иванченко В.Т., Письменский А.В. Математическое моделирование теплопередачи через ограждающую конструкцию // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 6. С. 29-39. EDN: XHPBAW.
2. Manzan M., De Zorzi E.Z., Lorenzi W. Numerical simulation and sensitivity analysis of a steel framed internal insulation system // Energy and Buildings. 2018. Vol.158. Pp. 1703-1710. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.11.069
3. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Диаграммный метод описания процесса нестационарной теплопередачи // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8(60). С. 68-82. DOI 10.5862/MCE.60.8. EDN VBPWFZ.
4. Прусенков Н.А. Предпосылки использования влияния теплообмена на потерю тепловым потоком, пересекающим ограждение // Холодильная техника и технология. 2017. Т. 53, № 3. С. 29-33. EDN ZWNHYX.
5. Юрченко А.И., Щукина Т.В., Кузнецова Л.В. Влияние воздухопроницаемости наружных ограждений на энергосберегающую эксплуатацию зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 5. С. 79-83. EDN XQZTDF.
6. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The Elementary Mathematical Model of Sustainable Enclosing Structure // Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 8(68). P. 86-91. DOI 10.5862/MCE.68.9. EDN YMDLBD.
7. Толстых А.В., Дорошенко Ю. Н. Экспериментальный способ определения фактической энергоэффективности жилого здания // Актуальные проблемы современности. 2016. № 2(12). С. 210-218. EDN YRWVLJ.
8. Дорошенко Ю.Н., Толстых А.В., Пенявский В. В. Оценка минимально возможной толщины стены каркасного здания для обеспечения эффективной теплозащиты // Евразийское Научное Объединение. 2017. Т. 1, № 6(28). С. 34-38. EDN YZBBWB.
9. Иванова Е. А., Козлобродов А. Н. Численное исследование влияния угла разворота на теплоперенос в многослойных элементах наружных ограждающих конструкций // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т. 6, № 4(24). С. 69-87. EDN: SCDXXL.
10. Рубашкина Т. И. Нестационарный расчет тепловой защиты ограждающих конструкций зданий Рубашкина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 2(42). С. 188-195. EDN SKDVVV.

ОБ АВТОРАХ

Альвирт Альвиртович Абдулин – студент бакалавриата. Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ). 634003, Россия, Сибирский федеральный округ, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2. E-mail: alik.abduln.2000@mail.ru

Руслана Укеровна Якпунова – студент бакалавриата. Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ). 634003, Россия, Сибирский федеральный округ, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2. E-mail: ryakupnova@yandex.ru

Александр Витальевич Толстых – доцент кафедры «Теплогазоснабжения и инженерных систем в строительстве». Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ). 634003, Россия, Сибирский федеральный округ, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2. E-mail: sinvintie@rambler.ru

ABOUT THE AUTHORS

Alvirt A. Abdulin - Undergraduate student. Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB). 180161, Russia, Siberian Federal District, Tomsk Region, Tomsk, Solyanaya Square, 2. E-mail: alik.abdulin.2000@mail.ru

Ruslana U. Yakpunova - Undergraduate student. Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB). 180161, Russia, Siberian Federal District, Tomsk Region, Tomsk, Solyanaya Square, 2. E-mail: ryakpunova@yandex.ru

Alexandr V. Tolstykh – Associate Professor of the department “Heat and gas supply and engineering systems in construction”. Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB). 180161, Russia, Siberian Federal District, Tomsk Region, Tomsk, Solyanaya Square, 2. E-mail: sinvintie@rambler.ru

УДК 69.003

ГОСУДАРСТВО И ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ: МЕТОДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ф.А. Алексанян, И.С. Птухина

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Статья посвящена роли государства в инвестиционно-строительных проектах и исследованию эффективности государственного участия. Основным вопросом выступает необходимость дальнейших исследований в области оценки эффективности государственного участия, разработке методологий сравнения стратегий и изучения взаимодействия между государством, частным сектором и другими заинтересованными сторонами. Особое внимание обращается на значимость и влияние КРТ на экономику, социальную сферу и инфраструктуру регионов. Основное внимание уделяется вопросам управления и планирования развития территорий, а также включению заинтересованных сторон, включая частных инвесторов, в процесс принятия решений по функциональному назначению объектов недвижимости так и по строительным объемам. Это является необходимостью участия и взаимодействия частных инвесторов в процессе разработки и реализации проектов КРТ. Рекомендуется, чтобы государство самостоятельно разрабатывало концепцию проекта и проводило комплексные исследования, включая анализ финансовой и социальной эффективности инвестиционно-строительного проекта. Предложенный метод имеет практическую значимость для разработки эффективного механизма комплексного развития городских территорий, учета интересов всех участников и обеспечения сбалансированного развития экономики и инфраструктуры.

Ключевые слова: инвестиционно-строительные проекты, комплексное развитие территорий, государственно-частное партнерство, формы концессионных соглашений, стратегический консалтинг, концепция проекта.

Ссылка для цитирования: Алексанян Ф.А., Птухина И.С. Государство и инвестиционно-строительные проекты: методы взаимодействия для увеличения эффективности // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 44-51. EDN: VXUAKU.

THE STATE AND INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS: METHODS OF INTERACTION TO INCREASE EFFICIENCY

F.A. Aleksanyan, I.S. Ptukhina

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Article focuses on the role of the state in investment and construction projects, as well as the evaluation of the effectiveness of state participation. The main issue is the need for further research in assessing the effectiveness of state participation, developing methodologies for comparing strategies, and studying the interaction between the government, private sector, and other stakeholders. Particular attention is paid to the significance and impact of the CRT on the economy, social sphere and infrastructure of the regions. The main attention is paid to the issues of management and planning of territorial development, as well as the inclusion of interested parties, including private investors, in the decision-making process on the functional purpose of real estate objects and on construction volumes. This is the need for the participation and interaction of private investors in the process of development and implementation of CRT projects. It is recommended that the state independently develop the concept of the project and conduct comprehensive studies, including analysis of the financial and social efficiency of the investment and construction project. The proposed methodology has practical significance in developing an efficient mechanism for comprehensive urban territorial development, considering the interests of all participants and ensuring balanced economic and infrastructural development.

Keywords: investment and construction projects, integrated development of territories, public-private partnership, forms of concession agreements, strategic consulting, project concept.

For citation: Aleksanyan F.A., Ptukhina I.S. The state and investment and construction projects: methods of interaction to increase efficiency // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 44-51. EDN: VXUAKU.

ВВЕДЕНИЕ

Строительный комплекс является одной из важнейших отраслей народного хозяйства, определяющей решение множества социальных, экономических и технических проблем, связанных с развитием территорий. Строительство, как один из реальных секторов экономики, направлено на создание и активное обновление основных фондов, необходимых для развития общественного воспроизводства и решения социальных вопросов. Участие государства в инвестиционно-строительных проектах играет ключевую роль в обеспечении их эффективности и успешной реализации. Государство, выступая в качестве важнейшего участника, способно существенно влиять на проекты, предоставляя финансирование, осуществляя регулирование, обеспечивая инфраструктуру и другие необходимые ресурсы. Стратегическая роль строительного комплекса в развитии экономики региона реализуется через комплекс инвестиционно-строительной деятельности на региональном и федеральном уровнях.

Государственное участие в инвестиционно-строительных проектах имеет долгую историю и широкие перспективы развития. Проблема интеграции государства в рыночную экономику привлекала внимание многих ученых и исследователей. Существует множество работ, посвященных анализу и оценке эффективности участия государства в инвестиционно-строительных проектах. Однако, несмотря на значительную разработанность темы, она остается объектом дальнейших исследований и обсуждений. Существует потребность в глубоком понимании эффективности государственного участия, разработке методологий оценки и сравнения различных стратегий, а также изучении взаимодействия между государством, частным сектором и другими заинтересованными сторонами. Важным вкладом в тему исследования являются работы Джона Кейнса, который анализировал роль государства в управлении экономикой и предлагал рекомендации по улучшению экономической модели. Отечественные ученые, такие как С. С. Алексеев, В. Н. Кузнецов, Д. С. Львов и другие, проводили исследования в области теории прав собственности и концепции государственно-частного партнерства, что является важной основой для построения эффективного механизма комплексного развития городских территорий [1-10].

РОЛЬ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ И ИНФРАСТРУКТУРЫ И ФОРМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается роль инвестиционно-строительных проектов в развитии экономики и инфраструктуры, а также их влияние на социальное благосостояние и конкурентоспособность. Развитие жилищного строительства, социальной инфраструктуры и других объектов обеспечивает улучшение условий жизни и доступность социальных услуг. Кроме того, инвестиции в развитие туристической инфраструктуры способствуют развитию туризма и привлечению иностранных посетителей, что влияет на экономическую деятельность региона и создает новые рабочие места.

Ранее известная форма взаимодействия - Государственно-частное партнерство (ГЧП) представляет собой эффективную систему сотрудничества между государством и частными компаниями для реализации проектов общественного значения. Оно особенно активно развивается в секторах общественных услуг и инфраструктурных отраслях.

ГЧП играет важную роль в содействии развитию экономики, улучшении инфраструктуры, стимулировании регионального развития и привлечении инвестиций.

В строительстве существуют различные формы концессий, которые могут быть заключены между государством и частными лицами. Концессионные соглашения: форма партнерства, в которой государство предоставляет частному лицу право на эксплуатацию и управление определенным объектом или услугой на определенный срок. Частное лицо взамен обязуется предоставить инвестиции и осуществлять деятельность в соответствии с условиями соглашения. Далее перечислены стандартные формы взаимодействия:

1. BOT (Build-Operate-Transfer): форма концессии, при которой частное лицо строит, эксплуатирует и затем передает объект владению государства. Частное лицо отвечает за финансирование, строительство, управление и обслуживание объекта в течение определенного срока.

2. BTO (Build-Transfer-Operate): форма концессии, где частное лицо строит объект, затем передает его владение государству, а само лицо получает право на его эксплуатацию и управление на определенный срок. Частное лицо отвечает за финансирование и строительство объекта, а затем получает доходы от его эксплуатации.

3. BOT (Build-Own-Transfer): форма концессии, при которой частное лицо строит, владеет и эксплуатирует объект в течение определенного срока, а затем передает его владение государству. Частное лицо финансирует и строит объект, а также получает доходы от его эксплуатации в течение согласованного периода.

Исследования, проведенные Вьюновым С.С., Песоцкой Е.В. и Локтем Д.И., посвящены проблемам управления стоимостью и рисками в инвестиционно-строительных проектах в рамках ГЧП [2, 3, 6]. В работах предлагается использовать взаимоотношения в формах сервисного договора, аренды с обременением и различные формы концессий. Эти модели позволяют снизить финансовые риски, получить доходы от эксплуатации и передать частной стороне права на выполнение определенных функций. Таким образом, государство получает необходимые инвестиции, а инвестор получает прибыль от управления проектами. Исследования показывают на необходимость разработки эффективных механизмов возврата средств, что способствует повышению эффективности инвестиционных проектов в сфере инфраструктуры. Эти выводы имеют важное значение для разработки стратегий развития и планирования в области ГЧП, а также для привлечения частных инвестиций в развитие инфраструктуры и обеспечения устойчивого экономического развития.

В рамках ГЧП было множество проектов, но два наиболее известных за последние десятилетие – это Олимпийские игры в г. Сочи и строительство трассы М-11 «Нева» [5]. Безусловно, Олимпийские игры значимый проект в рамках ГЧП, т. к. он оказал значительное влияние на развитие города. В связи со значимостью проекта, большая часть инвестиций была из государственного бюджета (рис.1).



Рис. 1. Источники финансирования
Fig. 1. Sources of financing

Олимпийские игры в Сочи оказали огромное влияние на развитие города и его ближайших территорий, тем самым привлекая экономический рост, туризм и инвестиции. Подготовка и проведение игр требовали больших вложений в различные отрасли экономики, стимулируя рост объемов производства и предложения товаров и услуг, что вследствие привело к созданию новых рабочих мест и возможностей для бизнеса. Большое спортивное событие способствовало развитию туризма и притоку инвестиций. В результате развития гостиничного, ресторанного и развлекательного сервиса, регион получил дополнительные возможности для экономического роста и повысил имидж города. Сочи стал ассоциироваться с великим событием и привлекательным местом для посещения. Многие объекты Олимпиады были сохранены и используются после игр, включая спортивные сооружения, отели и инфраструктуру, продолжая приносить пользу и использоваться для развития спорта, туризма и других сфер. Также стоит отметить, что кроме спортивных проектов строительство включало социальные и инфраструктурные проекты, такие как школы, больницы, дороги, что улучшило условия жизни местного населения и создало дополнительные социальные возможности.

Вторым крупным проектом в рамках ГЧП стало строительство трассы М-11 «Нева» между Москвой и Санкт-Петербургом. Основной задачей проекта стояло улучшение перемещение между двумя городами. Проект включал в себя строительство современной автомобильной трассы длиной более 650 километров, а также развитие соответствующей инфраструктуры, включая пункты обслуживания, мосты, туннели и другие объекты. Инвестиционная привлекательность проекта позволило привлечь около 28,8% частных инвестиций в себестоимость строительства (рис.2).

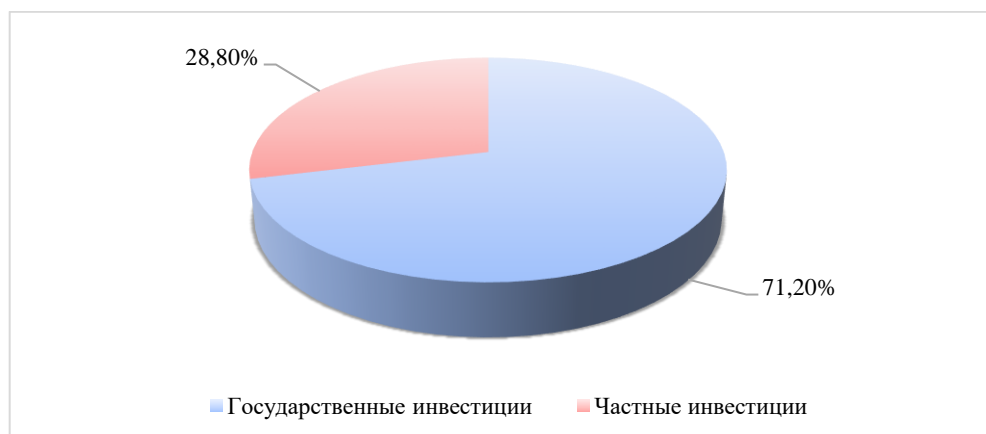


Рис. 2. Себестоимость строительства «Нева»
Fig. 2. Cost of construction of «Neva»

Кроме финансов, участие частных инвесторов позволило привлечь ресурсы и опыт, что поспособствовало успешной реализации в кратчайшие сроки. Ориентировочная стоимость строительства трассы М-11 – 530 миллиардов рублей. Привлечение частных средств позволило сократить свои финансовые затраты и риски, а частным инвесторам заработать на реализации и строительстве инфраструктурного проекта.

В связи с задачами, поставленными от федеральных органов и лично от президента в сфере строительства и улучшения состояния страны, было введено известное в мировой практике понятие «комплексное развитие территорий». Сложность взаимоотношений в рамках ГЧП не позволяла достигать целей в поставленные сроки, поэтому был выбран стратегический метод по развитию территорий. КРТ представляет собой комплекс мероприятий, направленных на улучшение условий проживания, обновление среды и мест общего пользования, а также развития инфраструктуры. Оно осуществляется с учетом утвержденной документации по планировке территории и включает создание новых объектов, а также развитие сопутствующей инфраструктуры. Комплексное развитие территорий направлено на общее благо и улучшение качества жизни, таких как обеспечение доступности социальных услуг и стимулирование экономического роста.

Механизм комплексного развития территорий состоит из несколько этапов - сначала определяются границы проекта, то есть территория, на которой будет осуществляться развитие; затем определяется функциональное значение и площадь объектов, которые будут развиваться на данной территории. Основная проблема, что юридическая часть и концепция реализации проекта остаются в последнюю очередь, что в свою очередь приводит трудностям, которые приходится преодолевать с помощью административных ресурсов.

Юридические проблемы возникают, когда земельные участки правообладателей попадают в границы «комплексного развития территорий» и им предлагается участие в рамках концессий, а в случае отказа выкуп земли по кадастровой стоимости. Оценка по кадастровой стоимости земли абсолютно не отражает реальную рыночную стоимость земли, ведь не учитываются такие факторы, как доходность от земли и бизнеса, находящегося на этой земле, функционал планируемого объекта недвижимости, ведь в рыночных условиях земли под жилые объекты стоят значительно дороже и т.д.

Отсутствие вовлечения правообладателей и будущего застройщика приводят к тому, что функционал объектов недвижимости и их площадь не позволяют точно посчитать инвестиционную привлекательность проекта. Например, в рамках комплексного развития территория «Объединенной авиастроительной корпорации» изначально включало в себя общественно-деловое пространство с производством, но в рамках слушаний и дискуссий было изменено на жилую недвижимость. Любой девелопер на прединвестиционном этапе рассчитывает финансовую модель инвестиционно-строительного проекта, проводит анализ ограничений, изучает потребности места, проводит маркетинговые исследования, чтобы получить полное представление о необходимости строительства конкретного объекта недвижимости с точными параметрами доходов и расходов. Но в связи с тем, что девелопер – это частная организация, которая делает акцент на прибыльности проекта необходимо перед запуском КРТ вовлечение правообладателей, государственных органов и местного населения. И в данном составе государство уверенно сможет балансировать в рамках интересов разных заинтересованных лиц.

В связи с этим для успешной реализации КРТ необходимо проведение анализа потребностей и ресурсов территории, разработка долгосрочных стратегий и планов, а также активное взаимодействие с заинтересованными сторонами, включая частных партнеров. Важно учесть множество факторов, включая социально-экономические особенности, экологические аспекты и потенциал развития территории.

Предлагаемый механизм представляет из себя предпроектный государственный стратегический консалтинг, как новый метод повышения эффективности инвестиционно-строительных проектов. Предложенная методология оценки результативности ИСП, включает анализ территории, рынка, потребностей, государственных целей и инженерной инфраструктуры. Эти методы позволяют определить эффективность и успешность проектов, а также принять обоснованные решения на основе аналитических данных.

Данный механизм на первоначальном этапе включает в себя анализ территории, анализ потребностей или маркетинговый анализ, учет государственных целей и расчет финансовой модели.

Анализ территории включает анализ земельно-имущественных отношений и обеспеченности инженерной и транспортной инфраструктуры. При анализе земельно-имущественных отношений изучаются правовой и организационный статус земельных участков, а также владение, использование и распоряжение недвижимым имуществом. Это позволяет определить функциональное назначение земель и оценить их стоимость при необходимости выкупа или аренды. Немаловажным пунктом внутри анализа территорий является анализ инженерной и транспортной инфраструктуры. Он включает в себя изучение наличия и состояния систем электроснабжения, водоснабжения, теплоснабжения и иных магистральных сетей, а также транспортных систем. Полученная информация по анализу инженерной и транспортной инфраструктуры помогает определить необходимые инвестиции. Также стоит понимать планировочные ограничения природного и техногенного характера. Они учитываются для обеспечения устойчивого развития, безопасности и сохранения природных ресурсов, включая в себя зоны охраны природы, риски природных явлений, санитарные зоны и иные ограничения для строительства. Анализ этих ограничений позволяет определить функциональность, высотности и проекта с учетом безопасности и сохранения природы.

На основании анализа территорий уже можно иметь предварительную концепцию реализации проекта, но для окончательного решения по функциональности и площади необходимо провести анализ рынка, потребности или как обычно это называется – маркетинговый анализ. Анализ рынка – это процесс изучения и оценки рыночной ситуации. Обычно он подразделяется на исследование спроса и предложения, что поможет понять эффект от строительства, заранее изучив потребности и целевую аудиторию. На основании ретроспективных данных можно понять какие были цены на каждый сегмент недвижимости, в том числе учитывается сложившейся рынок на соседних территориях и оценить уровень конкуренции. Исследование конкуренции — это процесс изучения и анализа конкурентной среды, включая другие компании или организации, работающие на рынке или в отрасли. В рамках анализа потребности изучаются требования целевой аудитории, необходимые услуги. Учитываются исторические проблемы территории, такие как нехватка рабочих мест, рекреационные услуги, социальная инфраструктура и иные потребности. Результаты анализа потребности помогают разработчикам принимать решения и находить ответы на требования, которые в том числе будут релевантны и востребованы на рынке.

Первоначальная задача комплексного развития территорий это - государственные цели, которые формулируются в указах президента РФ, а также местных и федеральных органов в рамках социальной политики. Они охватывают экономические показатели, здравоохранение, образование, спорт и жилищные условия. Экономические показатели необходимы для устойчивого экономического роста, повышение инвестиций и увеличения реальных доходов населения. В социальной сфере здравоохранении строятся медицинские учреждения для обеспечения доступности и качественного здравоохранения, в образовании строятся школы, детские сады и другие учреждения для обеспечения доступности и качественного образования, в спорте строятся спортивные объекты и развивается инфраструктура для поддержки здорового образа жизни и развития спорта, соответственно в жилищной сфере обеспечивается доступное и качественное жилье для населения. При разработке проекта важно учитывать все эти факторы, как основополагающие, так как они влияют на общее развитие страны

И наконец на финальном этапе формируется финансовая модель, которая включает в себя расходную и доходную часть.

В качестве примера будет взят абстрактный проект, который включает в себя участок площадью 48,2 Га в Московской области, находящийся в частной собственности, но не используемый в

коммерческих целях. Маркетинговый анализ показал необходимость строительства жилой недвижимости комфорт класса, школ и детских садов.

Для разработки финансовой модели установлено ограничение времени не более 5 лет или возможно разделение на этапы, чтобы обеспечить среднесрочную прибыльность проекта. Это допущение позволяет эффективно планировать и оценивать финансовые аспекты проекта (табл.1).

Таблица 1. Расчет стоимости покупки земельного участка

Table 1. Calculation of the cost of land

№	Земля	Площадь, м ²	Цена выкупа, Р / м ²	Цена выкупа, Р
1	X	482 031	6 500	3 133 201 500

Последующим этапом следует определить технико-экономические показатели проекта (табл.2).

Таблица 2. Техничко-экономические показатели проекта

Table 2. Project technical and economic indicators

№	Параметр	Значение
1	Площадь участка, м ²	482 031
2	Площадь участка, га	48,2
3	Плотность застройки, м ² квартир / 1 га	9000
4	Общая площадь жилых зданий, м ²	619 754
5	Продаваемая площадь жилья (площадь квартир), м ²	433 828
6	Площадь коммерческих помещений, м ²	21 691
7	Средняя площадь квартиры, м ²	47,5
8	Количество квартир	9 133
9	Количество жителей	19 719
10	Количество мест в школах	2 869
11	Количество мест в детских садах	1 986
12	Площадь территории под парковку и дорожную сеть, м ²	86 766
13	Площадь территории под благоустройство и озеленение, м ²	110 626

При формировании модели учитывается составляющая расходов проекта (табл.3).

Таблица 3. Расходная часть проекта

Table 3. Costs of the project

№	Параметр	Единица измерения	Р за ед., с НДС	Инвестиции, Р с НДС
1	Приобретение прав на участок	млн. Р / га	65	3 133 201 500
2	ПИР, проектирование	Р / м ² GBA	3000	1 859 262 429
3	СМР	Р / м ² GBA	33000	20 451 886 714
4	Присоединение инженерных мощностей и лимиты	15 % от СМР		3 067 783 007
5	Наземная парковка, благоустройство	Р / м ² территории	5000	986 958 473
6	Управление проектом, служба заказчика	5 % от бюджета		1 318 294 531
7	Непредвиденные расходы	3 % от бюджета		830 525 555
№	Параметр	Единица измерения	Р за ед., с НДС	Инвестиции, Р с НДС
8	Строительство школ	Р / место	1 200 000	3 443 015 970
9	Строительство детских садов	Р / место	1 400 000	830 525 555
10	ИТОГО суммарные инвестиции	Р		37 870 976 239

В процессе также проводится расчет доходной составляющей проекта (табл.4).

Таблица 4. Доходная часть проекта
Table 4. Revenues of the project

№	Параметр	Значение
1	Базовая цена продажи квартир (1-я очередь), Р / м ²	110 000
2	Средняя цена продажи квартир и комм. помещений, Р / м ²	132 000
3	Средний темп продаж квартир, шт. в год	652

В заключение, требуется проанализировать финансовые результаты проекта (табл.5).

Таблица 5. Финансовые результаты проекта
Table 5. Financial results of the project

№	Параметр	Значение
1	Приобретение прав на Объект, млн. Р / га	3 133,2
2	Чистый денежный поток, млн. Р	15 501,7
3	NPV, млн. Р	2 775,6
4	IRR, %	24,9%
5	Срок окупаемости, лет с начала проектирования	5,0
6	Инвестиционная фаза, лет	14

Финансовая модель показывает результаты финансовой и социальной эффективности. Наиболее значимым показателем эффективности проекта является чистая приведенная стоимость (NPV, Net Present Value), которая представляет собой сумму дисконтированных денежных потоков за определенный расчетный период.

Net Present Value (NPV) отражают разницу между общими доходами или денежными поступлениями и общими затратами проекта в разные периоды, с учетом дисконтирования (коэффициент дисконта используется в рамках допущений). Для того чтобы проект считался эффективным с точки зрения, NPV должен быть положительным. Вторым важным показателем при оценке инвестиционного проекта является внутренняя норма доходности (IRR, Internal Rate of Return), которая оценивает доходность проекта. В данном проекте NPV является положительным, что свидетельствует о привлекательности проекта для инвестиций, а IRR составляет 24.9%, что свидетельствует о высокой эффективности проекта.

Стандартно застройщики или частные компании не оценивают социальную эффективность, так как в финансовой модели это не является обязательным показателем, но в рамках КРТ, государству важно понимать результаты проекта. Одним из самых важных социальных показателей является улучшение качества жизни. В рамках проекта были созданы детские сады и школы, что способствовало доступности образования для местного населения и повышению уровня образовательных услуг. В дальнейшем это приводит к увеличению уровня грамотности и развитию человеческого капитала в обществе. Наличие коммерческих помещений и социальных учреждений способствует увеличению количества рабочих мест. Развитие предпринимательства и малого бизнеса что влияет на уровень занятости. что в свою очередь стимулирует экономический рост и увеличение доходов граждан.

В результате реализации проекта были достигнуты социальные эффекты: строительство школ и детских садов, по грубым подсчетам количество рабочих мест будет не менее 992 со средней зарплатой 60 000 рублей в Московской области. Наличие коммерческих помещений способствует повышению привлекательности для бизнеса и развитию малого предпринимательства, что в свою очередь приводит к увеличению налоговых поступлений для государства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Государственное участие в инвестиционно-строительных проектах играет важную роль в развитии экономики и улучшении условий жизни. Государственно-частное партнерство является эффективным инструментом для реализации инвестиционно-строительных проектов, поскольку позволяет соединить ресурсы и экспертизу государства и частного сектора для достижения общих целей развития. Однако в форме партнерства между государством и частными инвесторами есть множество проблем, которые можно решить только при условии слаженных механизмов взаимодействия, контроля и прозрачности. Для достижения наилучших результатов необходимо обеспечить эффективное взаимодействие между государством и частными инвесторами, учитывая их интересы и соблюдая прозрачность и

справедливость. Предлагаемый метод стратегического консалтинга, выполняемый государственными органами, перед запуском аукциона на реализацию в рамках комплексного развития территорий поможет эффективно реализовать инвестиционно-строительный проект. Вовлечение заинтересованных лиц, проведение анализа территории, маркетингового анализа и построения финансовой модели с учетом государственных целей позволит удовлетворить все стороны.

Апробация методологии по реализации абстрактного проекта продемонстрировала положительные эффекты, как финансовые, так и социальные. Финансовая модель проекта показала положительные эффекты в плане чистой приведенной стоимости (NPV) и внутренней нормы доходности (IRR), а также, рассмотренный инвестиционный проект имел значительные социальные результаты, в том числе улучшение качества жизни, создание рабочих мест и развитие предпринимательства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажих И.А., Аркадьев А. А. Проектное финансирование в инвестиционной сфере // Проблемы современной экономики. 2012. № 2(42). С. 197-202. EDN PDIETF.
2. Бузулуцкий М. И. Проблемы развития региональных рынков строящейся жилой недвижимости в рамках новой схемы проектного финансирования // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 250-252. EDN OLRRIG.
3. Вьюнов С. С. Управление стоимостью инвестиционно-строительного проекта в условиях государственно-частного партнерства: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям...)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук, 2019. 182 с. EDN EUXXGS.
4. Гилемханов Р.А., Брайла Н.В. Методы оценки финансово-экономической эффективности инвестиционно-строительных проектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10(49). С. 7-19. DOI 10.18720/CUBS.49.1. EDN YGHSIV.
5. Егорова Ю.А., Смородинова Н.И. Финансирование олимпиады в Сочи 2014 // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. Т. 2, № 10. С. 171-172. EDN SZLNJD.
6. Локоть Д.И. Формирование механизмов управления рисками инвестиционно-строительных проектов: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям...)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук, 2014. 171 с. EDN OHZDNA.
7. Царев В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций. СПб.: Питер, 2004. 460 с.
8. Petrova, E., Pauwels, P., Svidt, K., Jensen, R.L. Towards data-driven sustainable design: decision support based on knowledge discovery in disparate building data // Architectural Engineering and Design Management. 2019. Vol.15. No.5. Pp. 334-356. DOI: 10.1080/17452007.2018.1530092
9. Marzouk, M., Azab, S., Metawie, M. BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 188. Pp. 217-226.
10. McArthur J., Sun X. Disrupting the Status Quo with Early-Stage BIM-Based Energy Modeling // Technology Architecture and Design. 2017. P. 231–239. DOI: 10.1080/24751448.2017.1354625

ОБ АВТОРАХ

Фрунзе Артурович Алексанян – магистр. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: Aleksanyan.fa@edu.spbstu.ru.

Ирина Станиславовна Птухина - к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: ptuhina_is@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Frunze A. Aleksanyan – Master’s degree student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: Aleksanyan.fa@edu.spbstu.ru.

Irina S. Ptuhina - Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: ptuhina_is@spbstu.ru