


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно – строительный институт  
институт  
Проектирования зданий и экспертизы недвижимости  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
подпись Р.А.Назирова  
инициалы, фамилия

26 » 06 2017 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Оптимизация наружных ограждающих конструкций для монолитного  
домостроения»

тема

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.04 - «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель




к.т.н., доцент  
каф. ПЗиЭН

Д.А.Михеев

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник



Д.Е.Гуреева

инициалы, фамилия

Рецензент




д-р тех. наук, проф.,  
зав.лаб. ЛУФМ

А.В.Прошкин

подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Нормоконтролер



Д.А.Михеев

инициалы, фамилия

Красноярск 2017



Студенту Гуреевой Дарье Евгеньевне

фамилия, имя, отчество

Группа СФ15-04м Направление (специальность) 08.04.01 Строительство  
номер код и наименование

Тема выпускной квалификационной работы: «Оптимизация наружных ограждающих конструкций для монолитного домостроения».

Утверждена приказом по университету №16445/с от 29.10.2015 г.

Руководитель ВКР Д.А.Михеев к.т.н., доцент каф. ПЗиЭН

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР:

нормативно-правовые документы по вопросам энергосбережения и энергоэффективности на территории РФ, строительно-техническая документация, учебники и справочники, журнальные статьи и научные доклады и отчеты, справочные данные сети Internet, материалы научно-исследовательской практики.

Перечень разделов ВКР:

- Введение;
- Глава 1. Основные вопросы в области монолитного домостроения;
- Глава 2. Анализ теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций в монолитных домах;
- Глава 3. Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №1 (плита перекрытия со стеной);
- Глава 4. Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №2 (плита перекрытия с балконным проемом);
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложения.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_   
подпись

Д.А.Михеев  
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_   
подпись

Д.Е.Гуреева  
инициалы и фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.



## Содержание

Введение.....	
1 Основные вопросы в области монолитного домостроения.....	
2. Анализ теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций в монолитных домах.....	
2.1 Описание объекта.....	
2.2 Проверка выполнения требований тепловой защиты здания и санитарно – гигиенических требований.....	
2.3 Выводы.....	
3 Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №1 (плита перекрытия со стеной).....	
4 Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №2 (плита перекрытия с балконным проемом).....	
Заключение.....	
Список используемых источников.....	
Приложения.....	

## **Введение**

С каждым годом энергосбережение становится все более актуальной темой. Ограниченность энергетических ресурсов, высокая стоимость энергии, негативное влияние на окружающую среду, связанное с ее производством, - все эти факторы невольно наводят на мысль, что разумней снижать потребление энергии, нежели постоянно увеличивать ее производство. Во всем мире уже давно ведется поиск путей уменьшения энергопотребления за счет его рационального использования. Несколько лет назад и в Российской Федерации началось формирование такого понятия, как энергосберегающая политика, основные положения которой сформулированы в “Энергетической стратегии России до 2030 года” [3]. Согласно данному документу: “Целью энергетической политики является максимально эффективное использование природных топливно-экономических ресурсов и потенциала энергетического сектора для роста экономики и повышения качества жизни населения страны”.

Так же об актуальности развития в направлении экономии энергетических ресурсов свидетельствует подписанный Президентом Российской Федерации Д. А. Медведевым Федеральный закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года [1].

В строительной сфере за последние годы стали все чаще применяться новые строительные материалы и, как следствие, появились новые конструктивные решения, призванные повысить теплотехнические показатели строительных сооружений. Однако, большинство решений, как показывает практика, остаются далеко не эффективными и зачастую ведут не к повышению, а к снижению уровня тепловой защиты зданий.

В энергетической стратегии [3] указывается, что на сегодняшний день жилищно-коммунальный сектор является одной из энергоемких отраслей, а существующий потенциал энергосбережения в данной сфере составляет около

25-27%. В этой связи особую роль приобретает разработка новых мероприятий, направленных на ужесточение требований к энергосбережению, совершенствованию правил учета и контроля энергопотребления и предельных энергопотерь.

В работе особое внимание уделено разработке и оценке конструктивных решений (узлов), позволяющих повысить уровень энергоэффективности зданий жилого назначения с соблюдением требований санитарной гигиены.

## 1 Основные вопросы в области монолитного домостроения

За последние годы на строительном рынке жилья стали появляться здания, возведенные монолитным способом. С каждым годом ввод их возрастает, однако наблюдаемые жалобы со стороны жильцов говорят о недоработке конструктивных узлов с точки зрения теплотехники и в частности санитарно-гигиенических параметров, проявляющиеся в виде промерзания углов, появления сырости и плесени. Отсюда возникает необходимость научной проработки вопроса о повышении энергетической эффективности зданий жилого назначения.

В данной главе проводится анализ конструктивных решений наружных ограждающих конструкций, спроектированных фирмой ООО ПСК «Омега» [28].

На рис. 1 - 4 показаны фрагменты конструктивных решений наружных стеновых ограждений, применяемых при строительстве жилых зданий фирмой ООО ПСК «Омега», изолинии по выбранным сечениям, и температурные поля по внутренним поверхностям. Рассмотренные конструкции не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, так как имеют температуры на внутренних поверхностях в районе угла от + 7,9 до + 8,7 °С, которые ниже температуры точки росы ( $t_d = + 11,6$  °С). Подробнее санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям рассмотрены в п. 2.2.



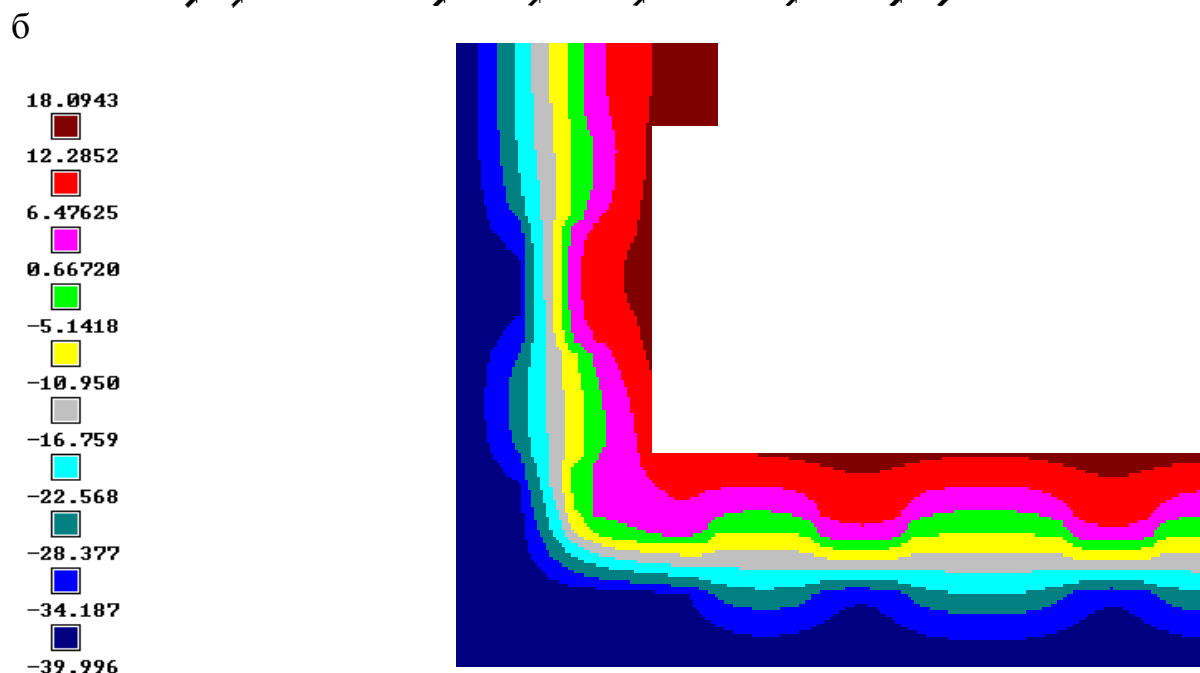
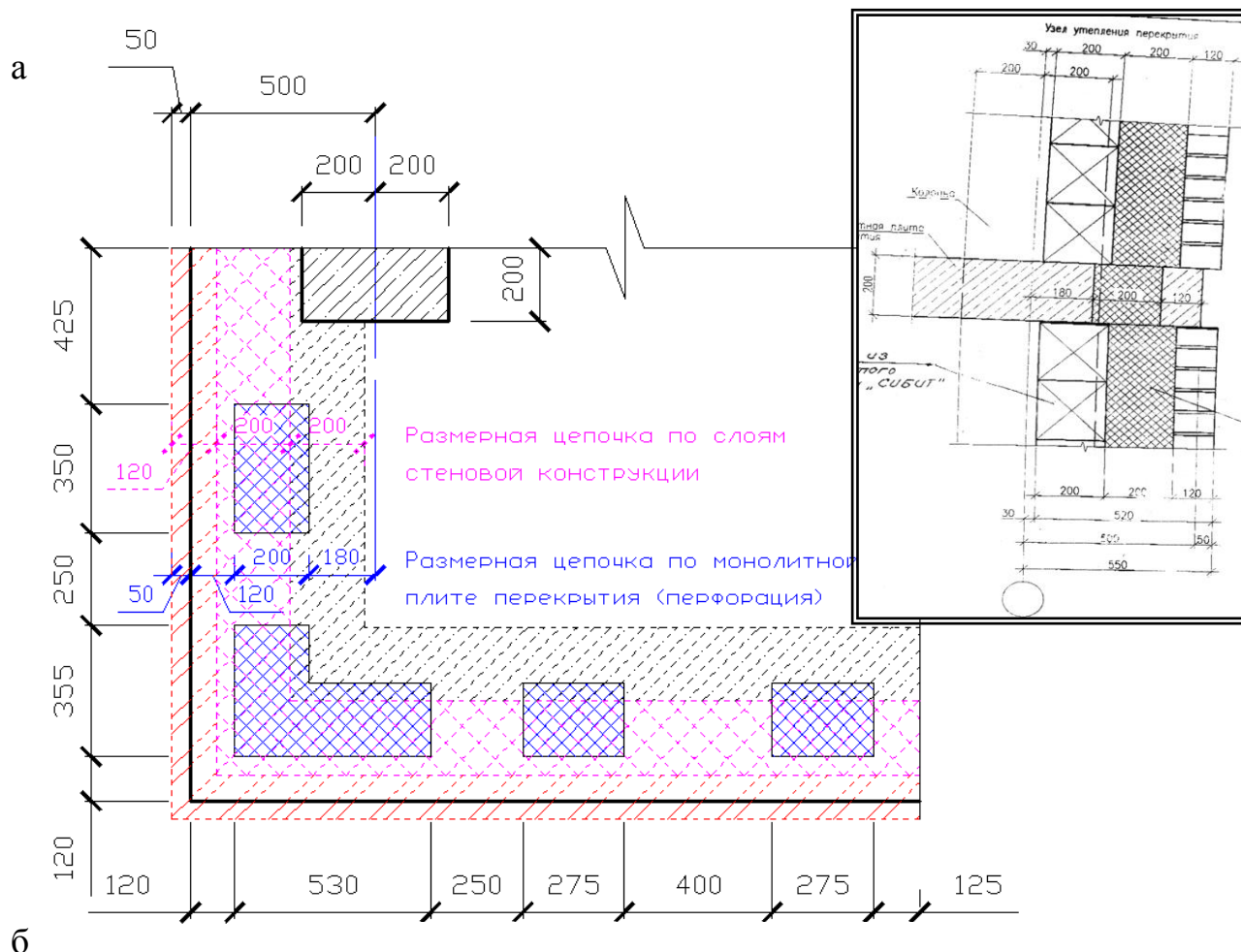


Рисунок 1. Конструктивное решение угла, примененное при строительстве жилых домов №№ 10 и 11 в 7 мкр. Северного: а – расчетная схема, б – изолинии по сечениям вблизи плиты перекрытия. Минимальная температура (+8,5 °С) зафиксирована в месте примыкания наружных стеновых конструкций к монолитной плите перекрытия (см. рис. 2)



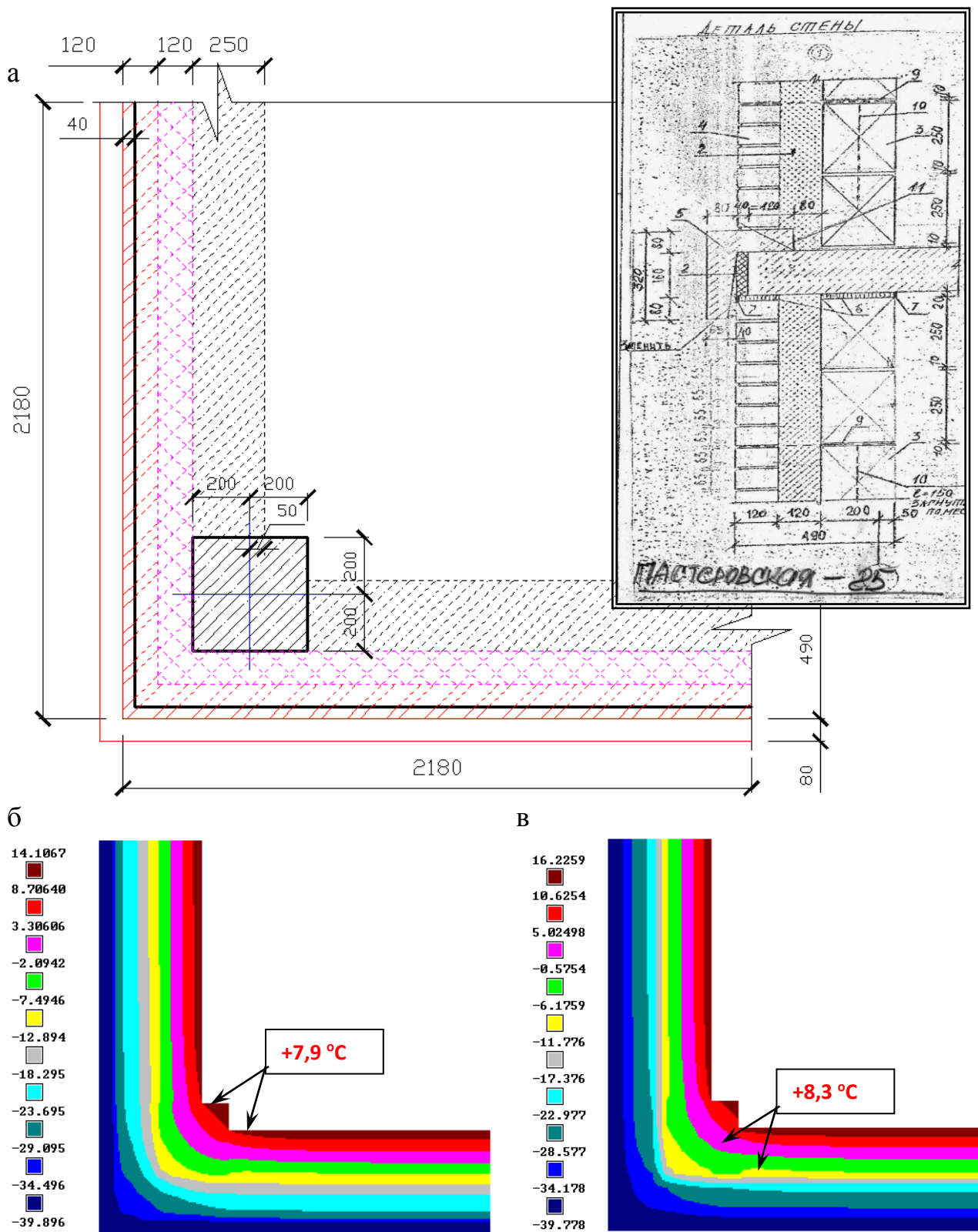


Рисунок 3. Конструктивное решение угла жилого дома № 25 по ул. Пастеровская: а – расчетная схема, б и в – изолинии по сечениям вблизи плиты перекрытия (сверху и снизу соответственно). Минимальная температура (+7,9 °С) получена в месте примыкания наружных стеновых конструкций к колонне (см. рис. 4)

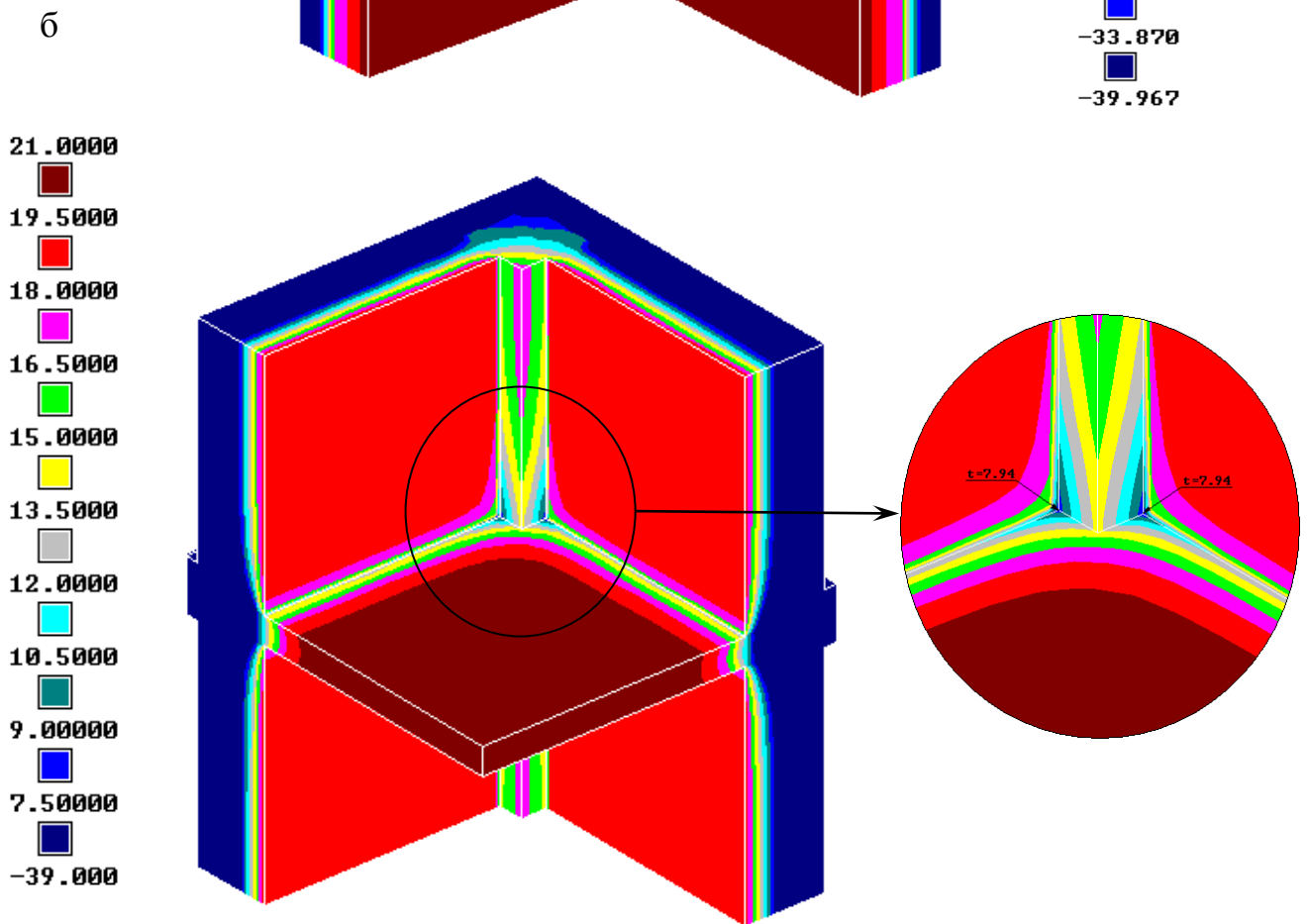
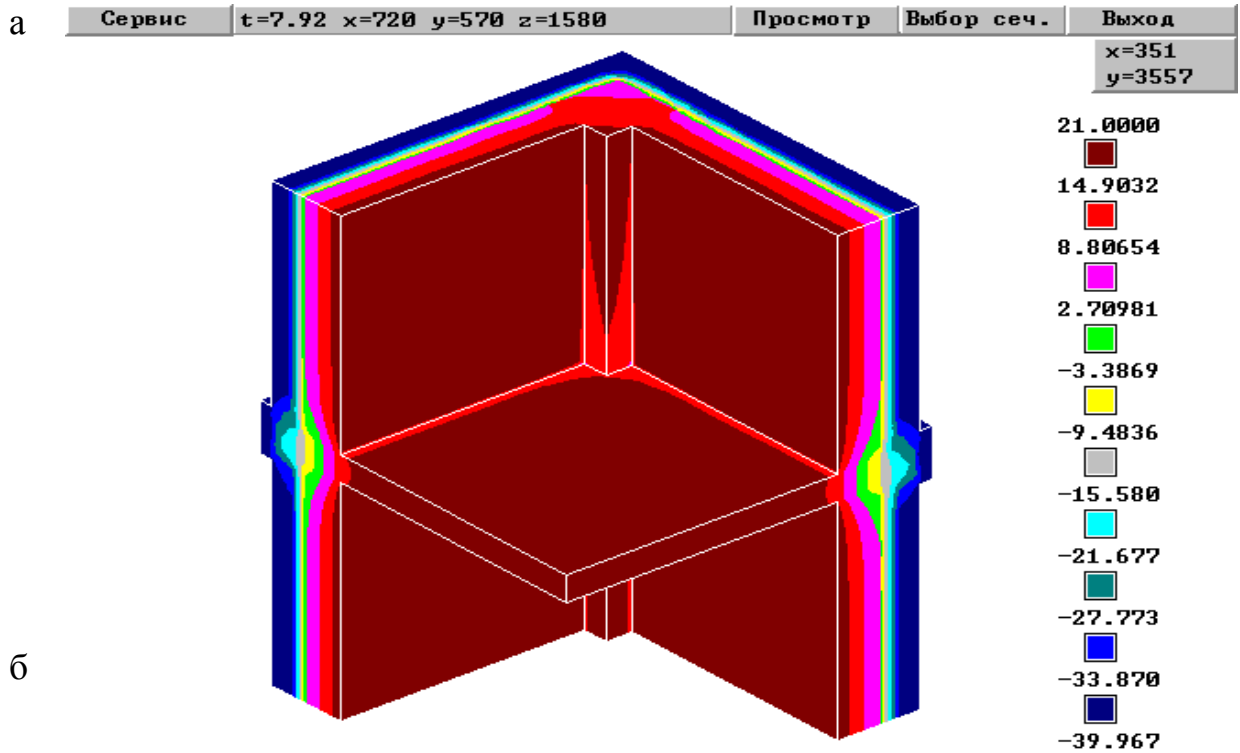


Рисунок 4. Распределение температур по внутренним поверхностям ограждений: а – изотермы с шагом  $\approx 6$  градусов, б – изотермы с шагом 1,5 градуса

Как видно из представленных выше примеров в области монолитного домостроения на сегодняшний день существует острая необходимость в доработке существующих и разработке новых технических решений по улучшению теплотехнических показателей наружных ограждающих конструкций.

Целью исследования является разработка проектных решений наружных ограждающих конструкций и узлов их сопряжений (от 1 и более), направленная на повышение энергетической эффективности монолитного домостроения, учитывая требования по тепловой защите и санитарно – гигиенических норм [4].

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. анализ и изучение существующих проектных решений посредством теплотехнических расчетов «проблемных узлов» в ПК «COMSOL MULTIPHYSICS»;
2. разработка технических решений на базе выявленных в п.1 дефектных узлов;
3. выбор наиболее оптимального решения с точки зрения возможности конструктивной реализации разработанного узла, с точки зрения оптимальных параметров микроклимата помещения и экономических затрат.

Объект исследования: наружные ограждающие конструкции монолитных зданий и узлы их сопряжения.

Предмет исследования: изменение теплотехнических показателей наружных ограждающих конструкций с целью повышения уровня тепловой защиты зданий.

Научная новизна работы заключается в разработке новых конструктивных решений для жилых зданий с монолитными ограждающими конструкциями.

В следующих главах дипломной работы проведен анализ теплотехнических показателей наружных стеновых ограждений на основе

монолитного здания, спроектированного компанией ООО «ЕнисейСтрой» и возводимого компанией ООО «СтройИнвест».

## **2 Анализ теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций в монолитном домостроении**

С целью минимизации тепловых потерь, а также обеспечения санитарно-гигиенических требований, в части не понижения температуры внутренней поверхности ниже значения температуры точки росы в углах, образованных наружными стеновыми ограждениями и монолитными дисками перекрытий, рекомендуется применять теплоизоляционные термовкладыши, расположенные вблизи торцевых частей перекрытия в зоне расположения теплоизоляционного слоя наружного стенового ограждения.

Однако, при использовании такого решения в «перемычках», связывающих основное перекрытие с консольной частью плиты образуются «мостики холода».

Зачастую при разработке проектных решений допускаются ошибки при выборе шага термовкладышей, их толщины или составного материала. В дальнейшем, при эксплуатации здания такие дефектные узлы приводят к понижению температуры (промерзанию) наружных углов как в зоне полов, так и потолков, появлению сырости, плесени.

### **2.1 Описание объекта**

Для анализа и дальнейшего изучения «проблемного узла» взято существующее проектное решение многоэтажного жилого дома в жилом районе «Бугач» Октябрьского района г. Красноярск (жилой дом № 9), спроектированного компанией ООО «ЕнисейСтрой» и применяемое при строительстве компанией ООО «СтройИнвест». Фрагмент опалубочного плана приведен на рисунке 5. Фрагмент «проблемного» узла приведен на рисунке 6.

## Фрагмент опалубочного плана

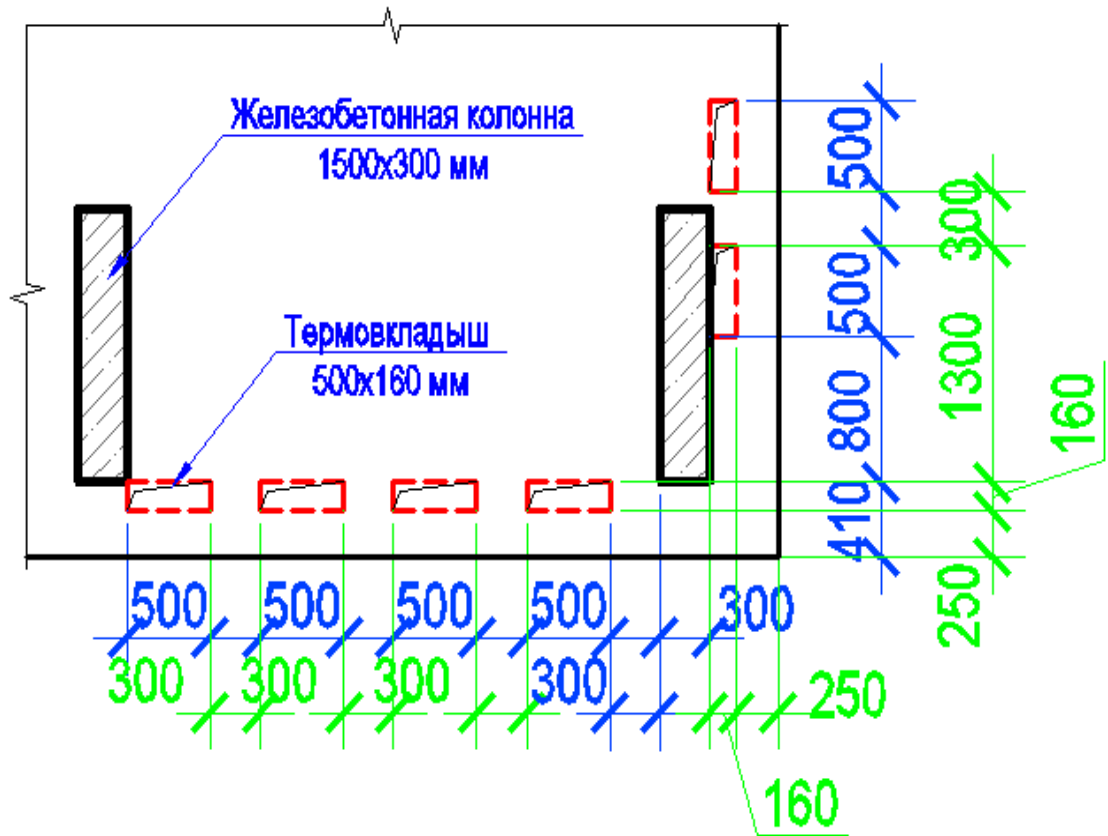
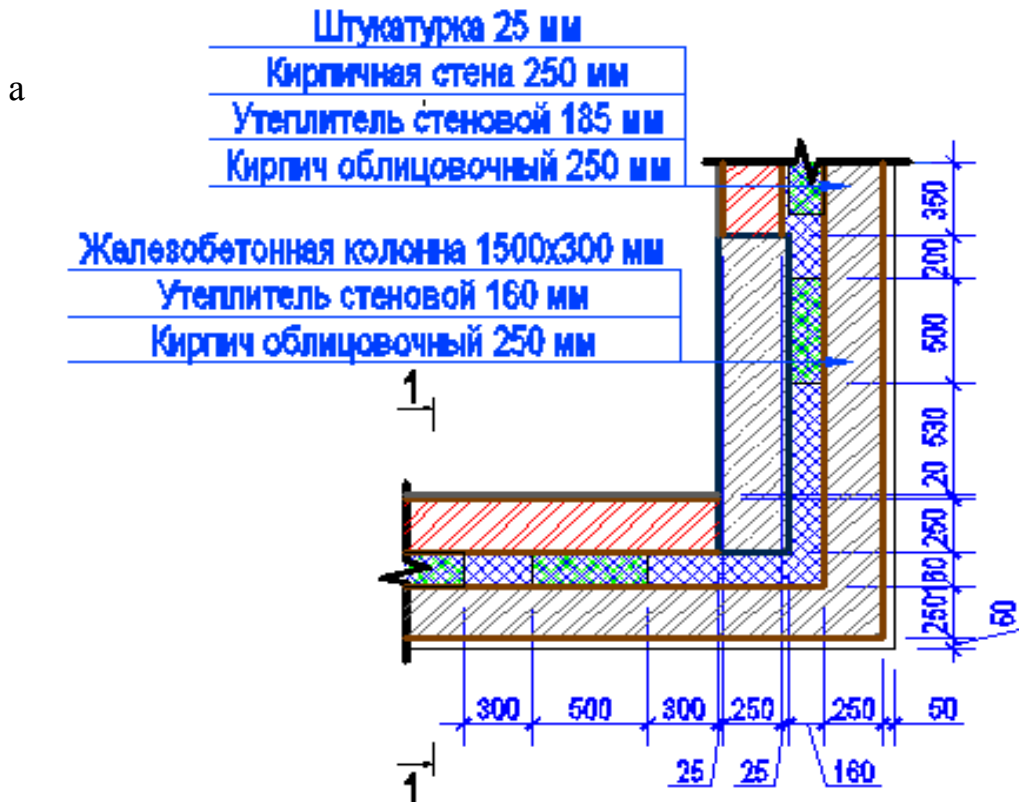


Рисунок 5 - Фрагмент опалубочного плана





б

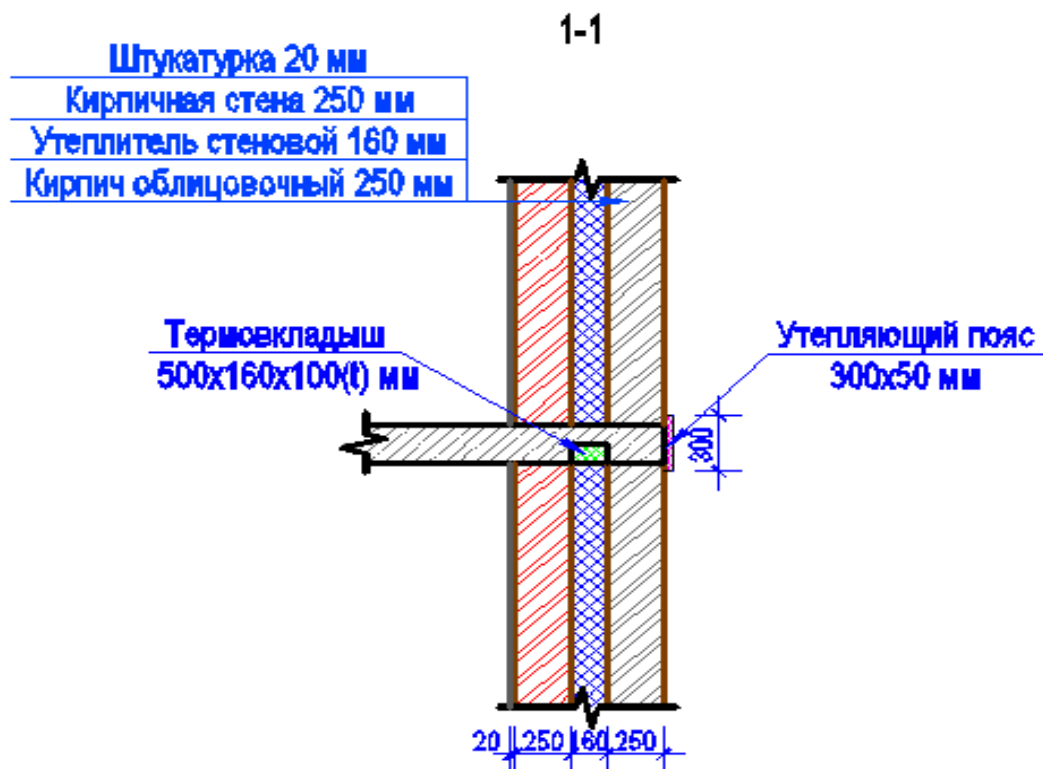


Рисунок 6 - Фрагмент «проблемного» узла (узел №1) : а – фрагмент плана,  
б – разрез 1-1

Конструкция узла (узел №1) представляет собой сопряжение стенового ограждения с плитой перекрытия. Стена по одной оси представляет собой многослойную конструкцию: внутренний слой кирпичная кладка из керамического полнотелого кирпича толщиной 250 мм, средний слой – утеплитель (минеральная вата) толщиной 160 мм и наружный облицовочный слой из кирпича керамического пустотного толщиной 250 мм. По оси, перпендикулярной к первой, внутренняя часть несущей стены – это монолитная стена протяженностью 1500 мм (выполнена на всю высоту от плиты перекрытия нижнего этажа до плиты перекрытия верхнего этажа) толщиной 300 мм с последующим слоем из утеплителя в 160 мм и облицовочного кирпича толщиной 250 мм, остальная часть (за монолитным участком стены) – это кирпич толщиной 250 мм, утеплитель 185 мм (чтобы выйти в одну плоскость от

монолитной стены с наружной стеной ) и облицовочный кирпич толщиной 250 мм. Монолитная плита перекрытия имеет толщину 200 мм, с выходящими на улицу торцами, которые на всю длину закрыты слоем из минераловатного утеплителя толщиной 50 мм, заходящим по 50 мм вверх и вниз за область торцов плиты. Кроме того, в плите перекрытия имеется перфорация из утеплителя Технофас. Эти термовкладыши имеют размеры: 500мм длиной, 160 мм шириной, 120 мм толщиной. Термовкладыши в толще плиты перекрытия расположены с шагом 300 мм, а также находятся в одной плоскости со слоем стенового утепления.

## **2.2 Проверка выполнения требований тепловой защиты здания и санитарно – гигиенических требований**

Согласно [4] требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Поэтому для рассматриваемого фрагмента теплозащитной оболочки зданий приняты следующие выходные показатели, по которым в дальнейшем будет «оцениваться» узел:

а)  $\tau_{в} \geq t_{р}, \text{ }^{\circ}\text{C};$

б)  $R^{np} \geq R^{np}, \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$

в)  $t_{int} - \tau_{в} \leq \Delta t_{н},$

где  $\tau_{в}$  – минимальная температура на внутренних поверхностях ограждающих

конструкциях (преимущественно в углу пола и углу потолка), °С;

$t_p$  – температура точки росы ограждающей конструкции, °С;

$R^{пр}$  – приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$ ;

$R^{тp}$  – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$ ;

$t_{int}$  – внутренняя температура воздуха, °С;

$\Delta t_n$  – нормируемый температурный перепад, °С.

Пункт 5.7 [4] устанавливает требования к температуре внутренней поверхности: температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (за исключением вертикальных светопрозрачных конструкций) в зоне теплопроводных включений (диафрагм, сквозных швов из раствора, стыков панелей, ребер, шпонок и гибких связей в многослойных панелях, жестких связей облегченной кладки и др.), в углах и оконных откосах, а также зенитных фонарей должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года.

Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года  $t_{ext}$  согласно [6] для климатических условий г. Красноярска составляет  $-37$  °С.

Согласно [4] Относительную влажность внутреннего воздуха для определения температуры точки росы в местах теплопроводных включений ограждающих конструкций, в углах и оконных откосах, а также зенитных фонарей следует принимать: для помещений жилых зданий - 55 %.

Следовательно, для рассматриваемого объекта принимаем относительную влажность внутреннего воздуха  $\varphi_{int} = 55$  % , для которой температура точки росы  $t_d = 11,6$  °С.

В таблице 5 [4] указывается, что нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции для жилых зданий и наружных стен равен  $4,0$  °С.

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{int}$  согласно [8] принимается равной 21 °С.

Подставляя данные значения в а), б) и в) получаем требования тепловой защиты:

а)  $\tau_B \geq +11,6$  °С;

б)  $R^{np} \geq 3,66$  м<sup>2</sup>·°С/Вт;

в)  $t_{int} - \tau_B \leq 4$  °С.

В пункте 9 [5] говорится, что для теплотехнически неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих углы, проемы, соединительные элементы между наружными облицовочными слоями (ребра, шпонки, стержневые связи), сквозные и несквозные теплопроводные включения, осуществляют теплотехнический расчет выбранных конструктивных решений на основе расчета температурных полей.

Для получения тепловых полей фрагмента теплозащитной оболочки здания (узел №1) и расчета выходных показателей необходимо выполнить теплотехнический расчет. Выбранный фрагмент является трехмерным, поэтому для получения полной картины работы тепловой защиты здания мы применяем компьютерные 3D-модели, которые предоставляют нам более точные результаты, чем нормативные документы, а также возможность увидеть работу тепловой защиты в любой точке конструкции. Помимо этого работа с компьютерными моделями позволяет значительно сэкономить время на расчет конструкций, а также расширяет возможности экспериментирования с материалами и условиями их работы. Для теплотехнического расчета выбран программный комплекс «COMSOL MULTIPHYSICS».

COMSOL Multiphysics – это современный программный комплекс, включающий интерактивную среду для моделирования и расчетные модули, позволяющие проводить расчетную оценку большинства научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов. Применение расчетных модулей не требует глубокого знания математической физики и метода

конечных элементов – этот подход реализован благодаря встроенным физическим режимам, где коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, объемная мощность и т. п. в зависимости от выбранного физического раздела. Преобразование этих параметров в коэффициенты математических уравнений происходит автоматически. Взаимодействие с программой можно реализовать в стандартном для среды MS Windows графическом интерфейсе, кроме того, комплекс предлагает возможность создания дополнительных функций, отвечающих требованиям пользователя с использованием встроенного языка скриптов – COMSOL Script. Для решения PDE COMSOL Multiphysics использует метод конечных элементов (FEM). Расчетные модули позволяют применять гибкий подход к конфигурации, типу и характеристикам конечного элемента, учитывая геометрическую конфигурацию тел. Так как многие физические законы выражаются в форме PDE, становится возможным моделировать широкий спектр научных и инженерных явлений из многих областей физики, таких как акустика, гидро- и термодинамика, сложные диффузии, электрические и электромагнитные явления, оптические эффекты, тепломассоперенос и многих других.

После геометрических построений трехмерного узла в программе задаются следующие граничные условия согласно [табл. 4 и табл. 6, 4]:

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{н}} = 23, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

где  $\alpha_{\text{в}}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции для стен, полов, гладких потолков,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$\alpha_{\text{н}}$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для наружных стен,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ .

Занесем параметры внутренней и наружной среды в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчетные параметры наружной и внутренней среды

Параметры	Значения параметров
1. расчетная температура наружного воздуха, $t_{ext}, ^\circ\text{C}$	-37
2. расчетная температура внутреннего воздуха, $t_{int}, ^\circ\text{C}$ жилых помещений	+21
3. коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, $\alpha_{ext}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ стенового ограждения	23
4. коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $\alpha_{int}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ стенового ограждения	8,7
5. влажностный режим эксплуатации помещений	Нормальный
6. зона влажности	Сухая
7. условия эксплуатации ограждающих конструкций	А

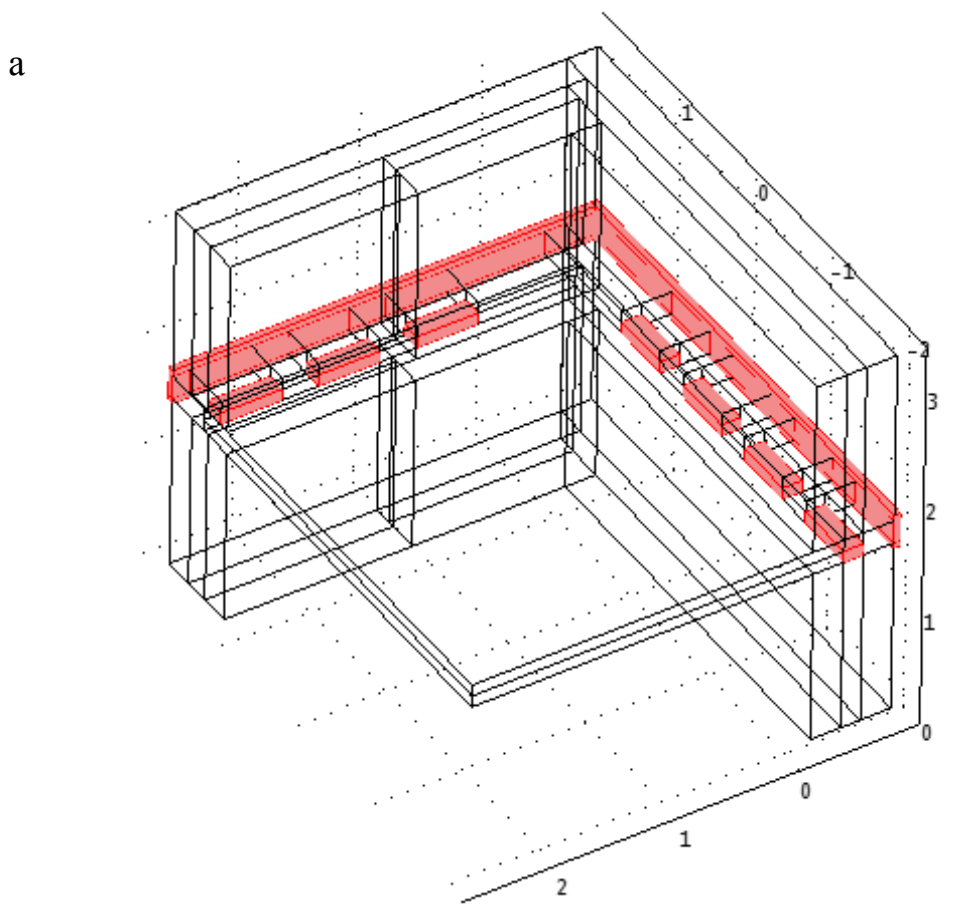
Для строительных материалов, из которых выполнены конструкции фрагмента теплозащитной оболочки здания, заданы расчетные теплотехнические показатели. Данные показатели приведены в таблицу 2.

Таблица 2 - расчетные теплотехнические показатели

Строительный материал	Конструкция	Плотность, $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопроводность, $\lambda$ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$
железобетон	плита перекрытия	2500	1,92
железобетон	фрагмент стенового ограждения	2500	1,92

кирпич облицовочный	наружная кладка	1600	0,58
кирпичный полнотельный	внутренняя кладка	1800	0,70
утеплитель технофас	стеновой утеплитель	160	0,04
утеплитель технофас	термовкладыши	160	0,04
утеплитель технофас	торцевой наружный утеплитель	160	0,04

Трехмерный узел в ПК COMSOL Multiphysics и полученная термограмма для рассматриваемого узла №1 приведены на рисунке 7.



б

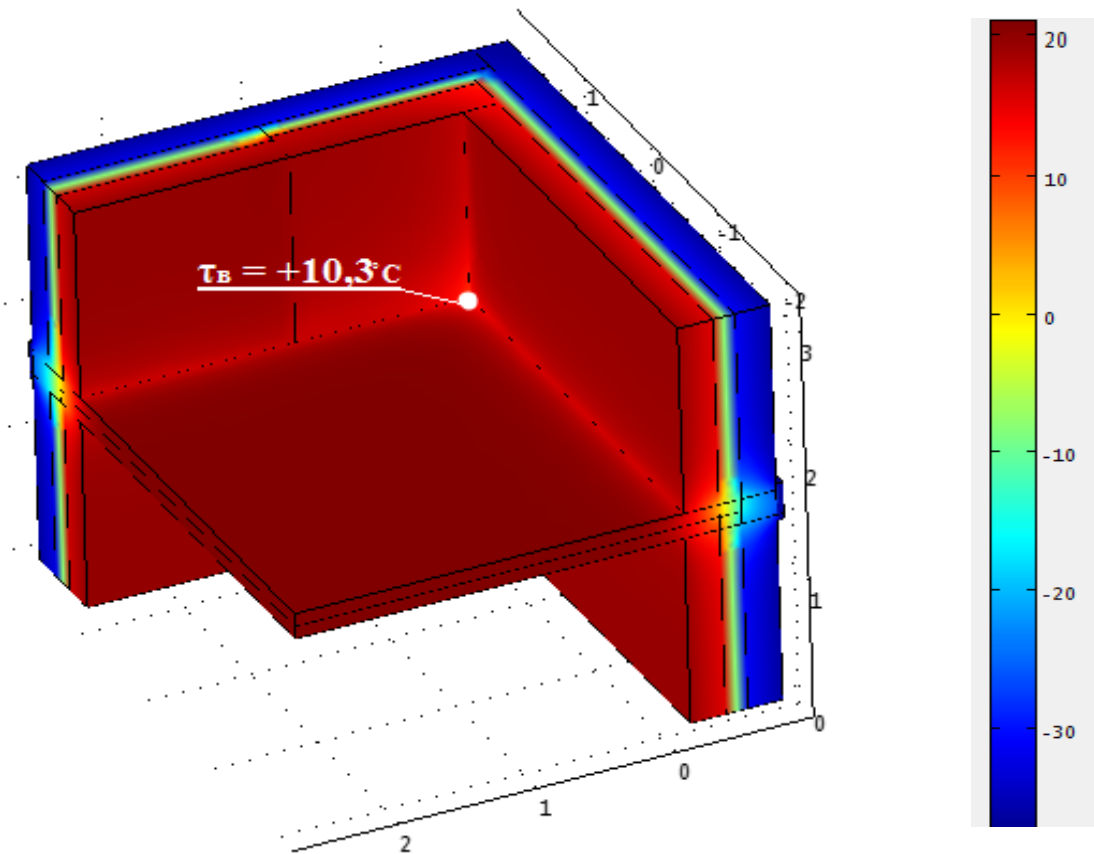


Рисунок 7: а – трехмерный узел в программе (розовым выделены термовкладыши и наружный утепляющий пояс), б - термограмма анализируемого узла

По результатам расчета в ПК «COMSOL MULTIPHYSICS» вычислим  $R^{np}$ ,  $m^2 \cdot C/Вт$ . Для этого рассчитаем потери теплоты через квадратный метр наружной поверхности узла №1-  $q$ ,  $Вт/м^2$ . Который, в свою очередь, определяется отношением общей потери теплоты  $Q_{общ}$ ,  $Вт$ , через площадь наружной поверхности всего фрагмента  $S_n$ ,  $м^2$ .

$$S_n = 24,32 \text{ м}^2;$$

$$Q = 360,93 \text{ Вт};$$

$$q = Q/S_n = 360,93/24,32 = 14,84 \text{ Вт/м}^2,$$

отсюда  $R^{np} = (t_{int} - t_{ext})/q = \Delta t/q = (21 - (-37))/14,84 = 3,91 \text{ м}^2 \cdot C/Вт$ .

Далее определяем минимальную температуру в углу на внутренней поверхности пола ( $\tau_{в1}$ ), в углу на внутренней поверхности потолка ( $\tau_{в2}$ ) и на



расстоянии 1,2 м от уровня пола ( $\tau_{в3}$ ):

$$\tau_{в1} = 10,3\text{ }^{\circ}\text{C}, \tau_{в2} = 10,36\text{ }^{\circ}\text{C}, \tau_{в3} = 17,26\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

### 2.3 Выводы

Исходя из полученных данных можно сделать вывод:

а)  $\tau_{в1} < t_p$ ,  $10,3\text{ }^{\circ}\text{C} < 11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  – требование не удовлетворяется,

$\tau_{в2} < t_p$ ,  $10,36\text{ }^{\circ}\text{C} < 11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  – требование не удовлетворяется,

$\tau_{в3} < t_p$ ,  $17,26\text{ }^{\circ}\text{C} > 11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  – требование удовлетворяется;

б)  $R^{пр} \geq R^{тр}$ ,  $3,91\text{ м}^2\cdot\text{C}/\text{Вт} > 3,66\text{ м}^2\cdot\text{C}/\text{Вт}$  – требование удовлетворяется,

т. е. требования тепловой защиты здания не выполняются из-за низких температур в углах помещений, которые могут привести к выпадению конденсата с последующим образованием грибка (плесени).

Важными параметрами, характеризующими перфорацию в плите перекрытия из термовкладышей, являются:

а) отношение длины термовкладышей к расстоянию между ними;

б) толщина перфорации;

в) наличие совпадения перфорации со слоем утеплителя в конструкции стены.

В конструкции рассматриваемого узла №1 условие в) выполняется. Отсюда делаем вывод, что для улучшения теплотехнических характеристик узла №1 необходимо подобрать наиболее подходящую геометрию (шаг) перфорации.

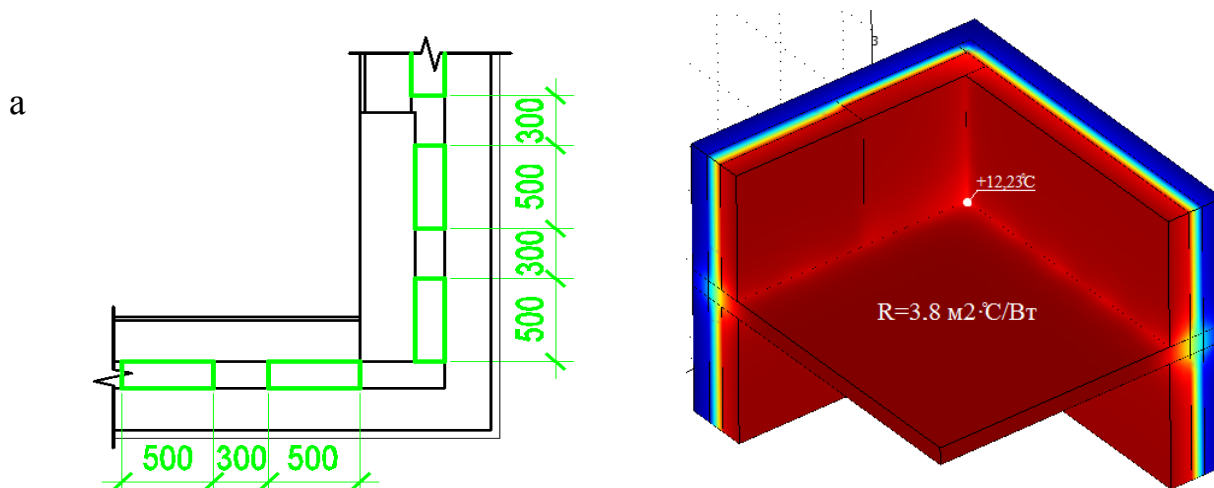
Необходимо рассмотреть несколько вариантов узлов, варьируя шаг, протяженность и толщину перфорации. При дальнейшем «проектировании» узла я не беру во внимание торцевой утеплитель (как в исходном узле), так как нам нужно изучить истинное влияние перфорации в плите перекрытия на теплотехнические показатели без учета внешнего утеплителя.

### 3 Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №1 (плита перекрытия со стеной)

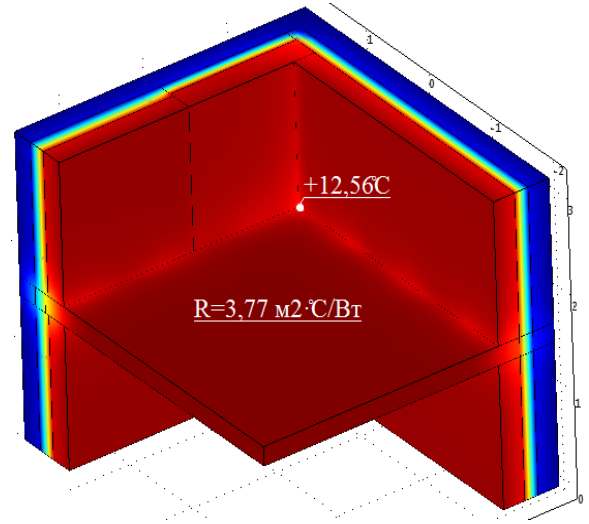
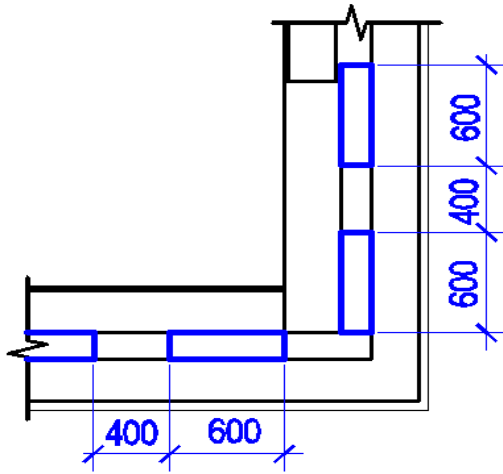
В дальнейшем для структуризации анализа все варианты узлов с их посчитанными теплотехническими показателями будут сводиться в таблицу в **приложение Б**. Так как основные конструкции рассчитываемого фрагмента (состав стен и толщины слоев из которых они состоят, толщина плиты перекрытия) не подвергаются геометрическим изменениям, то в столбце 2 «Описание конструкции узла» таблицы **приложения Б** будут описываться лишь изменения, связанные с геометрией перфорации.

Наиболее значимые конструктивные решения и термограммы приведены на рисунке 8.

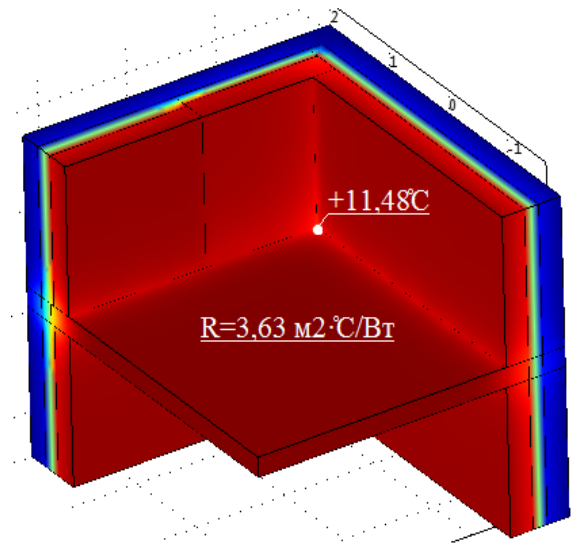
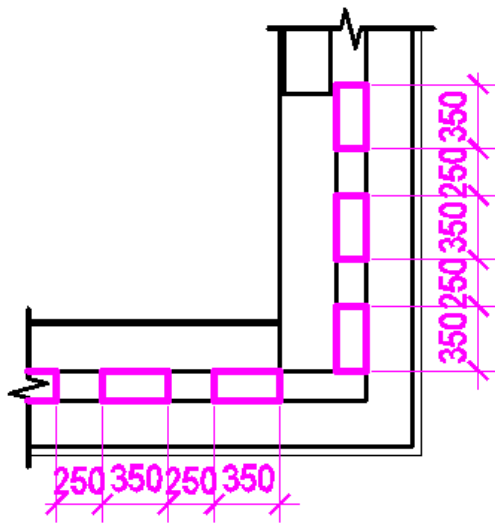
На основании таблицы из **приложения Б** и термограмм рисунка 8 можно сделать вывод, что при использовании термовкладышей толщиной, равной толщине плиты перекрытия, практически при любом отношении длины перфорации к ее шагу можно получить значения, удовлетворяющие теплотехническим показателям пунктов а) – в), но можно заметить, что чем мельче размер перфорации (длина утеплителя) и мельче шаг ее расстановки (длина железобетона), тем хуже будут эти показатели. Например, при отношении длины перфорации к ее шагу равном 1,5 рассмотрено два варианта, результаты которых приведенные в **таблице 3**.



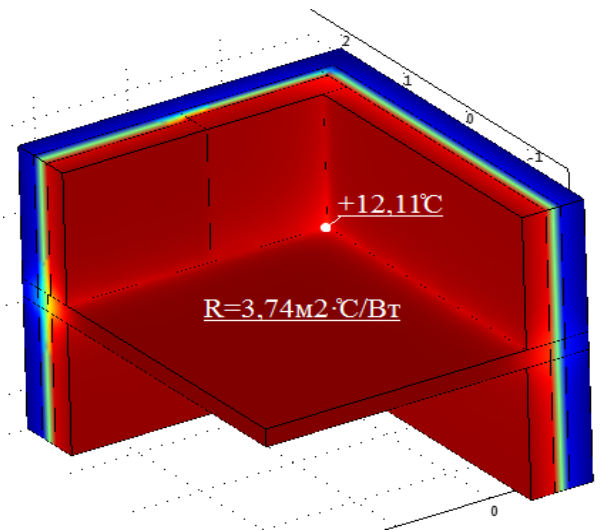
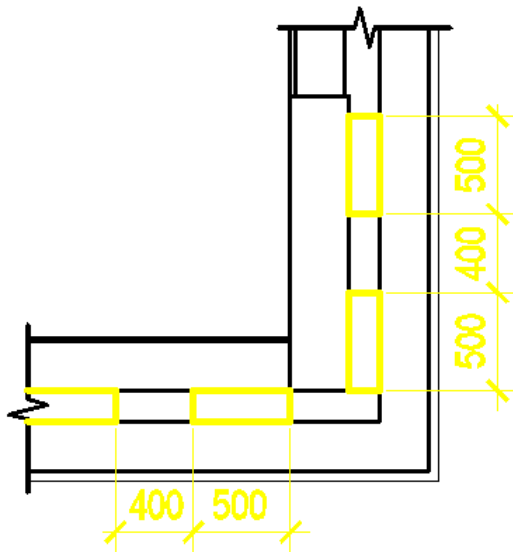
б



в



г



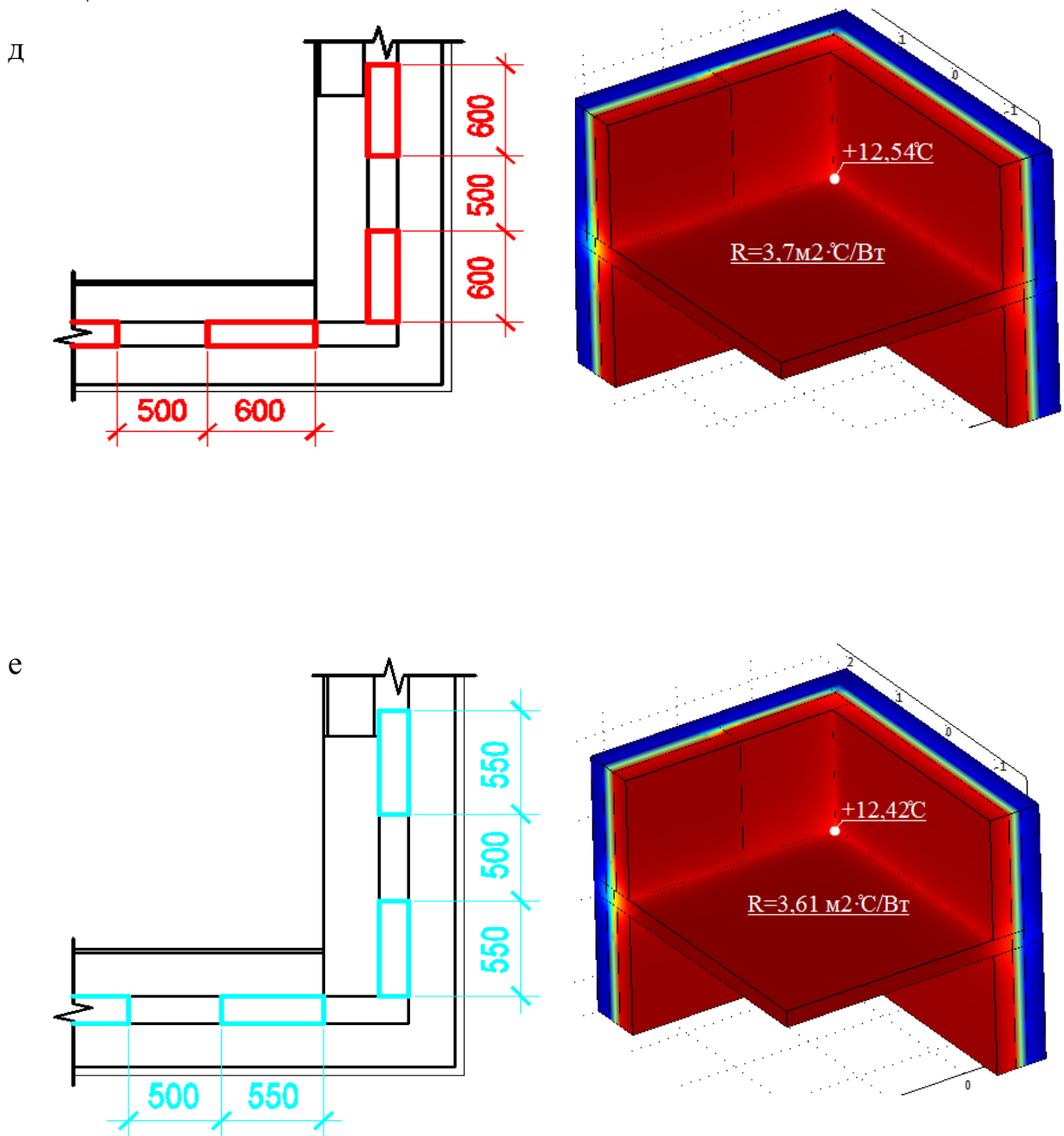


Рисунок 8: а – перфорация длиной 500 мм с шагом расстановки 300 мм, б – перфорация длиной 600 мм с шагом расстановки 400 мм, в – перфорация длиной 350 мм с шагом расстановки 250 мм, г – перфорация длиной 500 мм с шагом расстановки 400 мм, д – перфорация длиной 600 мм с шагом расстановки 500 мм, е - перфорация длиной 550 мм с шагом расстановки 500

мм

Таблица 3 – сравнение результатов расчета при одинаковом отношении длины перфорации к ее шагу

Длина перфорации/шаг перфорации = отношение	Описание конструкции узла	R, м <sup>2</sup> ·°C/Вт	T <sub>min1</sub> (нижний угол)	T <sub>min2</sub> (верхний угол)
600/400 = 1,5	перфорация толщиной 200 мм. Длинной 600 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y	3,88	13,00	12,95
150/100=1,5	перфорация толщиной 200 мм. Длинной 150 мм. С шагом 100 мм по оси X. С шагом 100 мм по оси Y	3,65	11,12	11,14

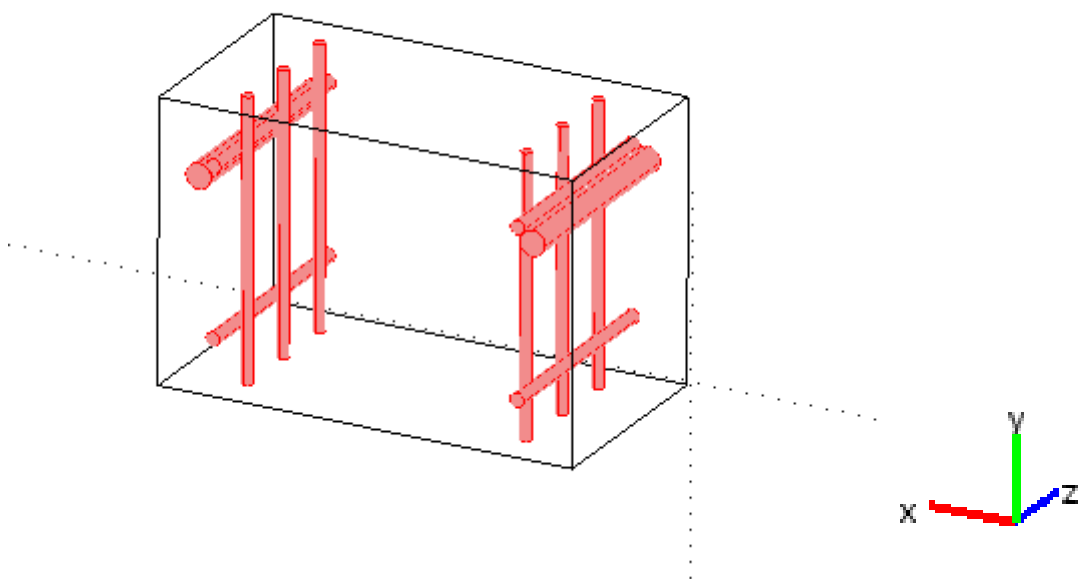
Из таблицы 3 видно, что при одном и том же соотношении длины перфорации к шагу перфорации более подходящим будет решение с длиной перфорации 600 мм и шагом 400 мм нежели длиной 150 мм и шагом 100 мм. К тому же на практике, слишком малая длина и шаг перфорации не являются технологически целесообразными.

При теплотехническом расчете узлов в ПК «COMSOL MULTIPHYSICS» были использованы расчетные теплотехнические показатели строительных материалов, приведенные в таблице 2. Расстояние между термовкладышами из минеральной плиты заполнено железобетоном, и чем меньше будет это расстояние, тем больше армирования необходимо заложить в этот участок. Отсюда, можно сделать вывод, что при насыщении армирования коэффициент теплопроводности данного участка железобетона должен быть выше, чем коэффициент теплопроводности, заложенный из таблицы 2, и равный значению 1,92 Вт/м·°C. Так как все результаты расчетов, приведенные в таблице приложения В рассчитаны со значением коэффициента теплопроводности для

железобетона равном  $1,92 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ , то можно предположить, что в действительности полученные значения будут иметь незначительное искажение.

Следующим шагом я ставлю задачу рассчитать коэффициент теплопроводности для данного участка железобетона с насыщением армирования. Если полученное значение теплопроводности будет превышать табличное более, чем на 10 %, то будет необходимо внести корректировки в теплотехнические расчеты узлов, приведенные в **приложении Б**.

В ПК «COMSOL MULTIPHYSICS» был задан фрагмент участка из бетона с элементами армирования из стальных стержней, который представлен на **рисунке 8**. Участок имеет размеры с длиной 400 мм (ось  $Ox$ ), шириной 160 мм (ось  $Oz$ ), высотой 200 мм (ось  $Oy$ ).



**Рисунок 8 – фрагмент железобетона**

При проведении расчетов граничные условия (температуры внутренней и наружной поверхностей) принимались аналогичными, как при расчетах предыдущих узлов.

Расчетные теплотехнические показатели для бетона и стали приведены в **таблице 4**.

Таблица 4 - расчетные теплотехнические показатели

Строительный материал	Конструкция	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/м·°С
бетон	плита перекрытия	2400	1,74
сталь	арматура в плите перекрытия	7850	58

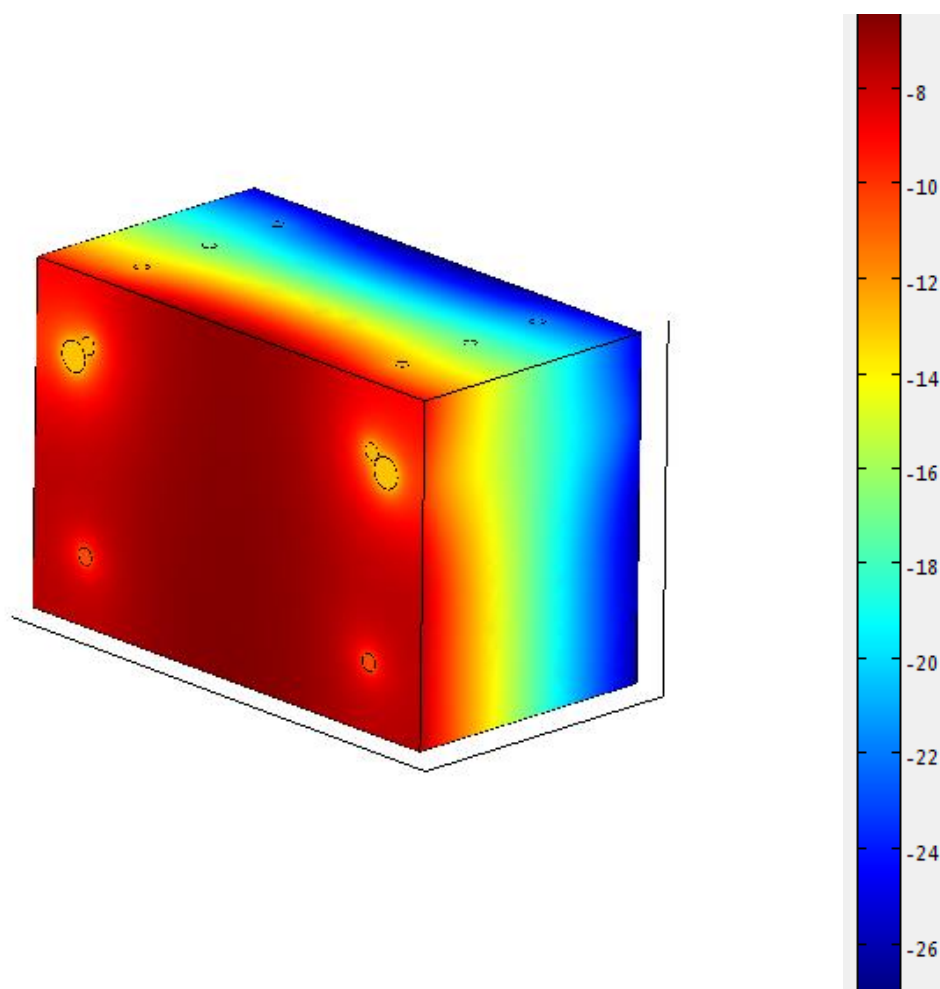


Рисунок 9 - температурное поле фрагмента железобетона

После теплотехнического расчета данного фрагмента в ПК «COMSOL MULTIPHYSICS» рассчитываем  $R_0^{пр}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт. Для этого необходимо посчитать потери теплоты через квадратный метр наружной поверхности фрагмента -  $q$ ,

Вт/м<sup>2</sup>. Который, в свою очередь, определяется отношением общей потери теплоты  $Q_{\text{общ}}$ , Вт, через площадь наружной поверхности всего фрагмента  $S_{\text{н}}$ , м<sup>2</sup>.

$$S_{\text{в}} = 0,06 \text{ м}^2;$$

$$Q = 14,95 \text{ Вт};$$

$$q = Q/S_{\text{н}} = 14,95/0,06 = 249,16 \text{ Вт/м}^2,$$

отсюда  $R_0^{\text{пр}} = (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})/q = \Delta t/q = (21 - (-37))/249,16 = 0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Далее рассчитываем термическое сопротивление слоя конструкции  $R_{\text{т}}$

$$R_{\text{т}} = R_0^{\text{пр}} - 1/\alpha_{\text{в}} - 1/\alpha_{\text{н}},$$

$$R_{\text{т}} = 0,23 - 1/8,7 - 1/23 = 0,072 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Так как термическое сопротивление слоя конструкции  $R_{\text{т}}$  является отношением толщины слоя, м к его теплопроводности, Вт/м·°C

$$R_{\text{т}} = \delta / \lambda, \text{ то}$$

$$\lambda = \delta / R_{\text{т}} = 0,16/0,072 = 2,24 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

Полученная теплопроводность для данного участка железобетона с насыщенной арматурой почти на 17 % больше, чем стандартная теплопроводность железобетона согласно [4]. Поэтому вносим корректировки в узлы (которые дали положительные результаты в соответствии с требуемыми теплотехническими показателями), результаты которых даны в **приложении Б**.

Пересчитанные результаты выносим в **приложение В**.

Из полученных результатов (после углубленного теплотехнического расчета, где было уделено внимание изменению теплопроводности в консольной части плиты перекрытия, по отношению к теплопроводности в пролете плиты перекрытия) можно сделать вывод, что получено несколько вариантов, которые удовлетворяют требуемому сопротивлению теплопередаче и минимальной температуре на поверхности конструкции. Если в первоначальном расчете при  $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$  было получено множество вариантов отношения длины перфорации к шагу перфорации:

$$500/300 = 1,67;$$

$$600/400 = 1,5;$$

$$350/250 = 1,4;$$



$$500/400 = 1,25;$$

$$600/500 = 1,2;$$

$$550/500 = 1,1;$$

$$500/500 = 1,0;$$

$$450/50 = 0,9,$$

то в расчете, где  $\lambda_{жб} = 1,92$  Вт/м·°С в пролете плиты перекрытия, а  $\lambda_{жб2} = 2,24$  Вт/м·°С в консольной части плиты перекрытия количество положительных результатов сокращается:

$$500/300 = 1,67;$$

$$600/400 = 1,5;$$

$$500/400 = 1,25;$$

$$600/500 = 1,2.$$

#### **4 Разработка технического решения по повышению температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций узла №2 (плита перекрытия с балконным проемом)**

Зачастую, кроме промерзания стен в угловой части здания, жильцы жалуются на сквозняки и промерзания под балконной дверью. Следующим этапом необходимо рассмотреть «проблемный» узел №2. подобрать необходимую длину перфорации и ее шаг, а также выбрать правильное расположение термовкладышей относительно балконной двери. Для этого проводим теплотехнический расчет фрагмента с балконной дверью и консольным вылетом плиты перекрытия.

Рассмотрено два варианта расположения строительного материала возле дверного проема. Первый вариант – под дверью располагается кирпич. Вторым вариантом – под дверью располагается мин.плита. В каждом из вариантов рассмотрено два варианта местоположения перфорации: находится ли она сразу под дверью в теле плиты перекрытия, либо по бокам.

Варианты рассматриваемого узла приведены на **рисунке 10.**

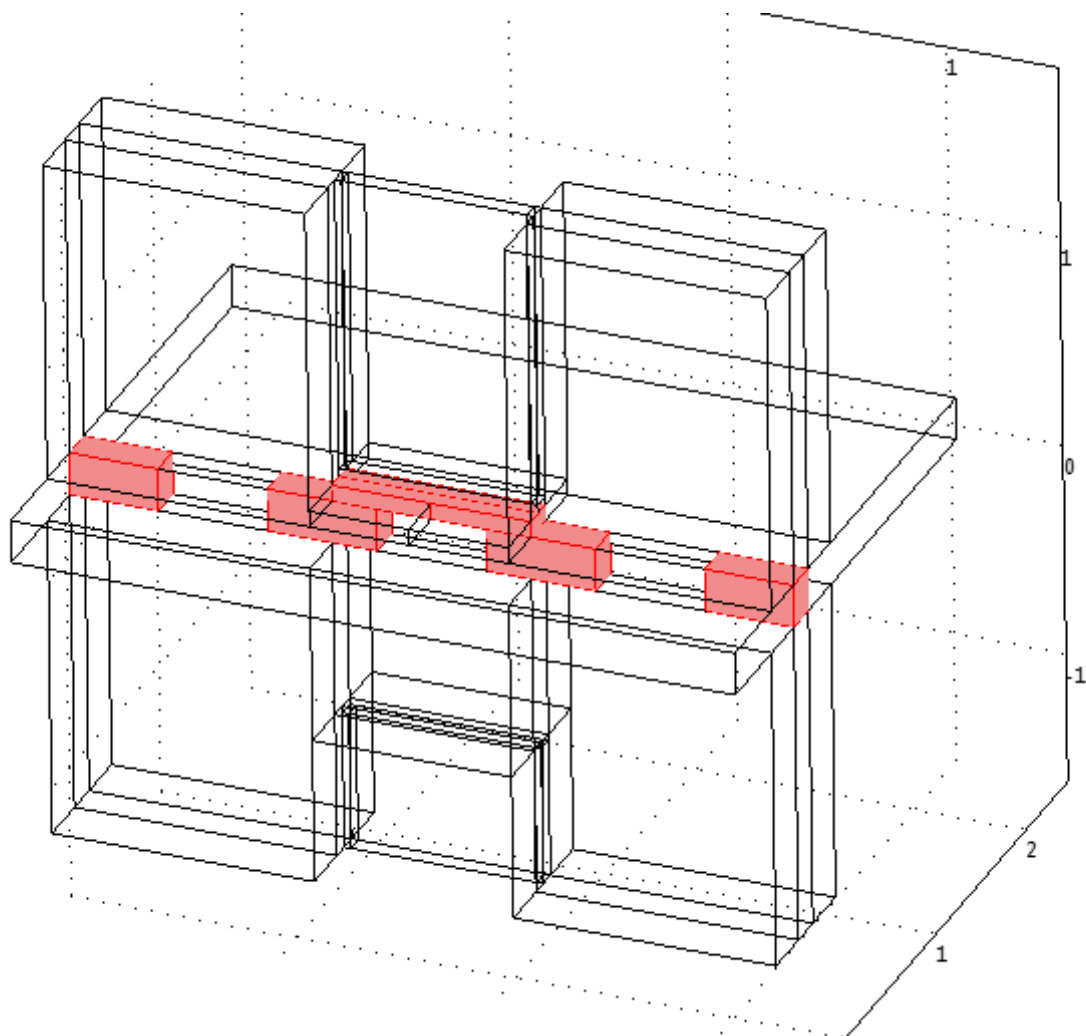


Рисунок 10.а – узел №2 (балконный узел). Перфорация в теле плиты перекрытия располагается по бокам от балконной двери (выделено розовым).

Под балконной дверью кирпич (выделено розовым)

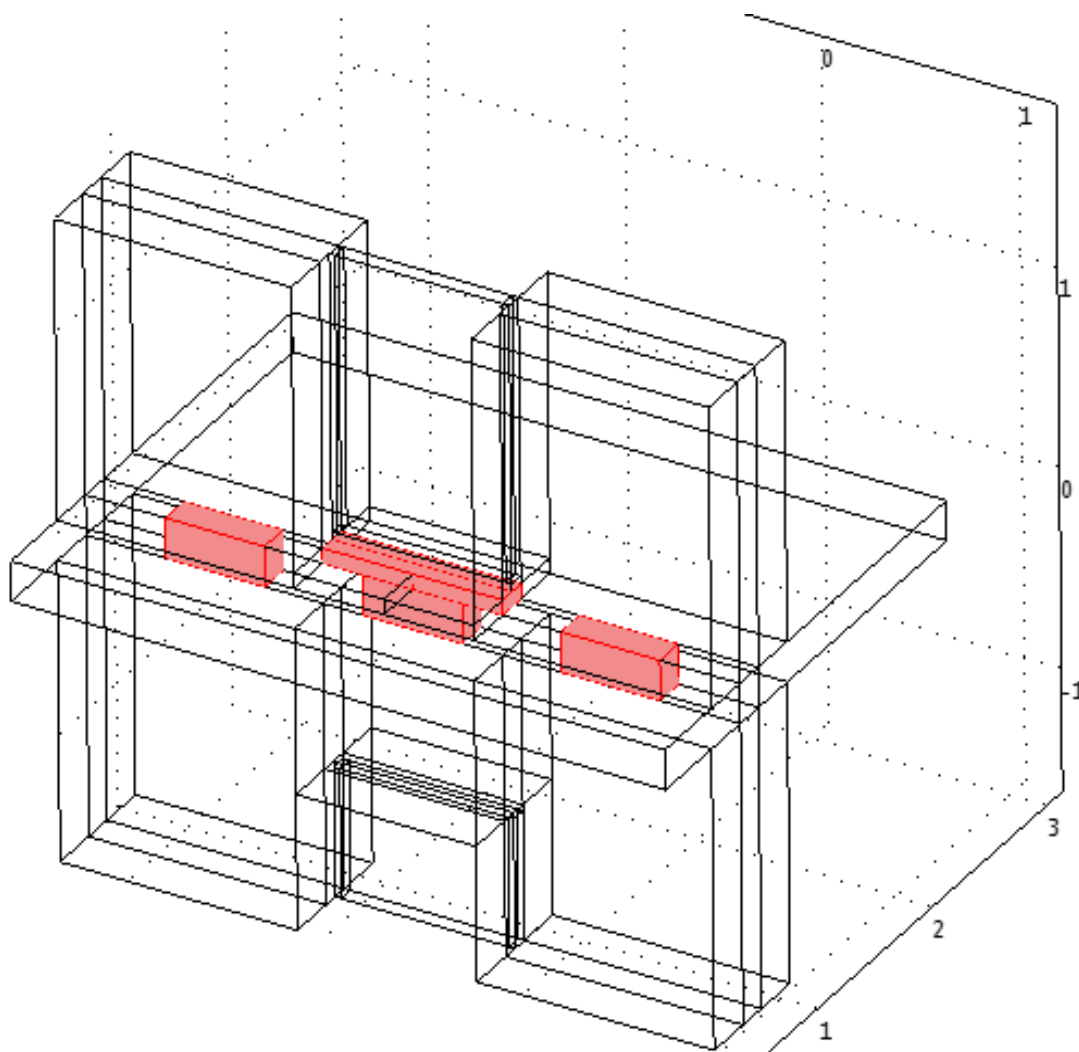
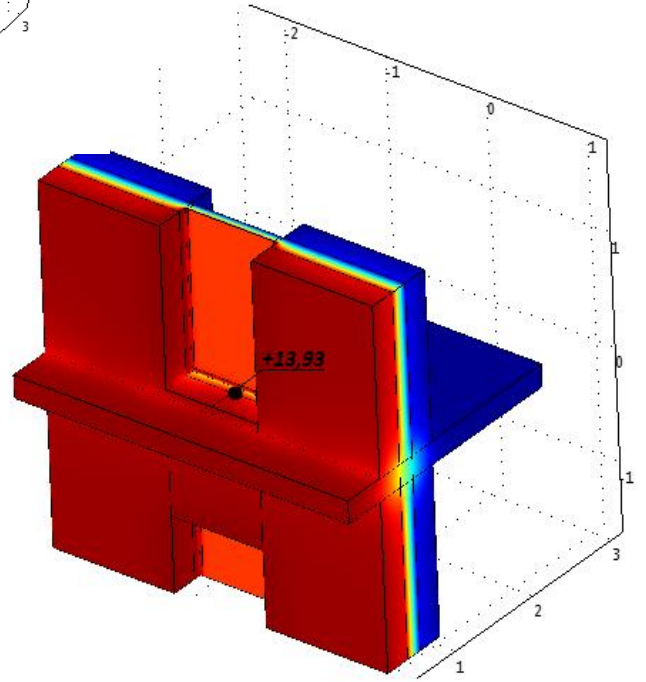
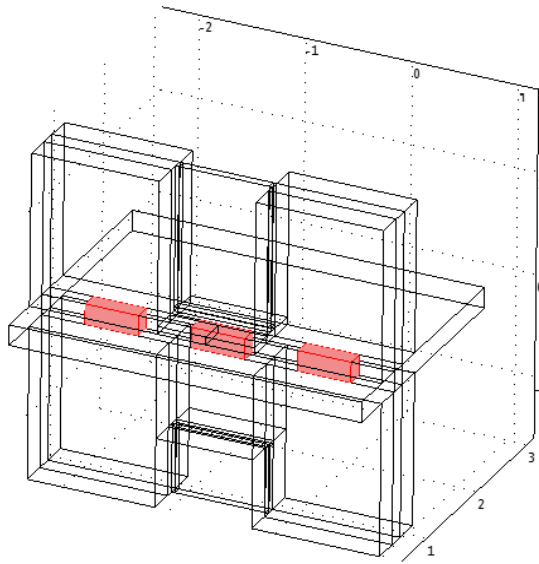


Рисунок 10.б – №2 (балконный узел). Перфорация в теле плиты перекрытия располагается под балконной дверью (выделено розовым). Под балконной дверью кирпич (выделено розовым).

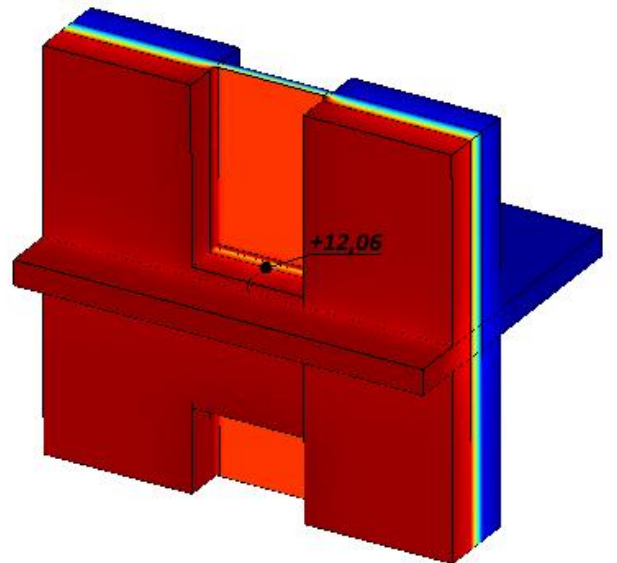
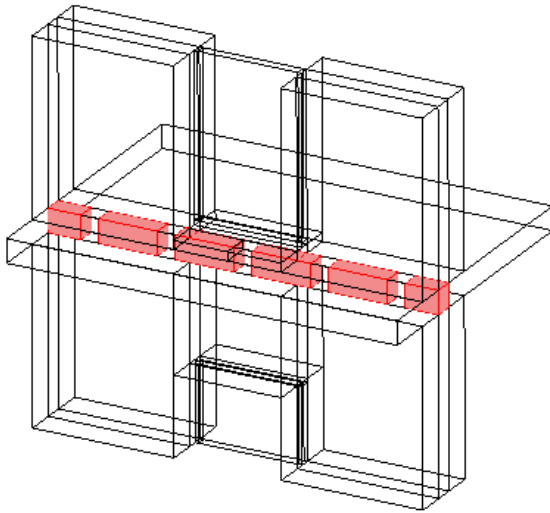
Аналогично рассматривается вариант, где вместо кирпича располагается утеплитель из минеральной ваты.

После теплотехнического расчета полученные данные вынесены в приложение Г. Варианты узлов, удовлетворяющие теплотехническим требованиям, представлены на рисунке 11.

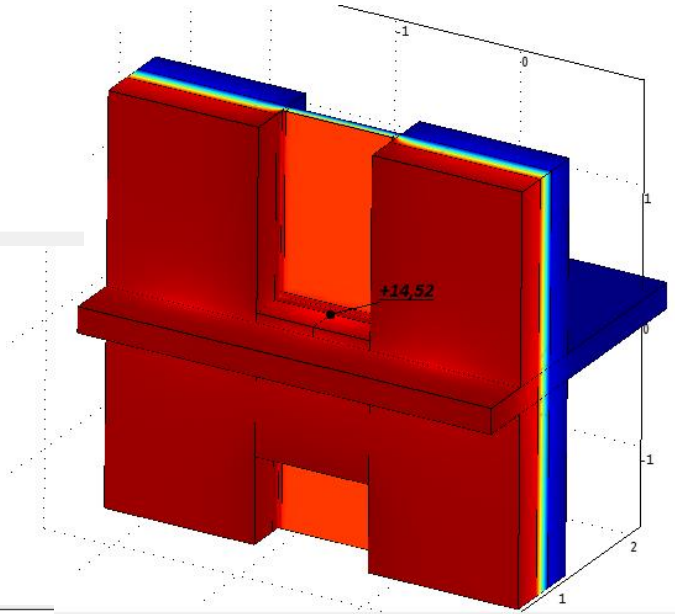
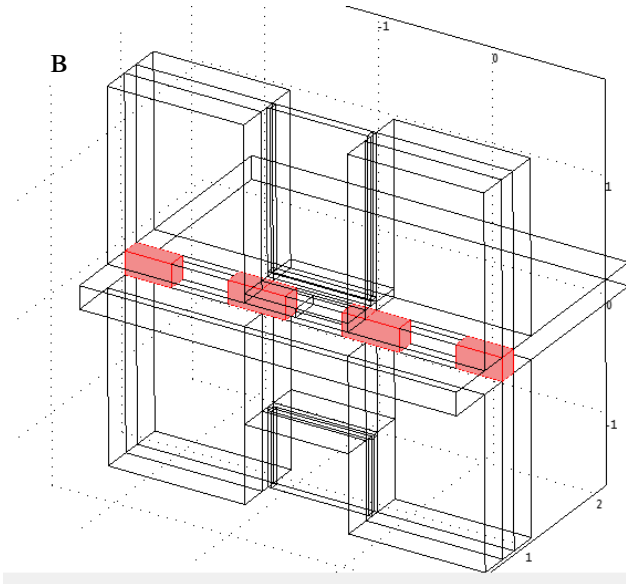
a



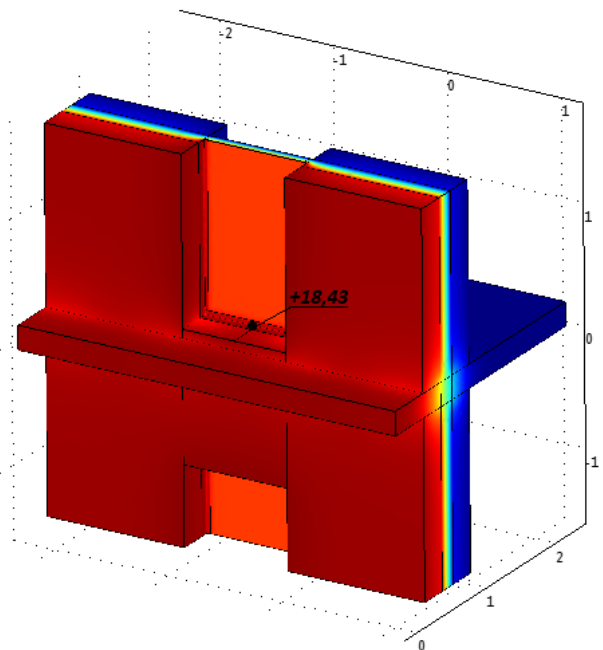
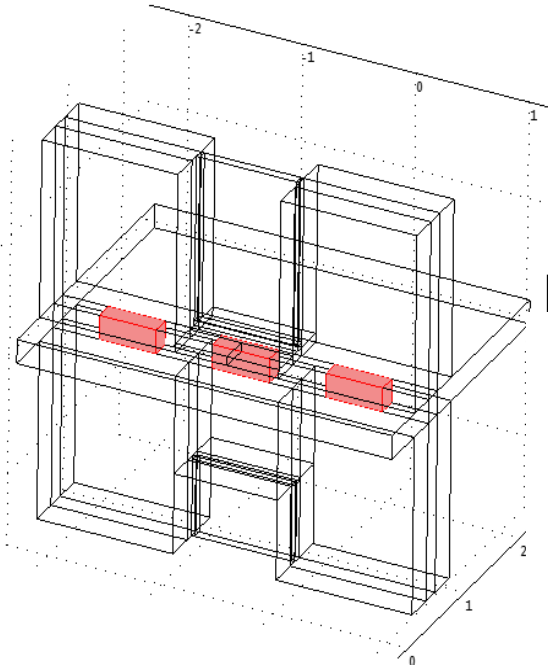
b



B



Г



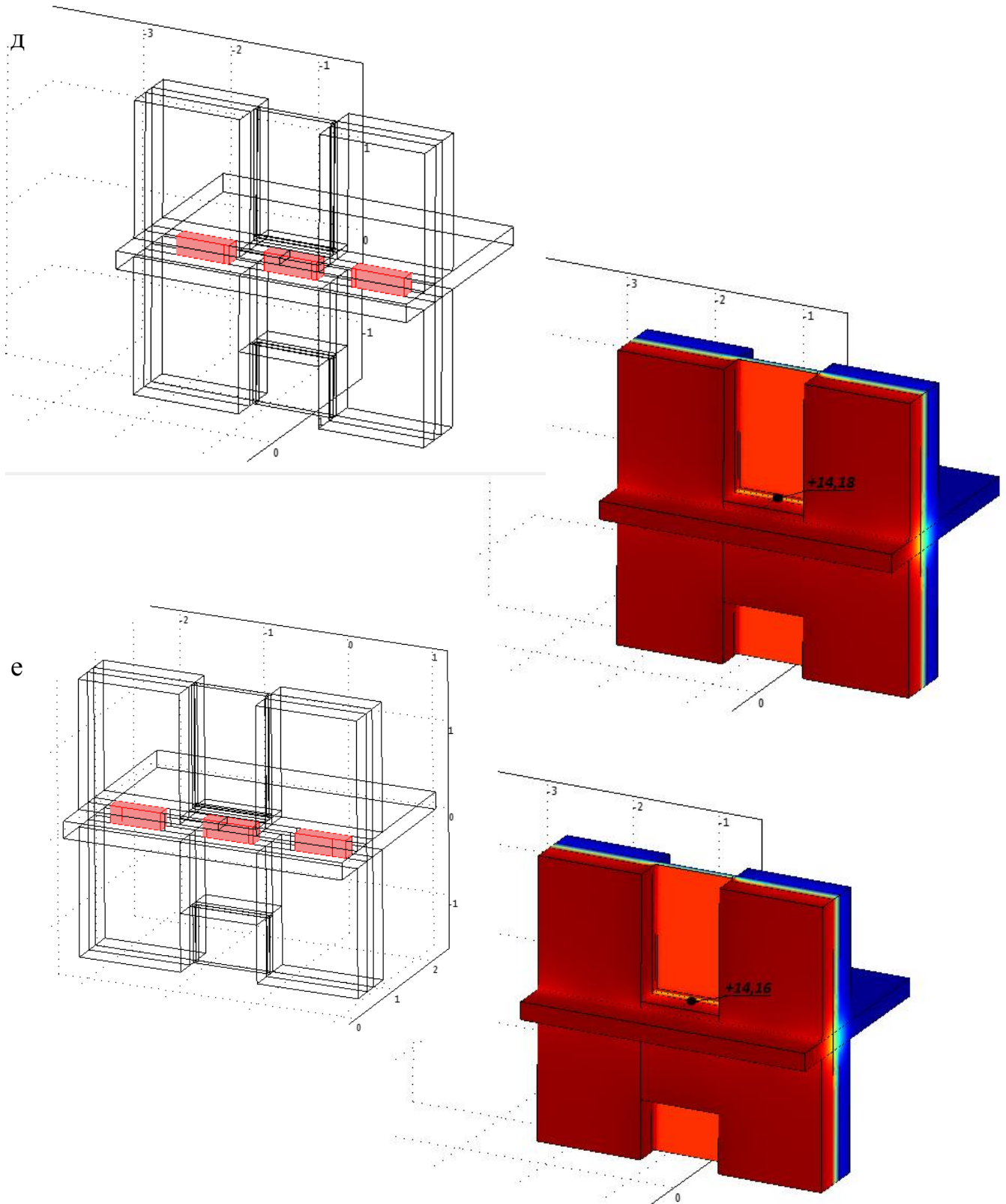


Рисунок 11: а - Длина перфорации 500 мм шаг 500 мм. Под дверью кирпич, б - Длина перфорации 150 мм шаг 500 мм. Под дверью кирпич, в - Длина перфорации 500 мм шаг 500 мм. Под дверью мин.плита, г - Длина перфорации 500 мм шаг 500 мм. Под дверью мин.плита, д - Длина перфорации 600 мм шаг 400 мм. Под дверью кирпич, е - Длина перфорации 600 мм шаг 500 мм. Под дверью кирпич

Получив данные о температуре на поверхности конструкций, высчитав сопротивление теплопередаче, можно сделать вывод, что при использовании минеральной плиты под дверью практически любое соотношение длины перфорации к ее шагу будет удовлетворять теплотехническим условиям. Если же под дверью монтировать кирпич, проходят такие соотношения, как:

$$500/500 = 1,0;$$

$$150/500 = 0,3;$$

$$600/400 = 1,5;$$

$$600/500 = 1,2.$$

Сравнивая полученные результаты узла №1 (угловой узел) и узла №2 (балконный узел) можно сделать вывод: оптимальная длина перфорации из минеральной ваты к шагу ее расстановки (заполненного железобетоном) являются такие значения как длина перфорации 600 мм с шагом в теле плиты перекрытия 400 мм и длина перфорации 600 мм с шагом в теле плиты перекрытия 500 мм.

Сравним полученные результаты с экономической точки зрения в

таблице

5.

Таблица 5 – экономическое сравнение

Материал	Рыночная стоимость	Вариант 1 (перфорация 600 мм с шагом 400 мм)		Вариант 2 (перфорация 600 мм с шагом 500 мм)	
		количество материала 1 м.п.	стоимость	количество материала на 1 м.п.	стоимость
бетон М200 (с учетом доставки)	3 910 руб/м <sup>3</sup>	0,0512 м <sup>3</sup>	200,19 руб.	0,0608 м <sup>3</sup>	237,73 руб.
	5 037	0,064 м <sup>3</sup>	322,37	0,0576 м <sup>3</sup>	290,13



утеплитель из минеральной ваты (технониколь технофас)	руб/м <sup>3</sup>		руб.		руб.
ИТОГО			522,56 руб.		527,86 руб.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что вариант с длиной перфорации 600 мм и ее шагом в теле плиты перекрытия 400 мм экономически выгоднее.

## Заключение

Изучив проблемные узлы №1 (угловой узел) и №2 (балконный узел) было выявлено, что для улучшения их теплотехнических показателей необходимо подобрать наиболее подходящую геометрию (шаг) перфорации, а именно подобрать длину термовкладыша и подходящий шаг расположения. Рассмотрено и просчитано несколько десятков вариантов узлов, варьируя шаг, протяженность и толщину перфорации. Посредством теплотехнических расчетов в ПК Comsol Multiphysics были получены необходимые теплотехнические показатели, которые были сравнены с вышеизложенными критериями оптимизации.

Узлы (на базе исходного углового узла №1), удовлетворяющие требуемому сопротивлению теплопередаче и минимальной температуре на поверхности конструкции, имеют следующую длину перфорации и шаг расположения в теле плиты перекрытия:

$$500/300 = 1,67;$$

$$600/400 = 1,5;$$

$$500/400 = 1,25;$$

$$600/500 = 1,2.$$

Узлы (на базе исходного балконного узла №2), удовлетворяющие требуемому сопротивлению теплопередаче и минимальной температуре на поверхности конструкции, имеют следующую длину перфорации и шаг расположения в теле плиты перекрытия:

$$500/500 = 1,0;$$

$$150/500 = 0,3;$$

$$600/400 = 1,5;$$

$$600/500 = 1,2.$$

Сравнивая полученные результаты узла №1 (угловой узел) и узла №2 (балконный узел) можно сделать вывод: оптимальная длина перфорации из минеральной ваты к шагу ее расстановки (заполненного железобетоном) являются такие значения как :

длина перфорации 600 мм с шагом в теле плиты перекрытия 400 мм;

длина перфорации 600 мм с шагом в теле плиты перекрытия 500 мм.

Сравнивая два результата с экономической точки зрения, можно сделать вывод, что вариант с длиной перфорации 600 мм и ее шагом в теле плиты перекрытия 400 мм экономически выгоднее.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **Нормативные законодательные акты**

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. – Москва, Кремль, 2009.

2. О внесении изменения в статью 13 Федерального закона "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 3.07.2016 №269-ФЗ. – Москва, Кремль, 2016.

3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : введ. 13.11.2009 №1715-р. – Москва, Правительство РФ, 2009.

### **Стандарты и другие нормативные документы**

4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23.02.-2003 : введ. 1.01.2012. – Москва : ООО «Аналитик», 2012. – 96с.

5. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – Взамен СП 23-101-2000 ; введ. 01.06.2004. – Москва : ФГУП ЦПП, 2004. – 140 с.

6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23.01-99\* (с изменением №2) : введ. 01.01.2013. – Москва : НИИСФ РААСН, 2013.

7. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введ. постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 02.08.1984г. №127. – Москва : Изд-во стандартов, 1994.

8. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (с Поправкой). – Москва : ОАО ЦНИИПромзданий, 2013.

9. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей : введ. 30.0.2015. – Москва : НИИСФ РААСН, 2015.

10. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры : введ. 01.03.2004. – Москва : ГУП «НИИЖБ», 2004.

11. ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. Введ. 01.01.20015. – Москва : Росстандарт, 2015.

12. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 : введ. 20.05.2011. – Москва : Росстандарт, 2011.

13. ГОСТ Р 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. – Москва : Изд-во стандартов, 2004.

### **Авторефераты диссертаций**

14. Михеев, Д.А. Повышение тепловой эффективности наружных стеновых ограждений на основе анализа тепловизионных исследований : автореферат дис. к.т.н. : 05.23.01 / Михеев Денис Александрович. – Красноярск, 2010 – 24 с.

### **Книги одного автора**

15. Трофимова, Т.И. Курс физики учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998 – 542 с.

16. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.

17. Матросов, Ю. Регионы России переходят на энергетический принцип проектирования и строительства зданий / Ю. Матросов // Энергосбережение. – 2002. - №2.

18. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.

19. Тихонов, И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию. / И.Н. Тихонов. – М.: ФГУП «НИЦ Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, ЗАО «КТБ НИИЖБ», 2007. – 168 с.

### **Книги двух авторов**

20. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: общий курс: учеб. для вузов / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

21. Назиров, Р.А. Использование компьютерных программ по расчету температурных полей. Оценка применяемых конструктивных решений стеновых ограждений в строительном комплексе г. Красноярска / Р. А. Назиров, Д. А. Михеев // Материалы конференции 19-21 апреля 2006 г. Вып. XII. – Красноярск : Пластина, 2006. – с. 141-150.

### **Книги трех авторов**

22. Кривошеин, А.Д. Методическое пособие по теплотехническому расчету ограждающих конструкций зданий / А.Д. Кривошеин, Г.А. Пахотин, С.Н. Апатин. – Омск: СибАДИ, 1997. – 56 с.

23. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.

## **Книги четырех и более авторов**

24. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / В. Бондаренко, Л. Ляхович, В. Хлевчук, Ю. Матросов и др. // БСТ. – 2001. - №11.

25. Теплотехника: учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; под ред. В.Н. Луканина. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 671 с.

26. Авдеев, Г.К. Методические указания по расчету теплозащитных показателей ограждающих конструкций (наружных стен, окон, крыш). Пособие для проектировщиков / Г. К. Авдеев, В.С. Ваколюк и К.П. Копылов, инж. В.И. Сурков. – М.: МНИИТЭП, 1990. – 150 с.

## **Электронные ресурсы**

27. Энергосбережение в строительстве [Электронный ресурс] : учеб.- метод. комплекс по дисциплине для студ. спец. 270102 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост.: В. Н. Волков. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты теплотехнических расчетов вариантов узлов (оптимизация узла №1)

№узла	отношение длина перфорации/шаг перфорации	Описание конструкции узла	Общ, Вт	Собщ, м2	q, Вт/м2	tв, °C	tн, °C	R, м2·°C/Вт	Tmin, °C	
									Tmin1 (нижний угол)	Tmin2 (верхний угол)
узел №1 (исх.)	500/300=1,67	Перфорация толщиной 100 мм. Длиной 500 мм. С шагом 300 мм по оси X. С шагом 300 мм по оси Y (со смещением) .С	360,93	24,32	14,84	21	-37	3,91	<u>10,3</u>	<u>10,36</u>
узел №2	500/300=1,67	Перфорация толщиной 100 мм. Длиной 500 мм. С шагом 300 мм по оси X. С шагом 300 мм по оси Y.	413,03	23,55	17,54	21	-37	<b>3,31</b>	<u>9,05</u>	<u>9,09</u>
узел №7	500/300=1,67	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 500 мм. С шагом 300 мм по оси X. С шагом 300 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	350,76	23,55	14,89	21	-37	3,90	12,65	12,63
Узел №8	400/240=1,67	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 400 мм. С шагом 240 мм по оси X. С шагом 240 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	355,04	23,552	15,07	21	-37	3,85	12,26	12,28
Узел №10	200/120=1,67	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 200 мм. С шагом 120 мм по оси X. С шагом 120 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	364,7	23,552	15,48	21	-37	3,75	<b>11,45</b>	<b>11,44</b>
узел №12	600/400=1,5	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 600 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	351,58	23,552	14,93	21	-37	3,88	13	12,95
узел №15	150/100=1,5	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 150 мм. С шагом 100 мм по оси X. С шагом 100 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	374,13	23,552	15,89	21	-37	<b>3,65</b>	<b>11,12</b>	<b>11,14</b>
узел №16	350/250=1,4	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 350 мм. С шагом 250 мм по оси X. С шагом 250 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	363,22	23,552	15,42	21	-37	3,76	12	12,05
узел №17	500/400=1,25	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 500 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	353,68	23,552	15,02	21	-37	3,86	12,59	12,60
узел №18	250/200=1,25	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 250 мм. С шагом 200 мм по оси X. С шагом 200 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	369,52	23,552	15,69	21	-37	3,70	<b>11,4</b>	<b>11,38</b>
узел №19	600/500=1,2	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 600 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	357,5	23,552	15,18	21	-37	3,82	12,98	12,98
узел №21	550/500=1,1	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 550 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	365,82	23,552	15,53	21	-37	3,73	12,88	12,89
узел №22	500/500=1	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 500 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	368,69	23,552	15,65	21	-37	3,71	12,56	12,58
узел №23	450/500=0,9	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 450 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	370,013	23,552	15,71	21	-37	3,69	12,32	12,36
узел №24	500/625=0,8	Перфорация толщиной 200 мм. Длиной 500 мм. С шагом 625 мм по оси X. С шагом 625 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА	374,02	23,552	15,88	21	-37	<b>3,65</b>	12,6	12,62



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты теплотехнических расчетов вариантов узлов с перерасчетом Лжб (оптимизация узла №1)

№ узла	отношение длина перфорации/шаг перфорации	Описание конструкции узла	Qобщ, Вт	Sобщ, м2	q, Вт/м2	tв, °C	tн, °C	R, м2·°C/Вт	Tmin, °C	
									Tmin1 (нижний угол)	Tmin2 (верхний угол)
узел №7	500/300=1,67	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 300 мм по оси X. С шагом 300 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	350,76	23,55	14,89	21	-37	3,90	12,65	12,63
узел №7/1	500/300=1,67	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 300 мм по оси X. С шагом 300 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	359,63	23,55	15,27	21	-37	3,80	12,23	12,23
узел №12	600/400=1,5	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 600 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	351,58	23,552	14,93	21	-37	3,88	13	12,95
узел №12/1	600/400=1,5	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 600 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	362,55	23,552	15,39	21	-37	3,77	12,56	12,50
узел №16	350/250=1,4	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 350 мм. С шагом 250 мм по оси X. С шагом 250 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	363,22	23,552	15,42	21	-37	3,76	12	12,05
узел №16/1	350/250=1,4	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 350 мм. С шагом 250 мм по оси X. С шагом 250 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	376	23,552	15,96	21	-37	<b>3,63</b>	<b>11,48</b>	<b>11,51</b>
узел №17	500/400=1,25	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	353,68	23,552	15,02	21	-37	3,86	12,59	12,60
узел №17/1	500/400=1,25	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 400 мм по оси X. С шагом 400 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	365,23	23,552	15,51	21	-37	3,74	12,11	12,12
узел №19	600/500=1,2	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 600 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	357,5	23,552	15,18	21	-37	3,82	12,98	12,98
узел №19/1	600/500=1,2	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 600 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	369,17	23,552	15,67	21	-37	3,70	12,54	12,54
узел №21	550/500=1,1	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 550 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	365,82	23,552	15,53	21	-37	3,73	12,88	12,89
узел №21/1	550/500=1,1	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 550 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	378,16	23,552	16,06	21	-37	<b>3,61</b>	12,42	12,44
узел №22	500/500=1	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	368,69	23,552	15,65	21	-37	3,71	12,56	12,58
узел №22/2	500/500=1	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 500 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	381,34	23,552	16,19	21	-37	<b>3,58</b>	12,08	12,10
узел №23	450/500=0,9	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 450 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	370,013	23,552	15,71	21	-37	3,69	12,32	12,36
узел №23/2	450/500=0,9	Перфорация толщиной 200 мм. Длинной 450 мм. С шагом 500 мм по оси X. С шагом 500 мм по оси Y. (ДРУГАЯ РАССТАНОВКА)	382,91	23,552	16,26	21	-37	<b>3,57</b>	11,82	11,87

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты теплотехнических расчетов вариантов узлов (оптимизация узла №2)

№узла	Описание конструкции узла	Qобщ, Вт	Собщ, м2	q, Вт/м2	tв,°С	tн,°С	R, м2°С/Вт	Tmin,°С на Tmin2 (дальняя возле лвери)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
узел 1	без перфорации	205,59	12,65	16,25	21	-37	<b><u>3,57</u></b>	13,86	под дверью мин.плита
узел 2	шаг 500 перфорация 500 (под дверью железобетон)	161,74	12,67	12,77	21	-37	4,54	14,52	
узел 3	шаг 500 перфорация 500 (под дверью перфорация)	171,98	12,67	13,57	21	-37	4,27	18,43	
узел 1/2	без перфорации	213,056	12,65	16,84	21	-37	<b><u>3,44</u></b>	<b><u>10,3</u></b>	под дверью кирпич
узел 2/2	шаг 500 перфорация 500 (под	170,17	12,67	13,43	21	-37	4,32	<b><u>10,75</u></b>	
узел 3/2	шаг 500 перфорация 500 (под	180,49	12,67	14,25	21	-37	4,07	13,93	
узел 4	шаг 500 перфорация 400 (под	166,74	12,67	13,16	21	-37	4,41	<b><u>10,77</u></b>	
узел 5	шаг 500 перфорация 300 (под	167,68	12,67	13,23	21	-37	4,38	<b><u>11,15</u></b>	
узел 6	шаг 500 перфорация 200 (под	160,87	12,67	12,70	21	-37	4,57	<b><u>11,57</u></b>	
узел 7	шаг 500 перфорация 150 (под	152,78	12,67	12,06	21	-37	4,81	12,06	
узел 8	шаг 400 перфорация 600	176,96	12,86	13,76	21	-37	4,21	14,18	
узел 9	шаг 500 перфорация 600	176,19	12,86	13,70	21	-37	4,23	14,16	