

Министерство образования и науки Российской Федерации
Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» в г. Миассе
Факультет «Машиностроительный»
Кафедра «Строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н.

_____ Д.В. Чебоксаров

_____ 2017 г.

Исследование 3-х слойной стеновой ж/б панели на соответствие
требованиям энергоэффективности и разработка рекомендаций
по повышению приведенного сопротивления передаче

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–08.03.01.2017.645.00 ПЗ ВКР

Консультант, ст. преподаватель
безопасность жизнедеятельности

_____ 2017 г.

Руководитель проекта, зав. каф., к.т.н.

_____ 2017 г.

Консультант, ст. преподаватель
архитектура

_____ 2017 г.

Автор работы
студент группы МиМс–481

_____ Лобова В.К.
_____ 2017 г.

Консультант, ст. преподаватель
технология строительных процессов

_____ 2017 г.

Нормоконтролер, ст. преподаватель

_____ 2017 г.

Консультант, преподаватель
экономика отрасли, ОПУС

_____ 2017 г.

Консультант, ст. преподаватель
расчетно-конструктивная часть

_____ 2017 г.

Миасс 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	11
1.1 Эволюция требований энергоэффективности, моделей представления ограждающих конструкций и расчета приведенного сопротивления теплопередаче	11
1.2 Краткий обзор литературы.....	15
1.3 Обоснование выбора программы для теплового расчета	16
1.4 Выводы по главе.....	16
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ.....	18
2.1 Расчет приведенного сопротивления по методике свода правил СП 50.13330 «Тепловая защита зданий»	18
2.2 Основы теплового расчета в программном комплексе ANSYS.....	20
2.3 Порядок работы в программном комплексе ANSYS	20
2.4 Выводы по главе.....	24
ГЛАВА 3 РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМА СЕРИИ 97	25
3.1 Описание конструкций, выбранных для расчета.....	25
3.2 Задание условий в ANSYS	29
3.3 Расчет стеновой панели НР1	30
3.3 Расчет стеновой панели НР2-3б	33
3.4 Расчет стеновой панели НТ1-4	36
3.5 Расчет стеновой панели НТ11.....	39
3.6 Выводы по разделу	42

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ.....	43
4.1 Анализ результатов расчета приведенного сопротивления теплопередаче.....	43
4.2 Разработка рекомендаций по повышению тепловой защиты конструкций.....	45
4.3 Выводы по главе.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	48
ПРИЛОЖЕНИЯ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Главной задачей строительства является обеспечение надежности, долговечности и экономичности строительства. Задача экономичности включает в себя использование современных технологий возведения зданий и сооружений и материалов, что, как правило, уменьшает стоимость строительства и одновременно улучшает некоторые показатели построенных зданий и сооружений.

В 2009 году был издан федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], в связи с этим приоритетным направлением развития строительной науки в Российской Федерации является проектирование и строительство зданий с применением наиболее экономичных и энергоэффективных конструкций и материалов.

В недалеком прошлом было построено множество жилых крупнопанельных зданий с энергоэффективными на то время материалами. Но из-за ускорения развития науки, появление большого разнообразия строительных конструкций, материалов и технических решений с каждым годом разница между применяемыми материалами и технологиями того времени и сейчас возрастает. Поэтому в настоящее время актуальным является вопрос о соответствии построек того времени требованиям нынешним. Именно такая проблема возникает у заводов, которые выпускают конструкции для жилищного строительства. Чтобы выпускаемая продукция соответствовала требованиям норм и правил, необходимо проводить исследования и заниматься разработкой возможных способов и методов повышения энергетической эффективности, как отдельных конструкций, так и зданий в целом.

Цель научного исследования – проверка на соответствие требованиям энергоэффективности и разработка рекомендации для повышения сопротивления теплопередаче конструкций стеновых панелей, выпускаемых заводом КДП.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели в научно-исследовательской работе были поставлены и выполнены следующие задачи:

- изучить методику расчета приведенного сопротивления теплопередаче по [1];
- обосновать выбор программы анализа тепловых характеристик конструкций;
- создать трехмерные модели конструкций стеновых панелей, предоставленных заводом КДП;
- произвести расчет трехмерного температурного поля и определить тепловые потоки через ограждающие конструкции при помощи аналитического программного комплекса;
- рассчитать значение приведенного сопротивления теплопередаче каждой стеновой панели;
- сравнить полученные результаты расчетов сопротивления теплопередаче с нормируемыми показателями этой величины;

– разработать рекомендации по повышению приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Объект исследования. В научно-исследовательской работе рассматриваются и проверяются на соответствие требованиям трехслойные стеновые панели завода КПД города Миасса.

Предмет исследования – показатель приведенного сопротивления теплопередаче.

Основание для проведения исследования. Основанием для проведения данного исследования является несоответствие конструкций стеновых панелей современным требованиям энергоэффективности. Исходные данные в виде планов, разрезов, схем и узлов были предоставлены заводом КПД.

Теоретическая и методологическая основы исследования – теоретической основой научно-исследовательской работы послужили труды ведущих отечественных ученых и специалистов, своды правил Министерства регионального развития Российской Федерации, описание принципов расчета программного комплекса ANSYS.

Методологической основой исследования является общенаучная методология, предусматривающая применение таких методов как анализ, сравнение, моделирование, обобщение и измерение.

Эмпирическая база научно-исследовательской работы – данные, собранные из электронных источников информации.

Новизна научно-исследовательской работы состоит в том, что:

– расчет приведенного сопротивления теплопередаче стеновых панелей завода КПД г. Миасса производится при помощи программного комплекса ANSYS 14.0;

– предложены способы решения проблемы энергоэффективности стеновых панелей.

Практическая значимость работы – разработка рекомендаций для завода КПД по повышению энергоэффективности стеновых панелей.

Публикации. По теме научно-исследовательской работы выпущена 1 публикация по результатам заочной Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и ученых «Энерго-, ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере».

Структура и объем работы. Научно-исследовательская работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (17 наименований) и 2 приложений, содержит 54 рисунка, 17 таблиц, 21 формулу. Общий объем научно-исследовательской работы – 78 страниц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В данной главе представлена эволюция норм и правил проектирования теплозащитных оболочек здания за последние десятилетия, краткий обзор литературы по теме исследования и обосновывается остановка выбора на программе многоцелевого анализа ANSYS 14.0.

1.1 Эволюция требований энергоэффективности, моделей представления ограждающих конструкций и расчета приведенного сопротивления теплопередаче

Развитие строительной науки не стоит на одном уровне. Прогрессируя со временем, наука вызывает изменения не только в методах строительства и конструктивных решениях, но и в требованиях, предъявляемых к постройкам.

Проведем небольшой анализ нормативных строительных норм и правил за последние двадцать лет в области теплотехники и сравним требования энергоэффективности к ограждающим конструкциям в этих документах.

Впервые появление термина «приведенное сопротивление теплопередаче» связано с редакцией стандарта [2]. В 1995 году было выпущено переиздание редакции [3], которому предшествовали изменения № 3 к [2]. Требования к тепловой защите здания формулировались следующим образом: приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений, определяемых, исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий [3, формула 1, табл. 9*], и условий энергосбережения [3, табл. 1а, 1б]:

$$R_0 \geq \max \left(R_{0(\text{сан-гиг})}^{\text{тр}}, R_{0(\text{эн.сб})}^{\text{тр}} \right), \quad (1)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции;

$R_{0(\text{сан-гиг})}^{\text{тр}}$ – требуемое сопротивление теплопередаче, определяемое исходя из обеспечения санитарно-гигиенических и комфортных условий;

$R_{0(\text{эн.сб})}^{\text{тр}}$ – требуемое сопротивление теплопередаче, определяемое исходя из условий энергосбережения.

Ограждающая конструкция разбивалась следующим образом:

а) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или часть ее) условно разрезается на участки, из которых одни участки могут быть однородными (однослойными) – из одного материала, а другие неоднородными – из слоев различных материалов;

Приведенное сопротивление теплопередаче:

$$R_a = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (2)$$

где F_1, F_2, \dots, F_n – площади отдельных участков конструкции (или ее части), м²;
 R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления указанных отдельных участков конструкции, определяемые по формуле (3) для однородных участков и по формуле (4) для неоднородных участков.

Приведенное сопротивление теплопередаче однородной конструкции:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м · °С), принимаемый по [3, прил. 3*].

Приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной конструкции:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{в.п.}, \quad (4)$$

где $R_1 + R_2 + \dots + R_n$ – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, м² · °С/Вт, определяемые по формуле (3);

$R_{в.п.}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, принимаемое по [3, прил. 4].

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или часть ее, принятая для определения R_a) условно разрезается на слои, из которых одни слои могут быть однородными — из одного материала, а другие неоднородными — из однослойных участков разных материалов. Термическое сопротивление однородных слоев определяется по формуле (3), неоднородных слоев — по формуле (2) и термическое сопротивление ограждающей конструкции R_σ — как сумма термических сопротивлений отдельных однородных и неоднородных слоев — по формуле (4).

Если величина R_a превышает величину R_σ более чем на 25 % или ограждающая конструкция не является плоской (имеет выступы на поверхности), то приведенное термическое сопротивление $R^{пр}_k$ такой конструкции следует определять на основании расчета температурного поля.

Как следует из [3], приведенное сопротивление теплопередаче определяется как совокупность изолированных теплопроводных включений, и только при наличии существенного расхождения между упрощенной оценкой (R_a) и уточненной (R_σ) предлагается приведенное термическое сопротивление $R^{пр}_k$ конструкции определять на основании расчета температурного поля.

С 2003 года взамен [3] был введен в действие документ [4]. Нормами были установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

При этом требования тепловой защиты здания считались выполненными, если:

– в жилых и общественных зданиях при проектировании соблюдены требования показателей "а" и "б" либо "б" и "в";

– в производственных зданиях – требования показателей "а" и "б".

Согласно первому требованию энергоэффективности:

$$R_0 \geq R_{req}, \quad (5)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче, рассчитываемое по [3, формула 1], только в [4] индексы заменены латинскими буквами («в» – «int», «н» – «ext» и т.д.)

R_{req} – нормируемое значение сопротивления теплопередаче [4, табл. 4].

С 2012 года в стране действует [5] и согласно ему здание должно отвечать следующим требованиям:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны 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).

Требования тепловой защиты здания выполнены, если соблюдены все три правила.

Требование первое можно выразить через формулу:

$$R_0^{пр} \geq R_0^{норм}, \quad (6)$$

$$R_0^{норм} = R_{тр} * m_p, \quad (7)$$

где $R_{тр}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, которое следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) региона строительства и определять по [5, табл. 3];

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства.

Расчет по [5] основан на представлении ограждающей конструкции теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери. Удельные потери теплоты каждым

элементом находятся при помощи сравнения потока теплоты через узел с исследуемым элементом и через тот же узел, но без элемента.

Приведенное сопротивление теплопередаче следует определять по формуле, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{усл}}} + \sum l_j \psi_j + \sum n_k x_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \psi_j + \sum n_k x_k}, \quad (8)$$

где $R_0^{\text{усл}}$ – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания, либо выделенной ограждающей конструкции;

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, шт/ м^2 ;

x_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $\text{Вт}/\text{°C}$.

В итоге получаем следующую картину (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение требования энергоэффективности нормативных документов

Документ	Требование (-я) энергоэффективности	Обязательность выполнения
СНиП II-3-79*	приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций принимается в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений	выполнение условия обязательно для всех зданий
СНиП 23-02-2003	- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций принимается не менее нормируемых значений; - температурный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции не должен превышать нормируемого значения, а температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции должна превышать температуру точки росы;	выполнение всех трех условий для различных назначений зданий не обязательно: для жилых и общественных – первое и второе или второе и третье, для производственных зданий – первое и второе
СНиП 23-02-2003	- удельный расход тепловой энергии на отопление должен быть ниже или равен нормируемому значению	

СП 50.13330.2012	<ul style="list-style-type: none"> - приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемого значения; - удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения; - температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений 	выполнение всех трех условий для всех назначений зданий обязательно
---------------------	--	---

1.2 Краткий обзор литературы

Тема изучения теплотехнических свойств ограждающих конструкций, а так же влияния теплотехнических неоднородностей на сопротивление теплопередаче, раскрывается во многих работах отечественных и зарубежных ученых и специалистов. В большинстве этих работ расчет приведенного сопротивления теплопередаче производится с использованием методик изданных норм и правил [2-6] без привлечения современных программных комплексов анализа и расчета. Например, Хинканин Л.А. и Хинканин А.П. в своей работе [7] рассматривают причины несоответствия требуемого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций фактическому его значению на примере нескольких случаев из строительной практики. В работе [8] Тишнер-Егоровой Т. и Августовны Э. усовершенствован метод расчет теплозащитных характеристик узла сопряжения плиты перекрытия со стеной. Гагарин В. Г. сделал весомый вклад в изучение и усовершенствование методов расчета теплозащитных характеристик оболочки здания. В своем исследовании [9] профессор приводит сравнение техник учета теплотехнических неоднородностей при проектировании ограждающих конструкций в России и странах Европы. Совместно с Козловым В.В. [10] рассказывает о теоретических предпосылках появления понятия «приведенное сопротивление теплопередаче». В соавторстве с Дмитриевым К.А. [11] приводит методы учета теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и странах Европы. Неклюдов А.Ю. [12] учитывает влияние теплотехнических неоднородностей оболочки здания с целью усовершенствования метода расчета тепловой нагрузки на системы отопления и вентиляции здания.

Что касается работ связанных с расчетами в программном комплексе Ansys, диссертации, научные исследования на тему анализа конструкций при помощи Ansys встречаются довольно редко. Подавляющее большинство ориентировано дать пример расчета и анализа для ознакомительных и учебных целей. В статье Сурсанова Д.Н. и Пономарева А.Б. [13] определяется приведенное сопротивление теплопередаче самонесущей стеновой панели, однако, расчет ведется только с учетом линейных теплотехнических неоднородностей, без включения в расчет

потерь тепла через точечные неоднородности. В научно-исследовательской работе Новикова А.И. [14] приведенное сопротивление стеновой панели рассчитывается в программной комплексе FloEFD.

1.3 Обоснование выбора программы для теплового расчета

Программный комплекс ANSYS существует на рынке уже более 38 лет, постоянно совершенствуя свою технологию.

Комплекс является подстраиваемой и удобной системой численного моделирования, позволяющей работать с широким спектром как обособленных, так и связанных видов анализа, что дает возможность разрабатывать и производить испытания проектных разработок, не используя многочисленный набор программ.

Отличительной чертой программного комплекса является файловая совместимость всех подмножеств ANSYS для всех используемых платформ. Многоцелевая направленность программы позволяет использовать одну и ту же расчетную модель для решения различных связанных задач.

Пользователям, не зависимо от их опыта, эта программа предлагает каждодневно увеличивающийся перечень расчетных инструментов, которые учитывают разнообразные конструктивные нелинейности; делают возможным решение самого общего случая контактной задачи для поверхностей модели; предоставляют возможность произвести интерактивную оптимизацию и анализ влияния температуры воздушной среды и многое другое - вместе с параметрическим моделированием, гибким перестроением сетки и широкими возможностями создания макрокоманд с помощью языка параметрического проектирования программы ANSYS (APDL) [15]. Система меню позволяет вводить данные и выбирать действия программы с помощью панелей диалога, выпадающих меню и окон списка, помогая пользователю управлять процессами анализа.

Программа поддерживает самые распространенные форматы файлов, такие как AutoCAD (.dwg; .dxf), Creo Parametric (.prt; .asm), IGES (.iges; .igs), Parasolid (.x_t; .xmt_txt; .x_b; .xmt_bin), что позволяет импортировать модели конструкций из огромного списка программ.

1.4 Выводы по главе

Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче претерпела значительные изменения за последние десятилетия. Требования энергоэффективности оболочки здания стали жестче.

Переход от ручного расчета двухмерных и трехмерных температурных полей, по формулам, к компьютеризированному становится все более реальным, но, не смотря на это, все еще редко встречающимся в серьезных научных работах. Необходимость этого перехода обосновывается тем, что при машинном расчете

исключается вероятность появления ошибок в расчетах из-за человеческого фактора.

Программы для многофункционального анализа конструкций становятся все совершеннее, позволяя создать и получить результаты максимально близкие к реальности.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

2.1 Расчет приведенного сопротивления по методике свода правил СП 50.13330 «Тепловая защита зданий»

Требования энергоэффективности по действующим нормам предусматривают соблюдение всех условий:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений;

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

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений.

Основной задачей в обеспечении энергоэффективности ограждающих конструкций панельного типа является обеспечение приведенного сопротивления теплопередаче $R_0^{пр}$ – средневзвешенного по площади сопротивления теплопередаче панели, состоящей из однородной области и набора элементов, образующих теплотехнически неоднородную конструкцию. Значение двух остальных показателей связано с $R_0^{пр}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче определяется по формуле (8).

Условное сопротивление теплопередаче однородной i -той части, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_{0,i}^{усл} = 1/\alpha_{в} + \Sigma(\delta_i/\lambda_i) + 1/\alpha_{н}, \quad (9)$$

где $\alpha_{в}$, $\alpha_{н}$ – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей соответственно;

δ_i – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ_i – теплопроводность i -го слоя конструкции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Условное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_{0,i}^{усл} = \frac{1}{\Sigma a_i U_i}. \quad (10)$$

Доля площади элемента от общей площади фрагмента, $\text{м}^2/\text{м}^2$:

$$a_i = \frac{A_i}{\Sigma A_i}, \quad (11)$$

где A_i – площадь i -той части фрагмента, м^2 .

Коэффициент теплопередачи однородной части фрагмента, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$:

$$U_i = \frac{1}{R_0^{усл}}. \quad (12)$$

Удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность определяются по результатам расчета двухмерного температурного поля узла конструкций при температуре внутреннего воздуха t_e и температуре наружного воздуха t_n .

$$\psi = \frac{\Delta Q_j^L}{t_B - t_H}, \quad (13)$$

где ΔQ_j^L – дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на 1 пог. м, определяемые по формуле

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_{j,1} - Q_{j,2} \quad (14)$$

где Q_j^L – потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, приходящиеся на 1 пог. метр стыка, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт/м;

$Q_{j,1}$, $Q_{j,2}$ – потери теплоты через участки однородных частей фрагмента, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля области с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, Вт/м, определяемые по формулам:

$$Q_{j,1} = \frac{t_B - t_H}{R_{0,j,1} * 1\text{м}} S_{j,1}; \quad Q_{j,2} = \frac{t_B - t_H}{R_{0,j,2} * 1\text{м}} S_{j,2}, \quad (15)$$

где $S_{j,1}$, $S_{j,2}$ – площади однородных частей конструкции, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля, м.

Удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида определяются по результатам расчета трехмерного температурного поля участка конструкции, содержащего точечную теплотехническую неоднородность, по формуле:

$$x_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H}, \quad (16)$$

где ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, Вт, определяемые по формуле:

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \bar{Q}_k, \quad (17)$$

где Q_k – потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт;

\bar{Q}_k – потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт.

2.2 Основы теплового расчета в программном комплексе ANSYS

Основой теплового анализа в ANSYS является уравнение теплового баланса, основанное на законе сохранения энергии:

$$Q_{\text{пол}} - Q_{\text{отд}} = 0, \quad (18)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – количество тепловой энергии, полученной менее нагретым телом (средой) от более нагретого тела (среды);

$Q_{\text{отд}}$ – количество тепловой энергии, отданное более нагретым телом (средой).

Конечно-элементное решение, получаемое в результатах расчета программы, определяет температуры в узлах, которые затем используются для получения других тепловых величин [16].

2.3 Порядок работы в программном комплексе ANSYS

Работа в программном комплексе подразумевает создание расчетной модели, задание всех необходимых для расчета исходных данных, наложение различных тепловых нагрузок на расчетную модель и выбор выводимых результатов.

Начинается все со схемы проекта, где посредством взаимосвязей задается последовательность: расчетная *Геометрия*, вид анализа *Статический термический анализ*. Схема проекта с компонентами и системами анализа представлена на рисунке 1.

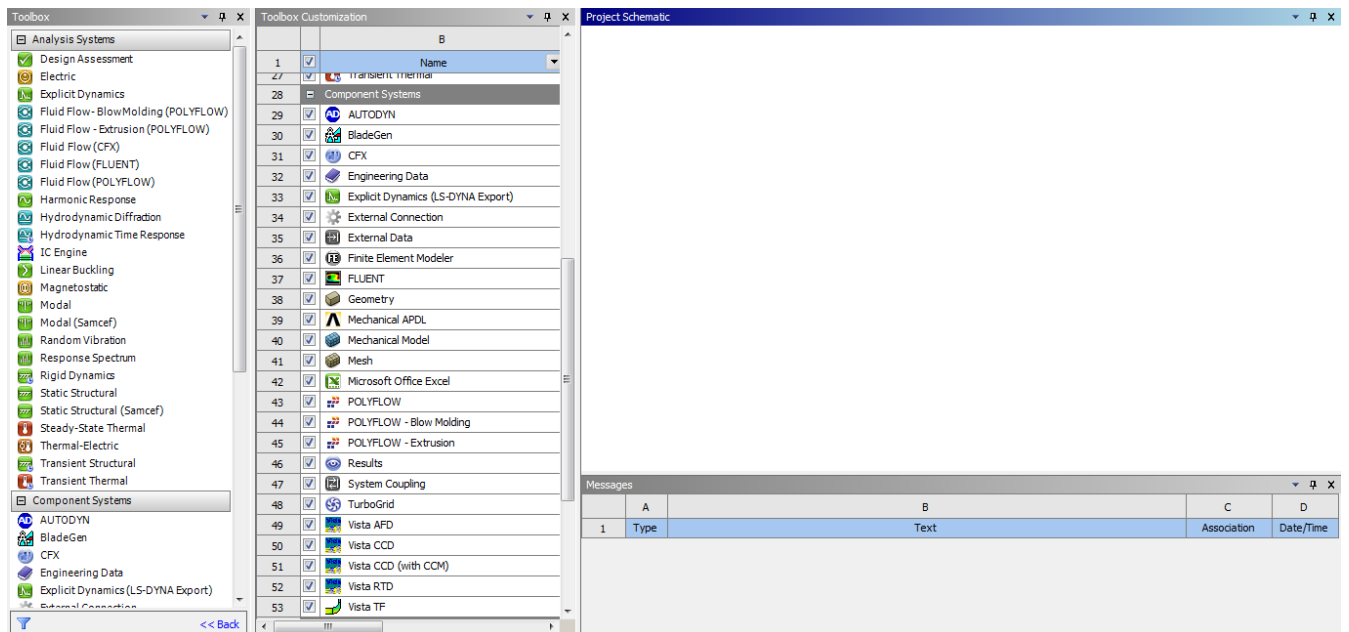


Рисунок 1 – Рабочая область программного комплекса Ansys

Нажимаем на компонент системы *Геометрия* и открываем *Дизайнер модели*, после чего импортируем модель стеновой панели из программы SolidWorks (рисунок 2). После генерации модели закрываем *Дизайнер модели* и возвращаемся к схеме проекта.

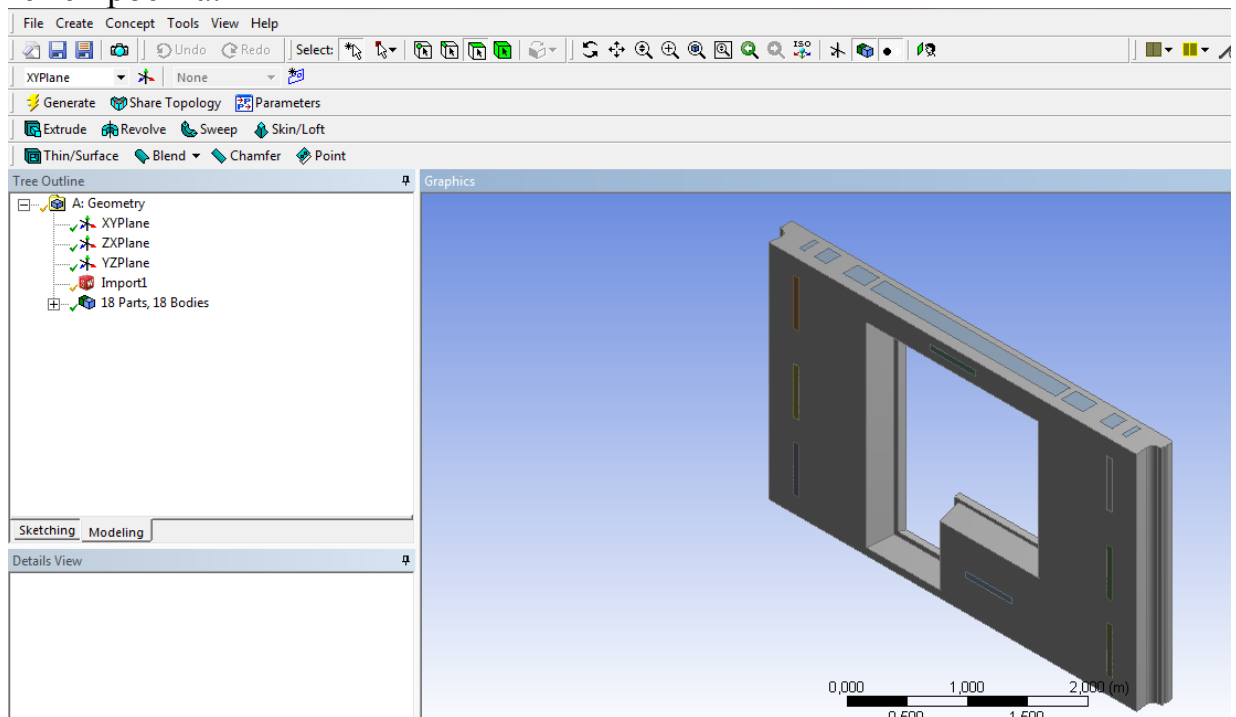


Рисунок 2 – Раздел дизайна модели

При помощи перетаскивания курсором мыши системы анализа *Статический термический расчет* на компонент системы *Геометрия* создаем взаимосвязь между моделью и расчетной схемой (рисунок 3).

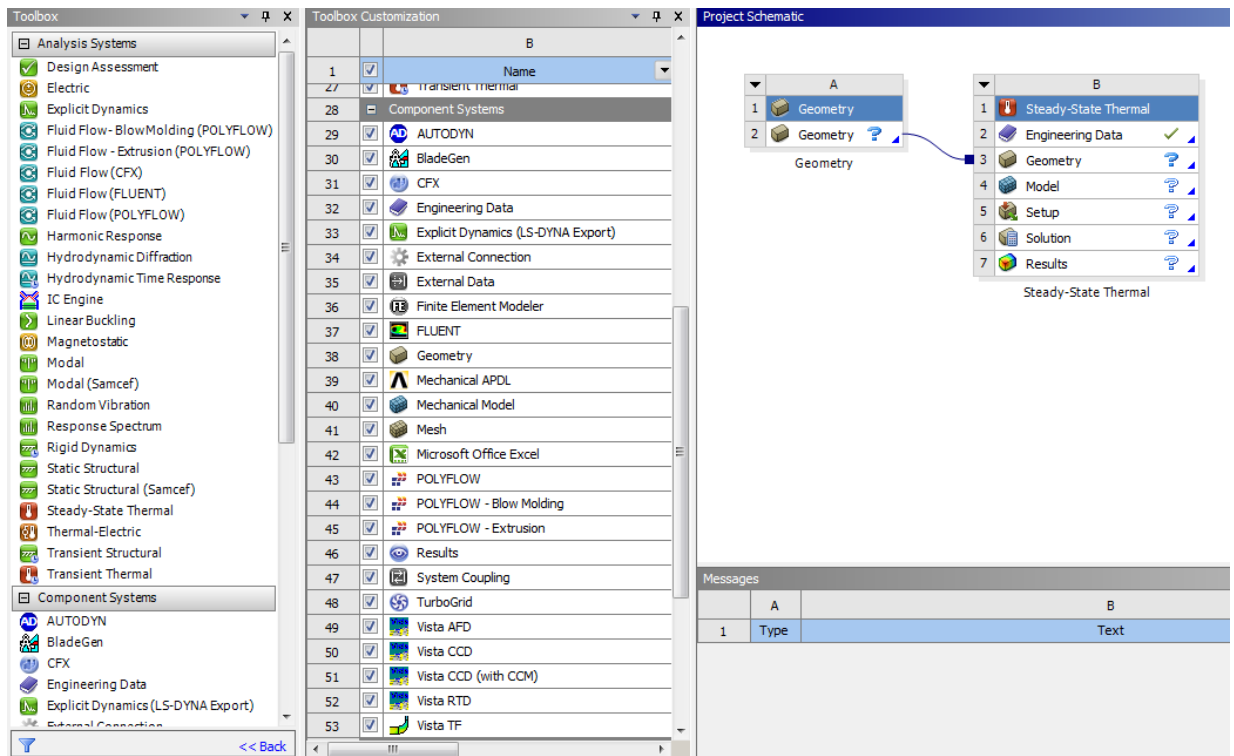


Рисунок 3 – Создание взаимосвязи компонента и системы анализа

В подразделе системы анализа *Инженерные данные* создаем новую библиотеку материалов, включая все необходимые для расчета материалы. Далее добавляем нужный перечень материалов из библиотеки на определенную конструкцию, которая будет рассчитываться в данном файле (рисунок 4). Нажимаем *Обновить проект* для сохранения добавленных материалов в проект.

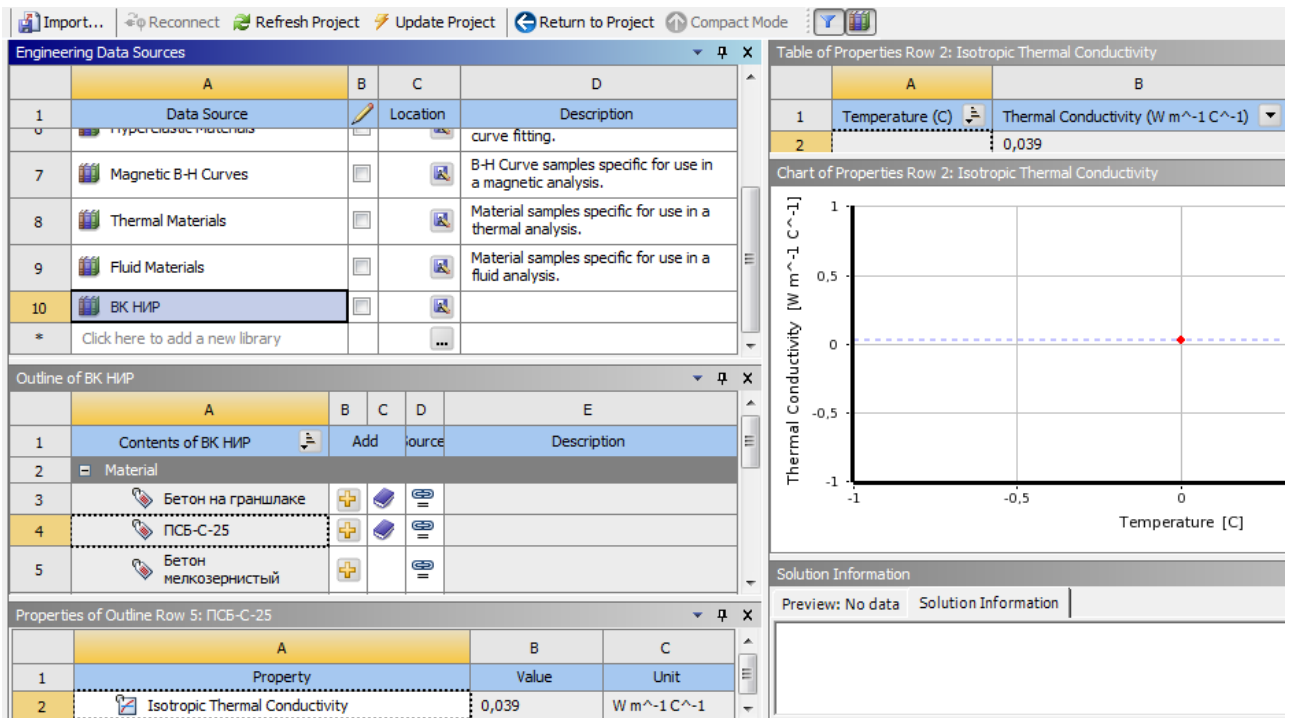


Рисунок 4 – Инженерные данные

В подсистеме *Геометрия* уже существует загруженная модель, так как мы задавали взаимосвязь между двумя элементами схемы.

Подсистема *Модель* является самым главным и трудоемким разделом в данном аналитическом расчете. Здесь мы задаем материал для каждого элемента модели стены, генерируем *Сетку* конечных элементов (рисунок 5), задаем *Нагрузки* на расчетную модель (рисунок 6) и указываем типы данных для вывода в результат расчета (рисунок 7). После заполнения всех необходимых параметров подсистемы, нажимаем *Решить*, и системная программа начинает расчет. После завершения расчета возвращаемся к схема проекта.

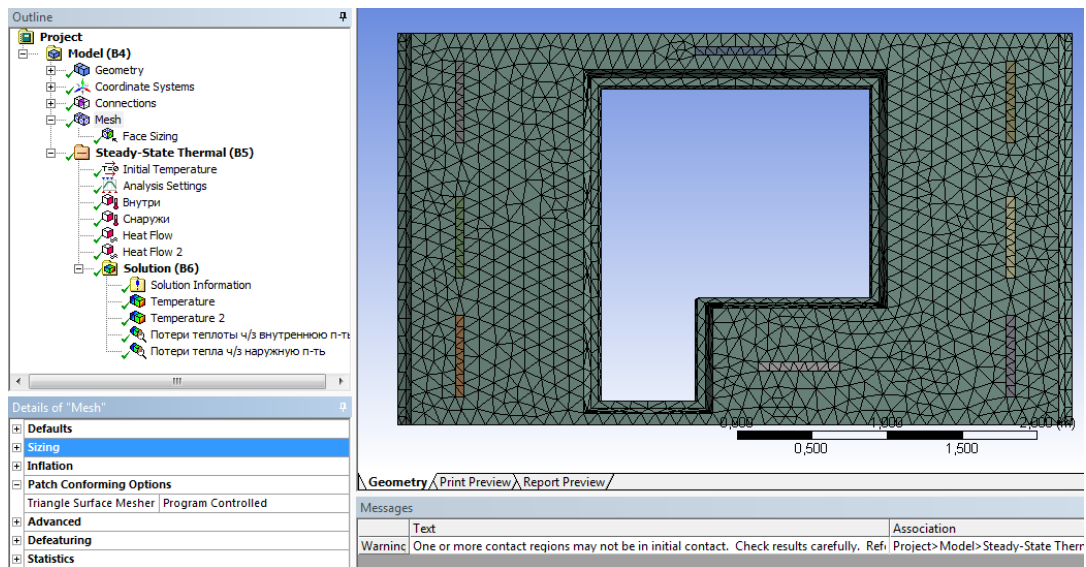


Рисунок 5 – Задание сетки конечных элементов

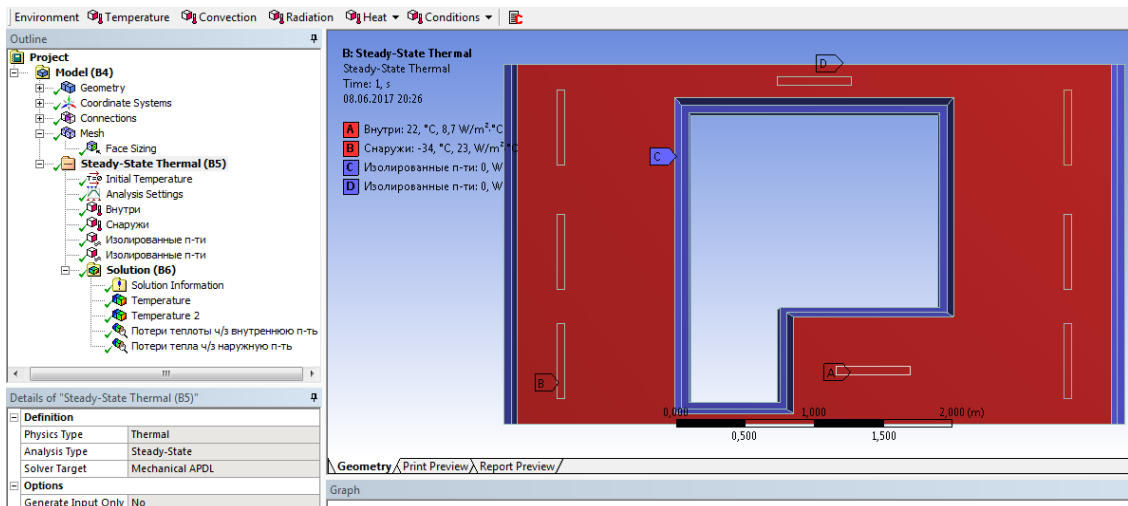


Рисунок 6 – Задание нагрузок на расчетную модель

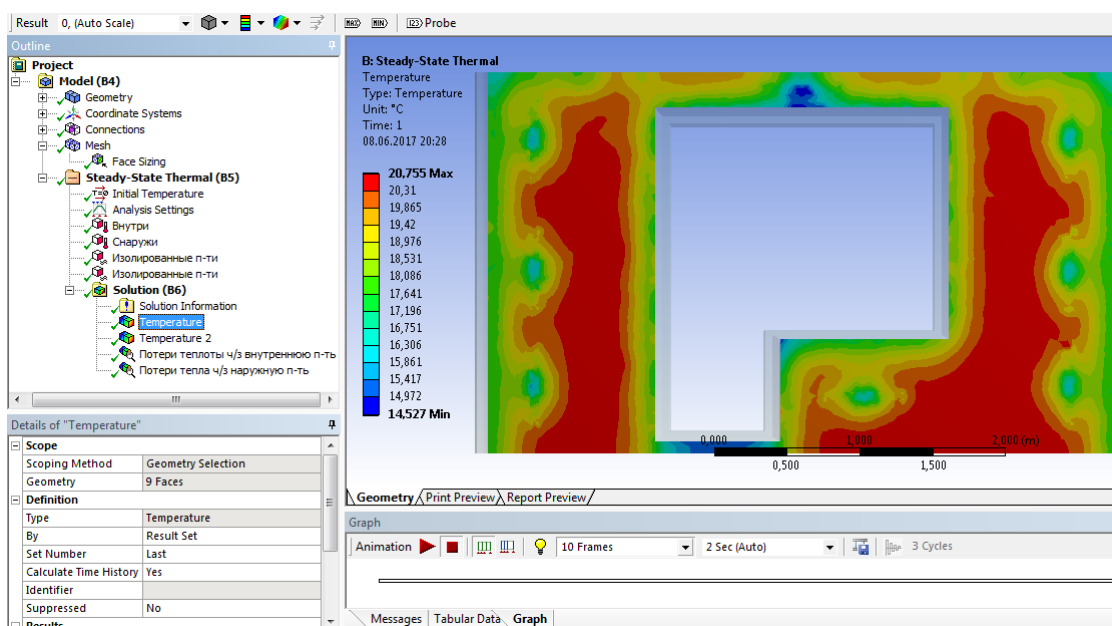


Рисунок 7 – Задание результатов расчета

После расчета подсистемы *Установка*, *Решение* и *Результаты* автоматически обновились и готовы к просмотру. Все необходимые для решения значения берутся из подсистемы *Результаты* (рисунок 8). Так же, в случае необходимости, в этой подсистеме можно изменить параметры анализа и пересчитать проект заново.

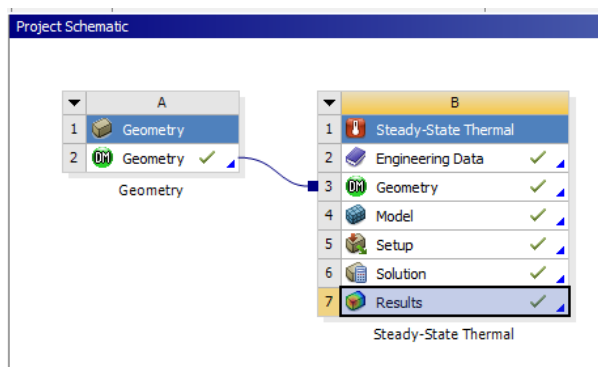


Рисунок 8 – Окончание расчета

2.4 Выводы по главе

Программный пакет проектирования и анализа ANSYS – одна из лидирующих программ, позволяющая производить точные и многоцелевые расчеты, как опытному пользователю, так и вновь начавшему работу с данным комплексом. Интуитивно понятные интерфейс не загружает многообразием инструментов и элементов, что положительно сказывается на комфорте и скорости работы.

Внедрение результатов анализа программы ANSYS в методику расчета свода правил не только исключает допущение ошибок в расчетах температурных полей и получении величин тепловых потоков, но и ускоряет и облегчает расчет приведенного сопротивления теплопередаче. Все это оправдывает отданное предпочтение данному программному комплексу.

ГЛАВА 3 РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМА СЕРИИ 97

3.1 Описание конструкций, выбранных для расчета

Рассчитываются стеновые конструкции панельного дома типовой серии №97, изготавливаемые заводом КПД в г. Миассе (приложение 1). Стеновые панели состоят из двух (внешняя и внутренняя) плит из несущего материала – бетона на граншлаке, и среднего слоя утеплителя – плиты пенополистирола ПСБ-С-25. Внутренний слой бетонной плиты толщиной 120мм, утеплитель – 168мм, наружный бетонный слой – 62мм. Наружная и внутренняя плита соединены перемычкой (шпонкой), состоящей из бетона на граншлаке и металлической арматуры. Схемы панелей представлены на рисунках 9-12.

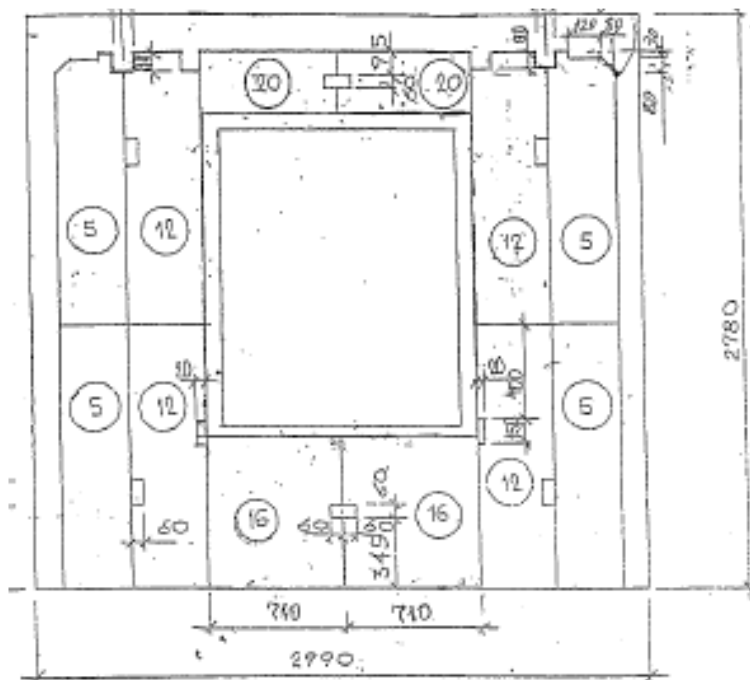


Рисунок 9 – Стеновая панель НР1 в разрезе по утеплителю

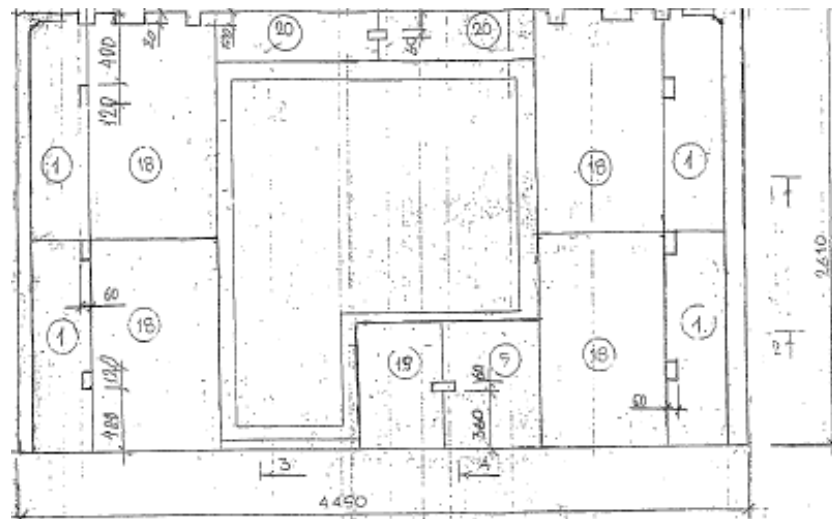


Рисунок 10 – Стеновая панель НР2-3Б в разрезе по утеплителю

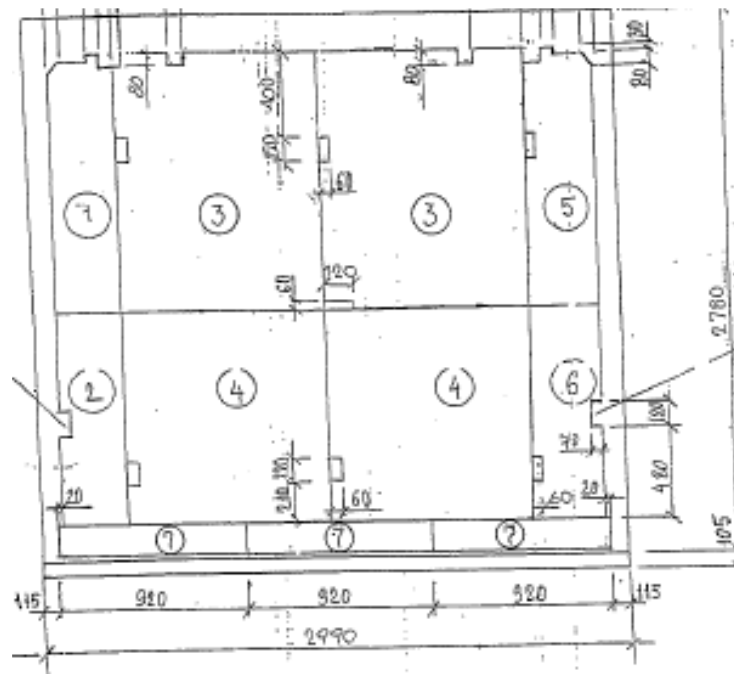


Рисунок 11 – Стеновая панель НТ1-4 в разрезе по утеплителю

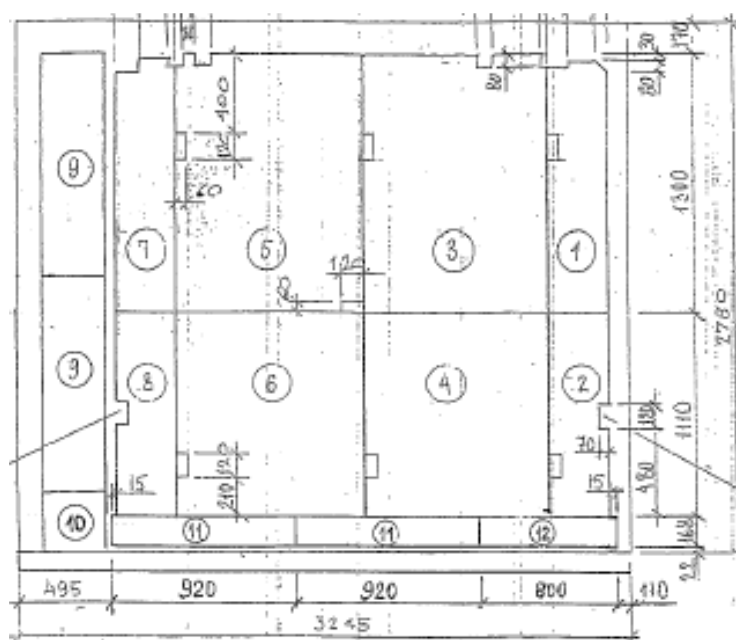


Рисунок 12 – Стеновая панель НТ11 в разрезе по утеплителю

Теплопроводности материалов, входящих в состав конструкций указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Теплопроводности материалов конструкций

Материал	Теплопроводность λ , Вт/(м · °С)
Бетон на граншлаке	0,510
Бетон мелкозернистый	1,510
Железобетон	1,690
Раствор цементно-песчаный	0,580
Пенополистирол ПСБ-С-25	0,039
Пеноплекс П-35 (обернутый пергамином)	0,029
Оксипласт	0,250
Вилатерм	0,035
Липс	0,560
Линолеум (на тепло-звукоизолирующей основе)	0,380
Рубероид	0,170
Монтажная пена	0,040
Сталь арматурная	57

Согласно [5] стеновые панели состоят из основной однородной трехслойной конструкции, линейных неоднородностей (рисунки 13,14), к которым следует отнести обрамляющие связи из несущего материала, и точечных неоднородностей, к которым следует отнести перемычки (шпонки), состоящие из бетона и арматуры (рисунок 15).

- 1 – Герметизирующая мастика, Оксилласт
- 2 – Уплотняющая прокладка, пенополиэтиленовая "Вилатери"
- 3 – Пакет из Пеноплекса П 35, обернутый пергамином, размером 160x50/35
- 4 – Пакет из Пеноплекса П 35, обернутый пергамином, размером 160x70
- 5 – Пакет из пенополистирола ПСБ-С-25; ГОСТ 15588-86
- 6 – Цементный раствор
- 7 – Оклеенная воздушноизоляция, герметизирующая самоклеющаяся "Липс", толщиной 2,0 мм
- 8 – Пакет из Пеноплекса П35, обернутый пергамином, размером 200x50
- 9 – Воздушная прослойка
- 10 – Мелкозернистый бетон
- 11 – Пакет из Пеноплекса П35, обернутый пергамином, размером 100x25
- 12 – Древесностружечная плита
- 13 – Пакет из Пеноплекса П35, обернутый пергамином, размером 100x20

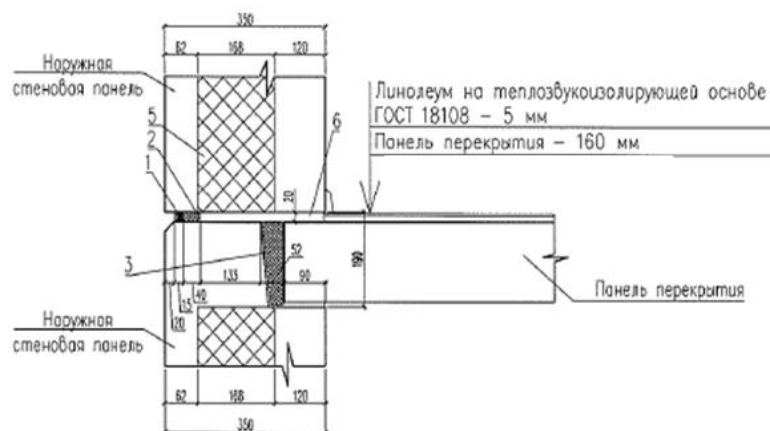


Рисунок 13 – Конструктивная схема горизонтального стыка

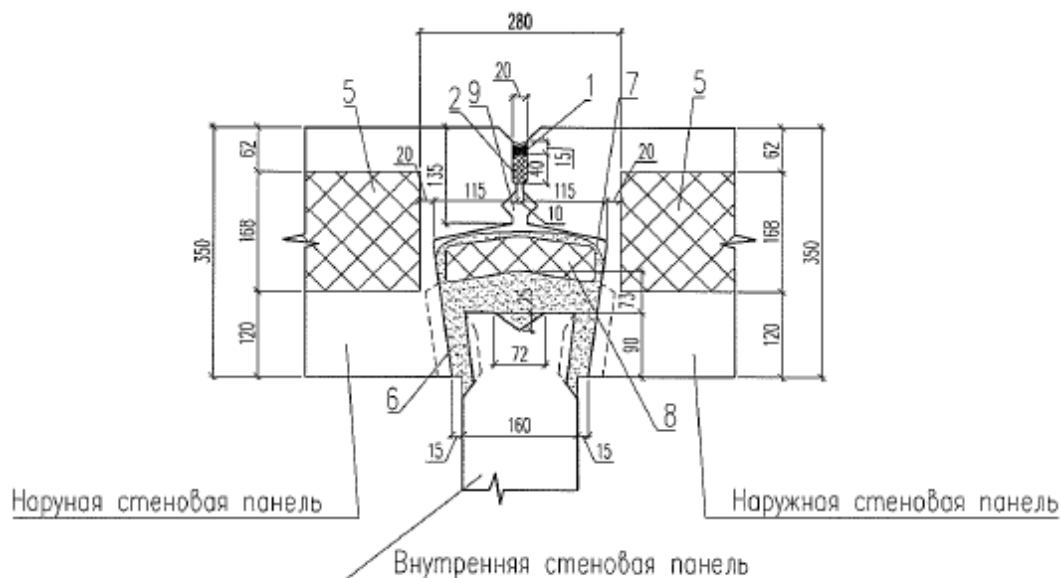


Рисунок 14 – Конструктивная схема вертикального стыка

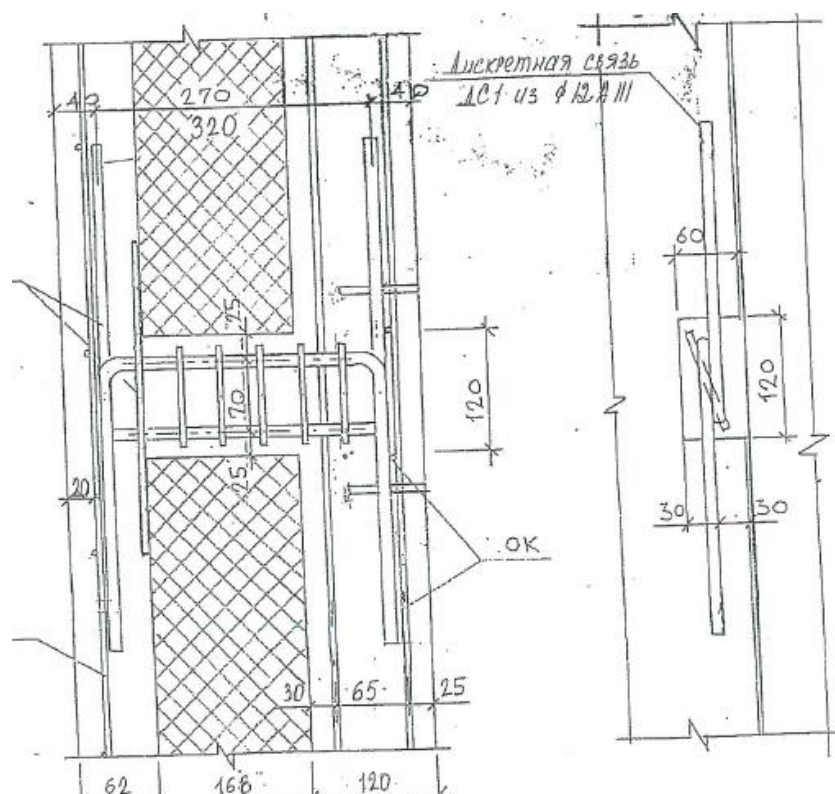


Рисунок 15 – Конструктивная схема узла перемычки

3.2 Задание условий в ANSYS

Геометрия была импортирована из среды SolidWorks с расширением файлов .SLDPRT. Для анализа были заданы условия конвекции внутренней и наружной поверхностей, граничные условия моделирования представлены в таблице 3. Размер 0,1 м сетки конечных элементов был выбран регулярным для всех поверхностей.

Таблица 3 – Граничные условия

Наименование параметра	Значение	Единицы измерения
Тип задачи	Стационарный теплоперенос	–
Вид теплопроводности	Изотропная	–
Теплопроводность	См. таблица 2	Вт/(м · °С)
Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (стена и подоконная часть)	8,7	Вт/(м ² · °С)
Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции	23	Вт/(м ² · °С)
Температура внутри	22	°С
Температура снаружи	-34	°С

3.3 Расчет стеновой панели НР1

Вся конструкция разделяется на три вида элементов: плоский элемент, линейный элемент, точечный элемент [5]. Расчет ведется по формулам (8 – 17).

Потери тепла через элементы конструкции, рассчитанные при помощи программного комплекса ANSYS (приложение 2), сведены в таблицу 4.

Размер расчетной области составляет 8,4 м² (рисунок 16).

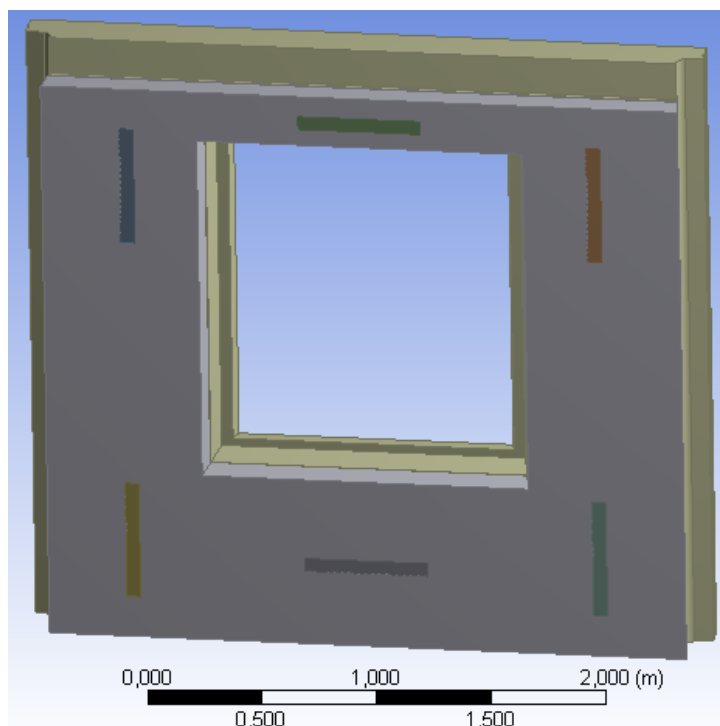


Рисунок 16 – Расчетная область панели НР1

Таблица 4 – Потери тепла через фрагменты конструкции

Наименование фрагмента	Значение теплопотерь через расчетную область, Вт	Значение теплопотерь без учета теплопроводного элемента, Вт	Площадь теплообмена, м ²	Протяженность линейной неоднородности и количество точечных неоднородностей на 1м ² расчетной области
Обрамляющие перемычки по границе оконного проема	111,28	109,29	8,4	$5,9/8,4 = 0,7$
Вертикальные стыки	19,47	12,36	1,22	$5,6/8,4 = 0,67$
Горизонтальные стыки	16,91	12,36	1,92	$6/8,4 = 0,71$
Шпонки	6,05	4,11	0,36	$6/8,4 = 0,71$

Условное сопротивление теплопередаче плоского элемента, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \Sigma \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,120}{0,51} + \frac{0,168}{0,039} + \frac{0,062}{0,51} + \frac{1}{23} = 4,82;$$

Потери тепла через плоский элемент, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$:

$$U_1 = \frac{1}{R_0^{\text{усл}}} = \frac{1}{4,82} = 0,207;$$

Доля площади элемента от общей площади расчетной области, $\text{м}^2 / \text{м}^2$:

$$a_1 = 8,4 / 8,4 = 1.$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (оконный проем), приходящиеся на 1 пог.м стыка, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_1^L = \frac{111,28}{5,9} = 18,86;$$

Потери теплоты через расчетную область без линейной теплотехнической неоднородности, приходящиеся на 1 пог.м стыка, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{1,1} = \frac{109,29}{5,9} = 18,52;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (вертикальный стык), $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_2^L = 19,47 / 5,6 = 3,47;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{2,1} = 12,36 / 5,6 = 2,2;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (горизонтальный стык), $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_3^L = 16,91 / 6 = 2,818;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{3,1} = 12,36 / 6 = 2,06;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с линейными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\begin{aligned}\Delta Q_1^L &= Q_1^L + Q_2^L + Q_3^L - Q_{1,1} - Q_{2,1} - Q_{3,1} = \\ &= 18,86 + 3,47 + 2,818 - 18,52 - 2,2 - 2,06 = 2,368;\end{aligned}$$

Удельные потери теплоты через линейные неоднородности, Вт/(м·°C):

$$\psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{2,368}{22 - (-34)} = 0,042;$$

Длина линейных неоднородностей, приходящаяся на 1 м² площади расчетной области, м/м² (см. таблицу 4):

$$l_1 = 0,7 + 0,67 + 0,71 = 2,08.$$

Потери теплоты через расчетную область с точечными техническими неоднородностями (шпонками), Вт:

$$Q_1 = 6,05;$$

Потери теплоты через расчетную область без шпонок, Вт:

$$\bar{Q}_1 = 4,11;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с точечными теплотехническими неоднородностями, Вт:

$$\Delta Q_1^K = Q_1 - \bar{Q}_1 = 1,94;$$

Удельные потери теплоты через точечные неоднородности, Вт/°C:

$$x_1 = \frac{\Delta Q_1^K}{t_B - t_H} = \frac{1,94}{22 - (-34)} = 0,035;$$

Количество точечных неоднородностей, приходящееся на 1 м² площади расчетной области, шт/м² (см. таблицу 4):

$$n_1 = 0,71.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_{0,1}^{\text{пр}} = \frac{1}{1 * 0,207 + 2,08 * 0,042 + 0,71 * 0,035} = 3,13.$$

3.3 Расчет стеновой панели НР2-3Б

Вся конструкция разделяется на три вида элементов: плоский элемент, линейный элемент, точечный элемент [5]. Расчет ведется по формулам (8 – 17).

Потери тепла через элементы конструкции, рассчитанные при помощи программного комплекса ANSYS (приложение 2), сведены в таблицу 5.

Размер расчетной области составляет $11,835 \text{ м}^2$ (рисунок 17).

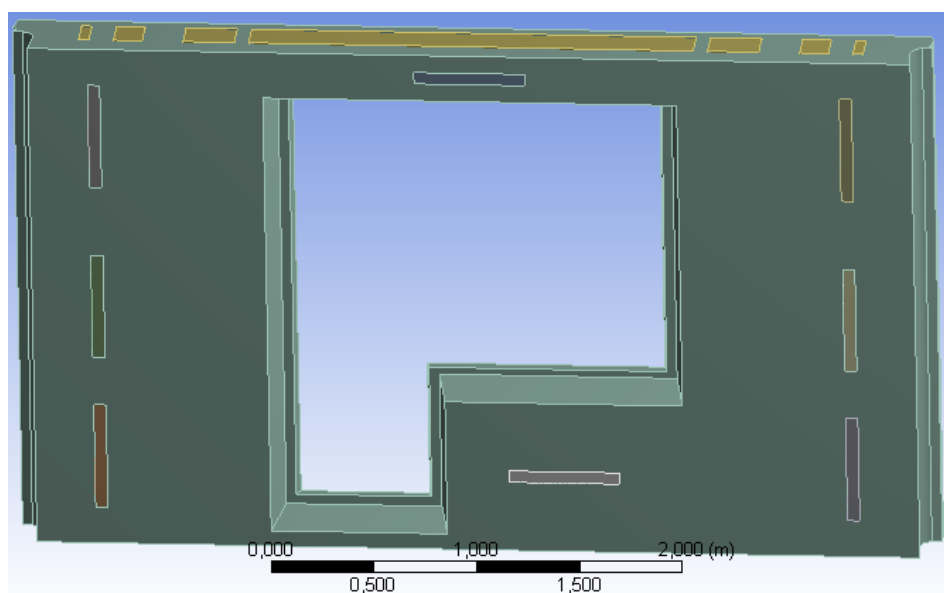


Рисунок 17 – Расчетная область панели НР2-3Б

Таблица 5 – Потери тепла через фрагменты конструкции

Наименование фрагмента	Значение теплопотерь через расчетную область, Вт	Значение теплопотерь без учета теплопроводного элемента, Вт	Площадь теплообмена, м^2	Протяженность линейной неоднородности и количество точечных неоднородностей на 1 м^2 расчетной области
Обрамляющие перемычки по границе проемов	193,92	143,62	11,835	$8,62/11,835 = 0,73$
Вертикальные стыки	19,47	12,36	1,22	$5,26/11,835 = 0,44$
Горизонтальные стыки	16,91	12,36	1,92	$9/11,835 = 0,76$
Шпонки	6,05	4,11	0,36	$8/11,835 = 0,68$

Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,120}{0,51} + \frac{0,168}{0,039} + \frac{0,062}{0,51} + \frac{1}{23} = 4,82;$$

Потери тепла через плоский элемент, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$:

$$U_2 = \frac{1}{R_0^{\text{усл}}} = \frac{1}{4,82} = 0,207;$$

Доля площади элемента от общей площади расчетной области, $\text{м}^2 / \text{м}^2$:

$$a_2 = 11,835 / 11,835 = 1.$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (оконный проем), приходящиеся на 1 пог.м стыка, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_1^L = \frac{193,92}{8,62} = 22,5;$$

Потери теплоты через расчетную область без линейной теплотехнической неоднородности, приходящиеся на 1 пог.м стыка, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{1,2} = \frac{143,62}{8,62} = 16,7;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (вертикальный стык), $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_2^L = 19,47 / 5,26 = 3,7;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{2,2} = 12,36 / 5,26 = 2,35;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (горизонтальный стык), $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_3^L = 16,91 / 9 = 1,879;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, $\text{Вт} / \text{м}$:

$$Q_{3,2} = 12,36 / 9 = 1,37;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с линейными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\begin{aligned}\Delta Q_2^L &= Q_1^L + Q_2^L + Q_3^L - Q_{1,2} - Q_{2,2} - Q_{3,2} = \\ &= 22,5 + 3,7 + 1,879 - 16,7 - 2,35 - 1,37 = 7,659;\end{aligned}$$

Удельные потери теплоты через линейные неоднородности, Вт/(м·°C):

$$\psi_2 = \frac{\Delta Q_2^L}{t_B - t_H} = \frac{7,659}{22 - (-34)} = 0,137.$$

Длина линейных неоднородностей, приходящаяся на 1 м² площади расчетной области, м/м² (см. таблицу 5):

$$l_2 = 0,73 + 0,44 + 0,76 = 1,93.$$

Потери теплоты через расчетную область с точечными техническими неоднородностями (шпонками), Вт:

$$Q_2 = 6,05;$$

Потери теплоты через расчетную область без шпонок, Вт:

$$\overline{Q}_2 = 4,11;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с точечными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\Delta Q_2^K = Q_2 - \overline{Q}_2 = 1,94;$$

Удельные потери теплоты через точечные неоднородности, Вт/(м·°C):

$$x_2 = \frac{\Delta Q_2^K}{t_B - t_H} = \frac{1,94}{22 - (-34)} = 0,035.$$

Количество точечных неоднородностей, приходящееся на 1 м² площади расчетной области, шт/м² (см. таблицу 5):

$$n_2 = 0,68.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$:

$$R_{0,2}^{\text{пр}} = \frac{1}{1 * 0,207 + 1,93 * 0,137 + 0,68 * 0,035} = 2,02$$

3.4 Расчет стеновой панели НТ1-4

Вся конструкция разделяется на три вида элементов: плоский элемент, линейный элемент, точечный элемент [5]. Расчет ведется по формулам (8 – 17).

Потери тепла через элементы конструкции, рассчитанные при помощи программного комплекса ANSYS (приложение 2), сведены в таблицу 6.

Размер расчетной области составляет $8,4 \text{ м}^2$ (рисунок 18).

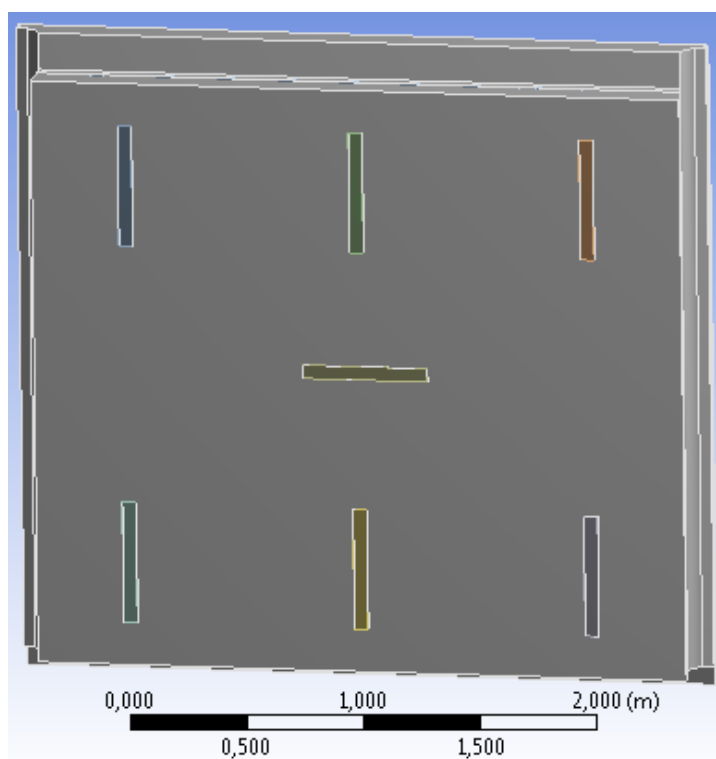


Рисунок 18 – Расчетная область панели НТ1-4

Таблица 6 – Потери тепла через фрагменты конструкции

Наименование фрагмента	Значение теплопотерь через расчетную область, Вт	Значение теплопотерь без учета теплопроводного элемента, Вт	Площадь теплообмена, м ²	Протяженность линейной неоднородности и количество точечных неоднородностей на 1м ² расчетной области
Линейная неоднородность по низу панели	129,62	123,32	8,4	2,76/8,4 = 0,328
Вертикальные стыки	19,47	12,36	1,22	5,6/8,4 = 0,67
Горизонтальные стыки	16,91	12,36	1,92	6/8,4 = 0,71
Шпонки	6,05	4,11	0,36	6/8,4 = 0,71

Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,120}{0,51} + \frac{0,168}{0,039} + \frac{0,062}{0,51} + \frac{1}{23} = 4,82.$$

Потери тепла через плоский элемент, Вт/м²·°С:

$$U_3 = \frac{1}{R_0^{усл}} = \frac{1}{4,82} = 0,207;$$

Доля площади элемента от общей площади расчетной области, м²/м²:

$$a_3 = 8,4/8,4 = 1.$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (по низу панели), Вт/м:

$$Q_1^L = 129,62/2,76 = 46,96;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{1,3} = 123,32/2,76 = 44,68;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (вертикальный стык), Вт/м:

$$Q_2^L = 19,47/5,6 = 3,47;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{2,3} = 12,36/5,6 = 2,2;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (горизонтальный стык), Вт/м:

$$Q_3^L = 16,91/6 = 2,818;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{3,3} = 12,36/6 = 2,06;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с линейными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\begin{aligned} \Delta Q_3^L &= Q_1^L + Q_2^L + Q_3^L - Q_{1,3} - Q_{2,3} - Q_{3,3} = \\ &= 46,96 + 3,47 + 2,818 - 44,68 - 2,2 - 2,06 = 4,3; \end{aligned}$$

Удельные потери теплоты через линейные неоднородности, Вт/(м·°С):

$$\psi_3 = \frac{\Delta Q_3^L}{t_B - t_H} = \frac{4,3}{22 - (-34)} = 0,077.$$

Длина линейных неоднородностей, приходящаяся на 1 м² площади расчетной области, м/м² (см. таблицу 6):

$$l_3 = 0,328 + 0,67 + 0,71 = 1,708.$$

Потери теплоты через расчетную область с точечными техническими неоднородностями (шпонками), Вт:

$$Q_3 = 6,05;$$

Потери теплоты через расчетную область без шпонок, Вт:

$$\overline{Q}_3 = 4,11;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с точечными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\Delta Q_3^K = Q_3 - \overline{Q}_3 = 1,94;$$

Удельные потери теплоты через точечные неоднородности, Вт/(м·°С):

$$x_3 = \frac{\Delta Q_3^K}{t_B - t_H} = \frac{1,94}{22 - (-34)} = 0,035.$$

Количество точечных неоднородностей, приходящееся на 1 м² площади расчетной области, шт/м² (см. таблицу 6):

$$n_3 = 0,71.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт:

$$R_{0,3}^{пр} = \frac{1}{1 * 0,207 + 1,708 * 0,077 + 0,71 * 0,035} = 2,75.$$

3.5 Расчет стеновой панели НТ11

Вся конструкция разделяется на три вида элементов: плоский элемент, линейный элемент, точечный элемент [5]. Расчет ведется по формулам (8 – 17).

Потери тепла через элементы конструкции, рассчитанные при помощи программного комплекса ANSYS (приложение 2), сведены в таблицу 7.

Размер расчетной области составляет 9,1 м² (рисунок 19).

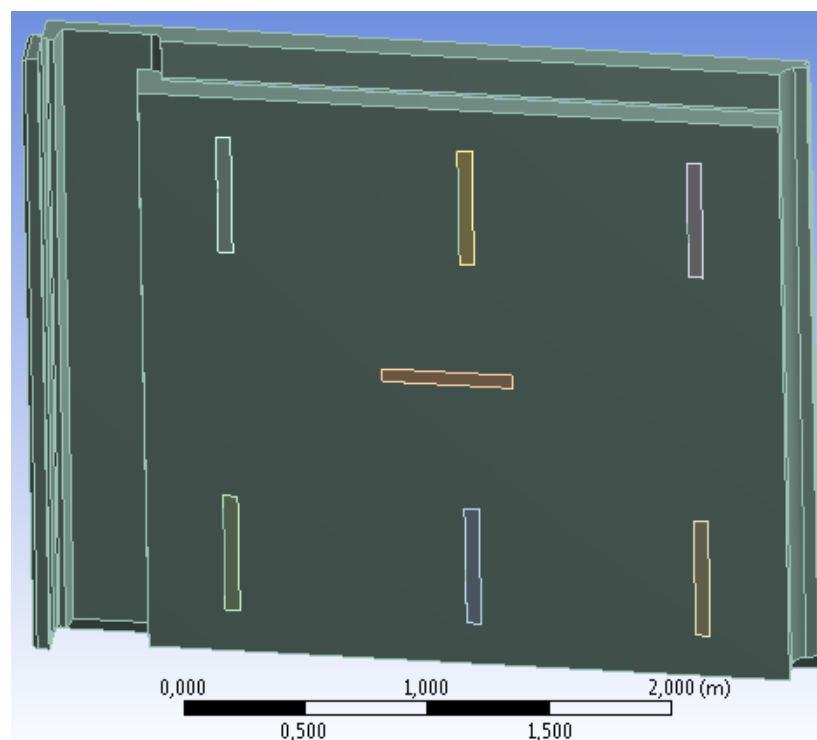


Рисунок 19 – Расчетная область панели НТ11

Таблица 7 – Потери тепла через фрагменты конструкции

Наименование фрагмента	Значение теплопотерь через расчетную область, Вт	Значение теплопотерь без учета теплопроводного элемента, Вт	Площадь теплообмена, м ²	Протяженность линейной неоднородности и количество точечных неоднородностей на 1м ² расчетной области
Линейная неоднородность по нижней кромке панели	124,22	118,23	9,1	2,64/9,1=0,29
Вертикальный угловой стык	20,12	16,12	1,31	2,8/9,1=0,31
Вертикальный стык	19,47	12,36	1,22	2,8/9,1 = 0,31
Горизонтальные стыки	16,91	12,36	1,92	6,51/9,1 = 0,72
Шпонки	6,05	4,11	0,36	7/9,1 = 0,77

Условное сопротивление теплопередаче плоского элемента ограждающей конструкции, м²·°C/Вт:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,120}{0,51} + \frac{0,168}{0,039} + \frac{0,062}{0,51} + \frac{1}{23} = 4,82;$$

Потери тепла через плоский элемент, Вт/м²·°C:

$$U_4 = \frac{1}{R_0^{усл}} = \frac{1}{4,82} = 0,207;$$

Доля площади элемента от общей площади расчетной области, м²/м²:

$$a_4 = 9,1/9,1 = 1.$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (по нижней кромке), Вт/м:

$$Q_1^L = 124,22/2,64 = 47,05;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{1,4} = 118,23/2,64 = 44,8;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (вертикальный угловой стык), Вт/м:

$$Q_2^L = 20,12/2,8 = 7,186;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{2,4} = 16,12/2,8 = 5,76;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (вертикальный стык), Вт/м:

$$Q_3^L = 19,47/2,8 = 6,95;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{3,4} = 12,36/2,8 = 4,42;$$

Потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью (горизонтальный стык), Вт/м:

$$Q_4^L = 16,91/6,51 = 2,6;$$

Потери теплоты без линейной неоднородности, Вт/м:

$$Q_{4,4} = 12,36/6,51 = 1,9;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с линейными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\begin{aligned} \Delta Q_4^L &= Q_1^L + Q_2^L + Q_3^L + Q_4^L - Q_{1,4} - Q_{2,4} - Q_{3,4} - Q_{4,4} = \\ &= 47,05 + 7,186 + 6,95 + 2,6 - 44,8 - 5,76 - 4,42 - 1,9 = 6,9; \end{aligned}$$

Удельные потери теплоты через линейные неоднородности, Вт/(м·°С):

$$\psi_4 = \frac{\Delta Q_4^L}{t_B - t_H} = \frac{6,9}{22 - (-34)} = 0,123.$$

Длина линейных неоднородностей, приходящаяся на 1 м² площади расчетной области, м/м² (см. таблицу 7):

$$l_4 = 0,29 + 0,31 + 0,31 + 0,72 = 1,63.$$

Потери теплоты через расчетную область с точечными техническими неоднородностями (шпонками), Вт:

$$Q_4 = 6,05;$$

Потери теплоты через расчетную область без шпонок, Вт:

$$\overline{Q}_4 = 4,11;$$

Дополнительные потери теплоты через расчетную область с точечными теплотехническими неоднородностями, Вт/м:

$$\Delta Q_4^K = Q_4 - \overline{Q}_4 = 1,94;$$

Удельные потери теплоты через точечные неоднородности, Вт/(м·°С):

$$x_2 = \frac{\Delta Q_4^K}{t_B - t_H} = \frac{1,94}{22 - (-34)} = 0,035.$$

Количество точечных неоднородностей, приходящееся на 1 м² площади расчетной области, шт/м² (см. таблицу 7):

$$n_4 = 0,77.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт:

$$R_{0,4}^{пр} = \frac{1}{1 * 0,207 + 1,63 * 0,123 + 0,77 * 0,035} = 2,3.$$

3.6 Выводы по разделу

Предварительный анализ полученных результатов дает возможность оценить соответствие рассчитанного сопротивления теплопередаче требуемому значению. Условное сопротивление панели без неоднородных включений значительно превышает расчетное термическое сопротивление, что дает возможность оценить масштабы тепловых потерь.

Процессы расчетов показывают, что определение приведенного сопротивления теплопередаче при помощи программного комплекса ANSYS несколько не утяжеляет работу, а наоборот облегчает, так как отбрасывается необходимость расчетов температурных полей и тепловых потоков по формулам свода правил [5].

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

4.1 Анализ результатов расчета приведенного сопротивления теплопередаче

Нормируемое сопротивление теплопередаче следует определять по формуле, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [5]:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} * m_p, \quad (19)$$

где $R_0^{\text{тп}}$ – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства; обычно принимаемая $m_p = 1$.

Значения $R_0^{\text{тп}}$ приведены в своде правил [5, табл. 3] и принимаются в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) региона строительства. ГСОП рассчитывается по формуле, град/сут:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})z_{\text{от}}, \quad (20)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C ;

$t_{\text{от}}, z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °C , и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемая по [17] для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°C .

$t_{\text{от}} = -6,5 \text{°C}$, $z = 218$ сут [17, табл.3.1]. Тогда ГСОП, град/сут:

$$\text{ГСОП} = (22 - (-6,5)) * 218 = 6213.$$

В [5, табл. 3] отсутствует значение ГСОП = 6213, тогда расчет требуемого сопротивления теплопередаче ведем по формуле [5, табл. 3], $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_0^{\text{тп}} = a * \text{ГСОП} + b, \quad (21)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным [5, табл. 3] для соответствующих групп здания; $a = 0,00035$, $b = 1,4$.

Требуемое и нормируемое сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_0^{\text{тп}} = 0,00035 * 6213 + 1,4 = 3,57.$$

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} * m_p = 3,57 * 1 = 3,57.$$

Так же, при выполнении определенных условий свода [5] при расчете удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию допускается снижать коэффициент m_p до 0,63 для стен здания. Соответственно, значение $0,63R_0^{TP} = 0,63 * 3,57 = 2,25$ является минимально допустимым сопротивлением теплопередаче для стеновых панелей.

Сравним полученные значения по результатам расчета со значениями нормативного сопротивления теплопередаче (таблица 8).

Таблица 8 – Сравнение приведенного термического сопротивления с нормативным

Наименование конструкции	Минимально допустимое нормативное сопротивление	Максимально допустимое нормативное сопротивление	Расчетное приведенное сопротивление
Панель НР1	2,25	3,57	3,13
Панель НР2-3Б	2,25	3,57	2,02
Панель НТ1-4	2,25	3,57	2,75
Панель НТ11	2,25	3,57	2,30

Анализируя данные таблицы можно сделать выводы о несоответствии всех четырех стеновых панелей нормативному требованию по сопротивлению теплопередаче. Стеновая панель НР2-3Б выходит за рамки минимально допустимого значения термического сопротивления, а панель НТ11 находится на грани несоответствия минимальному значению.

Сравним потоки теплоты через элементы конструкции каждой панели (таблица 9).

Таблица 9 – Тепловые потоки через элементы конструкций

Наименование конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м ² ·°С)	Удельный поток теплоты, Вт/(м ² ·°С)	Доля общего потока теплоты, %
Панель НР1				
Плоский элемент	$a_1 = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1 = 0,207$	0,207	65
Линейная неоднородность	$l_1 = 2,08 \text{ м}/\text{м}^2$	$\psi_1 = 0,042$	0,087	27
Точечная неоднородность	$n_1 = 0,71 \text{ шт}/\text{м}^2$	$x_1 = 0,035$	0,025	8
Итого			$1/R_0^{TP} = 0,319$	100
Панель НР2-3Б				
Плоский элемент	$a_2 = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_2 = 0,207$	0,207	42
Линейная неоднородность	$l_2 = 1,93 \text{ м}/\text{м}^2$	$\psi_2 = 0,137$	0,264	53
Точечная неоднородность	$n_2 = 0,68 \text{ шт}/\text{м}^2$	$x_2 = 0,035$	0,024	5
Итого			$1/R_0^{TP} = 0,495$	100

Наименование конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м ² ·°С)	Удельный поток теплоты, Вт/(м ² ·°С)	Доля общего потока теплоты, %
Панель НТ1-4				
Плоский элемент	$a_3 = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_3 = 0,207$	0,207	57
Линейная неоднородность	$l_3 = 1,708 \text{ м}/\text{м}^2$	$\psi_3 = 0,077$	0,131	36
Точечная неоднородность	$n_3 = 0,71 \text{ шт}/\text{м}^2$	$x_3 = 0,035$	0,025	7
Итого			$1/R_0^{\text{np}} = 0,364$	100
Панель НТ11				
Плоский элемент	$a_4 = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_4 = 0,207$	0,207	48
Линейная неоднородность	$l_4 = 1,63 \text{ м}/\text{м}^2$	$\psi_4 = 0,123$	0,2	46
Точечная неоднородность	$n_4 = 0,77 \text{ шт}/\text{м}^2$	$x_4 = 0,035$	0,027	6
Итого			$1/R_0^{\text{np}} = 0,435$	100

Предварительный анализ показывает, что минимальные тепловые потоки приходятся на точечные теплотехнические неоднородности.

4.2 Разработка рекомендаций по повышению тепловой защиты конструкций

После проведения анализа полученных значений приведенного сопротивления теплопередаче и тепловых потоков через элементы конструкции каждой стеновой панели можно сделать выводы о причинах столь низких показателях тепловой защиты:

1) Доля общего потока теплоты через линейные элементы составляет значительную часть по сравнению с точечными включениями, если не считать поток через плоский элемент.

В панели НР2-3Б, которая не проходит даже по минимальным требованиям энергоэффективности, поток через линейные элементы больше, чем поток через плоский элемент. Все это говорит о необходимости в первую очередь изменить конструктивное решение линейных элементов. Изменения конструктивных решений вертикальных стыков могут коснуться составляющих, например, прокладки из пеноплекса обернутой пергамином, толщиной которой можно варьировать, для получения меньшего потока теплоты через стык при сохранение прочностных характеристик стыка. Так же возможным вариантом увеличения термического сопротивления может выступать уменьшение ширины стыка. Стоит поработать над оконными и балконными перемычками, утеплить их или уменьшить размер проекции на плоскость наружной или внутренней поверхности панели.

2) Доля общего потока теплоты через плоские элементы панелей так же составляют значительный процент от общего теплового потока через конструкцию.

В панелях НР2-3Б и НТ11 с самыми низкими показателями термического сопротивления доли потоков через плоский элемент и линейный элемент находятся приблизительно на одном уровне и составляют более 90% от общего потока через конструкцию. Решением проблемы может стать дополнительный облицовочный слой либо по внешней поверхности панели, либо по внутренней, возможно, по обоим торцам одновременно. На ряду с введение слоя облицовки, можно заменить внутренний изоляционный слой панели на материал с меньшим показателем теплопроводности.

Рекомендации по повышению термического сопротивления относятся ко всем стеновым панелям, так как ни одна из них не удовлетворяет важнейшему требованию энергоэффективности.

4.3 Выводы по главе

Сравнение приведенного сопротивления теплопередаче с нормируемым и минимально допустимым значением сопротивления дает возможность оценить масштабы тепловых потерь без подробного рассмотрения тепловых мостиков. Детально проанализировать тепловые потери способствует вычисление доли тепловых потоков через элементы от общего теплового потока.

Разработанные рекомендации касаются элементов панелей, способствующих наибольшим потерям теплоты. В основном, способ достижения желаемого результата предлагает изменить либо теплотехнические свойства материалов, либо заменить конструкции неоднородностей, изменив размеры или добавив новые слои.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на проведенный анализ методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче по элементам конструкции и расчета приведенного сопротивления теплопередаче трехслойных стеновых панелей можно сформулировать заключительные выводы:

1. Требования энергоэффективности оболочки здания за последние десятилетия стали жестче. Отсюда возникает необходимость внимательного отношения к расчетам и тщательной перепроверки результатов. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче значительно облегчается за счет применения программного комплекса ANSYS, позволяющего производить расчеты в трехмерной постановке с высокой детализацией конструктивных элементов.

2. Использование программного комплекса ANSYS для расчета температурных полей и анализа потоков теплоты позволяет определить наиболее «слабые» с точки зрения теплозащиты элементы и оптимизировать их.

3. Сравнение приведенного сопротивления теплопередаче с нормируемым и минимально допустимым значением сопротивления показало, что ни одна стеновая панель не соответствует современным требованиям. Детально проанализировать тепловые потери способствует вычисление доли тепловых потоков через элементы от общего теплового потока через конструкцию.

4. Повышение приведенного сопротивления теплопередаче может быть достигнуто при реализации рекомендаций:

- изменение толщины прокладки из пеноплекса, обернутой пергамином, для получения меньшего потока теплоты через стык;
- уменьшение ширины стыков и швов;
- утепление оконных и балконных перемычек или уменьшение размеров их проекции на плоскость наружной или внутренней поверхности панели.
- введение дополнительного облицовочного слоя либо по торцам панели, либо по одной из поверхности
- замена внутреннего изоляционного слоя панели на материал с меньшим показателем теплопроводности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978;
2. Строительные нормы и правила СССР. Строительная теплотехника. СНиП II-3-79. Госстрой СССР. – М.: 1979;
3. Строительные нормы и правила СССР. Строительная теплотехника. СНиП II-3-79*. Госстрой СССР. – М.: 1995;
4. Строительные нормы и правила РФ. Тепловая защита зданий. СНиП 23-02-2003. Госстрой России. – М : ГУП ЦПП, 2004;
5. Свод правил СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Министерство регионального развития РФ. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 82 с;
6. ГОСТ Р 54851-2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче (ISO 14683:2007). Стандартиформ. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 28 с;
7. Хинканин Л.А., Хинканин А.П. Влияние теплотехнических неоднородностей на энергоэффективность ограждающих конструкций. – <https://science-education.ru/pdf/2015/2-2/118.pdf>;
8. Тишнер-Егорова Т., Августовна Э. Совершенствование метода расчета теплозащитных свойств узла сопряжения плиты перекрытия со стеной для повышения энергоэффективности здания.: дис.... канд. техн. наук. / Т. Тишнер-Егорова, Э. Августовна. – М., 2016. – 156 с;
9. Гагарин В. Г. Учет теплотехнических неоднородностей при проектировании теплозащиты ограждающих конструкций в России и других европейских странах/ В.Г. Гагарин. // Архив изданий РААСН. – <http://stroy-profi.info/files/pdf/19/stroyprofi-19-24.pdf>;
10. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов. // Строительные материалы. – 2010. – №12. – С. 4–12;
11. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах. / В.Г. Гагарин, К.А. Дмитриев. // Строительные материалы. – 2013. – №6. – С. 14–16.
12. Неклюдов А.Ю. Совершенствование методов расчета тепловой нагрузки на системы отопления и вентиляции с учетом влияния теплотехнических неоднородностей оболочки здания.: дис.... канд. техн. наук / А.Ю. Неклюдов. – М., 2016. – 188 с;
13. Сурсанов Д.Н., Пономарев А.Б. Определение приведенного сопротивления теплопередаче самонесущей стеновой панели. / Д.Н. Сурсанов, А.Б. Пономарев. // Вестник ПНИПУ. – 2015. – №4. – С. 144–165;

14. Новиков. А.И., Мокин Ю.А. Исследования и расчет удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающих конструкций. / А.И. Новиков., Ю.А. Мокин // Отчет о научно-исследовательской работе. – 2015. – 99 с;
15. Назначение, возможности и организационная структура программного комплекса ANSYS. – <http://ttu.rushkolnik.ru/docs/4147/index-10874.html?page=3>
16. CADFem. ANSYS 5.7. Thermal Analysis Guid. / CADFem; пер. с англ. В.П. Югов. – М.: 2001. – 108 с;
17. Свод правил СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Министерство регионального развития РФ. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 82 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты термического расчета стеновых панелей и теплотехнических неоднородностей

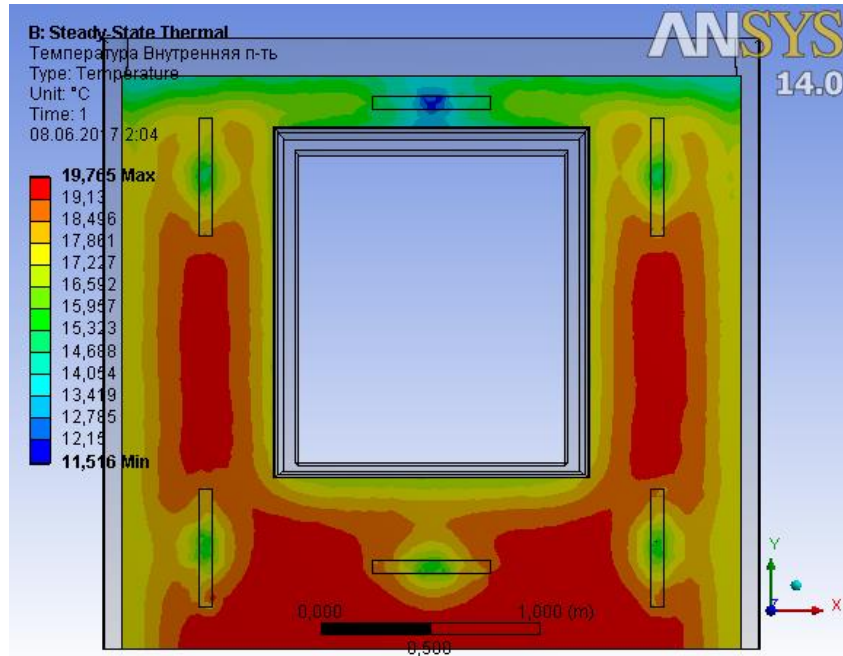


Рисунок Б.1 – Температурное поле на внутренней поверхности панели HP1

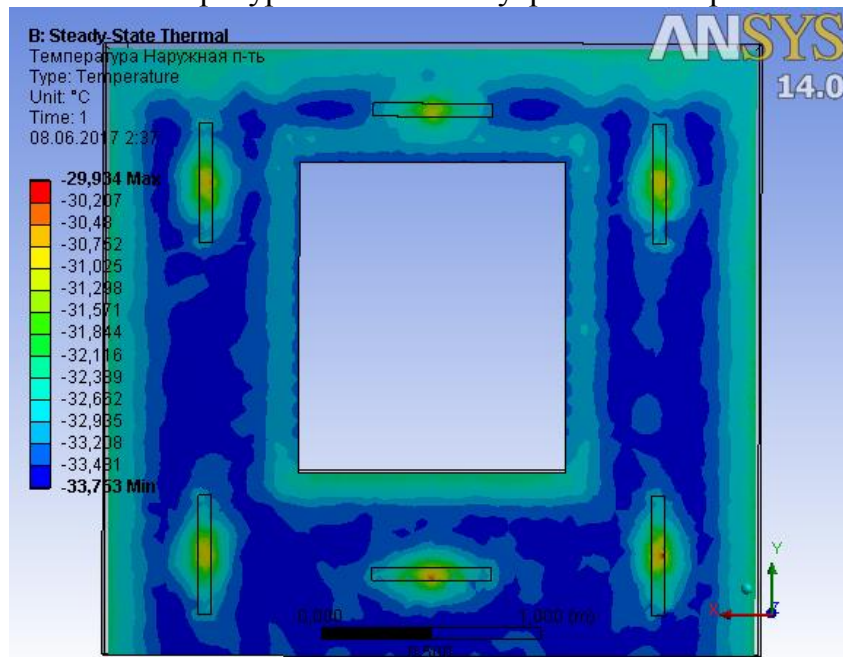


Рисунок Б.2 – Температурное поле на наружной поверхности панели HP1

Таблица Б.1 – Теплопотери через конструкцию панели НР1

Название объекта	Теплопотери через невозмущенную поверхность
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	109,29 Вт
Название объекта	Теплопотери через поверхность с линейной неоднородностью
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	111,28 Вт

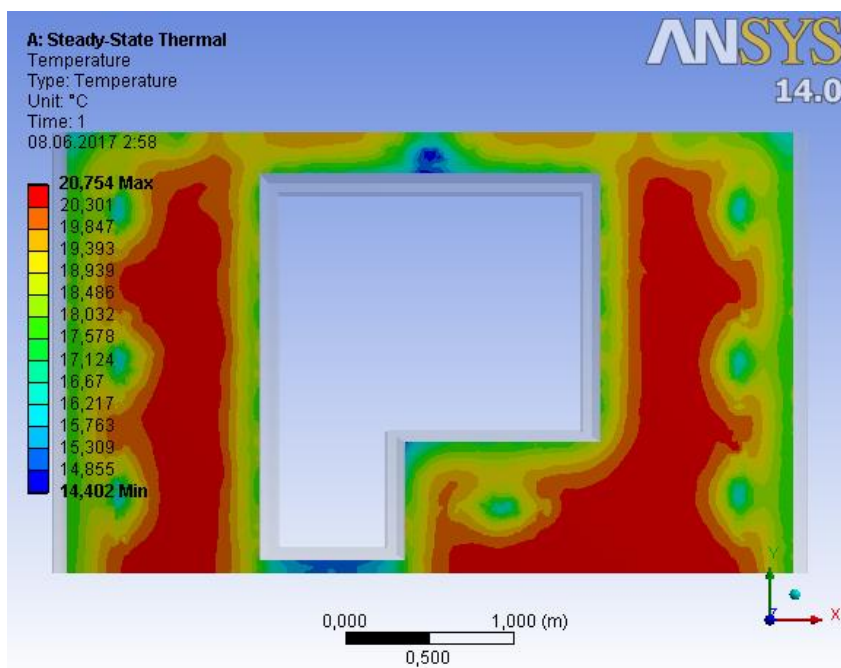


Рисунок Б.3 – Температурное поле на внутренней поверхности панели НР2-3Б

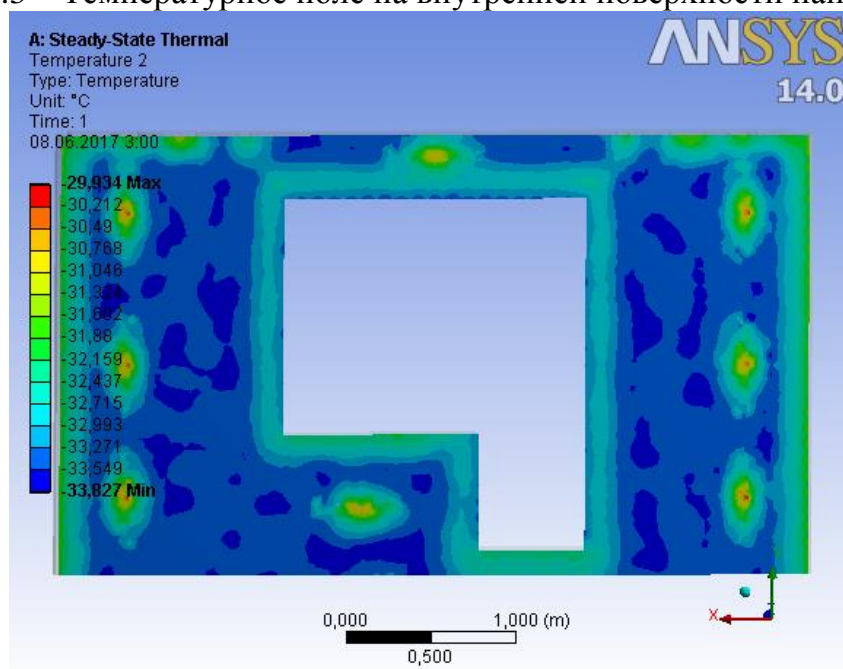


Рисунок Б.4 – Температурное поле на наружной поверхности панели НР2-3Б

Таблица Б.2 – Теплотери через конструкцию панели НР2-3Б

Название объекта	Теплотери через невозмущенную поверхность
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	143,62 Вт
Название объекта	Теплотери через поверхность с линейной неоднородностью
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	193,92 Вт

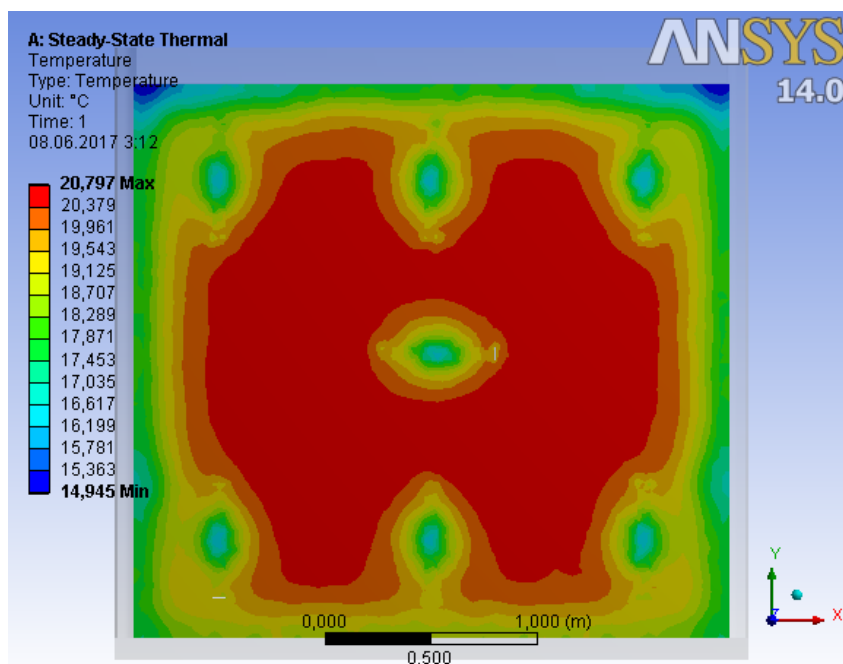


Рисунок Б.5 – Температурное поле внутренней поверхности панели НТ1-4

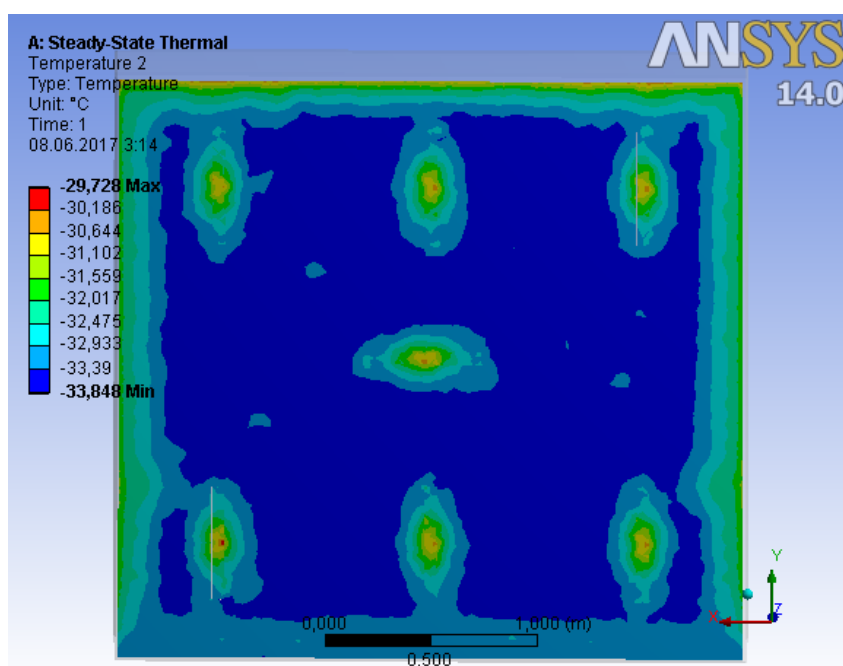


Рисунок Б.6 – Температурное поле внутренней поверхности панели НТ1-4

Таблица Б.3 – Теплотери через конструкцию панели НТ1-4

Название объекта	Теплотери через невозмущенную поверхность
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	123,32 Вт
Название объекта	Теплотери через поверхность с линейной неоднородностью
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	129,62 Вт

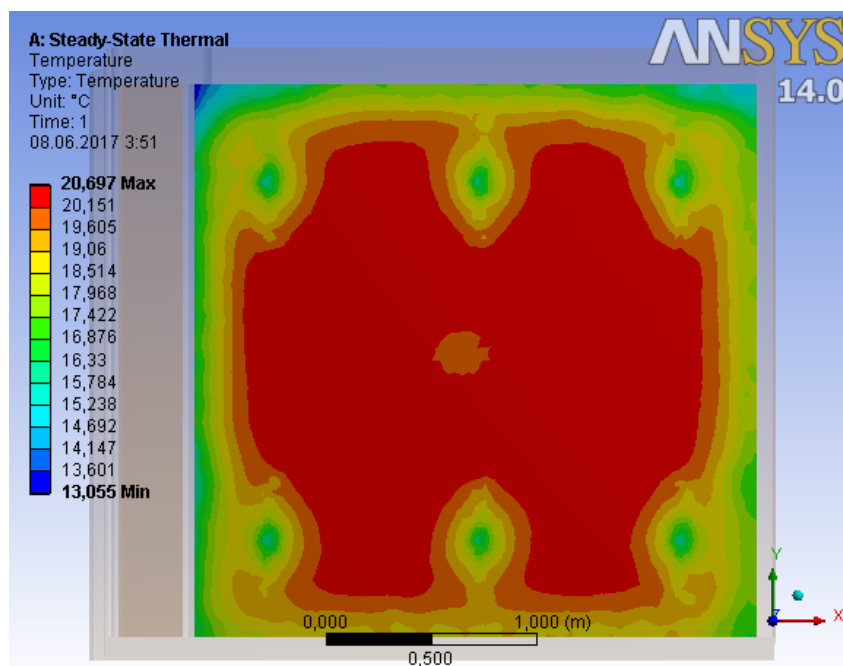


Рисунок Б.7 – Температурное поле внутренней поверхности панели НТ1-4

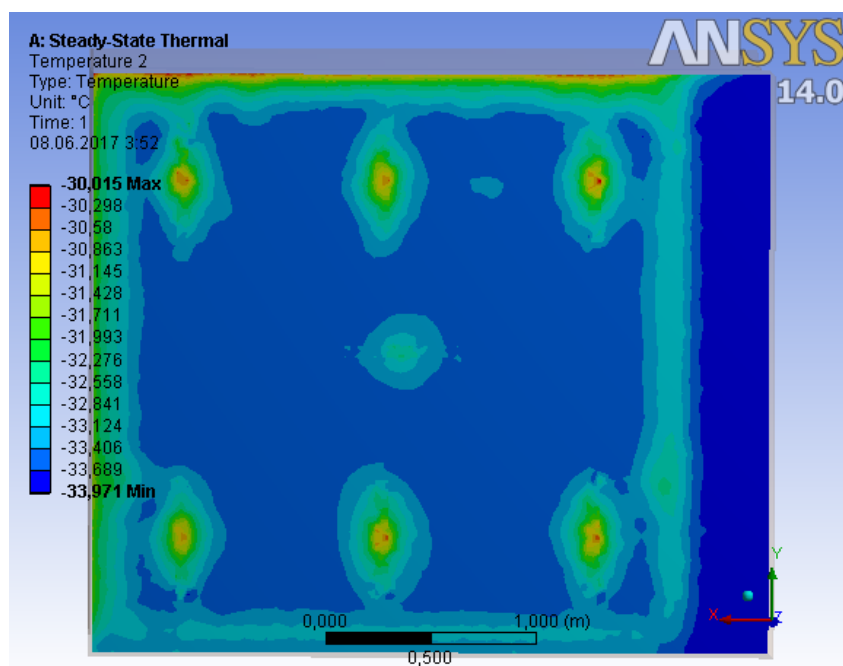


Рисунок Б.8 – Температурное поле внутренней поверхности панели НТ1-4

Таблица Б.4 – Теплопотери через конструкцию панели НТ11

Название объекта	Теплопотери через невозмущенную поверхность
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	118,23 Вт
Название объекта	Теплопотери через поверхность с линейной неоднородностью
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	124,22 Вт

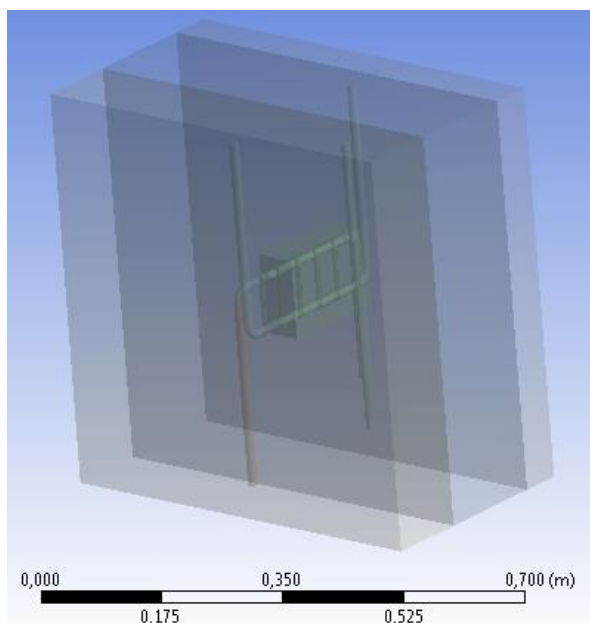


Рисунок Б.9 – Схема расчетной области с дискретной связью (шпонкой)

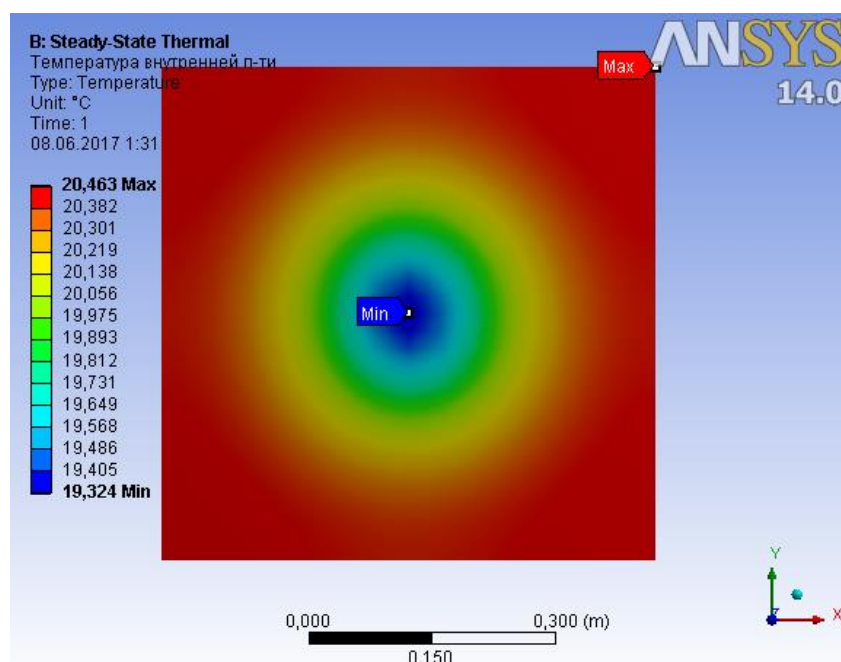


Рисунок Б.10 – Температура внутренней поверхности стены в области дискретной связи

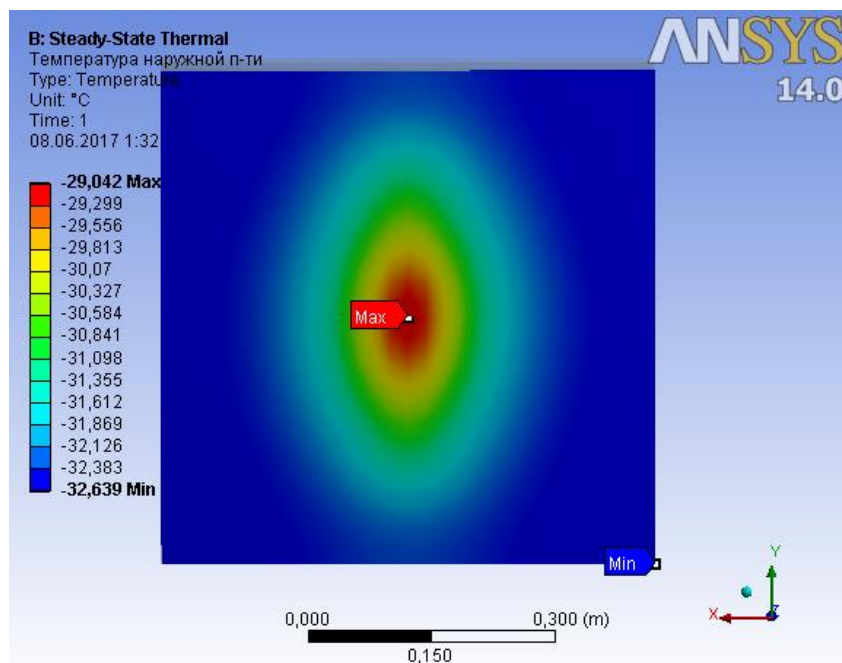


Рисунок Б.11 – Температура наружной поверхности стены в области дискретной связи

Таблица Б.5 – Результаты расчета теплового потока через конструкцию

<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию с дискретной связью</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	6,046 Вт
<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию без дискретной связи</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	4,11 Вт

Таблица Б.6 – Результаты расчета теплового потока через конструкцию

<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию вертикального стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	16,91 Вт
<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию без стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	12,36 Вт

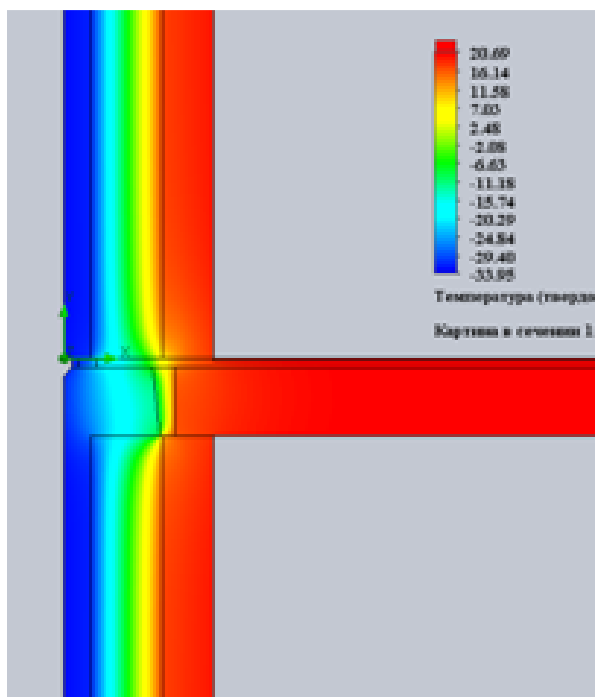


Рисунок Б.12 – Температурное поле в сечении вертикального стыка

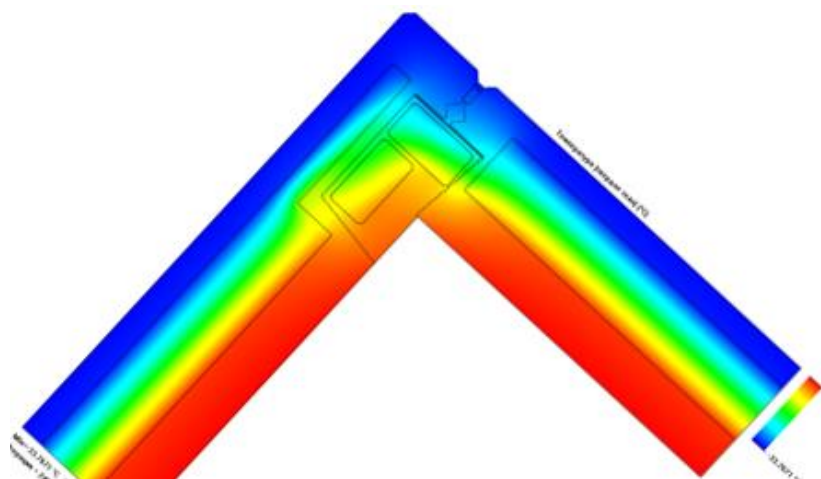


Рисунок Б.13 – Температурное поле в сечении углового вертикального стыка

Таблица Б.7 – Результаты расчета теплового потока через конструкцию

<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию вертикального углового стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	20,12 Вт
<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию без стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	16,12 Вт

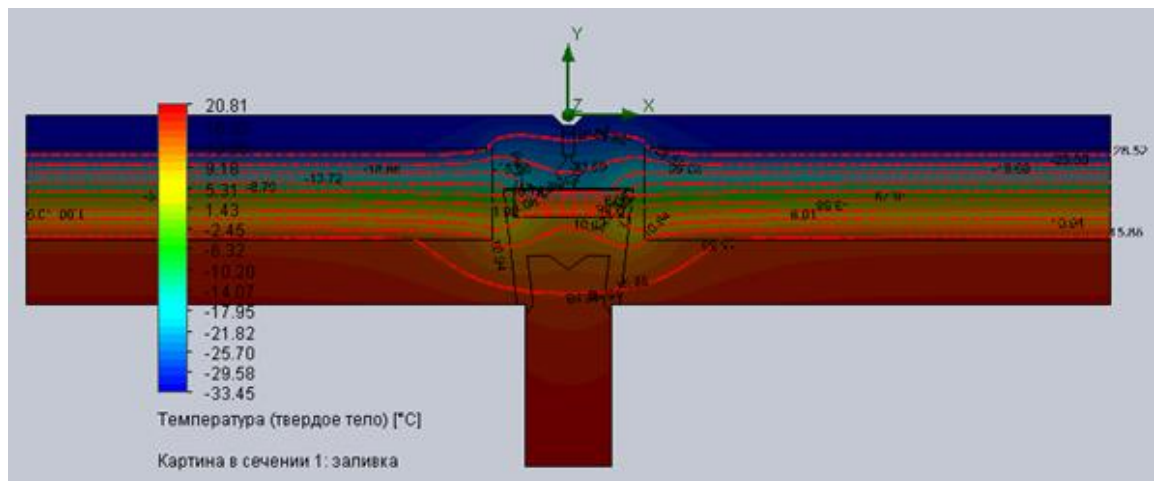


Рисунок Б.14 – Температурное поле в сечении горизонтального стыка

Таблица Б.8 – Результаты расчета теплового потока через конструкцию

<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию горизонтального стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	19,47 Вт
<i>Название объекта</i>	<i>Тепловой поток через конструкцию без стыка</i>
Статус	Решено
Результаты	
Тепловой поток	12,36 Вт