

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Технология строительного производства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, Вед. спец. гр. ОиВ
ООО Прогресс-Паритет-Проект (должность)
Косинко С.Р. (И.О. Ф.)
07.07 2016 г.



ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ТСП
Лягуш. М.С. (И.О. Ф.)
08.07 2016 г.

Совершенствование методики теплотехнического расчета
кровельного покрытия

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-08.04.01-2016-162.Ф.З.В.КР

Руководитель проекта
Доцент (должность)
К.Н. Морозов (И.О. Ф.)
07.07 2016 г.

Автор проекта
Студент группы АС-239
Е.И. Болотов (И.О. Ф.)
Баг 07.07 2016 г.

Нормоконтроль
Доцент (должность)
К.Н. Морозов (И.О. Ф.)
07.07 2016 г.

Антиплагиат
Оригинальность — 90,28 %
Доцент (должность)
К.Н. Морозов (И.О. Ф.)
07.07 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

Факультет «Архитектурно-строительный»

Кафедра «Технология строительного производства»

Направление 08.04.01 «Строительство»

Магистерская программа «Теория и практика организационно-технологических и экономических решений»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Пикус Г.А.
«06» 06 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Болотовой Елене Игоревне

Группа АС-239

1 Тема работы Совершенствование методики теплотехнического расчета кровельного покрытия

утверждена приказом по университету от «__» _____ 2016 г. № _____

2 Срок сдачи студентом законченной работы 10 июля 2016 г.

3 Исходные данные к работе материалы практик, научная, учебная, методическая и нормативно-техническая литература

4 Перечень вопросов, подлежащих разработке

1 Обзор состояния вопроса

1.1 Обзор норм по энергосбережению

1.2 Развитие представлений о тепловой защите зданий

1.3 Учет теплотехнических неоднородностей в практике европейских стран при проектировании тепловой защиты зданий

1.4 Приведенное сопротивление теплопередаче и учет теплотехнических неоднородностей в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003»

1.5 Развитие расчета температурных полей

2 Расчет удельных тепловых потерь через узлы кровельной конструкции

2.1 Направление исследования

2.2 Методика исследования

2.3 Исходные данные для исследования

2.4 Расчет удельных тепловых потерь через неоднородности в типовых узлах кровельного покрытия

3 Практическое применение, достоверность и эффективность полученных удельных потерь теплоты через неоднородности

3.1 Описание объекта для проектирования тепловой защиты

3.2 Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче по различным методикам

3.3 Сравнение результатов расчета, оценка их достоверности и эффективности

5 Иллюстративный материал (плакаты, альбомы, раздаточный материал, макеты, электронные носители и др.)

Слайды, демонстрируемые на экране с помощью проектора и распечатанные в качестве раздаточного материала

Общее количество иллюстраций 20-30 в листах формата А4

6 Дата выдачи задания 10 апреля 2016 г.

Руководитель /Мозгалёв Кирилл Михайлович/

Задание принял к исполнению  /Болотова Елена Игоревна/

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Обзор состояния вопроса	10 мая 2016 г.	
Расчет удельных тепловых потерь через узлы кровельной конструкции	10 июня 2016 г.	
Практическое применение, достоверность и эффективность полученных удельных потерь теплоты через неоднородности	10 июля 2016 г.	
Направление на рецензию	10 июля 2016 г.	

Заведующий кафедрой _____

/Пикус Г.А./

Руководитель работы _____

/Мозгалёв К.М./

Студент _____

/Болотова Е.И./

АННОТАЦИЯ

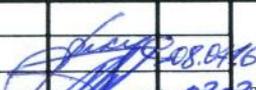
Болотова Е.И., Совершенствование методики теплотехнического расчета кровельного покрытия. – Челябинск: ЮУрГУ, АС – 239; 2016, –116с., 33ил., 12 табл., библиогр.список – наим.56.

Объектом исследования являются узлы кровельного покрытия с линейными и точечными теплотехническими неоднородностями.

Цель работы – упростить работу специалистов, проектирующих тепловой контур здания, путем получения расчетных характеристик различных типовых узлов кровельной конструкции для Челябинской области.

В процессе работы было проведено исследование влияния теплотехнических неоднородностей на потери теплоты через ограждающую конструкцию и выполнен расчет температурных полей в программе «ELCUT».

В результате исследования были получены значения удельных потерь теплоты через неоднородности в кровельной конструкции, проведена систематизация данных и составлены таблицы, позволяющие исключать моделирование температурных полей при проектировании тепловой защиты зданий. Использование полученных характеристик позволяет получить приближенное к реальности значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и тем самым снизить затраты на отопление зданий.

					08.04.01-2016-162-ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Заф.кафедр.	Пикус Г.А.			08.04.16	Стадия	Лист	Листов
Руководитель	Мозгалева К.М.			07.02.16		2	116
Н.Контр	Мозгалева К.М.			02.02.16	ЮУрГУ Кафедра ТСП		
Исполнит.	Болотова Е.И.			07.01.16			

АННОТАЦИЯ

Болотова Е.И., Совершенствование методики теплотехнического расчета кровельного покрытия. – Челябинск: ЮУрГУ, АС – 239; 2016, – с., 33ил., 12 табл., библиогр.список – наим

Объектом исследования являются узлы кровельного покрытия с линейными и точечными теплотехническими неоднородностями.

Цель работы – упростить работу специалистов, проектирующих тепловой контур здания, путем получения расчетных характеристик различных типовых узлов кровельной конструкции для Челябинской области.

В процессе работы было проведено исследование влияния теплотехнических неоднородностей на потери теплоты через ограждающую конструкцию и выполнен расчет температурных полей в программе «ELCUT».

В результате исследования были получены значения удельных потерь теплоты через неоднородности в кровельной конструкции, проведена систематизация данных и составлены таблицы, позволяющие исключать моделирование температурных полей при проектировании тепловой защиты зданий. Использование полученных характеристик позволяет получить приближенное к реальности значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и тем самым снизить затраты на отопление зданий.

					08.04.01-2016-162-ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Заф.кафед</i>	<i>Пикус Г.А.</i>				<i>Совершенствование методики теплотехнического расчета кровельного покрытия</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руководите</i>	<i>Мозгалева К.М.</i>							
<i>Н.Контр.</i>	<i>Мозгалева К.М.</i>							
<i>Исполнит.</i>	<i>Болотова Е.И.</i>							
						ЮУрГУ Кафедра ТСП		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	9
1.1 Обзор норм по энергосбережению	9
1.2 Развитие представлений о тепловой защите зданий	11
1.3 Учет теплотехнических неоднородностей в практике европейских стран при проектировании тепловой защиты зданий.....	20
1.4 Приведенное сопротивление теплопередаче и учет теплотехнических неоднородностей в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003»	24
1.5 Учет теплотехнических неоднородностей в практике европейских стран при проектировании тепловой защиты зданий.....	27
Вывод по главе.....	30
ГЛАВА 2. РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ УЗЛЫ КРОВЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ	32
2.1 Направление исследования	32
2.2 Методика исследования.....	34
2.3 Исходные данные для исследования.....	36
2.4 Расчет удельных тепловых потерь через неоднородности в типовых узлах кровельного покрытия	49
Вывод по главе.....	90
ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ, ДОСТОВЕРНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНОСТИ.....	91
3.1 Описание объекта для проектирования тепловой защиты	91
3.2 Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче по различным методикам.....	93
3.3 Сравнение результатов расчета, оценка их достоверности и эффективности	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	111

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных требований, установленных в «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в том числе к входящим в их состав сетям и системам инженерно-технического обеспечения, является обеспечение их энергетической эффективности.

Необходимость проведения мероприятий по энергосбережению обосновывается и тем, что:

– в период с 1917 по 2000 год в нашей стране было построено более 2,5 млрд м² только жилых зданий, энергетические потери в которых не отвечают современным требованиям.

– по данным Минрегиона РФ, средние затраты на отопление в жилых зданиях на всей территории России составляют 350–380 кВт·ч/м² в год (в 5–7 раз выше, чем в Германии и других странах ЕС), а в некоторых типах зданий они достигают 680 кВт·ч/м² в год.

Достижение высокой энергоэффективности, в первую очередь, зависит от качества и высокой технологичности всех компонентов строительства. Одной из важнейших задач повышения энергоэффективности в строительстве является повышение качества ограждающих конструкций. Большое внимание следует уделять сокращению потерь тепла через них, снижению утечки воздуха и инфильтрации его через щели и стыки.

В 2012 году был утвержден СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [43], а 26 декабря 2014 г. Правительство России утвердило новое Постановление Правительства РФ № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [29], в который вошел и СП 50.13330.2012.

В данном СП представлен значительно модернизированный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций,

						08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			4

который позволяет учитывать все теплопроводные включения, имеющиеся в современных ограждающих конструкциях.

Для учета дополнительных теплопотерь через точечные и линейные теплотехнические неоднородности вводится универсальная характеристика - удельные потери теплоты, которые определяются на основании расчета плоских и объемных температурных полей.

Таким образом, появляется необходимость использования (моделирования) температурных полей в областях теплопроводных включений, а это довольно сложная методика, проверять которую при экспертизе проектной документации на данный момент никто не готов. Данное нововведение создало ряд проблем для проектировщиков и проектных организаций. Во-первых, организациям необходимо приобрести пакет программ, позволяющих моделировать температурные поля, а это требует больших денежных затрат, во-вторых, проектировщики не готовы самостоятельно работать в данных программах, необходимо проводить обучение, которое занимает достаточно много времени. А также сами расчеты температурных полей занимаю много времени.

Решением данных проблем могут стать готовые таблицы со справочным материалом, позволяющие учитывать удельные потери теплоты, разработанные для различных узлов ограждающих конструкций. Поэтому задача исследования удельных потерь теплоты и расчета температурных полей актуальна в настоящее время.

Кроме того, участились случаи ввода в эксплуатацию зданий, не соответствующих энергетическим требованиям. Большая работа по исследованию температурных полей и удельных потерь теплоты через неоднородности в ограждающих конструкциях ведется в НИИ Строительной физики. В большинстве регионов страны проводятся натурные испытания зданий и элементов ограждающих конструкций [19]. Все это является подтверждением того, что данная тематика является актуальной в наше время.

Целью диссертационной работы является упрощение работы специалистов, проектирующих тепловой контур здания, путем получения

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

существенно упростить метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по СП 50.13330.2012.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка литературы из 56 наименований и содержит 116 страниц машинописного текста, 33 рисунка, 12 таблиц, 25 формул.

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Обзор норм по энергосбережению

Вопросы энергосбережения рассматриваются в нашей стране уже долгое время. Первым федеральным закон, связанным с энергосбережением, в России был принятый 3 апреля 1996 г. N 28-ФЗ «Об энергосбережении» [50], основным недостатком которого отмечался его общий, декларативный характер.

До принятия самостоятельного федерального законодательного акта, посвященного энергосбережению, соответствующие вопросы регулировались нормативными правовыми актами меньшего уровня, такими как Указ Президента РФ от 7 мая 1995 г. N 472 «Об Основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года» [48], Постановление Правительства РФ от 2 ноября 1995 г. N 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению» [25] (утратило силу с изданием Постановления Правительства РФ от 4 августа 2005 г. N 492 «О признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации по вопросам топливно-энергетического комплекса»)

В дальнейшем, после принятия Федерального закона «Об энергосбережении», отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения, также регулировались нормативными правовыми актами меньшего уровня. К ним относилось Постановление Правительства РФ от 8 июля 1997 г. N 832 «О повышении эффективности использования энергетических ресурсов и воды предприятиями, учреждениями и организациями бюджетной сферы» [26].

В развитие положений Указа Президента РФ от 7 мая 1995 г. N 472 Постановлением Правительства РФ от 24 января 1998 г. N 80 утверждена Федеральная целевая программа «Энергосбережение России на 1998 - 2005 годы» [27], но это Постановление утратило силу с изданием Постановления Правительства РФ от 24 августа 2002 г. N 630 «Об изменении, приостановлении

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

действия и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации в связи с Федеральным законом «О федеральном бюджете на 2002 год».

Указом Президента РФ от 4 июня 2008 г. N 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» [49] предусмотрен ряд мер в целях снижения к 2020 г. энергоемкости валового внутреннего продукта России не менее чем на 40% по сравнению с 2007 г., обеспечения рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов.

После Указа Президента РФ № 889 реализация политики энергосбережения в стране усилилась. На смену Федерального закона N 28-ФЗ «Об энергосбережении» пришел Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [52], который обозначил правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Оно основывается на следующих принципах:

- эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;
- поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Согласно данному закону 25 января 2011 года выходит Постановление Правительства Российской Федерации № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

эффективности многоквартирных домов» [28]. Применение данных правил должно создать условия, исключающие нерациональный расход энергетических ресурсов в процессе эксплуатации зданий, строений и сооружения [23]. Кроме этого, в соответствии с требованиями энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение удельного расхода тепловой энергии на отопление здания не реже 1 раза в 5 лет: с января 2011 года – не менее чем на 15 % по отношению к базовому уровню, с 1 января 2016 года – не менее чем на 30 % по отношению к базовому уровню и с 1 января 2020 года – не менее чем на 40% по отношению к базовому уровню.

1.2 Развитие представлений о тепловой защите зданий

Исследования в области тепловой защиты зданий в нашей стране начались еще в начале XX века. В конце 1920 г в практике расчетов были известны работы таких ученых, как Фокин К.Ф [56], Власов О.Е. [4, 5], Мачинский В.Д. [21], которые являются создателями отечественной строительной теплотехники.

Изданная в 1925 г. книга профессора Мачинского В. Д «Теплотехнические основы гражданского строительства» [21] была первой работой по строительной теплотехнике. Так же большое влияние на развитие теплотехники оказали работы профессор Власова О.Е., который рассматривал вопросы теплоустойчивости ограждающих конструкций.

В начале 1930 годов Фокин К.Ф. издал книгу «Строительная теплотехника ограждающих частей зданий» [56], которая в последующем выпускалась в новых редакциях. В данной книге встречались упоминания о первых результатах расчетов температурных полей узлов ограждающих конструкций. Кроме этого им были организованы первые натурные теплофизические исследования жилых домов. Еще в первых его трудах были представлены расчеты ограждений, имеющих углы и выступы. Данный угол представлен на рисунке 1.1. Также в своей книге Фокин К.Ф писал о необходимости иметь дело с двухмерным и трехмерным температурным полем. При этом он уточнял, что при проведении

						08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			11

теплотехнического расчета ограждающих конструкций должны учитываться все явления, происходящие в отдельных частях ограждения.

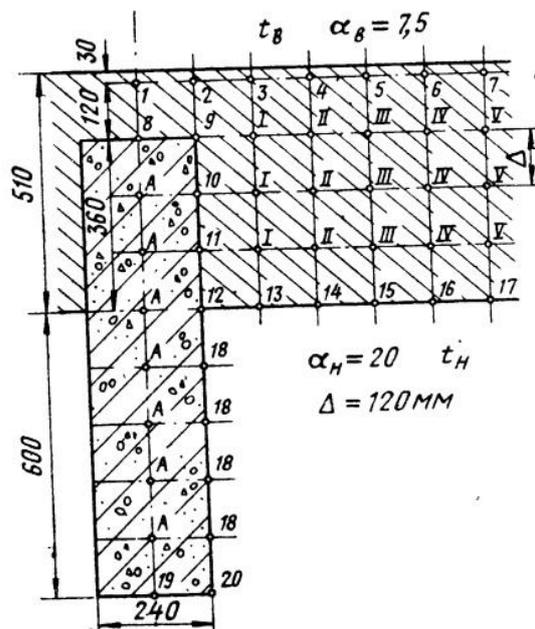


Рисунок 1.1 – Расчетная схема температурного поля стены с заделанной в ней консолью, представленная в труде Фокина. К.Ф.

В начале 1940 годов Фокин К. Ф. делал доклады о влиянии железобетонного каркаса и металлических включений на распределение температур в ограждающих конструкциях [54, 55]. В то время использовался ручной метод расчета, основанный на решении уравнений в конечных разностях. Но более широкое применение нашел метод электротепловой аналогии, который используется для определения тепловых потоков в конструкциях сложной формы.

Его сущность заключается в том, что обследованию подвергается не изучаемое явление, для которого трудно произвести измерения требуемых величин, а специально подобранное, аналогичное изучаемому, при обследовании которого таких проблем не возникает. В данном случае изучаемым является – стационарное температурное поле, а аналогией – стационарное поле электрического потенциала, так как уравнение теплопроводности и уравнение электрического потенциала аналогичны. Данный метод электро моделирования температурных полей был описан в книге [56] Фокина К.Ф., а также в ней

указывалось, что наиболее подходящим для таких расчетов является электрогенератор, разработанный Гутенмахером Л.И. Электрогенератор и электрическая моделирующая схема представлены на рисунке 1.2. Одним из первых ученых, который применил данный метод для получения температурных полей был Власов О.Е, при исследовании многопустотных камней.

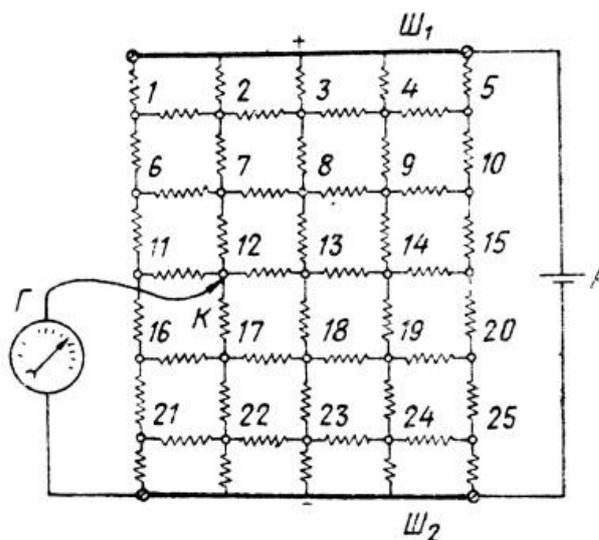
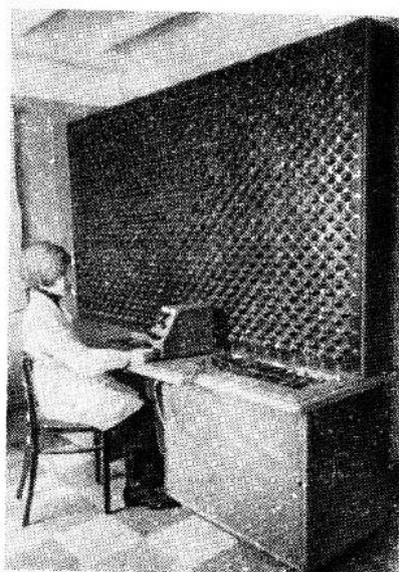


Рисунок 1.2. – Электрогенератор ЭИ-12 и электрическая моделирующая схема

Первые строительные нормы по теплотехнике в СССР были изданы в 1929 г. [47]. Они были разработаны Фокиным К. Ф. вместе с профессором Власовым О.Е. В нормах было указано, что «Степень теплозащиты, обеспечиваемая ограждением, определяется её сопротивлением теплопередаче и устойчивостью теплового режима внутри здания при периодическом отоплении последнего». Данный документ состоял из трех частей. Первая часть – это теплотехнический расчет ограждающих конструкций, вторая – расчет тепловых потерь, третья – расчет системы отопления. Нормированию подлежала толщина кладки в зависимости от климатического района и от сопротивления теплопередаче.

В 1939 г. издается общесоюзный стандарт ОСТ 90008-39 «Нормы определения теплопотерь через ограждения зданий и расчетных температур»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

13

[24], в котором содержится карта климатических зон России, таблицы строительных материалов с характеристиками и расчетные характеристики микроклимата.

Следующие изменения в нормативных документах были в послевоенное время. В 1954 г. выходит СНиП II-В.3 [35], в котором говорится, что для включений сложного профиля или выступающих за поверхности ограждения требуются специальные расчеты их температурных полей. Так же приводится стандарт теплотехнических неоднородностей с основными характеристиками и температурами на внутренней поверхности конструкций. Уже в это время в строительной практике начинает появляться данная тематика, которая активно изучается и в современное время. В последующих редакциях СНиПа в данный раздел не вносили серьезных изменений. Однако со временем существующие типы ограждающих конструкций модернизировались, а также стали появляться новые, поэтому перечня стандартных неоднородностей типовых конструкций стало недостаточно для проведения теплотехнических расчетов.

В 1959 г. профессор Фокин К.Ф. продолжает вести исследования температурных полей на примере крупнопанельных стен.

После СНиП II-В.3 по строительной теплотехнике в 1962 г. вышла следующая его редакция – СНиП II-А.7-62 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования» [36], а спустя 9 лет Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства была утверждена другая редакция – СНиП II- А.7-71 [37], изменения в которых были минимальны. После в 70-е годы были выпущены несколько изменений к СНиП II-А.7-71. А именно: в 1974 г. была расширена детализация конструкций по степени массивности; в 1976 г. в нормах по теплотехнике появился пункт, в котором указывалось, что для многослойных стеновых панелей, содержащих теплопроводные включения, такие как ребра и обрамления, величину сопротивления теплопередаче необходимо определять, основываясь на расчетах температурных полей, также в таблицу теплотехнических характеристик строительных материалов и изделий были добавлены новые виды материалов; в 1978 г. таблица теплотехнических

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

характеристик строительных материалов была расширена еще больше, в нее добавились новые теплоизоляционные и конструкционные материалы.

В марте 1979 был утвержден новый документ по теплотехнике СНиП II-3-79 [38], в котором не было принципиальных изменений нормативных требований, но был введен новый термин – приведенное сопротивление теплопередаче, которое должно было быть не менее требуемых значений, определяемых исходя из санитарно- гигиенических и комфортных условий.

В 1980 г. НИИ Строительной физики Госстроя СССР выпускает каталог температурных полей узлов типовых ограждающих конструкций для жилых зданий [14]. В нем содержались температурные поля различных конструктивных узлов и указывались минимальные температуры в углах и стыках ограждающих конструкций. Данные узлы приведены на рисунке 1.3. В 1982 г. Богословский В.Н выпускает учебник по строительной теплофизике [1], в котором появляются понятия, связанные с теплотехническими неоднородностями.

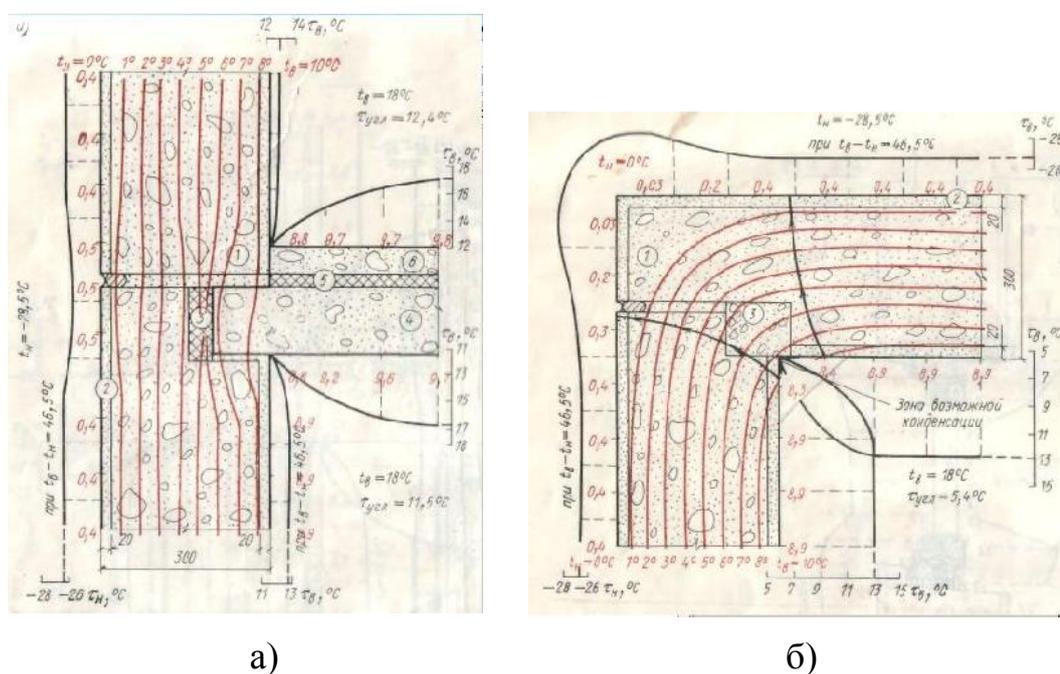


Рисунок 1.3 –Узлы, представленные в каталоге температурных полей 1980г.: а) горизонтальный стык панелей наружных стен с перекрытием; б) вертикальный стык панелей наружных стен в зоне угла с заполнением стыка

Значительные изменения в практике проектирования ограждающих конструкций стали прослеживаться в 1995 году с момента утверждения новой редакции СНиПа по теплотехнике 79-го года. Решающую роль в этом сыграли изменения к СНиП II-3-79 от 11 августа 1995 года.

В соответствии с данными изменениями в СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» [39] приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций необходимо принимать по заданию на проектирование, но при этом сопротивление теплопередаче должно быть не менее требуемых значений, которые определяются исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле (1.1):

$$R_0 \geq R_0^{\text{TP}}, \quad (1.1)$$

где R_0 – это значение сопротивления теплопередаче для многослойных ограждающих конструкций, а R_0^{TP} – это требуемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Так же значение приведенного сопротивления теплопередаче необходимо принимать исходя из условий энергосбережения по двум таблицам. В первой таблице были приведены минимальные значения сопротивления теплопередаче, которые должны приниматься при проектировании с 1 октября 1995 г., данные значения распространялись на все здания, кроме зданий высотой до трех этажей со стенами из мелкоштучных материалов. Во второй таблице были приведены минимальные значения сопротивления теплопередаче, которые должны использоваться при проектировании зданий, возведение которых начинается с 1 января 2000 г. Данные требования распространялись и для строящихся здания высотой до трех этажей со стенами из мелкоштучных материалов и для реконструируемых зданий любой этажности, но при этом для них сроки введения были с 1 октября 1995 г.

В данных нормах требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, которое должно было определяться исходя из условий обеспечения санитарно-гигиенических и комфортных условий, как и в СНиП II-3-79, необходимо было рассчитывать по формуле (1.2):

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

$$R_0^{TP} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n}{\alpha_B \cdot \Delta t_H} \quad (1.2)$$

А требуемое сопротивление теплопередаче определялось исходя из условий энергосбережения по таблицам в зависимости от градусо-суток отопительного периода, рассчитываемых по формуле (1.3):

$$ГСОП = (t_B - t_{от.пер}) \cdot Z_{от.пер} \quad (1.3)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкции рассчитывалось по формуле (1.4):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H} \quad (1.4)$$

где термическое сопротивление ограждающей конструкции R_k для однородной конструкции определяется как отношение толщины слоя к коэффициенту теплопроводности материала данного слоя, а для многослойной конструкции с последовательно расположенными однородными слоями как сумма термических сопротивлений каждого слоя.

Если же конструкция неоднородная, то приведенное сопротивление теплопередаче необходимо было рассчитывать с применением температурных полей по формуле (1.5):

$$R_0 = \frac{t_B - t_H}{q^{расч}}, \quad (1.5)$$

где $q^{расч}$ – это значение теплового потока, определяемое расчетом температурного поля. Однако большинство проектировщиков не умели рассчитывать температурные поля, поэтому для панельных стен принимался коэффициент теплотехнической однородности r из определенной таблицы, значения в которой были приведены без учета влияния оконного откоса и балконной плиты [11]. Для остальных типов ограждающих конструкций значение сопротивления теплопередаче рассчитывалось по формуле (1.4).

Одними из важных нововведений того времени является появление в стандартах таких понятий, как приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и коэффициент теплотехнической неоднородности, этому способствовало формировавшееся со временем представление о

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

сложности теплопередачи через ограждающие конструкции.

Стоит отметить, что после утверждения СНиП II-3-79* в стране активно стали появляться новые конструктивные решения ограждающих конструкций, такие как стены с вентилируемым фасадом, трехслойные стены с облицовочным слоем из кирпича, так же в практике строительства стали использоваться более эффективные теплоизоляционные материалы. Таким образом, в данный стандарт были внесены принципиальные изменения, которые способствовали повышению уровня теплозащиты и снизили удельный расход тепловой энергии на 20% в период 1995-2000 гг. и на 40% с 2000 г.

В 1998г. в СНиП II-3-79* были внесены изменения, в результате которых наметился переход от комплексной оценки теплотехнических свойств ограждающих конструкций к повышению сопротивления теплопередаче конструкций. Как уже отмечалось выше, повышение требований к тепловой защите способствовали появлению новых многослойных ограждающих конструкций с использованием эффективных теплоизоляционных материалов. Однако никаких изменений в методах оценки ограждающих конструкций в данной редакции СНиПа не было отражено.

В результате этого постановлением Госстроя России в 2003 г. была введена новая редакция СНиПа уже с другим названием - СНиП 23-02-2003. «Тепловая защита зданий» [40]. В целом, все нововведения, отраженные в СНиП II-3-79*, были сохранены, но из некоторых разделов были исключены методы расчетов и остались лишь требования. Новыми нормами были установлены три основных показателя тепловой защиты здания: 1) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания; 2) санитарно-гигиенический показатель, к которому относился перепад температуры внутреннего воздуха и температуры воздуха на поверхности ограждающей конструкции и температура на внутренней поверхности, которая должна быть выше температуры точки росы; 3) удельный расход тепловой энергии на отопление здания. При этом, для того, чтобы требования тепловой защиты здания считались выполненными, при проектировании жилых и

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

общественных зданий было достаточно выполнить требования двух показателей: санитарно-гигиенического показателя и приведенного сопротивления теплопередаче либо удельного расхода и санитарно-гигиенического показателя.

Следует отметить один важный момент, если в результате расчета требования к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания выполнялись, то поэлементные требования (сопротивления теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций) допускалось понизить, но не ниже минимальных нормируемых величин.

Вскоре был введен в действие Свод правил СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» [42], в который были помещены формулы для расчета теплотехнических показателей, которые отсутствовали в СНиП 23-02-2003. Поэтому использовать СНиП [40] без Свода правил по проектированию тепловой защиты здания было невозможно.

Данный свод правил сопровождался приложениями, в которых были представлены примеры расчета приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания, окон и балконных дверей, ограждающих конструкций путем расчета температурного поля, однако, отсутствовали методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче для новых конструкций, например, для навесных вентилируемых фасадных систем.

В конце декабря 2009 года был принят Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [53], который обозначил энергетическую эффективность одним из главных требований, которым должны соответствовать здания. Так же нововведениям в нормах по теплозащите зданий способствовало такое изменение в законодательстве Российской Федерации, как утверждение Федерального закона от № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [51] от 27 декабря 2002 г., согласно которому на смену СНиПам должны прийти своды правил (СП), а все ранее используемые СНиПы подлежат актуализации. Помимо этого, следует отметить, что на смену старого Федерального закона «Об энергосбережении» пришел новый Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

В результате всех изменений в силу вступил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [43]. Все нововведения в данном своде правил касаются моделирования температурных полей и расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций будут рассмотрены ниже.

Стоит отметить, что с начала 2000 гг. и по настоящее время рядом ученых из НИИ Строительной физики, а именно Гагариным В.Г. и Козловым В.В., активно ведутся расчеты температурных полей для элементов наружных ограждающих конструкций.

1.3 Учет теплотехнических неоднородностей в практике европейских стран при проектировании тепловой защиты зданий

Требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций действуют во многих европейских странах, в связи с этим большой интерес вызывает, как осуществляется в этих странах учет влияния на тепловые потери теплотехнических неоднородностей в ограждающих конструкциях зданий.

Для начала стоит обратить внимание на нормирование сопротивления теплопередаче в странах ЕС. В 2010 г. была опубликована научная статья профессора Олли Сеппанена (Olli Seppanen) «Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС» [34], в которой достаточно полно освещены требования к характеристикам ограждающих конструкций. В данной работе была представлена таблица, содержащая в себе требования, установленные в определенных странах, к теплозащитным характеристикам, которые менялись в различный период времени. Данная таблица представлена на рисунке 1.4. При этом в странах Европы предусматриваются различные значения коэффициента сопротивления теплопередаче для жилых и общественных зданий.

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

Показатель	Франция	Бельгия	Нидерланды	Германия		Великобритания	Италия	Венгрия	Румыния	Дания	Норвегия	Швеция	Финляндия
Год принятия требований	2005	2008	2011	2009		2010	2010	2006	2006	2006	2007	2008	2010
Тип здания	жилое	жилое	жилое	жилое	общественное	общественное	–	–	–	–	–	–	–
Коэффициент сопротивления теплопередаче, м²•°C/Вт													
стены	2,78	2,0	3,45	3,57	3,57/2,86 ¹	5,55	3,03 (1,61) ²	2,22	1,41	5,00	5,56	5,56	5,88
кровли	5,00	3,33	3,45	5,00	5,0/2,86 ¹	6,67	3,45 (2,63) ²	4,00	3,03	5,56	7,69	7,69	11,11
окна	0,56	0,47 (0,67) ³	0,45	0,77	0,77/0,53 ¹	0,67	0,5 (0,23) ²	0,62	0,40	0,67	0,83	0,76	1,0
пола	3,70	1,11	3,45	2,86	2,86/2,86 ¹	4,76	3,12 (1,54) ²	4,00	3,03	6,67 (8,33) ⁴	6,67	6,67	5,88

¹ Для температуры внутреннего воздуха соответственно > 19 °C / < 19 °C.

² Пороговое значение для самых теплых климатических зон Италии.

³ Только для стекла.

⁴ При использовании теплых полов.

Рисунок 1.4 – Требуемые значения коэффициента сопротивления теплопередаче для типовых зданий в некоторых европейских странах

Кроме этого, в европейских странах устанавливаются минимальные значения коэффициента сопротивления теплопередаче. Таблица с данными значениями, представленная в работе Сеппанена, изображена на рисунке 1.5.

Показатель	Франция	Германия		Словения	Венгрия	Румыния	Дания	Норвегия	Финляндия	
Год принятия требований	2005	2009		2008/2010	2006	2006	2006	2007	2010	
Тип здания		жилое	общественное							
Коэффициент сопротивления теплопередаче, м²•°C/Вт										
стены	2,22	2,50–1,54		2,86/ 2,00 ¹	3,57	2,22	1,49	2,5	4,55	1,66
кровли	3,57 (2,94) ²			2,86/ 2,00 ¹	5,00	4,00	3,45	4,00	5,56	1,66
окна	0,38			0,53/ 0,34 ¹	0,77	0,62	0,56	0,50	0,63	0,56
пола	2,78 (2,5) ³			2,86/ 2,00 ¹	3,33	4,00	4,55	3,33	5,56	1,66

¹ Для температуры внутреннего воздуха соответственно > 19 °C / < 19 °C.

² Для металлических крыш.

³ Для полов над подвальным помещением.

Рисунок 1.5 – Минимальные значения коэффициента сопротивления теплопередаче для некоторых европейских стран

Во всех странах на требования тепловой защиты зданий влияют свои особенности. Так в Испании, Франции и Италии значения характеристик теплозащиты ограждающих конструкций зависят от района и меняются в зависимости от условий климата (в зависимости от близости моря и высоты над уровнем моря). В таких странах, как Финляндия и Норвегия, требования к теплозащите снижены для зданий, построенных из дерева, чтобы сохранить традиции деревянного домостроения.

Влиянию «мостиков холода» на теплотери уделяют все большее внимание, так как страны Европы давно поставили перед собой цель перейти к

строительству пассивных домов.

В нормах Дании учитывается влияние «мостиков холода» при новом строительстве и реконструкции зданий [10]. При этом, если мостики холода представляют собой простую конструкцию, то проводятся ручные вычисления. Сложные же мостики холода должны быть просчитаны путем подробного численного анализа. Значения, полученные для типовых решений, занесены в специальные таблицы, представленные в стандартах. Создание таких таблиц возлагается на производителей строительных материалов.

Для возводимых зданий введено требование к максимальным значениям удельных тепловых потерь через линейные теплотехнические неоднородности, для определенных видов узлов конструкции: оконные откосы - не более 0,06 Вт/(м К), примыкание стен к фундаментам - не более 0,40 Вт/(м К). Контроль за выполнением данных требований при проектировании осуществляется органами государственной власти.

В нормах Финляндии влияние мостиков холода учитывается лишь для строящихся зданий. При расчете влияние мостиков холода на тепловые потери, есть определенные особенности, которые заключаются в определении отношения большего значения теплопроводности к меньшему двух слоев материалов, расположенных смежно. Таким образом, если данное отношение меньше 5, то теплопроводность всего слоя принимается равной теплопроводности средней по площади сечения материалов слоя, а если это отношение больше 5, то элементы конструкции, имеющие большую теплопроводность рассматриваются как мостики холода, а расчет потерь проводится соответствующими методами. Расчет влияние точечных и линейных теплотехнических неоднородностей проводится по формуле (1.6):

$$\Delta U = \sum l_j \cdot \psi_j + n_k \cdot \chi_k \quad (1.6)$$

Полученное значение добавляется к коэффициенту теплопередачи по глади конструкции при расчетах общих тепловых потерь. Данные нормы носят рекомендательный характер.

В Германии учет мостиков холода ведется двумя способами: как

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

определенная величина для различных конструкций - $\Delta U = 0,05-0,15 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ или с применением Приложений, в которых указаны значения удельных тепловых потерь через неоднородности для различных узлов конструкций. Учет теплотехнических неоднородностей проводится как для впервые возводимых, так и для реконструируемых зданий.

В нормах Франции, так же, как и в нормах Финляндии, влияние теплотехнических неоднородностей учитывается для строящихся зданий. При этом ведется расчет влияния на потери теплоты лишь линейных теплотехнических неоднородностей. Так же существуют требования конкретно для индивидуальных жилых и многоквартирных зданий. Для многоквартирных зданий значение теплового потока через линейные теплотехнические неоднородности не должно быть больше $1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, для индивидуальных жилых зданий не больше $0,65 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, для всех остальных – $1,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

В нормативных документах Нидерландов и Польши предусматривается как точный расчет тепловых потерь, так и упрощенный метод. Упрощенный метод заключается в добавлении определенной величины к коэффициенту теплопередачи по глади конструкции. В Нидерландах добавочная величина имеет значение $\Delta U = 0,01 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, а в Польше величина равна $\Delta U = 0,05 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ для наружных стен с дверными и оконными проемами и $\Delta U = 0,15 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ для стен с дверными/оконными проемами и балконной плитой. Однако учет потерь в Польше ведется и для новых и для реконструируемых зданий, в то время как в Нидерландах лишь для впервые возводимых зданий.

Таким образом, можно сделать вывод, что в большинстве европейских стран ведется учет тепловых потерь через теплотехнические неоднородности. Однако выполняется он в большинстве случаев упрощенным методом. Помимо этого, в европейских странах нормируемой величиной является коэффициент теплопередачи по глади конструкции, в то время как в России нормируемой величиной является приведенное сопротивление теплопередаче, которое учитывает, как тепловые потери по глади конструкции, так и потери через линейные и точечные теплотехнические неоднородности, что позволяет более

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

полно учитывать тепловые потери через ограждающие конструкции.

1.4 Приведенное сопротивление теплопередаче и учет теплотехнических неоднородностей в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003»

Актуализация СНиП 23–02–2003 «Тепловая защита зданий» началась в 2010 году. В новом нормативном документе необходимо было решить ряд задач, во-первых, сохранить основные понятия и требования СНиП 23-02–2003, во-вторых, повысить энергетическую эффективность проектируемых зданий, добавить в СП методики расчета теплофизических характеристик для новых ограждающих конструкций и разработать методику расчета, позволяющую учесть все потери тепла через ограждающие конструкции здания.

В принятом СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» нормирование тепловой защиты и расхода тепловой энергии выполняется исходя из трех основных требований. Первое - это поэлементное требование, которое распространяется на все отдельные ограждающие конструкции (окна, двери, стены, перекрытия и т.д.). Заключается оно в том, что сопротивление теплопередаче отдельных элементов должно быть больше нормируемой величины. Следующим требованием является требование к теплозащите оболочки здания (комплексное требование), которое распространяется на всю совокупность ограждающих конструкций, заключается оно в том, что удельная теплозащитная характеристика должна быть меньше требуемой величины. Третьим требованием является санитарно-гигиеническое требование, смысл которого заключается в том, что в местах теплопроводных включений температура на внутренней поверхности ограждения должна быть выше минимально допустимых значений, то есть конденсат на внутренней поверхности должен отсутствовать. При этом согласно СП [43] необходимо, чтобы все три условия были соблюдены.

В моей работе основной интерес имеют поэлементные требования к

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

ограждающим конструкциям, а именно приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.

Долгое время не было сформулировано четкое понятия «приведенное сопротивление теплопередаче». Данное понятие было приведено в работе Гагарина В.Г «Учет теплопроводных включений при расчете теплотерь через ограждающие конструкции» [10]. Таким образом, приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции- это «физическая величина численно равная отношению перепада температуры воздуха по разные стороны ограждающей конструкции, к осредненной по площади фрагмента плотности потока теплоты через данный фрагмент конструкции при стационарных условиях теплопередачи». Кроме того, определения основных теплофизических понятий содержатся и в СП 50.13330.2012.

Итак, главным изменением в актуализированной редакции СНиП к поэлементным требованиям является замена расчета приведенного сопротивления теплопередаче модернизированным методом, который позволяет учесть все теплопроводные включения применяемых в настоящее время ограждающих конструкций. Таким образом, расчет сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции должен проводиться по формуле (1.7):

$$R_i^{i\delta} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{\delta n\bar{e}}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k K_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k K_k}, \quad (1.7)$$

где R_o^{ycl} – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; l_j – протяженность линейной неоднородности j -ого вида, приходящаяся на 1 квадратный метр фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, m/m^2 ; Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -ого вида, $\text{Вт}/(m^\circ\text{C})$; n_k – количество точечных неоднородностей k -ого вида, приходящихся на 1 квадратный метр фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции,

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

шт/м²; K_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -ого вида, Вт/°C; a_i – площадь плоского элемента конструкции i – го вида, приходящаяся на 1 квадратный метр фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м²/м²; U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -ой части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i – го вида), Вт/(м² °C).

В формуле появились такие значения, как удельные потери теплоты через линейные и точечные теплотехнические неоднородности. Данные удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел содержащий элемент и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

Таким образом, удельные потери теплоты через линейную неоднородность должны определяются по результатам расчета двухмерного температурного поля и рассчитываться по формуле (1.8):

$$\Psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_b - t_n}, \quad (1.8)$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха, °C; t_n – расчетная температура наружного воздуха, °C; ΔQ_j^L – дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на один погонный метр, Вт/м.

А удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, определяются по результатам расчета трехмерного температурного поля по формуле (1.9):

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_a - t_i}, \quad (1.9)$$

где χ_k – удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, Вт/°C; ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, Вт.

Введение в СП [43] новой методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче вызывает необходимость моделировать температурные поля

						08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			26

каждого узла ограждающей конструкции. А это достаточно трудоемкая работа, поэтому целесообразней при расчетах применять готовые значения удельных потерь через линейные и точечные неоднородности. Такие значения вносятся в специальные таблицы и используются при проектировании как пособия.

В конце апреля 2015 г. был введен СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» [45] разработанный членами НИИСФ РААСН кандидатом технических. Наук Козловым В.В и доктором технических. наук Гагариным В.Г. В нем содержатся значения линейных и точечных неоднородностей для различных узлов ограждающих конструкций зданий, которые должны помочь проектировщикам данные при расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Однако, все многообразие узлов конструкций охватить сложно, а требования к теплозащите зависят от климатических условий различных регионов России, поэтому расчет температурных полей является актуальной задачей, которая встает перед проектировщиками.

Помимо СП [43] информация о приведенном сопротивлении теплопередаче и нормировании теплозащиты представлена в работах Гагарина В.Г. [6, 7, 8].

Стоит отметить, что с 1 июля 2015 года СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» вошел в перечень обязательных к исполнению национальных стандартов и сводов правил [29].

1.5 Учет теплотехнических неоднородностей в практике европейских стран при проектировании тепловой защиты зданий

В результате утверждения СП 50.13330.2013 проектировщикам необходимо рассчитывать приведенное сопротивление теплопередаче с применением расчета температурных полей.

В настоящее время активно развиваются программные продукты,

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

позволяющие рассчитывать температурные поля. Таких программных продуктов уже достаточно много, они позволяют проводить расчеты с любой точностью. Параллельно с ростом числа программ наблюдается рост количества научных групп, занимающихся изучением температурных полей и их моделированием.

Так в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (НГАСУ) на кафедре «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» решаются задачи по расчету температурных полей научной группой под руководством доктор технических наук Кочева А.В. [16]. В Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете кандидатом технических наук Корниенко С.В. был выпущен ряд работ, посвященных методам расчета трехмерных температурных полей и изучению влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащитные характеристики [15]. Нельзя не отметить работы по моделированию температурных полей кандидата технических наук кафедры «Теплоэнергетики, отопления и вентиляции» Казанского государственного архитектурно-строительного Крайнова Д.В, который работает в этой области уже 10 лет, кроме этого он проводит вебинары «Расчет температурных полей в ELCUT при проектировании тепловой защиты зданий», которые помогают проектировщикам наглядно ознакомиться с расчетами температурных полей [17, 18]. Активно ведутся работы по расчету температурных полей и учету тепловых потерь в Московском государственном строительном университете кандидатом технических наук Самариним О.Д. [32, 33].

Одним из лидеров по расчетам температурных полей является НИИСФ РААСН. В институте проводятся испытания в климатических камерах, расчеты полей и научные работы, посвященные теплозащите. Группа ученых из НИИСФ РААСН является автором действующего СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Большое количество работ, посвященных учету теплотехнических неоднородностей, выполнено Гагариным В.Г. [8, 9]

В Челябинске в Южно-Уральском государственном университете на

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Архитектурно - строительном факультете стали все чаще появляться работы, посвященные повышению энергоэффективности, учету тепловых потерь через теплотехнические неоднородности, моделированию температурных полей, а так же исследованию в климатической камере. К таким работам можно отнести труд [30] кандидата технических наук Русанова А.Е., в котором были проведены теоретические и экспериментальные исследования в установлении влияния дефектов устройства наружных ограждающих конструкций на уровень теплозащиты. Кроме того, Русановым А.Е. и аспирантом Рыбаковым М.М. была выпущена статья «Метод определения удельных потерь теплоты через точечную теплотехническую неоднородность с помощью программного комплекса для моделирования двумерных полей» [31] на примере гвоздя тарельчатого дюбеля для крепления утеплителя при устройстве навесных фасадных систем.

Среди программных продуктов для расчета температурных полей стоит отметить «Tempreg-3D», в которой можно рассчитать и приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий. Расчет температурного поля можно выполнить в программах Stratum 2000, THERM, ANSYS. Однако данные программы не имеют русскоязычного интерфейса и содержат множество других возможностей, которые не понадобятся проектировщику при проектировании тепловой защиты здания. Большой интерес вызывает программа ELCUT, которая соответствует требованиям пунктов СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Программа имеет русскоязычный интерфейс и позволяет проводить решение тепловых задач методом конечных элементов.

Кроме программ для расчета температурных полей, есть программы для расчета приведенного сопротивления теплопередаче. К ним относится программное обеспечение LIT Thermo Engineer, в которой можно выполнить теплотехнические расчеты ограждающих конструкций при проектировании зданий согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003», СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*»

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

[44]. С помощью программы можно определить возможные зоны выпадения конденсата внутри конструкции, построить графически профили температуры, провести интерполяцию данных таблиц для неоднородных включений. Однако на данный момент в программе можно рассчитывать лишь стеновые конструкции.

Можно сделать вывод, что в России на сегодняшний день активно ведутся работы по расчету температурных полей различных узлов ограждающих конструкций и в ближайшее время данная тематика будет набирать обороты, так как в практике строительства имеется огромное многообразие узлов конструкций и появляются новые типы ограждающих конструкций с неоднородностями. Для успешного применения новых методик СП 50.13330.2012 необходимо проводить большое количество расчетов температурных полей и упорядочивание результатов расчетов.

Вывод по главе

Уже более 20 лет в нашей стране рассматриваются вопросы энергосбережения на федеральном уровне. Однако энергетические потери в построенных зданиях не отвечали современным требованиям, что способствовало усилению политики энергосбережения. В 2009 году вышел Федеральный закон N 261-ФЗ, который обозначил правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

За последние 100 лет строительная теплотехника проделала большой путь к развитию. Ученые того времени впервые начали говорить о необходимости проведения расчетов температурных полей узлов ограждающих конструкций. Исследования температурных полей продолжались на протяжении всего этого времени и затрагивали все более сложные конструкции. Требования к теплозащите здания постоянно повышались, однако не смотря на наличие большого объема исследований тепловая защита большинства конструкций проектировалась приближенно, так как нормы не предписывали учитывать все неоднородности в конструкциях из-за сложности и трудоемкости расчетов. Все

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

изменилось с выходом в 2013 году нового СП, в котором прописано, что теперь для расчета приведенного сопротивления теплопередачи необходимо учитывать все теплотехнические неоднородности в ограждающих конструкциях.

Теплотехнические неоднородности при проектировании тепловой защиты здания учитываются и в европейских странах, однако их учет выполняется в упрощенном виде. Помимо этого, в европейских странах нормируемой величиной является коэффициент теплопередачи по глади конструкции, а в России нормируемой величиной является приведенное сопротивление теплопередаче, которое учитывает тепловые потери по глади конструкции, а также через линейные и точечные неоднородности, что позволяет более полно учитывать тепловые потери через ограждающие конструкции.

В новом СП методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче требует расчета температурных полей каждого узла ограждающей конструкции, чтобы учесть все потери через линейные и точечные неоднородности. В настоящее время проектировщикам проводить такие расчеты сложно, поэтому необходимо создавать вспомогательные таблицы со значениями удельных потерь через линейные и точечные неоднородности, которые решат за проектировщиков большую часть вопросов по расчету приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Нововведения в СП дали толчок к активному развитию расчета температурных полей различных узлов конструкций, так в практике строительства имеется огромное разнообразие конструкций и появляются новые их типы. По всей России растет количество научных групп, которые занимаются изучением температурных полей, а также активно развиваются программные продукты, позволяющие моделировать температурные поля.

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

ГЛАВА 2. РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ УЗЛЫ КРОВЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

2.1 Направление исследования

Кровля- верхний элемент покрытия (крыши), предохраняющий здание от проникновения атмосферных осадков, она включает кровельный материал, основание под кровлю, аксессуары для обеспечения вентиляции, примыканий, безопасного перемещения и эксплуатации, снегозадержания и др. [41]

Существует широкое многообразие материалов, из которых выполняются кровельные покрытия. Они отличаются как по эксплуатационным характеристикам, срокам службы так и по стоимости.

В зданиях и сооружениях с плоскими крышами чаще всего устраивают рулонные кровли [2]. Они выполняются из доступных и недорогих битуминозных материалов. Однако эти кровли не являются долговечными. Нормативный срок их службы, даже при нормальных и благоприятных условиях эксплуатации, не превышает 10 лет.

В современном строительстве все шире стали использоваться новые эффективные полимерные и битумно-полимерные кровельные материалы, получаемые путем введения в битум различных полимерных добавок. Полимерные рулонные кровельные материалы характеризуются высокими исходными показателями физико-технических свойств, надежностью и долговечностью. Применение таких материалов позволяет существенно сократить трудозатраты при устройстве кровли за счет снижения количества слоев водоизоляционного ковра.

Технология изготовления рулонной кровли содержит следующие основные процессы устройства: подготовка основания под пароизоляцию; пароизоляция; теплоизоляционный слой; водоизоляционный ковер; защитный слой; детали кровельного ковра [3]. В качестве утеплителя используют: пенобетон, фибролитовые плиты, минераловатные плиты, пенополистерольные плиты, пенополиуретановые плиты.

						08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			32

площадь проекции которых соизмерима с площадью поверхности фрагмента конструкции. При рассмотрении кровельной конструкции плоским элементом будет являться однородный участок кровли.

К линейным относят элемент в том случае, если один его размер во много раз больше другого. Согласно ГОСТ Р 54851-2011 «Конструкции строительные ограждающие неоднородные» [13] линейная теплотехническая неоднородность – это «линейная зона примыкания двух ограждающих конструкций, влияющего на изменение теплового потока, проходящего через наружное ограждение». Таким образом, при рассмотрении кровли линейным элементом будет являться, например, деформационный шов или примыкание к стенам и парапетам и т.д. Тепловые потери через линейный элемент определяются путем сравнения теплового потока, проходящего через участок конструкции, содержащей в себе линейную теплотехническую неоднородность, и потока через тот же участок конструкции, но однородный.

К точечным элементам относятся элементы, площадь проекция которых мала по сравнению с площадью поверхности фрагмента конструкции [9]. Другими словами, это локальный элемент многослойной конструкции. Как правило, точечный элемент находится в плоском элементе фрагмента ограждающей конструкции. При рассмотрении кровли таким элементом будет являться воронка внутреннего водостока, аэратор, опора под оборудование и т.д. Тепловые потери через точечный элемент определяются путем сравнения теплового потока, проходящего через участок конструкции, содержащей в себе точечную теплотехническую неоднородность, и потока через тот же участок конструкции, но однородный.

2.2 Методика исследования

Для исследования влияния теплотехнических неоднородностей на тепловую защиту зданий в настоящее время применяют компьютерное моделирование теплового режима ограждающих конструкций. Как уже отмечалось, программные продукты имеют тенденцию к активному развитию. С

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

их помощью можно проводить расчеты температурных полей любой сложности и с любой точностью.

Для многослойных ограждающих конструкций с теплотехническими неоднородностями необходимо проводить расчет двумерных и трехмерных температурных полей, что на данный момент вполне осуществимо. Однако программы для расчета трехмерных тепловых полей представляют собой сложные многофункциональные комплексы, применение которых требует больших экономических затрат. В большинстве случаев моделирование трехмерного поля можно избежать. Расчет существенно упрощается, если есть ось симметрии.

Из большого числа программных продуктов наиболее удобной является программа «ELCUT», это двумерная программа, которая позволяет наглядно и достаточно просто задавать теплофизические характеристики слоев и элементов ограждающих конструкций, а также имеет простой набор инструментов для задания геометрии конструкции.

Программный комплекс «ELCUT» предназначен для моделирования в нескольких направлениях, одним из которых являются тепловые расчеты. Набор для решения тепловых задач включает в себя расчет стационарной теплопередачи и нестационарной теплопередачи. При расчете возможна плоскопараллельная и осесимметричная постановка задачи. В основе программы лежит метод конечных элементов. В результате расчета программа выдает температуру в узлах сетки конечных элементов, мощность теплового потока и другие величины. С помощью «ELCUT» можно увидеть направление температурного потока, изолинии температурных полей, определить температуру на поверхности конструкции и т.д.

Основной алгоритм расчета температурных полей включает в себя следующие последовательные действия: создание геометрии объекта; создание и назначение материалов и их теплофизических свойств; назначение граничных условий; создание сетки конечных элементов; расчет задачи и анализ результатов.

										Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

Целью работы является упрощение работы специалистов, проектирующих тепловой контур здания, путем определения влияния теплотехнических точечных и линейных неоднородностей в кровельной конструкции на потери теплоты и упорядочивания полученных данных в сводные таблицы. Для реализации данной цели необходимо выделить основные этапы исследовательской работы:

- Выбор кровельной конструкций с типовыми неоднородностями, которые широко применяются в проектировании;
- Выбор постоянных и варьируемых параметров, которые влияют на потери теплоты через узел конструкции;
- Задание граничных условий и определение границ варьируемых параметров;
- Создание геометрических моделей кровельного покрытия в программе «AutoCAD» с учетом варьирования параметров;
- Назначение варьируемых и постоянных теплофизических характеристик материалов конструкции и расчет температурных полей для каждой модели кровельного покрытия в ПК «ELCUT»;
- Анализ результатов расчета и получение коэффициентов, учитывающих потери теплоты через линейные и точечные неоднородности;
- Расчет приведенного сопротивления теплопередаче на примере конкретного здания с учетом полученных коэффициентов.

2.3 Исходные данные для исследования

Для проведения математического эксперимента с помощью программы «ELCUT» для исследования влияния теплотехнических неоднородностей кровельной конструкции на потери теплоты был рассмотрен 1м² фрагмента кровли с учетом линейных и точечных элементов.

В качестве исследуемой ограждающей конструкции выбрано совмещенное кровельное покрытие с основанием из железобетонной плиты. Согласно [45] материал основания кровельного покрытия оказывает незначительное влияние

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

на удельные потери теплоты, поэтому вариант с основанием из профилированного листа в данной работе рассматриваться не будет. Построение геометрической модели узла кровли выполнялось в зависимости от конструктивных особенностей теплопроводных включений.

В качестве линейных теплопроводных включений рассматривается деформационный шов на кровельном покрытии и примыкание кровельного покрытия к парапету.

В качестве точечных теплопроводных включений рассматривается водосборная воронка, кровельный аэратор, пропуск электрического кабеля через покрытие и прохождение колоны (опоры под оборудование) через кровельное покрытие.

Конструкции рассматриваемых узлов кровельного покрытия с неоднородностями приняты согласно Альбома узлов ООО «ТехноНИКОЛЬ-Строительные системы» [46].

Граничными условиями являются: расчетная температура наружного воздуха ($t_n = -34$ °С), принимаемая согласно СП 131.13330.2012. «Строительная климатология» [44] для Челябинской области; расчетная температура внутреннего воздуха ($t_b = 21$ °С), принимаемая согласно ГОСТ 30494-2011 [12]; коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции ($\alpha_n = 23$ Вт/м² · °С) согласно таблице 7 СП 50.13330.2012; коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции ($\alpha_b = 8,7$ Вт/м² · °С) согласно таблице 4 СП 50.13330.2012.

Расчетные теплотехнические показатели материалов слоев конструкции принимались согласно нормативных документов [43]. Постоянные характеристики материалов представлены в таблице 2.1.

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Таблица 2.1 – Расчетные теплотехнические показатели материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°С
Железобетон	2500	1,92
Кирпич полнотелый	1600	0,7
Сталь	7850	58
Медь	8890	380
Монтажная пена	80	0,05
Керамзит	250	0,11
Цементно-песчаный раствор	1800	0,76
Воздух	1,205	0,0257
Кровельный ковер	–	0,17

Конструкция кровельного покрытия представлена на рисунке 2.1. Толщина железобетонного основания покрытия $\delta_{о.п}$ была принята 220 мм. Толщина цементно-песчаной стяжки и разуклонки из керамзита принята 50 мм.

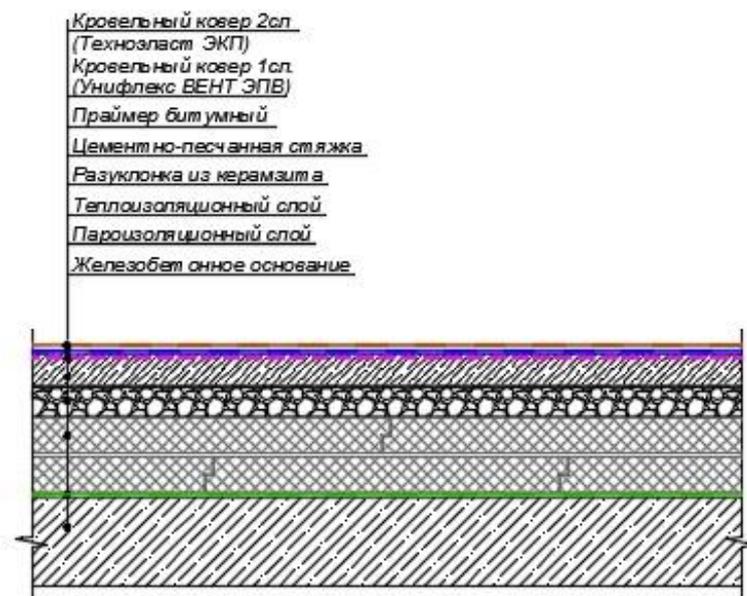


Рисунок 2.1 – Конструкция кровельного покрытия

Толщина слоя теплоизоляции $\delta_{ут}$ варьируется в ходе расчетов от 150 до 300 мм. Коэффициент теплопроводности утеплителя был принят согласно приложения Т [43] $\lambda_{ут.п}$, (Вт/м · °С) (0,032; 0,04; 0,045; 0,052).

Также к варьируемым параметрам относятся конструктивные особенности теплотехнических неоднородностей. При моделировании деформационного шва варьировалась ширина полосы, утепляющей шов $d_{ш}$, мм (300;500), при моделировании примыкания кровельного покрытия к парапету – коэффициент теплопроводности основания стены $\lambda_{о.ст}$, (Вт/м · °С) (0,22;0,41), толщина слоя утеплителя стены $\delta_{о.п}$, мм (100;150), коэффициент теплопроводности слоя утеплителя стены $\lambda_{ут.ст}$, (Вт/м · °С) (0,032;0,04;0,045;0,052). В качестве материала основания стены был принят газобетон толщиной $\delta_{о.ст} = 250$ мм. В качестве изменяемой величины, влияющей на потери теплоты, для аэратора был принят его диаметр $d_{аэр}$, мм (90;110), для выпуска электрического кабеля - диаметр внешней металлической трубы $d_{т}$, мм (12;24;48), для колонны (опоры под оборудование) – диаметр колоны $d_{к}$, мм (50;100;150), для водопропускной воронки – ее диаметр $d_{в}$, мм (90;110).

Основным постоянно варьируемым параметром, влияющим на потери теплоты через узлы кровельного покрытия, является термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{ут.с}$, (м² · °С/Вт), которое определяется по формуле (2.1):

$$R_{ут.с} = \frac{\delta_{ут.с}}{\lambda_{ут.с}}, \quad (2.1)$$

где $\delta_{ут.с}$ -толщина слоя, м; $\lambda_{ут.с}$ – теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°С), принимаемая по приложению Т СП 50.13330.2012.

Для того, чтобы задать границы термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя, которое будет использоваться при моделировании температурных полей, необходимо провести расчет термического сопротивления теплопередаче для однородной многослойной кровельной конструкции.

Расчет будет проводиться по формуле (2.2):

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$R_o^{ysl} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (2.2)$$

где α_B и α_H - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции соответственно, Вт/(м²·°C), принимают по таблицам 4 и 6. СП 50.13330.2012; R_s – термическое сопротивление слоя однородной части конструкции, м²·°C/Вт. Термическое сопротивление слоя однородной части конструкции определяется как отношение толщины слоя к коэффициенту теплопроводности данного слоя.

Согласно СП 50.13330.2012 сопротивление теплопередаче отдельных конструкций должно быть больше значения нормируемого сопротивления теплопередаче.

Нормируемое (требуемое) сопротивление теплопередаче рассчитывается по формуле (2.3):

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.3)$$

где a, b - коэффициенты, принимаемые по таблице 3 СП 50.13330.2012. bтаблицы для соответствующих групп зданий; a = 0,000075; b = 0,15 по табл. 6 СП 50.13330.2012.

Градусо-сутки отопительного периода находим по формуле (2.4):

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{от.пер.}}) \cdot z_{\text{от.пер.}}, \quad (2.4)$$

где $t_{\text{от. пер.}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C; $z_{\text{от.пер.}}$ – продолжительность отопительного периода, сут; t_B – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C.

Для Челябинска средняя температура наружного воздуха $t_{\text{от.пер.}} = -6,5^\circ\text{C}$; продолжительность отопительного периода $z_{\text{от.пер.}} = 218$ сут, расчетная температура внутреннего воздуха $t_B = 20^\circ\text{C}$.

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{от.пер.}}) \cdot z_{\text{от.пер.}} = (21 + 6,5) \cdot 218 = 5999 \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{сут)} / \text{год.}$$

Согласно таблице 3 для покрытий при ГСОП = 5999 (°C·сут)/год коэффициент a = 0,0005, коэффициент b=2,2.

По формуле (2.3) получаем требуемое сопротивление теплопередаче для

										Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

покрытий в Челябинске:

$$R_0^{TP} = 0,0005 \cdot 5999 + 2,2 = 5,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C /Вт)}$$

Таким образом, должно выполняться условие $R_0^{усл} > R_0^{TP}$. Полученное значение $5,2 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}\right)$ будет являться нижним пределом при нахождении варьируемых значений термического сопротивления слоя утеплителя. Верхним пределом исходя из целей энергосбережения будет значение $1,6R_0^{TP} = 8,32 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}\right)$, так как согласно таблице 15 [43] величина отклонения расчетного значения теплофизической характеристики от нормируемого должна быть 60 %, что характеризует очень высокий класс энергосбережения.

Для того, чтобы выбрать значения термического сопротивления слоя утеплителя, рассчитаем условное сопротивление теплопередаче $R_0^{усл}$ однородной кровельной конструкции для следующих случаев:

1) при теплопроводности слоя утеплителя $\lambda_{ут.1}=0,032$ (Вт/м · °C) и толщине слоя утеплителя $\delta_{ут.1}=150$ мм, $\delta_{ут.2}=200$ мм, $\delta_{ут.3}=250$ мм, $\delta_{ут.4}=300$ мм, $\delta_{ут.4}=350$ мм;

2) при теплопроводности слоя утеплителя $\lambda_{ут.2}=0,04$ (Вт/м · °C) и толщине слоя утеплителя $\delta_{ут.1}=150$ мм, $\delta_{ут.2}=200$ мм, $\delta_{ут.3}=250$ мм, $\delta_{ут.4}=300$ мм, $\delta_{ут.4}=350$ мм;

3) при теплопроводности слоя утеплителя $\lambda_{ут.3}=0,045$ (Вт/м · °C) и толщине слоя утеплителя $\delta_{ут.1}=150$ мм, $\delta_{ут.2}=200$ мм, $\delta_{ут.3}=250$ мм, $\delta_{ут.4}=300$ мм, $\delta_{ут.4}=350$ мм;

4) при теплопроводности слоя утеплителя $\lambda_{ут.4}=0,052$ (Вт/м · °C) и толщине слоя утеплителя $\delta_{ут.1}=150$ мм, $\delta_{ут.2}=200$ мм, $\delta_{ут.3}=250$ мм, $\delta_{ут.4}=300$ мм, $\delta_{ут.4}=350$ мм.

Рассмотрим 1 случай. Условное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (2.2) принимает значения:

$$R_{o,1}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,15}{0,032} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23} \\ = 5,53 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C /Вт)}$$

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

Рассмотрим 3 случай. Условное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (2.2) принимает значения:

$$R_{o,8}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 4,13 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,9}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,2}{0,045} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 5,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,10}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,25}{0,045} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 6,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,11}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,3}{0,045} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 7,51 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,12}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,35}{0,045} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 8,62 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

Вывод: условие $5,2 < R_o^{усл} < 8,32$ выполняется для $R_{o,9}^{усл} = 5,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$, $R_{o,10}^{усл} = 6,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$ и $R_{o,11}^{усл} = 7,51 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$, следовательно рассматриваемые ограждающие конструкции соответствуют требованиям [43] по сопротивлению теплопередаче.

Рассмотрим 4 случай. Условное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (2.2) принимает значения:

$$R_{o,13}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,2}{0,052} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 4,68 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,14}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,25}{0,052} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 5,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,15}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,3}{0,052} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 6,61 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

$$R_{o,16}^{ysl} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,0035}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,35}{0,052} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23}$$

$$= 7,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$$

Так как должно выполняться условие $5,2 < R_o^{ysl} < 8,32$, нет необходимости проводить расчет для $\delta_{yt,1}=150$ мм.

Вывод: условие $5,2 < R_o^{ysl} < 8,32$ выполняется для $R_{o,14}^{ysl} = 5,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$, $R_{o,15}^{ysl} = 6,61 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$ и $R_{o,16}^{ysl} = 7,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$, следовательно рассматриваемые ограждающие конструкции соответствуют требованиям [43] по сопротивлению теплопередаче.

Исходя из полученных результатов термическое сопротивление слоя утеплителя будем определять для конструкций со значением сопротивления теплопередаче от $R_{o,н}^{ysl} = 5,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$ до $R_{o,к}^{ysl} = 8,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С /Вт)}$.

Для простоты моделирования выберем конструкцию с толщиной слоя утеплителя 200 мм и 300 мм, для остальных конструкций полученные в ходе расчета температурных полей удельные потери теплоты можно будет определить методом интерполяции.

Таким образом, в ходе исследования будем рассматривать конструкции:

- 1) с толщиной утеплителя $\delta_{yt,1}=200$ мм и коэффициентом теплопроводности утеплителя λ_{yt} , (Вт/м · °С) (0,032; 0,04; 0,045);
- 2) с толщиной утеплителя $\delta_{yt,2}=300$ мм и коэффициентом теплопроводности утеплителя λ_{yt} , (Вт/м · °С) (0,04; 0,045; 0,052);

Определим для данных слоев утеплителя термическое сопротивление по формуле (2.1):

$$1) R_{yt,c 1} = \frac{0,2}{0,045} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)};$$

$$R_{yt,c 2} = \frac{0,2}{0,04} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)};$$

$$R_{yt,c 3} = \frac{0,2}{0,032} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)}.$$

$$2) R_{yt,c 4} = \frac{0,3}{0,052} = 5,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)};$$

$$R_{yt,c 5} = \frac{0,3}{0,045} = 6,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)};$$

$$R_{\text{ут.с 6}} = \frac{0,3}{0,04} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)};$$

Для определения удельных потерь через точечные и линейные теплотехнические неоднородности необходимо определить потери теплоты через однородный участок кровельного покрытия по формуле (2.5):

$$Q_j = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{0,j} \cdot 1\text{м}} S_j, \quad (2.5)$$

где S_j , - площадь однородной части конструкции, м^2 ; $R_{0,j}$ – сопротивление теплопередаче части однородной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C /Вт})$.

Проведем расчет потерь теплоты через однородный участок конструкции:

$$1) Q_1 = \frac{21 - (-34)}{5,28} = 10,4166 \text{ Вт/м};$$

$$Q_2 = \frac{21 - (-34)}{5,84} = 9,4178 \text{ Вт/м};$$

$$Q_3 = \frac{21 - (-34)}{7,09} = 7,7574 \text{ Вт/м}.$$

$$2) Q_4 = \frac{21 - (-34)}{6,61} = 8,3207 \text{ Вт/м};$$

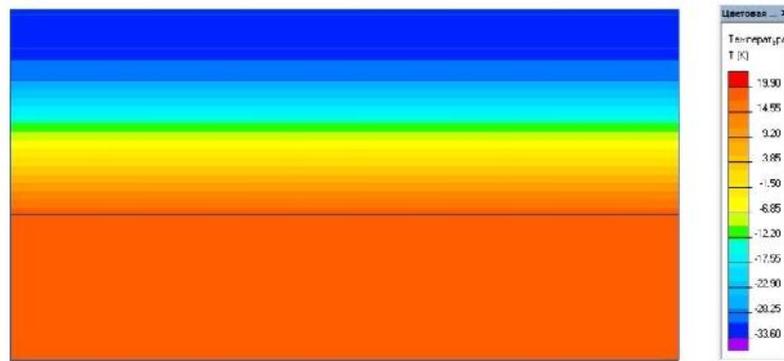
$$Q_5 = \frac{21 - (-34)}{7,51} = 7,3236 \text{ Вт/м};$$

$$Q_6 = \frac{21 - (-34)}{8,3} = 6,5947 \text{ Вт/м}.$$

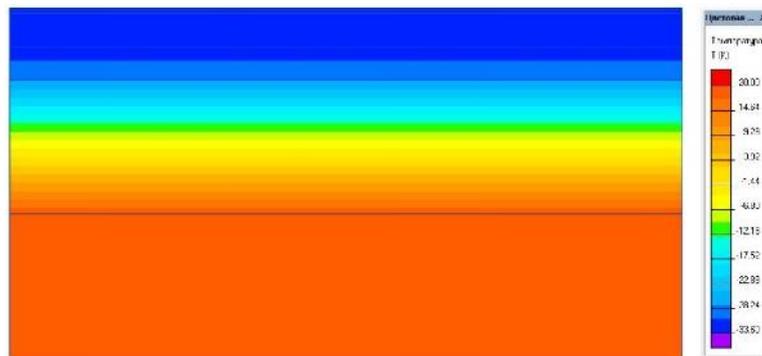
Для проверки адекватности результатов расчета температурных полей в ПК «ELCUT» смоделируем однородные участки кровельного покрытия и определим величины потерь теплоты через них, а потом сравним полученные данные с рассчитанными по формулам.

Результат расчета температурных полей участка кровельного покрытия с толщиной слоя утеплителя $\delta_{\text{ут.1}}=200$ мм и варьированием коэффициента теплопроводности утеплителя представлен на рисунке 2.1

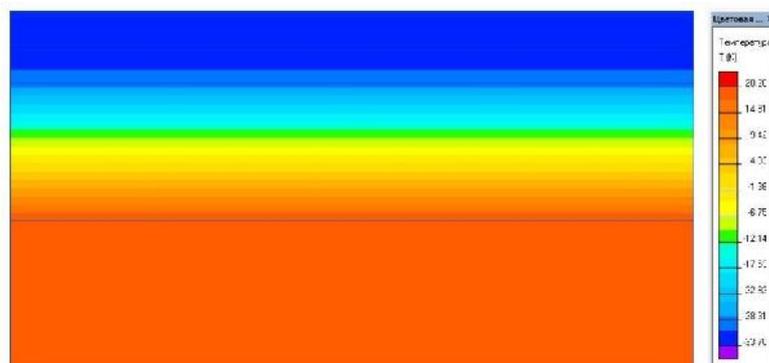
						08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			45



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 – Результат расчета температурных полей: а) термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$; б) термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$; в) термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$

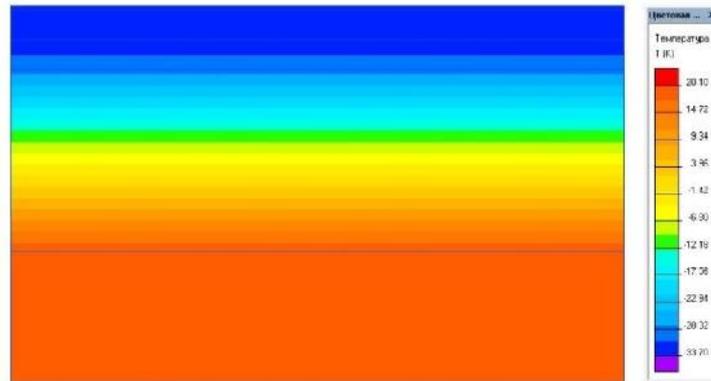
По результатам расчетов (рисунок 2.1) получаем потери теплоты через участки конструкции без теплотехнических неоднородностей:

1) $Q_1 = 10,411 \text{ Вт/м;}$

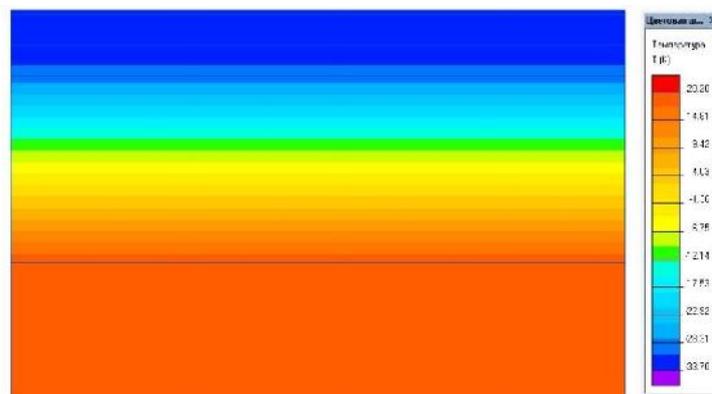
$$Q_2 = 9,42 \text{ Вт/м};$$

$$Q_3 = 7,7589 \text{ Вт/м}.$$

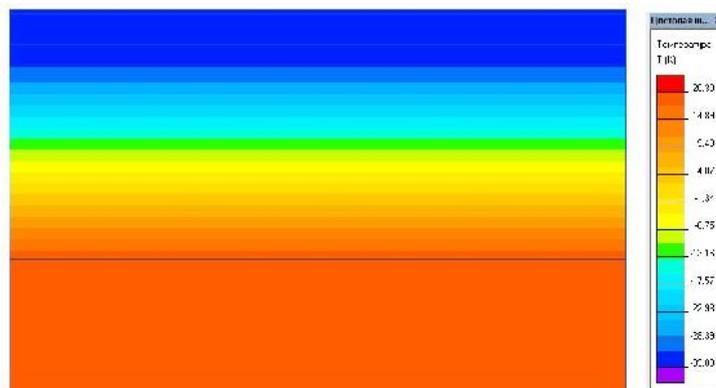
Результат расчета температурных полей участка кровельного покрытия с толщиной слоя утеплителя $\delta_{\text{ут.1}}=300$ мм и варьированием коэффициента теплопроводности утеплителя представлен на рисунке 2.2.



а)



б)



в)

Рисунок 2.2 – Результат расчета температурных полей: а) термическое

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

47

сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с4} = 5,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$; б) термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с5} = 6,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$; в) термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{ут.с6} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$

По результатам расчетов (рисунок 2.2) получаем потери теплоты через участки конструкции без теплотехнических неоднородностей:

$$2) Q_4 = 8,3234 \text{ Вт/м;}$$

$$Q_5 = 7,3282 \text{ Вт/м;}$$

$$Q_6 = 6,5958 \text{ Вт/м.}$$

Для сравнения результатов потерь теплоты через 1 м^2 участка ограждающей конструкции без теплотехнических неоднородностей, полученных в результате моделирования температурных полей и расчета по формулам, составим таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнительная таблица результатов расчета потерь теплоты по формулам и при помощи компьютерного моделирования

№	Объект исследования	Q, Вт/м - формула	Q, Вт/м - ELCUT	Разница, %
1	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$;	10,4166	10,411	0,054
2	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$;	9,4178	9,42	0,023
3	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$;	7,7574	7,7589	0,019

Окончание таблицы 2.2

	Объект исследования	Q, Вт/м - формула	Q, Вт/м - ELCUT	Разница, %
4	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с 4} = 5,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$;	8,3207	8,3234	0,032
5	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с 5} = 6,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$;	7,3236	7,3282	0,063
6	Кровельное покрытие с термическим сопротивлением утеплителя $R_{ут.с 6} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$.	6,5947	6,5958	0,017

Расхождение результатов компьютерного моделирования в ПК «ELCUT» и расчетов по формулам составляет менее 1%, а это означает, что можно сделать вывод об адекватности исследуемых компьютерных моделей. В дальнейшем при расчете удельных потерь теплоты через линейные и точечные теплотехнические неоднородности будем использовать значения потерь теплоты через кровельное покрытие без неоднородностей, полученные в результате компьютерного моделирования в ПК «ELCUT».

2.4 Расчет удельных тепловых потерь через неоднородности в типовых узлах кровельного покрытия

2.4.1 Удельные потери теплоты через линейные неоднородности

Согласно приложения Б [43] удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность – это удельные потери теплоты, отнесенные к единице длины линейной теплотехнической неоднородности.

Удельные потери теплоты, вызванные каждым элементом, находятся путем сравнения потока теплоты через узел, содержащий точечный или

линейный элемент, и через тот же узел конструкции, но без исследуемого элемента.

Таким образом, удельные потери теплоты через линейную неоднородность будем определять по результатам расчета двухмерного температурного поля и рассчитывать по формуле (2.6):

$$\Psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_a - t_i}, \quad (2.6)$$

где t_a – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; t_i – расчетная температура наружного воздуха, °С; ΔQ_j^L – дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на один погонный метр, Вт/м и определяемые по формуле (2.7):

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_j, \quad (2.7)$$

где Q_j^L – потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, приходящиеся на 1 пог.м стыка, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт/м; Q_j – потери теплоты через участок однородной части фрагмента, вошедший в расчетную область при расчете температурного поля области с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, Вт/м.

В качестве линейных теплопроводных включений рассматриваются: деформационный шов в кровельном покрытии; примыкание кровельного покрытия к парапету.

Деформационный шов в кровельном покрытии

Деформационный шов устраивается в кровельной конструкции в случае: если в этом месте проходит деформационный шов здания; если геометрические размеры здания (ширина или длина) составляют более 60м; в местах примыкания кровли к соседнему зданию; в местах изменения направления укладки элементов основания кровельного покрытия и т.д.

Рассматриваемая конструкция кровельного покрытия с деформационным

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

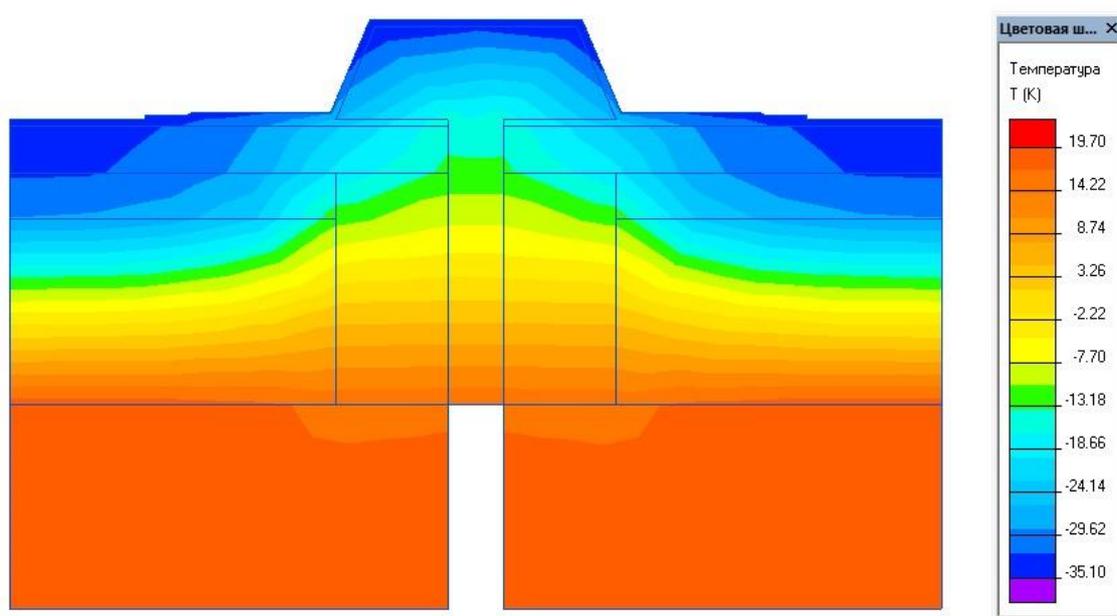
дополнительный слой с нахлестом 200мм; толщина кирпичной кладки с каждой стороны шва 120 мм, кладка выполнена из полнотелого кирпича.

Таким образом, варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через данный узел, являются:

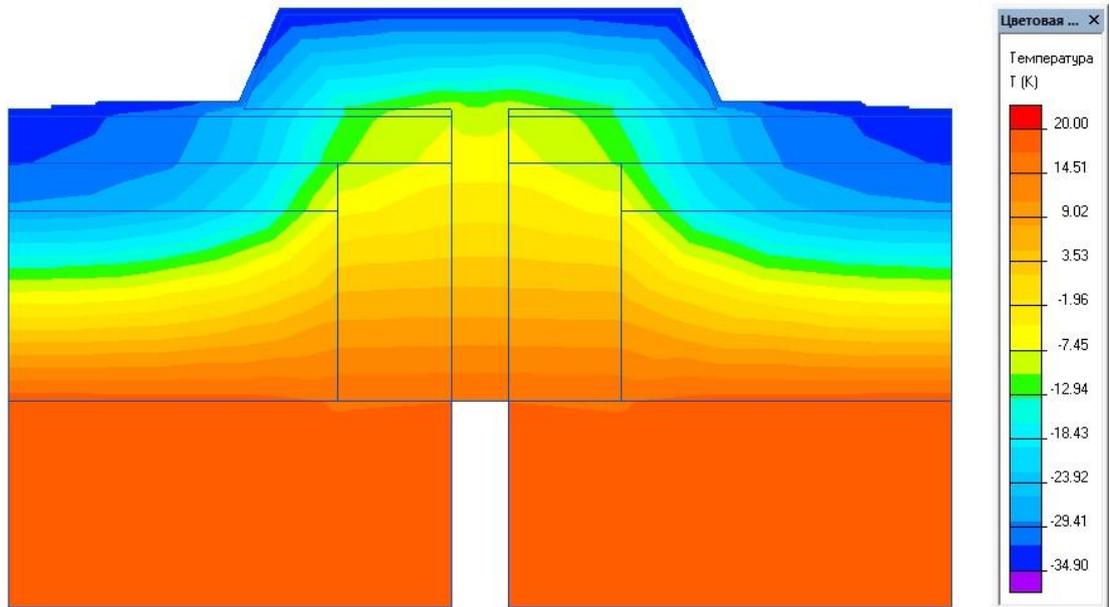
- термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут.к}$, ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$), варьируется от 4,44 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) до 7,5 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$);
- ширина полосы, утепляющей шов $d_{п}$, мм (300мм; 500 мм).

Выбранные пределы варьирования охватывают практически весь диапазон значений, применяемых в современных конструкциях. Так под данный диапазон значений утеплителя попадают: минераловатный утеплитель, пенополистирол, экструдированный пенополистирол и т.д.

Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с деформационным швом при ширине полосы, утепляющей шов $d_{п} = 300мм/500мм$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{ут.1} = 200$ мм представлен на рисунке 2.4.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с деформационным швом: а) при ширине, утепляющей шов $d_{п,} = 300$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя $R_{ут.с з} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при ширине, утепляющей шов $d_{п,} = 500$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя $R_{ут.с з} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. Характер распределения температур во всех моделях аналогичен. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_j^L , (Вт/м) через участок конструкции с линейной неоднородностью и по формуле (2.7) определены удельные потери теплоты:

Для $d_{п,} = 300$ мм:

1) при $R_{ут.с 1} = 4,44$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 22,106$ Вт/м,

$$\text{тогда } \psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{22,106 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,2126 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

2) при $R_{ут.с 2} = 5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 21,528$ Вт/м,

$$\text{тогда } \psi_2 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{21,528 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,2201 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

3) при $R_{ут.с 3} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 20,562$ Вт/м,

$$\text{тогда } \psi_3 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{20,562 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,2328 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

Для $d_{п,} = 500 \text{ мм}$:

$$1) \text{ при } R_{\text{ут.с}1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 18,493 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{18,493 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,1469 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

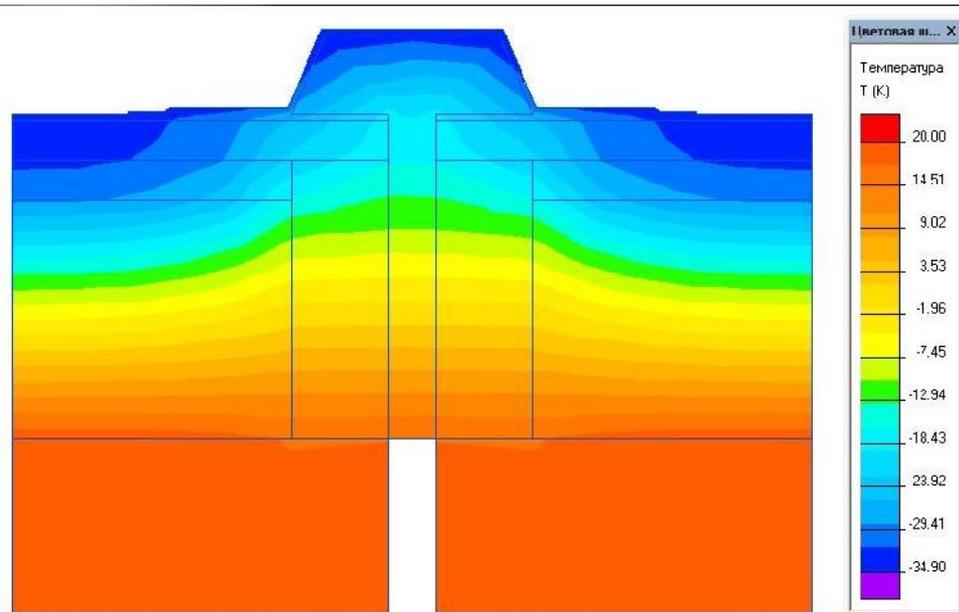
$$2) \text{ при } R_{\text{ут.с}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 17,958 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_2 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{17,958 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,1552 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

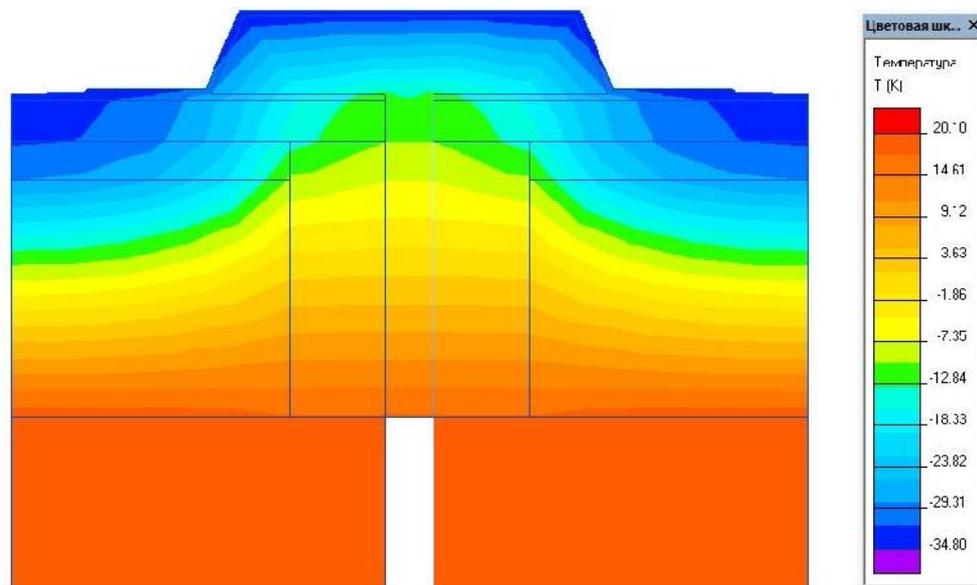
$$3) \text{ при } R_{\text{ут.с}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 17,064 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_3 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{17,064 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,1692 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с деформационным швом при ширине полосы, утепляющей шов $d_{п,} = 300\text{мм}/500\text{мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.2}} = 300 \text{ мм}$ представлен на рисунке 2.5.



а)



б)

Рисунок 2.5– Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с деформационным швом: а) при ширине, утепляющей шов $d_{п} = 300$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя $R_{ут.с 6} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при ширине, утепляющей шов $d_{п} = 500$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя $R_{ут.с 6} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов также выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. Характер распределения температур во всех моделях аналогичен. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_j^L , (Вт/м) через участок конструкции с линейной неоднородностью и определены удельные потери теплоты по формуле (2.6):

Для $d_{п} = 300$ мм:

4) при $R_{ут.с 4} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 17,967$ Вт/м,

$$\text{тогда } \psi_4 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{17,967 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,1753 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

5) при $R_{ут.с 5} = 6,67$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 17,366$ Вт/м,

$$\text{тогда } \psi_5 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{17,366 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,1825 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

б) при $R_{ут.с 6} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_{j1}^L = 16,925$ Вт/м,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

55

$$\text{тогда } \psi_6 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{16,925 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,1878 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

Для $d_{\text{п}} = 500$ мм:

$$7) \text{ при } R_{\text{ут.с}4} = 5,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 15,497 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_4 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{15,497 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,1304 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

$$8) \text{ при } R_{\text{ут.с}5} = 6,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 14,938 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_5 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{14,938 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,1384 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

$$9) \text{ при } R_{\text{ут.с}6} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_{j1}^L = 14,527 \text{ Вт/м},$$

$$\text{тогда } \psi_6 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{14,527 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,1442 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

По полученным результатам составим сводную таблицу удельных потерь через деформационный шов в кровельном покрытии (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Удельные потери теплоты ψ , (Вт/м · °C) через деформационный шов в кровельном покрытии

$\delta_{\text{ут.}}$, мм	$\lambda_{\text{ут.}}$, (Вт/м · °C)	$R_{\text{ут.}}$, (м ² · °C/Вт)	$d_{\text{п}}$, мм	
			300	500
200	0,045	4,44	0,2126	0,1469
	0,04	5	0,2201	0,1552
	0,032	6,25	0,2328	0,1692
300	0,052	5,77	0,1753	0,1304
	0,045	6,67	0,1825	0,1384
	0,04	7,5	0,1878	0,1442

Из таблицы видно, что при увеличении ширины полосы, утепляющей шов, потери теплоты через покрытие с данной неоднородностью снижаются. Помимо этого, при увеличении толщины утеплителя наблюдается снижение потерь теплоты. Чем ниже термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя (чем больше теплопроводность), тем удельные потери теплоты меньше. Это объясняется тем, что при увеличении теплопроводности утеплителя (при снижении сопротивления теплопередаче), из мало меняющихся потерь теплоты через кровельное покрытие вычитается все больший поток теплоты через

конструкцию по глади, что приводит к уменьшению удельных потерь теплоты.

Примыкание кровельного покрытия к парапету

В качестве парапета рассматривается стена с наружным утеплением и тонкой штукатурной облицовкой.

Рассматриваемая конструкция кровельного покрытия с деформационным швом представлена на рисунке 2.6.

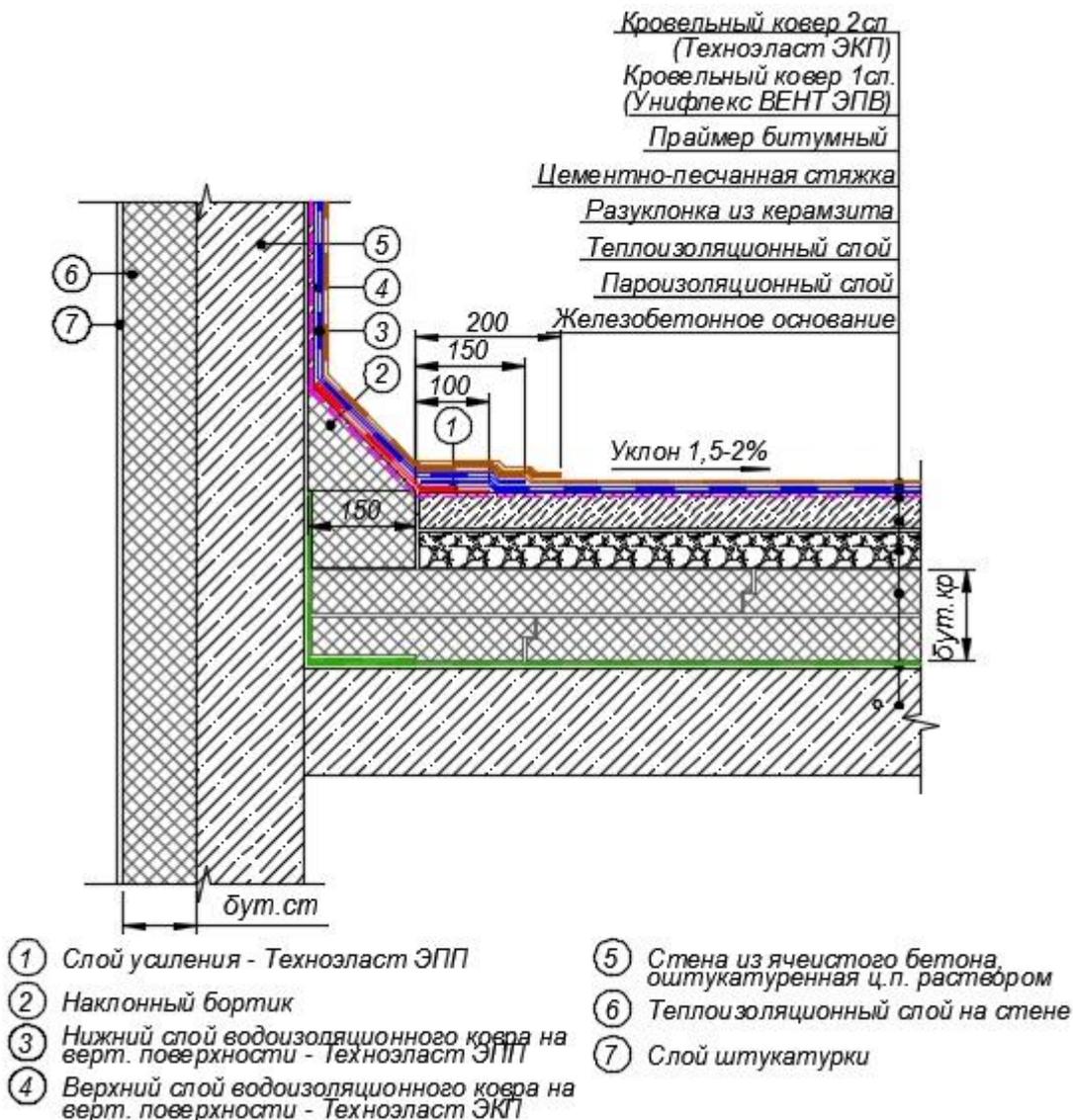


Рисунок.2.6 – Схема примыкания кровельного ковра к парапету

Основные потери теплоты через данный узел происходят за счет угла и разрыва утеплителя.

Варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через узел, являются:

– термическое сопротивление слоя утеплителя на стене $R_{ут. ст}$, ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) при $\delta_{ут. ст} = 100$ мм и $\delta_{ут. ст} = 150$ мм;

– теплопроводность основания стены $\lambda_{осн. ст}$, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$;

– термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут. кр}$, ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) при $\delta_{ут. кр} = 200$ мм и $\delta_{ут. кр} = 300$ мм.

Толщина основания стены принята 250 мм. Коэффициент теплопроводности основания стены $\lambda_{осн. ст}$, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$ будет принимать значения 0,22 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$ и 0,41 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$. В данный диапазон величин для оснований попадают: газобетон и пенобетон.

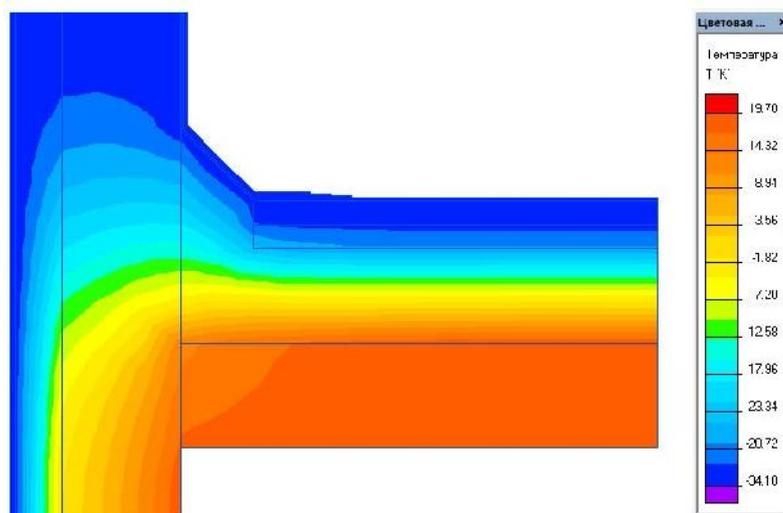
При расчете температурных полей были выполнены следующие конструктивные особенности узла примыкания кровельного покрытия к парапету: в месте примыкания кровельной конструкции выполнен наклонный бортик под углом 45° и высотой 150 мм; толщина штукатурного слоя 10 мм; толщина слоя утеплителя на стене принималась 100 мм и 150 мм, коэффициент теплопроводности слоя утеплителя на стене варьировался от 0,032 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$ до 0,052 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$. Высота парапета принята более 500 мм и при расчетах не учитывается, так как не оказывает влияния на потери теплоты.

Исходя из аналогичного расчета термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя на плите перекрытия по формулам (2.1), (2.2) и условия $3,35 < R_{ст}^{учл} < 5,36$, ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) термическое сопротивление слоя утеплителя на стене будет варьироваться: от 2,22 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) до 3,75 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) для основания стены с теплопроводностью $\lambda_{осн. ст} = 0,22$ $Вт / (м \cdot ^\circ C)$; от 2,88 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) до 4,69 ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) для основания стены с теплопроводностью $\lambda_{осн. ст} = 0,41$ $Вт / (м \cdot ^\circ C)$;

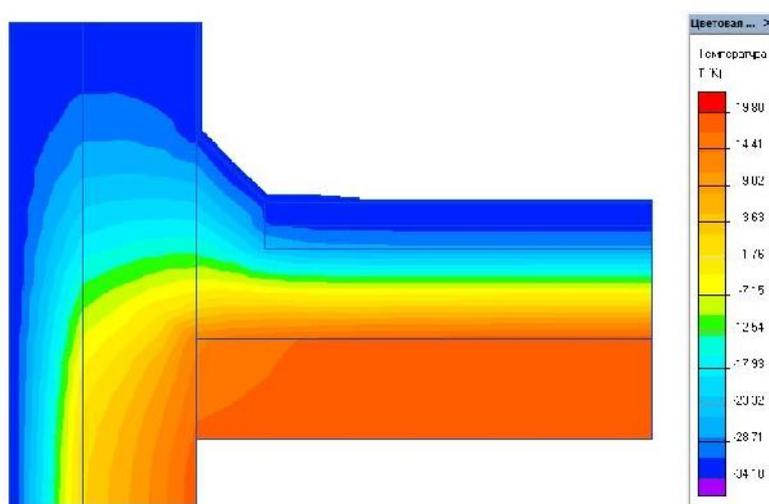
Результат расчета температурных полей узла примыкания кровельного покрытия к парапету при толщине утеплителя на плите перекрытия $\delta_{ут. кр} = 200$ мм с варьированием термического сопротивления слоя утеплителя на стене $R_{ут. ст}$ представлен на рисунке 2.7. Характер распределения температур в остальных

										Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

МОДЕЛЯХ АНАЛОГИЧНЫЙ.



а)



б)

Рисунок 2.7 – Результат расчета температурных полей узла примыкания кровельного покрытия к парапету: а) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{\text{ут.ст}} = 100$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стене $R_{\text{ут.ст}} = 2,22$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), теплопроводность основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}} = 0,22$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 4,44$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{\text{ут.ст}} = 150$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стене $R_{\text{ут.ст}} = 2,88$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), теплопроводность основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}} = 0,22$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 4,44$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

59

В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_j^L , (Вт/м) через участок конструкции с линейной неоднородностью и определены удельные потери теплоты по формуле (2.6). Рассмотрим пример расчета для узла со следующими характеристиками:

$$\delta_{\text{ут.кр}}=200 \text{ мм}, \lambda_{\text{осн.ст}}=0,22 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, \delta_{\text{ут.ст}}=100 \text{ мм}, R_{\text{ут.ст}}=2,22 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$$

1) при $R_{\text{ут.кр}1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 16,869 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{16,869 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,1174 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C};$$

2) при $R_{\text{ут.кр}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 15,972 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_2 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{15,972 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,1191 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C};$$

3) при $R_{\text{ут.кр}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 14,469 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_3 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{14,469 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,1220 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}.$$

$$\delta_{\text{ут.кр}}=200 \text{ мм}, \lambda_{\text{осн.ст}}=0,22 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, \delta_{\text{ут.ст}}=150 \text{ мм}, R_{\text{ут.ст}}=2,88 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$$

1) при $R_{\text{ут.кр}1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 16,366 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_1 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{16,366 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,1083 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C};$$

2) при $R_{\text{ут.кр}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 15,467 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_2 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{15,467 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,1099 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C};$$

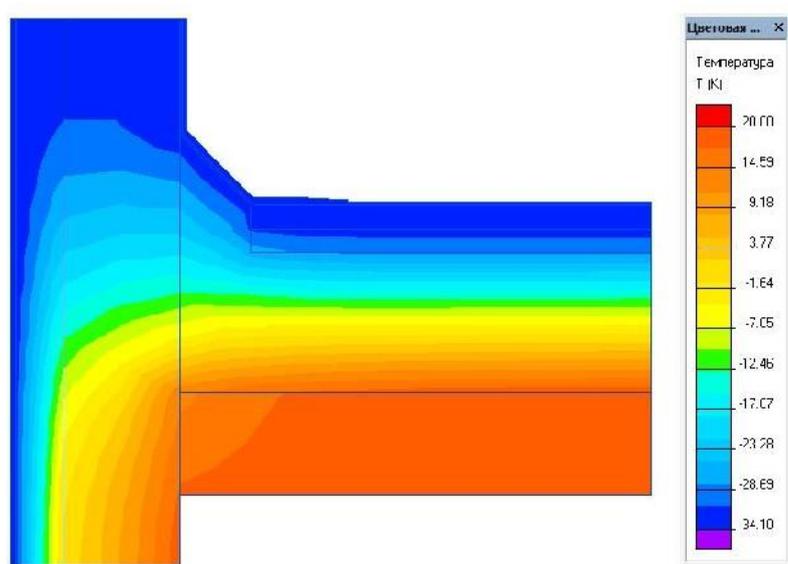
3) при $R_{\text{ут.кр}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ – $Q_{j1}^L = 13,959 \text{ Вт/м}$,

$$\text{тогда } \psi_3 = \frac{\Delta Q_1^L}{t_B - t_H} = \frac{13,959 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,1127 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}.$$

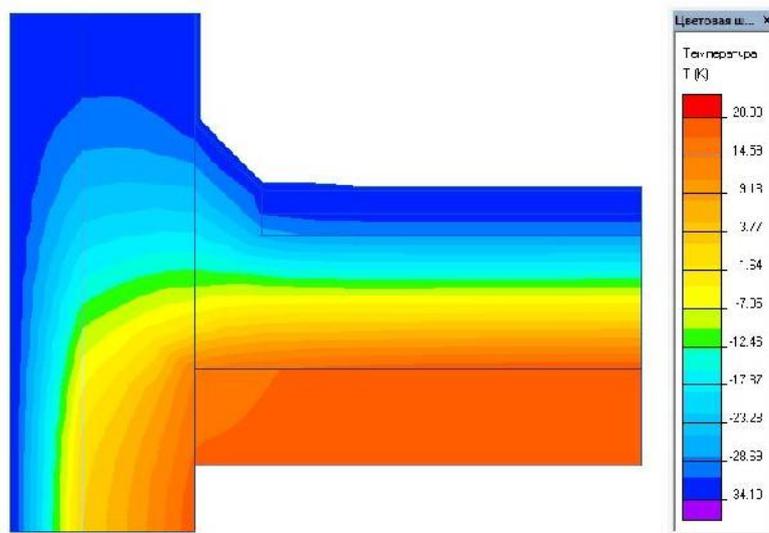
Для остальных комбинаций узла были проведены аналогичные расчеты, результаты которых содержатся в таблице 2.4.

Результат расчета температурных полей узла примыкания кровельного покрытия к парапету при толщине утеплителя на плите перекрытия $\delta_{\text{ут.кр}}=300 \text{ мм}$ с варьированием термического сопротивления слоя утеплителя на стене $R_{\text{ут. ст}}$ представлен на рисунке 2.7 Характер распределения температур в остальных моделях аналогичный.

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60



а)



б)

Рисунок 2.7 – Результат расчета температурных полей узла примыкания кровельного покрытия к парапету: а) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{ут.ст} = 100$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стене $R_{ут.ст} = 2,22$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), теплопроводность основания стены $\lambda_{осн.ст} = 0,22$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{ут.кр} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{ут.ст} = 150$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стене $R_{ут.ст} = 2,88$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), теплопроводность основания стены $\lambda_{осн.ст} = 0,22$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{ут.кр} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

61

В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_j^L , (Вт/м) через участок конструкции с линейной неоднородностью и определены удельные потери теплоты по формуле 2.6.

Таким образом, в результате расчета температурных потерь для узла примыкания кровельного покрытия к парапету с коэффициентом теплопроводности основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,22$ Вт/(м·°С) было получено 36 моделей узла, для которых были найдены удельные потери теплоты. Данные значения приведены в таблице 2.4

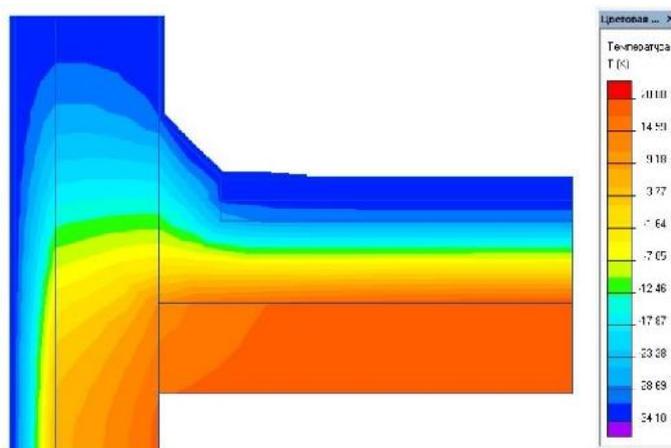
Таблица 2.4 – Удельные потери теплоты ψ , (Вт/м·°С) через примыкание кровельного покрытия к парапету. Теплопроводность основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,22$ Вт/(м·°С)

$\delta_{\text{ут.кр}}$, мм	$R_{\text{ут.кр}}$, (м ² ·°С/Вт)	$R_{\text{ут.ст}}$, (м ² ·°С/Вт)					
		при $\delta_{\text{ут.ст}}=100$ мм			при $\delta_{\text{ут.ст}}=150$ мм		
		2,22	2,5	3,125	2,88	3,33	3,75
200	4,44	0,1174	0,1130	0,1051	0,1083	0,1033	0,0994
	5	0,1191	0,1147	0,1067	0,1099	0,1049	0,1010
	6,25	0,1220	0,1175	0,1095	0,1127	0,1077	0,1037
300	5,77	0,1208	0,1161	0,1075	0,1089	0,1035	0,0992
	6,67	0,1224	0,1176	0,1090	0,1103	0,1049	0,1007
	7,5	0,1235	0,1187	0,1101	0,1114	0,1060	0,1018

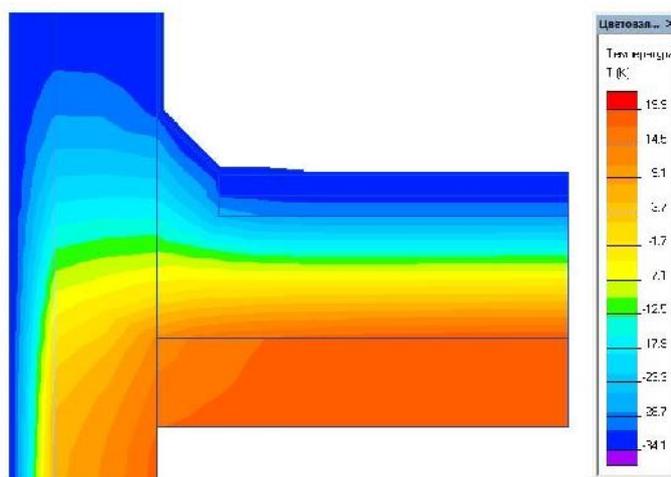
С увеличением толщины утеплителя стены и термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя стены наблюдается снижение тепловых потерь через кровельное покрытие с данной неоднородностью. При снижении термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя кровли тепловые потери уменьшаются. Это объясняется тем, что при увеличении теплопроводности утеплителя (при снижении сопротивления теплопередаче), из мало меняющихся потерь теплоты через кровельное покрытие вычитается все больший поток теплоты через конструкцию по глади.

Для расчета удельных потерь теплоты ψ , (Вт/м·°С) через примыкание кровельного покрытия к парапету при теплопроводности основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,41$ Вт/(м·°С) было смоделировано 30 моделей узла, результат расчета

температурных полей для некоторых из них приведен на рисунке 2.8. Характер распределения температур для остальных моделей аналогичный.



а)



б)

Рисунок 2.8 – Результат расчета температурных полей узла примыкания кровельного покрытия к парапету: а) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{\text{ут.ст}} = 100$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стене $R_{\text{ут.ст}} = 3,125$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}} = 200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при толщине слоя утеплителя на стене $\delta_{\text{ут.ст}} = 100$ мм и термическом сопротивлении слоя утеплителя на стен $R_{\text{ут.ст}} = 3,125$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}} = 200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

63

Расчет удельных тепловых потерь для данных узлов с теплопроводностью основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,41 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ был проведен по тому же принципу, что и для узлов с $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,22 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Значения, полученные в результате расчета, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Удельные потери теплоты ψ , ($\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$) через примыкание кровельного покрытия к парапету. Теплопроводность основания стены $\lambda_{\text{осн.ст}}=0,41 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$

$\delta_{\text{ут.кр.}}$, мм	$R_{\text{ут.кр.}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$)	$R_{\text{ут.ст.}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$)				
		при $\delta_{\text{ут.ст}}=100\text{мм}$	при $\delta_{\text{ут.ст}}=150\text{мм}$			
		3,125	2,88	3,33	3,75	4,69
200	4,44	0,1498	0,1537	0,1476	0,1429	0,1350
	5	0,1518	0,1558	0,1496	0,1449	0,1370
	6,25	0,1552	0,1592	0,1530	0,1483	0,1402
300	5,77	0,1493	0,1510	0,1443	0,1392	0,1305
	6,67	0,1512	0,1528	0,1461	0,1410	0,1323
	7,5	0,1526	0,1542	0,1475	0,1424	0,1336

С термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя стены наблюдается снижение тепловых потерь через кровельное покрытие с данной неоднородностью. При повышении термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя кровли тепловые потери увеличиваются.

2.4.2 Удельные потери теплоты через точечные неоднородности

Согласно приложения Б [43] удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность – это удельные потери теплоты, приходящиеся на одну точечную теплотехническую неоднородность.

Удельные потери теплоты через точечную неоднородность будем определять по результатам расчета двухмерного температурного поля и рассчитывать по формуле (2.8):

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H}, \quad (2.8)$$

где t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$; t_H – расчетная

температура наружного воздуха, °С; ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k-го вида, Вт, определяемые по формуле (2.9):

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \check{Q}_k, \quad (2.9)$$

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

В качестве точечных теплопроводных включений рассматриваются: узел установки аэратора; узел установки водосборной воронки, примыкание кровельного покрытия к парапету, пропуск электрического кабеля через кровельное покрытие, прохождение колонны/опоры через кровельное покрытие.

Согласно [43] рекомендуется удельные потери теплоты через точечную неоднородность определяются по результатам расчета трехмерного температурного поля. Программы для работы с двумерными полями дают возможность проводить расчет точечных теплотехнических неоднородностей с небольшой погрешностью путем перевода задачи плоскопараллельной в осесимметричную. Данный способ расчета температурных полей приведен в работе [31]. Таким образом, все элементы рассматриваемой конструкции должны быть цилиндрической формы. Большинство рассматриваемых точечных включений имеют цилиндрическую форму, а квадратный участок кровельного покрытия можно привести к эквивалентному цилиндрическому с такой же площадью поверхности, не потеряв в точности по формуле (2.10):

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (2.10)$$

где S- это участка кровельного покрытия, м²; R- радиус цилиндрического эквивалента площади участка кровельного покрытия, м.

Подробный перевод квадратного участка кровельного покрытия с точечной неоднородностью к эквивалентному цилиндрическому будет приведен

ниже на примере узла установки аэратора.

Узел установки аэратора

Кровельный аэратор используют для отвода излишки влаги из кровельного пирога, что позволяет значительно увеличить срок службы кровельного покрытия.

Рассматриваемая конструкция кровельного покрытия с устройством аэратора представлена на рисунке 2.9.

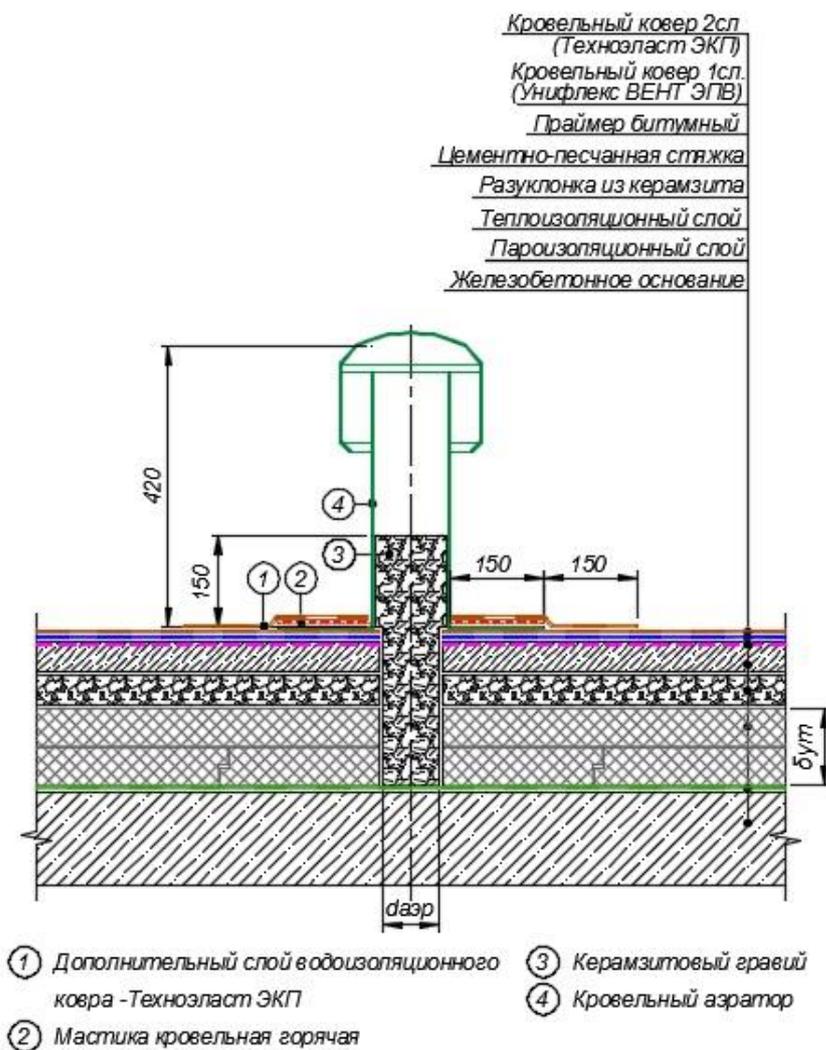


Рисунок 2.9 – Схема устройства аэратора в кровельном покрытии

Основные потери теплоты через данный узел происходят из-за разрыва утеплителя.

Варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через узел, являются:

- термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут.кр}$ ($м^2 \cdot °C/Вт$) при $\delta_{ут.кр}=200мм;300 мм$;
- диаметр аэратора $d_{аэр}$, мм (90;110).

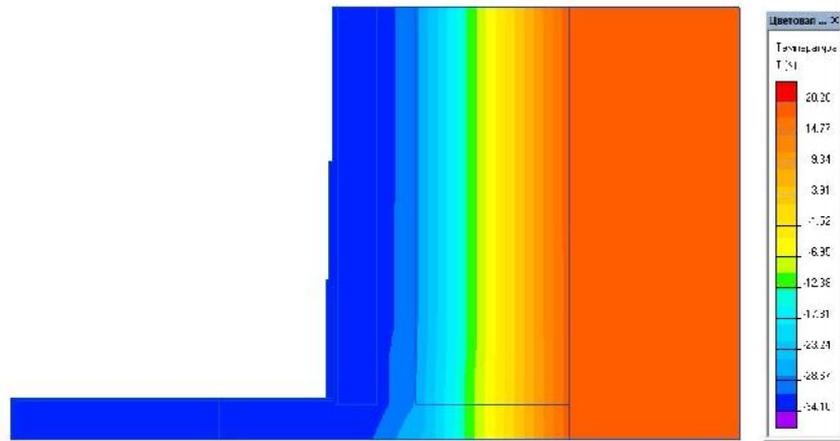
При расчете температурных полей были выполнены следующие конструктивные особенности узла установки аэратора: кровельный аэратор выполнен из оцинкованной стали толщиной 4 мм; внутри аэратора расположен керамзитовый гравий.

Перед тем как проводить расчет температурных полей в ПК «ELCUT» необходимо перевести все квадратные участки данного узла кровельного покрытия к эквивалентным цилиндрическим с такой же площадью поверхности, используя формулу (2.10). Площадь участка кровельного покрытия $S=1м^2$, тогда радиус ее цилиндрического эквивалента:

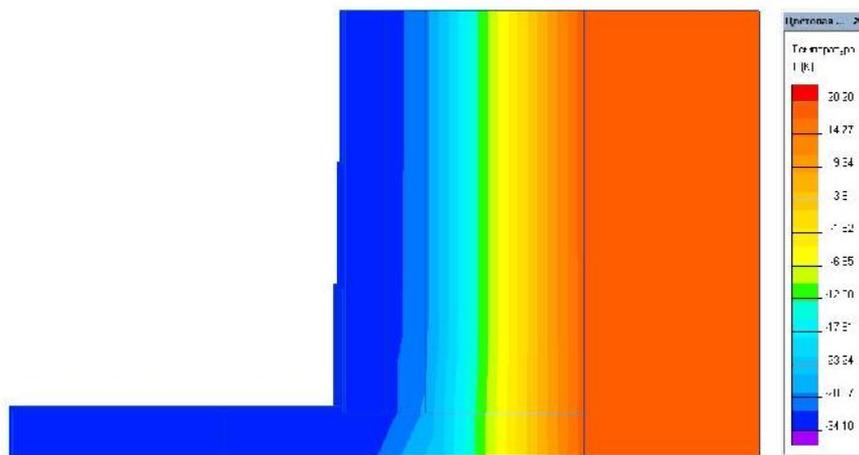
$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{3,14}} = 0,564 м = 564 мм$$

При построении аэратора будем откладывать его радиус $R_{аэр}=45мм; 55мм$. После создания геометрии конструкции производим расчет осесимметричной задачи.

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов кровельного покрытия с устройством аэратора диаметром $d_{аэр}=90мм;110мм$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{ут.1}=200 мм$ представлен на рисунке 2.10. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



а)



б)

Рисунок 2.10 – Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с устройством аэратора: а) при диаметре аэратора $d_{\text{аэр}}=90$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}}=200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при диаметре аэратора $d_{\text{аэр}}=110$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}}=200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок конструкции с устройством аэратора и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_{\text{аэр}}=90$ мм:

1) при $R_{\text{ут.с1}} = 4,44$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 10,476$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{10,476 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0012 \text{ Вт/}^\circ\text{С;}$$

2) при $R_{\text{ут.с}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт)} - Q_k = 9,496 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{9,496 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0014 \text{ Вт/}^\circ\text{С;}$$

3) при $R_{\text{ут.с}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт)} - Q_k = 7,8534 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{7,8534 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0017 \text{ Вт/}^\circ\text{С.}$$

Для $d_{\text{аэр}} = 110 \text{ мм:}$

4) при $R_{\text{ут.с}1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт)} - Q_k = 10,513 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{10,513 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,00185 \text{ Вт/}^\circ\text{С;}$$

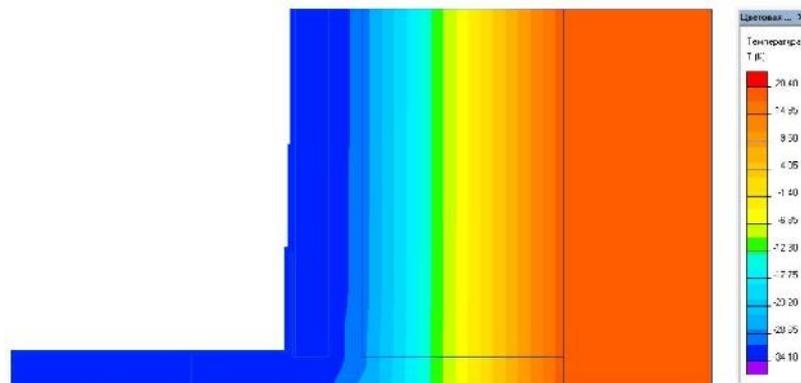
5) при $R_{\text{ут.с}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт)} - Q_k = 9,5379 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{9,5379 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0021 \text{ Вт/}^\circ\text{С;}$$

6) при $R_{\text{ут.с}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт)} - Q_k = 7,9027 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{7,9027 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0026 \text{ Вт/}^\circ\text{С.}$$

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов кровельного покрытия с устройством аэратора диаметром $d_{\text{аэр}} = 90 \text{ мм; } 110 \text{ мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.2}} = 300 \text{ мм}$ представлен на рисунке 2.11. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



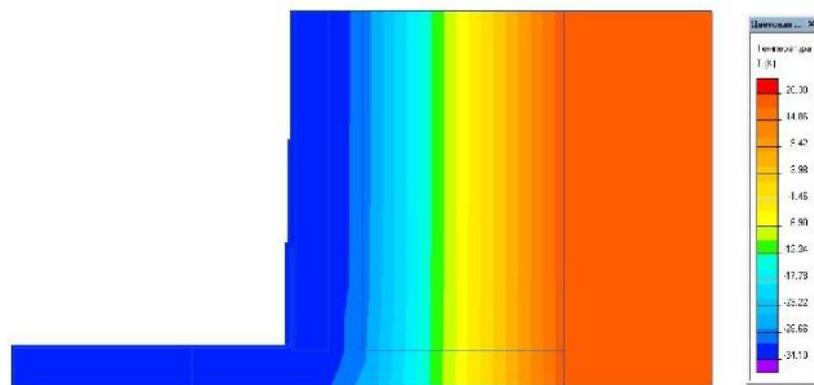
а)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

69



б)

Рисунок 2.11 – Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с устройством аэратора: а) при диаметре аэратора $d_{\text{аэр}}=90$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}}=300$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при диаметре аэратора $d_{\text{аэр}}=110$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}}=300$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок конструкции с устройством аэратора и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_{\text{аэр}}=90$ мм:

1) при $R_{\text{ут.с}4} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 8,3646$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_4 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{8,3646 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,00075 \text{ Вт/°C};$$

2) при $R_{\text{ут.с}5} = 6,67$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 7,379$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_5 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{7,379 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,0009 \text{ Вт/°C};$$

3) при $R_{\text{ут.с}6} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 6,6538$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_6 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{6,6538 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,001 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_{\text{аэр}}=110$ мм:

4) при $R_{\text{ут.с}4} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 8,3897$ Вт,

Узел установки водосборной воронки

Воронки внутреннего водостока устанавливаются в пониженных местах и предназначены для отвода воды с кровли.

Рассматриваемая конструкция кровельного покрытия с водосборной воронкой представлена на рисунке 2.12.

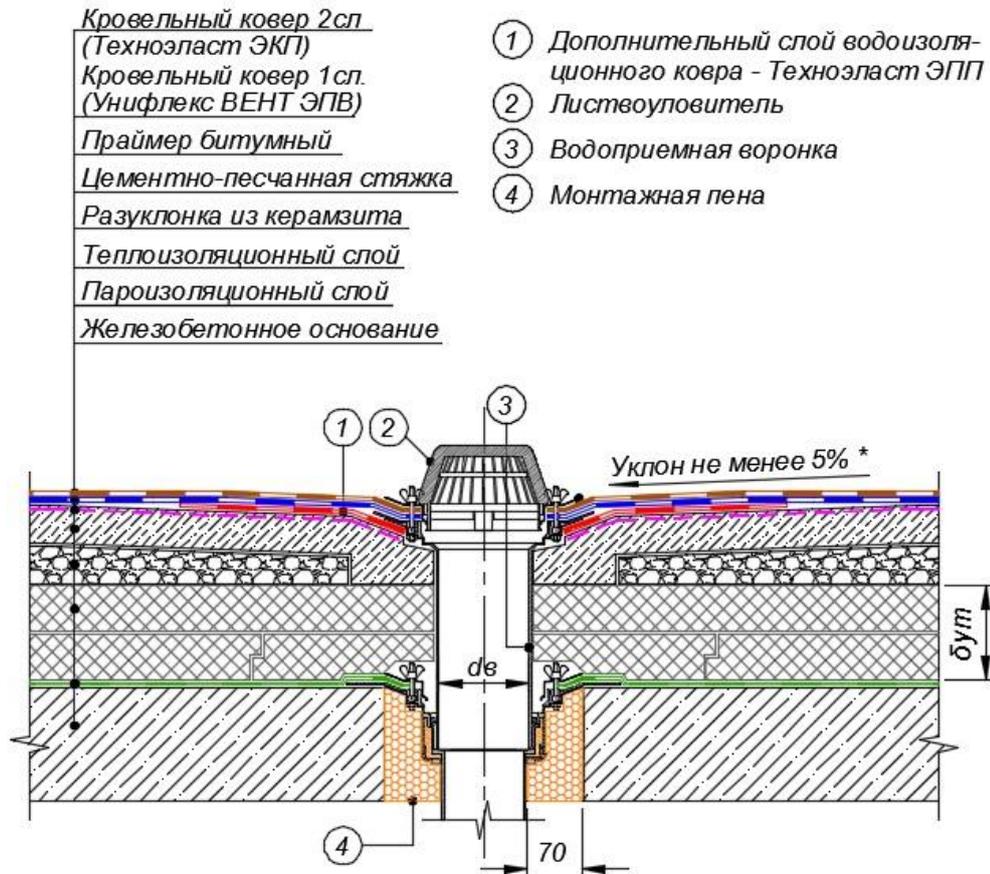


Рисунок 2.12 – Схема устройства водосборной воронки в кровельном покрытии

Основные потери теплоты через данный узел происходят из-за разрыва утеплителя и прохождения воронки через все кровельное покрытие.

Варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через узел, являются:

- термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут.кр}$ ($м^2 \cdot °C / Вт$) при $\delta_{ут.кр} = 200 мм; 300 мм$;
- диаметр воронки $d_{в}$, мм (90; 110).

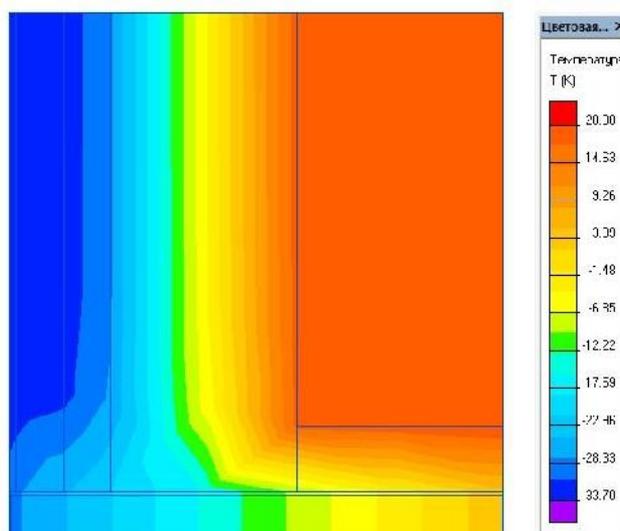
При расчете температурных полей были выполнены следующие

конструктивные особенности узла установки водосборной воронки: воронка выполнена из оцинкованной стали толщиной 4 мм; толщина монтажной пены по обе стороны от воронки на плите перекрытия составляет 70 мм.

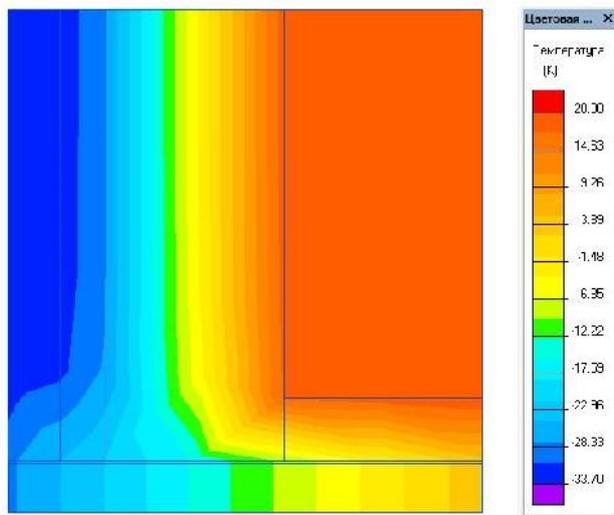
Перед проведением расчета температурных полей в ПК «ELCUT» все квадратные участки данного узла кровельного покрытия приводим к эквивалентным цилиндрическим с такой же площадью поверхности, используя формулу (2.10)

При построении воронки будем откладывать ее радиус $R_{\text{аэп}}=45\text{мм}; 55\text{мм}$. После создания геометрии конструкции производим расчет осесимметричной задачи.

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов кровельного покрытия с водосборной воронкой диаметром $d_{\text{в}} = 90\text{мм}; 110\text{мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.1}}=200\text{ мм}$ представлен на рисунке 2.13. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



а)



б)

Рисунок 2.13 – Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с водосборной воронкой: а) при диаметре аэратора $d_b = 90$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{ут.кр} = 200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{ут.кр} = 5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при диаметре аэратора $d_b = 110$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{ут.кр} = 200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{ут.кр} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок конструкции с водосборной воронкой и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_b = 90$ мм:

1) при $R_{ут.с1} = 4,44$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 14,391$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_b - t_n} = \frac{10,476 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0724 \text{ Вт/°C};$$

2) при $R_{ут.с2} = 5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 13,415$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_b - t_n} = \frac{13,415 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0726 \text{ Вт/°C};$$

3) при $R_{ут.с3} = 6,25$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 11,781$ Вт,

$$\text{тогда } \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_b - t_n} = \frac{11,781 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0731 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_b = 110$ мм:

4) при $R_{\text{ут.с}1} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ - $Q_k = 15,32 \text{ Вт}$,

$$\text{тогда } \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{15,32 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0892 \text{ Вт/°C};$$

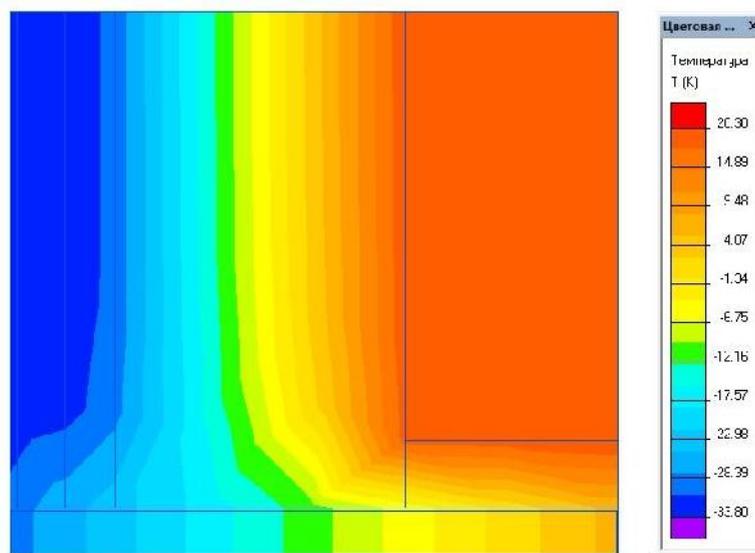
5) при $R_{\text{ут.с}2} = 5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ - $Q_k = 14,351 \text{ Вт}$,

$$\text{тогда } \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{14,351 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0896 \text{ Вт/°C};$$

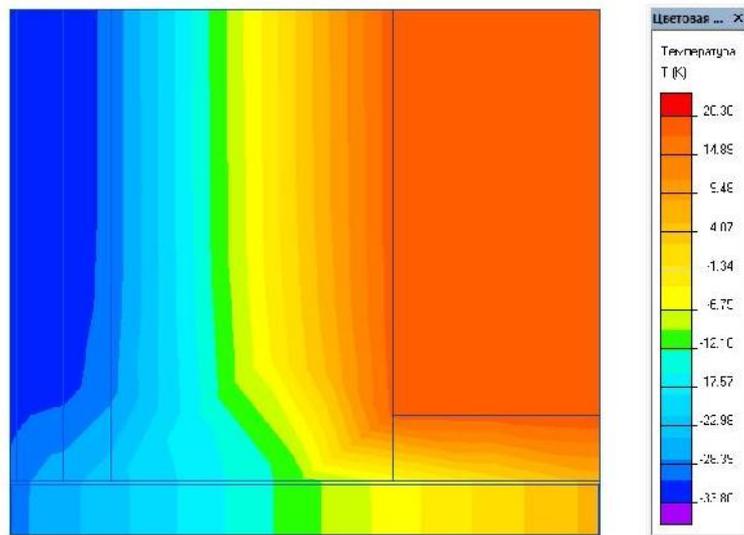
6) при $R_{\text{ут.с}3} = 6,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ - $Q_k = 12,726 \text{ Вт}$,

$$\text{тогда } \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{12,726 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0903 \text{ Вт/°C}.$$

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов кровельного покрытия с водосборной воронкой диаметром $d_{\text{в}} = 90 \text{ мм}; 110 \text{ мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.2}} = 300 \text{ мм}$ представлен на рисунке 2.14. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



а)



б)

Рисунок 2.14 – Результат расчета температурных полей узла кровельного покрытия с водосборной воронкой: а) при диаметре аэратора $d_b = 90$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}} = 300$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); б) при диаметре аэратора $d_b = 110$ мм; толщина утеплителя кровли $\delta_{\text{ут.кр}} = 200$ мм, термическое сопротивление слоя утеплителя кровли $R_{\text{ут.кр}} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

Для данной группы узлов также выполнен расчет температурных полей по 6 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок конструкции с водосборной воронкой и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°С:

Для $d_b = 90$ мм:

1) при $R_{\text{ут.с}4} = 5,77$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 12,063$ Вт,

тогда $\chi_4 = \frac{12,063 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,06799$ Вт/°С;

2) при $R_{\text{ут.с}5} = 6,67$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 11,064$ Вт,

тогда $\chi_5 = \frac{11,064 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,06792$ Вт/°С;

3) при $R_{\text{ут.с}6} = 7,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) - $Q_k = 10,329$ Вт,

тогда $\chi_6 = \frac{10,329 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,06787$ Вт/°С.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

76

Для $d_{\text{п}} = 110$ мм:

4) при $R_{\text{ут.с}4} = 5,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_k = 12,942 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_4 = \frac{12,942 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,08397 \text{ Вт/°C;}$$

5) при $R_{\text{ут.с}5} = 6,67 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_k = 11,945 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_5 = \frac{11,945 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,08394 \text{ Вт/°C;}$$

6) при $R_{\text{ут.с}6} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} - Q_k = 11,211 \text{ Вт,}$

$$\text{тогда } \chi_6 = \frac{11,211 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,08391 \text{ Вт/°C.}$$

В итоге для расчета удельных потерь теплоты χ , (Вт/°C) через узел кровельного покрытия с водосборной воронкой путем варьирования параметров было смоделировано 12 моделей узла. Полученные результаты расчетов удельных потерь приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Удельные потери теплоты χ , (Вт/°C) через кровельное покрытие с водосборной воронкой

$\delta_{\text{ут.кр.}}$, мм	$R_{\text{ут.кр.}}$ (м ² · °C/Вт)	$d_{\text{в}}$, мм	
		90	110
200	4,44	0,0724	0,0892
	5	0,0726	0,0896
	6,25	0,0731	0,0903
300	5,77	0,06799	0,08397
	6,67	0,06792	0,08394
	7,5	0,06788	0,08391

При увеличении диаметра воронки увеличиваются и потери теплоты через кровельное покрытие с данной неоднородностью. В целом при увеличении толщины слоя утеплителя снижаются потери теплоты. При снижении термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя кровли при толщине утеплителя 200мм наблюдается уменьшение тепловых потерь. Это объясняется тем, что при увеличении теплопроводности утеплителя (при снижении сопротивления теплопередаче), из мало меняющихся потерь теплоты через кровельное покрытие вычитается все больший поток теплоты через

конструкцию по глади. При толщине утеплителя 300мм потери теплоты почти не меняются.

Пропуск электрического кабеля через кровельное покрытие.

Рассматриваемая конструкция узла пропуска электрического кабеля через кровельное покрытие представлена на рисунке 2.15.

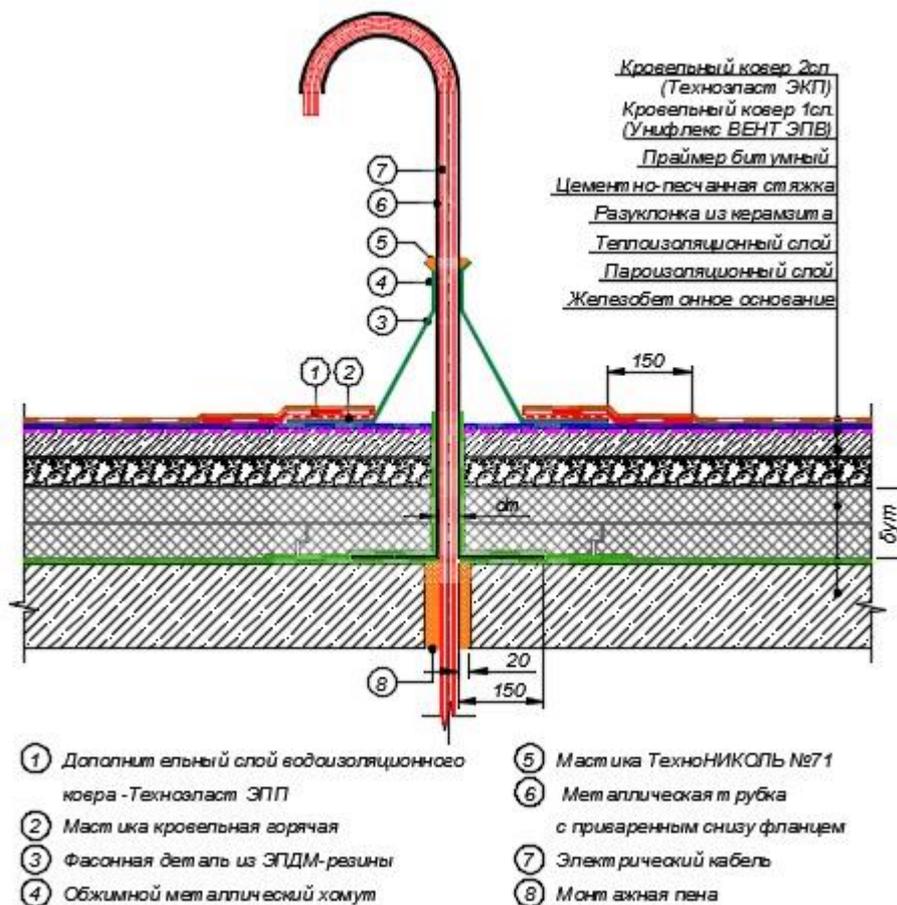


Рисунок 2.15 – Схема устройства аэратора в кровельном покрытии

Основные потери теплоты через данный узел происходят из-за разрыва утеплителя и прохождения кабеля с защитной трубкой через все кровельное покрытие. Основным «мостиком холода» в узле является стальная трубка, защищающая кабель. Потери теплоты по материалу кабеля учитываются.

Варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через узел, являются:

– термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут.кр}$

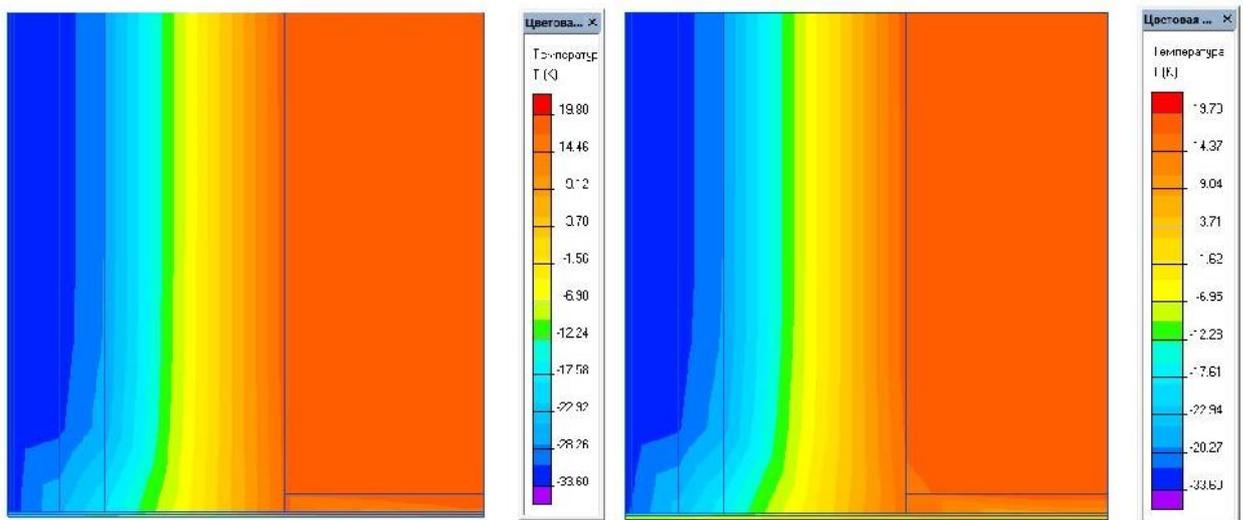
($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) при $\delta_{\text{ут.кр}}=200\text{мм}; 300\text{ мм}$;

– диаметр внешней металлической трубы $d_{\text{тр}}$, мм (12; 24; 48).

При расчете температурных полей были выполнены следующие конструктивные особенности данного узла: толщина металла трубки принята 0,8 мм, материал трубки сталь; трубка приваривается к фланцу; толщина монтажной пены по обе стороны от кабеля на плите перекрытия составляет 20 мм; кабель состоит из медной жилы, изоляции и оболочки из ПВХ пластика; между кабелем и стальной трубкой имеется зазор.

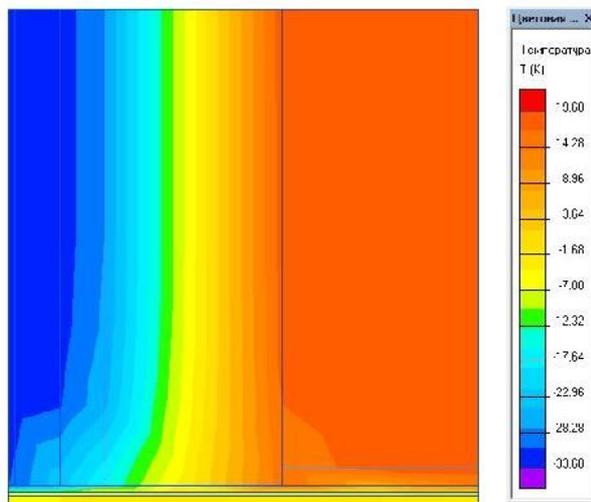
Перед расчетом температурных полей все квадратные участки данного узла приводим к эквивалентным цилиндрическим с такой же площадью поверхности, используя формулу (2.10).

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов пропуска электрического кабеля с диаметром защитной трубки $d_{\text{т}}= 12\text{мм}; 24\text{мм}; 48\text{мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.кр}}=200\text{ мм}$ представлен на рисунке 2.16. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



а)

б)



в)

Рисунок 2.16 – Результат расчета температурных полей узла пропуска электрического кабеля через кровельное покрытие ($\delta_{\text{ут.кр}}=200\text{мм}$; $R_{\text{ут.кр}} = 4,44 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$): а) при диаметре трубы $d_T=12\text{мм}$; б) при диаметре трубы $d_T=24 \text{ мм}$; в) при диаметре трубы $d_T=48 \text{ мм}$

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 9 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок конструкции с пропуском электрического кабеля и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_T=12 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{11,49 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0196 \text{ Вт/°C}; 2$$

$$2) \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{10,518 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,020 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{8,8897 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0206 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_T=24 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{12,322 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0347 \text{ Вт/°C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{11,359 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0352 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{9,7445 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0361 \text{ Вт/°C}.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01-2016-162-ПЗ

Лист

80

Для $d_T = 48$ мм:

$$1) \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{13,691 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0596 \text{ Вт/}^\circ\text{С};$$

$$2) \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{12,741 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0604 \text{ Вт/}^\circ\text{С};$$

$$3) \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} = \frac{11,149 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0616 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Результат расчета температурных полей для некоторых узлов пропуска электрического кабеля с диаметром защитной трубки $d_T = 12$ мм; 24мм; 48мм и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.кр}} = 300$ мм представлен на рисунке 2.17. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.

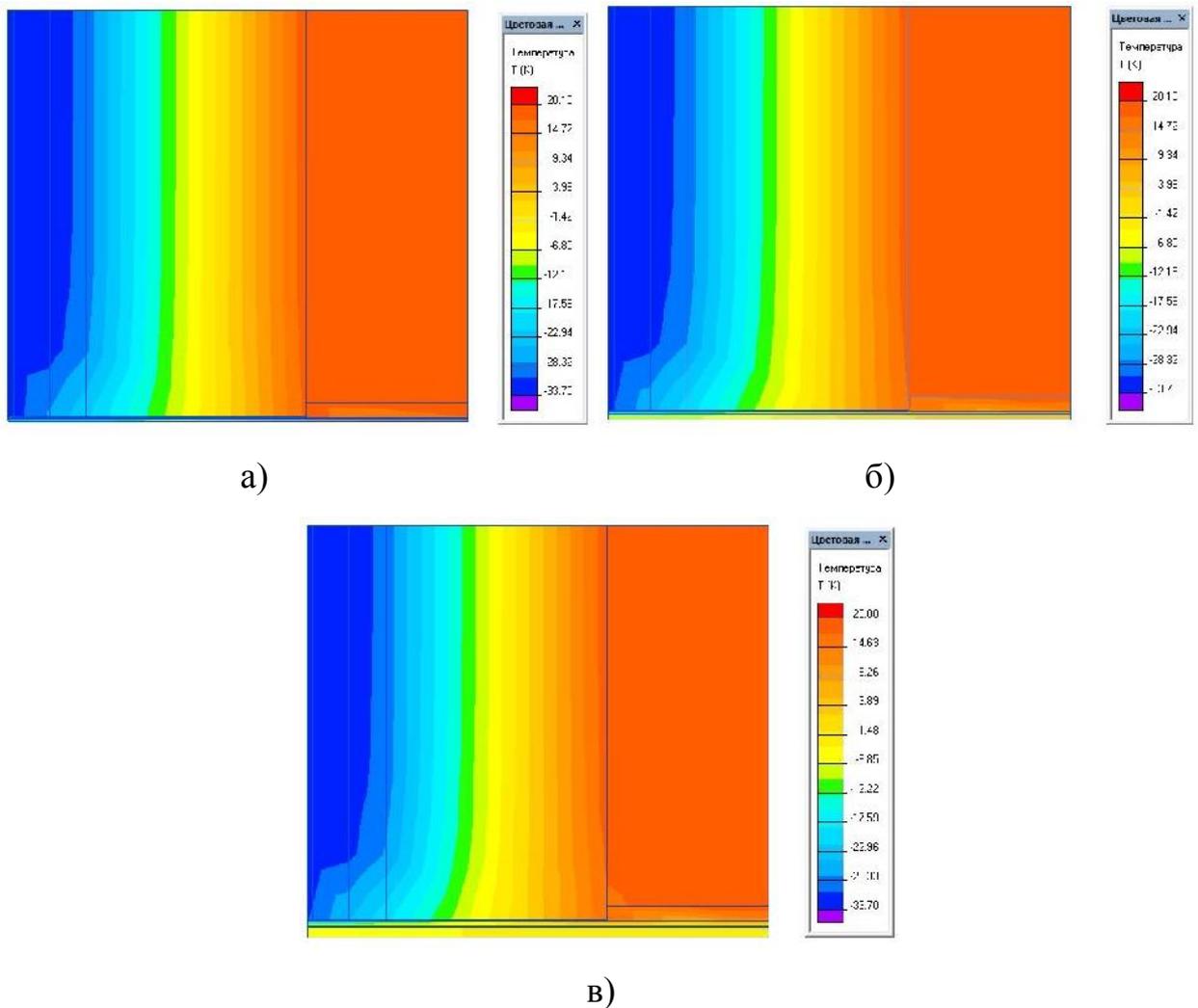


Рисунок 2.17. Результат расчета температурных полей узла пропуска

Таблица 2.8 – Удельные потери теплоты χ , (Вт/°С) через пропуск электрического кабеля в кровельном покрытии

$\delta_{\text{ут.кр.}}$, мм	$R_{\text{ут.кр.}}$, (м ² · °С/Вт)	d_T , мм		
		12	24	48
200	4,44	0,0196	0,0347	0,0596
	5	0,020	0,0352	0,0604
	6,25	0,0206	0,0361	0,0616
300	5,77	0,0158	0,0309	0,0551
	6,67	0,0161	0,0314	0,0557
	7,5	0,0163	0,0317	0,0562

При увеличении диаметра трубы увеличиваются и потери теплоты через кровельное покрытие с данной неоднородностью. В целом при увеличении толщины слоя утеплителя снижаются потери теплоты. При снижении термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя наблюдается уменьшение тепловых потерь. Это объясняется тем, что при увеличении теплопроводности утеплителя (при снижении сопротивления теплопередаче), из мало меняющихся потерь теплоты через кровельное покрытие вычитается все больший поток теплоты через конструкцию по глади.

Прохождение колонны/опоры через кровельное покрытие.

Рассматриваемая конструкция узла прохождения колонны/опоры через кровельное покрытие представлена на рисунке 2.18.

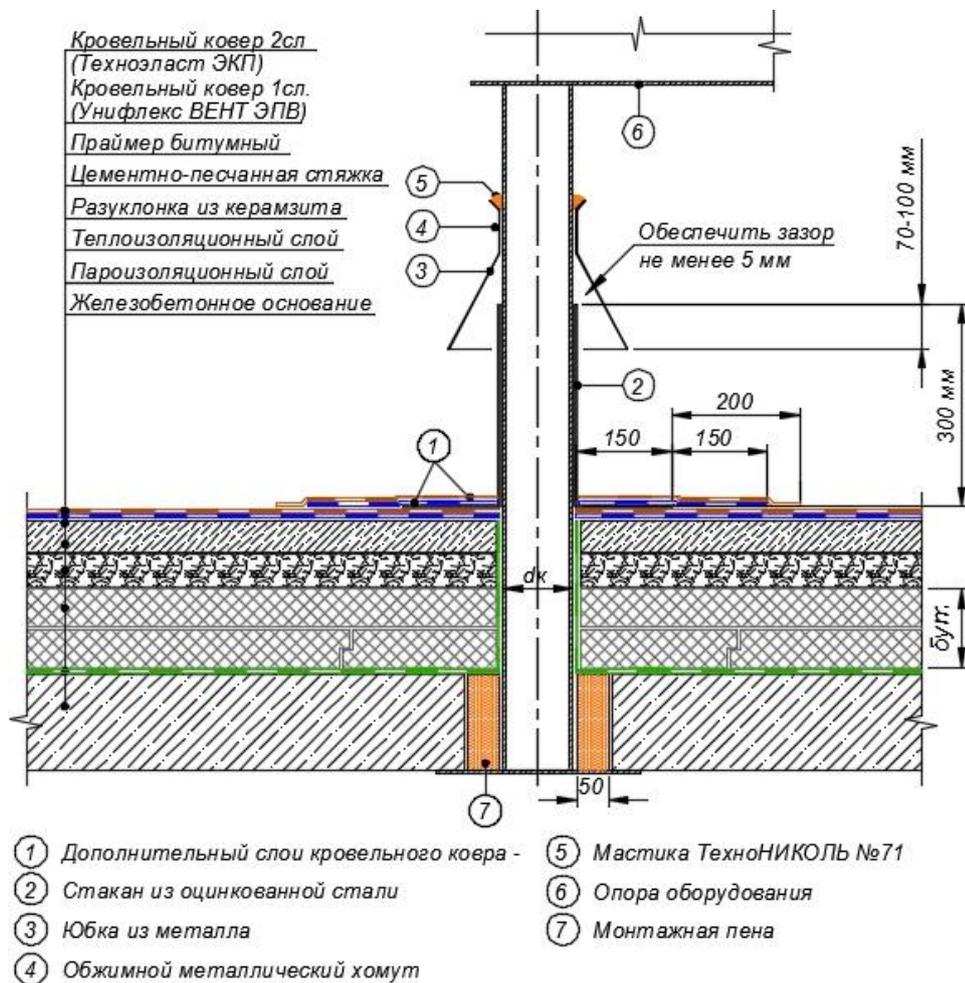


Рисунок 2.18 – Схема прохождения колонны/опоры через кровельное покрытие

Основные потери теплоты через данный узел происходят из-за разрыва утеплителя и прохождения колонны.

Варьируемыми параметрами, влияющими на потери теплоты через выбранный узел, являются:

- термическое сопротивление слоя утеплителя на плите перекрытия $R_{ут.к}$ ($м^2 \cdot ^\circ C / Вт$) при $\delta_{ут.к} = 200 мм; 300 мм$;
- диаметр колонны d_k , мм (50 мм; 100 мм; 150 мм).

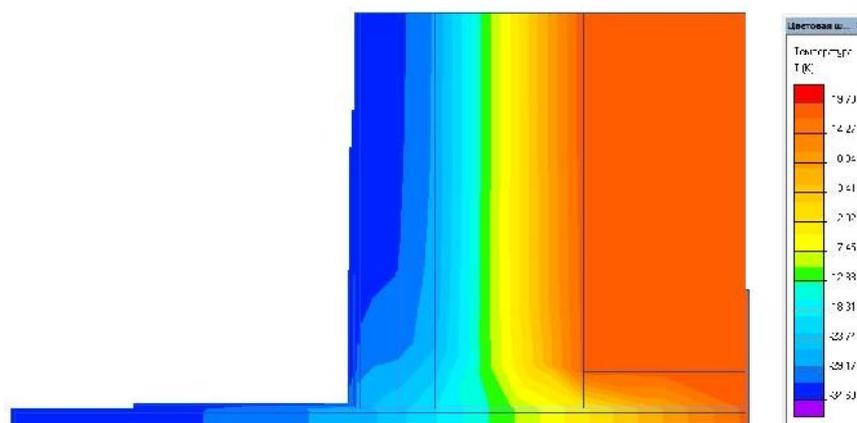
При расчете температурных полей были выполнены следующие конструктивные особенности узла прохождения колонны/опоры через кровельное покрытие: толщина металла колонны 5 мм, материал колонны сталь; толщина монтажной пены по обе стороны от колонны 50 мм; колонны устанавливается в стакан высотой 300 мм, зазор между колонной и стаканом

составляет 5 мм, стакан выполнен из оцинкованной стали, ширина основания стакана 150 мм.

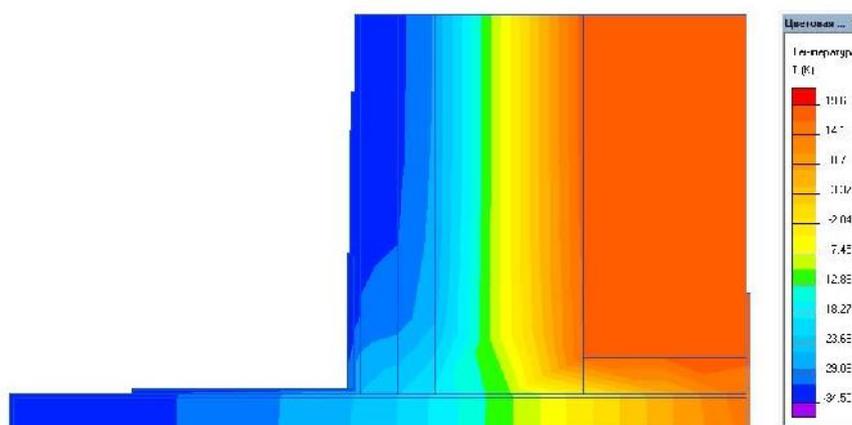
Перед расчетом температурных полей все квадратные участки данного узла приводим к эквивалентным цилиндрическим с такой же площадью поверхности, используя формулу (2.10)

При построении колонны будем откладывать ее радиус $R_{\text{азр}}=25\text{мм}; 50\text{мм}; 75\text{мм}$. После создания геометрии конструкции производим расчет осесимметричной задачи.

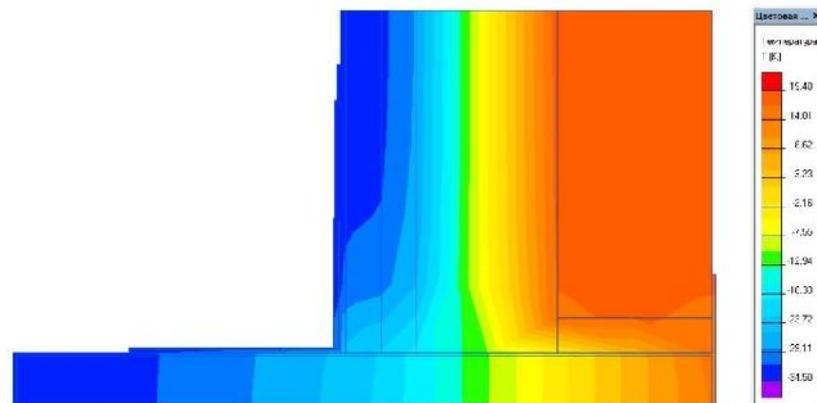
Результат расчета температурных полей для некоторых узлов прохождения колонны/опоры через кровельное покрытие с диаметром колонны $d_{\text{к}}=50\text{мм}; 100\text{мм}; 150\text{мм}$ и варьированием термического слоя утеплителя при его толщине $\delta_{\text{ут.кр}}=200\text{мм}$ представлен на рисунке 2.19. Распределение температур в остальных исследуемых моделях имеет аналогичных характер.



а)



б)



в)

Рисунок 2.19 – Результат расчета температурных полей узла прохождения колонны через кровельное покрытие ($\delta_{\text{ут.кр}}=200\text{мм}$; $R_{\text{ут.кр}} = 5 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$):
 а) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=50 \text{ мм}$; б) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=100 \text{ мм}$; в) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=150 \text{ мм}$

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 9 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок кровельного покрытия с прохождением колонны и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_{\text{к}}=50 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{13,728 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,0572 \text{ Вт/°C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{12,778 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,0610 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{11,184 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,0623 \text{ Вт/°C}.$$

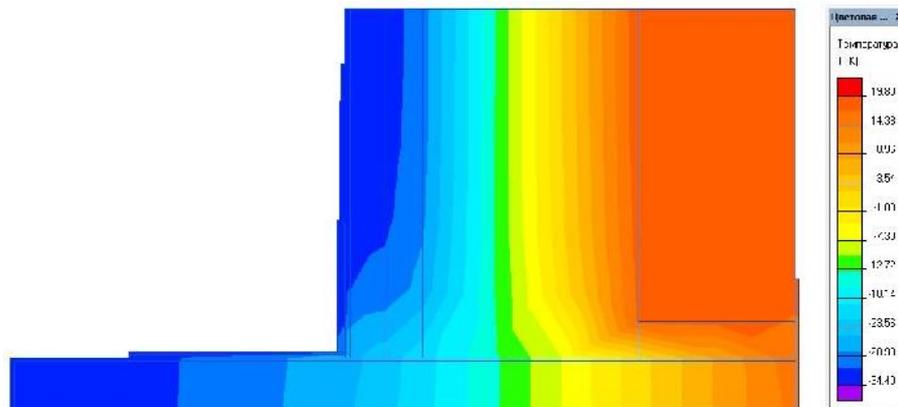
Для $d_{\text{к}}=100 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{18,252 - 10,411}{21 - (-34)} = 0,1426 \text{ Вт/°C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{17,34 - 9,42}{21 - (-34)} = 0,144 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{15,81 - 7,7589}{21 - (-34)} = 0,1464 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_{\text{к}}=150 \text{ мм}$:



в)

Рисунок 2.20 – Результат расчета температурных полей узла прохождения колонны через кровельное покрытие ($\delta_{\text{ут.кр}}=300\text{мм}$; $R_{\text{ут.кр}} = 7,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$): а) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=50 \text{ мм}$; б) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=100 \text{ мм}$; в) при диаметре колонны $d_{\text{к}}=150 \text{ мм}$

Для данной группы узлов выполнен расчет температурных полей по 9 моделям. В результате расчета получены значения потерь теплоты Q_k , (Вт) через участок кровельного покрытия с прохождением колонны и по формуле (2.8) определены удельные потери теплоты χ_k , Вт/°C:

Для $d_{\text{к}}=50 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{11,208 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,0524 \text{ Вт/°C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{10,245 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,0530 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{9,5352 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,0534 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_{\text{к}}=100 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{15,147 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,1241 \text{ Вт/°C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{14,217 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,1252 \text{ Вт/°C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{13,532 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,1261 \text{ Вт/°C}.$$

Для $d_{\text{к}}=150 \text{ мм}$:

$$1) \chi_1 = \frac{19,293 - 8,3234}{21 - (-34)} = 0,1994 \text{ Вт/}^\circ\text{C};$$

$$2) \chi_2 = \frac{18,398 - 7,3282}{21 - (-34)} = 0,2013 \text{ Вт/}^\circ\text{C};$$

$$3) \chi_3 = \frac{17,739 - 6,5958}{21 - (-34)} = 0,2026 \text{ Вт/}^\circ\text{C}.$$

В итоге для расчета удельных потерь теплоты χ , (Вт/°С) через прохождение колонны/опоры через кровельное покрытие путем варьирования параметров было смоделировано 18 моделей. Полученные результаты расчетов удельных потерь приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Удельные потери теплоты χ , (Вт/°С) через прохождение колонны/опоры через кровельное покрытие

$\delta_{\text{ут.кр.}}$, мм	$R_{\text{ут.кр.}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$)	d_k , мм		
		50	100	150
200	4,44	0,0572	0,1426	0,2285
	5	0,0610	0,1440	0,2308
	6,25	0,0623	0,1464	0,2343
300	5,77	0,0524	0,1241	0,1994
	6,67	0,0530	0,1252	0,2013
	7,5	0,0534	0,1261	0,2026

При увеличении диаметра опоры увеличиваются и потери теплоты через кровельное покрытие с данной неоднородностью. При снижении термического сопротивления теплопередаче слоя утеплителя наблюдается уменьшение тепловых потерь. Это объясняется тем, что при увеличении теплопроводности утеплителя (при снижении сопротивления теплопередаче), из мало меняющихся потерь теплоты через кровельное покрытие вычитается все больший поток теплоты через конструкцию по глади.

В результате расчета температурных полей узлов кровельной конструкции составлено 7 таблиц удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности для Челябинской области. Подобные таблицы приведены в СП 230.1325800.2015, однако в них представлены усредненные значения удельных потерь теплоты. Сравним полученные результаты в ходе исследовательской

работы для Челябинской области со значениями из СП 230.1325800.2015. Так для узла с кровельным аэратором значения отличаются в среднем в 4-6 раз; для узла с пропуском электрического кабеля- в среднем в 1-1,5 раза; для узла с прохождением колонны – в среднем в 1-1,5 раза; для узла с деформационным швом- примерно в 2 раза; для узла примыкания кровельного покрытия к парапету – приблизительно в 1,5- 2 раза; узел кровельной конструкции с водосборной воронкой в СП 230.1325800.2015 не представлен.

Вывод по главе

В данной главе рассмотрены особенности расчета удельных потерь теплоты с помощью компьютерного моделирования температурных полей. Для каждого узла кровельного покрытия описаны конструктивные особенности и назначены варьируемые параметры и определены их границы. В качестве основного постоянно варьируемого параметра для всех узлов, выбрано термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя исходя из условий энергосбережения.

В результате расчета температурных полей было получено 144 модели, по которым и были определены удельные потери теплоты через точечные и линейные теплотехнические неоднородности.

Для всех рассматриваемых узлов кровельного покрытия составлены таблицы удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности в зависимости от разных варьируемых параметров. Полученные сводные таблицы имеют очень важную практическую ценность, так как с их помощью любой проектировщик сможет определять характеристики нужного ему узла ограждающей конструкции без использования специальных программ для моделирования температурных полей и без больших затрат времени.

Полученные в главе таблицы позволяют упростить метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по СП 50.13330.2012. Наглядное применение данных таблиц и эффективность их применения будет рассмотрено в 3 главе.

										Лист
										90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ, ДОСТОВЕРНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНОСТИ

3.1 Описание объекта для проектирования тепловой защиты

Для определения эффективности принятой в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче и полученных выше удельных потерь теплоты узлов кровельного покрытия с неоднородностями необходимо проиллюстрировать на конкретном примере ее применение. Для этого мы рассчитаем приведенное сопротивление теплопередаче кровли здания для климатических условий Челябинской области тремя способами. Первый способ заключается в расчете по методике СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». Второй способ расчета приведенного сопротивления теплопередаче будет проводиться по СП 50.13330.2012 с использованием таблиц удельных потерь теплоты из СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие. Характеристики теплотехнических неоднородностей». Третий же способ также проиллюстрирует методику СП 50.13330.2012, но уже с применением таблиц удельных потерь теплоты, полученных в данной работе путем моделирования температурных полей. В результате расчета по трем способам будет проведено сравнение результатов и сделаны соответствующие выводы о эффективности применения данных методик.

В качестве примера рассмотрим кровлю спального корпуса дома отдыха. План кровли представлен на рисунке 3.1.

										Лист
										91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

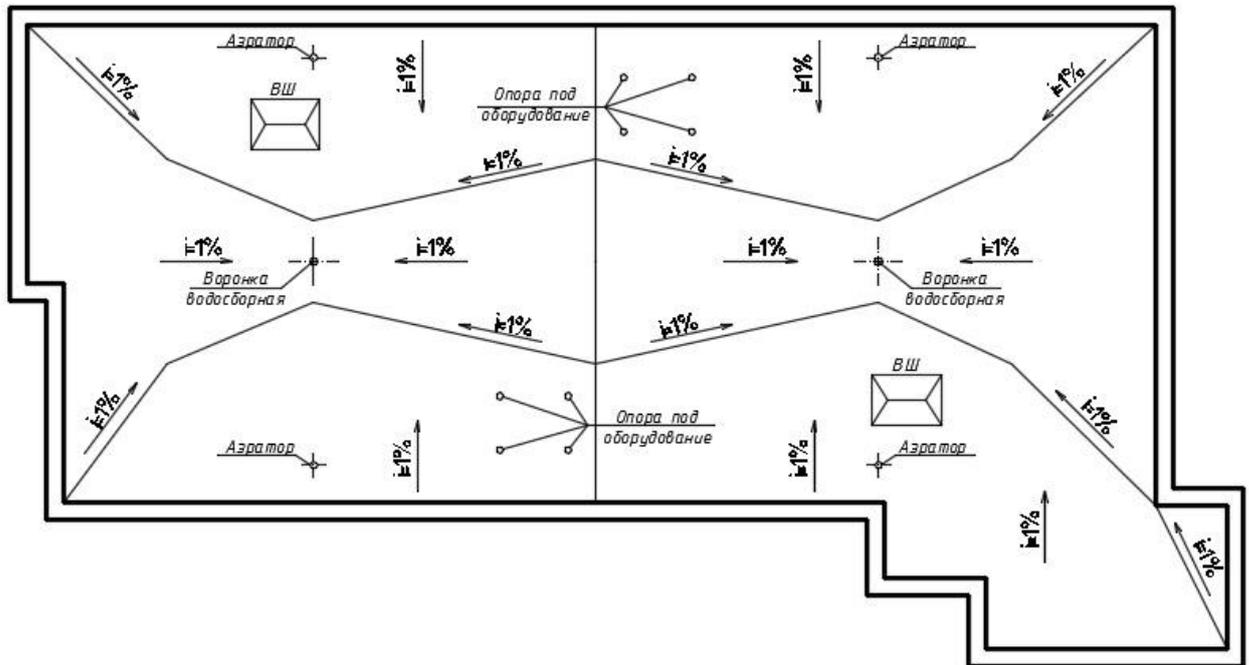


Рисунок 3.1 – План кровли

На кровле имеются 2 водосборные воронки, 4 кровельных аэратора, 8 опор под оборудование. Парапет выполнен из газобетонных блоков толщиной 250 мм с утеплителем Техноколь XPS CARBON PROF толщиной 100мм и отделкой штукатурным слоем.

Исходными данными для всех трех способов расчета будет являться температура наружного воздуха $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура внутреннего воздуха $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и конструкция кровельного покрытия. Основные характеристики слоев кровли представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные характеристики слоев кровельного покрытия

N слоя	Материал слоя	Толщина δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м \cdot °C)
1	Кровельный ковер Техноэласт ЭКП	0,0042	0,17
2	Кровельный ковер Унифлекс ВЕНТ ЭПВ	0,0035	0,17
3	Цементно-песчаная стяжка	0,05	0,76
4	Разуклонка из керамзитового гравия ГОСТ 9757 ($\rho=250\text{ кг/м}^3$)	0,05	0,11
5	Теплоизоляционный материал Техноколь ТЕХНОРУФ	0,2	0,04
6	Железобетонное основание	0,22	1,92

Фрагмент кровельной конструкции представлен на рисунке 3.2.

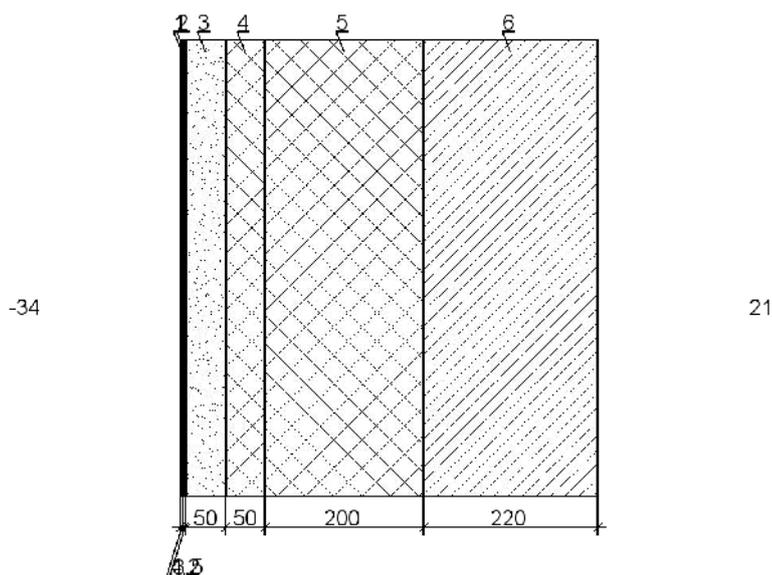


Рисунок 3.2 – Фрагмент кровельной конструкции

3.2 Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче по различным методикам.

Способ 1

Расчет на основе формул из СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»

В соответствии с разделом 5 СНиП 23-02-2003 все наружные ограждающие конструкции зданий должны быть запроектированы таким образом, чтобы их приведенное сопротивление теплопередаче R_o' было не меньше нормируемого значения R_{req} , которое определяется по таблице 4 СНиП 23-02-2003 в зависимости от градусо-суток района строительства.

Для Челябинской области нормируемое значение сопротивления теплопередаче $R_{req} = 5,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Согласно СП 23-101-2004 теплотехнический расчет неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих углы, проемы, шпонки, стержневые связи, сквозные и несквозные теплопроводные включения, выполняют путем расчета температурных полей.

										Лист
										93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01-2016-162-ПЗ					

Однако из-за сложности и недостаточной проработки методов расчета проектировщики при проектировании ограждающих конструкций рассчитывали сначала условное сопротивление теплопередаче по формуле 8 СП 23-101-2004 и умножали полученное значение на коэффициент теплотехнической однородности, но в большинстве случаев его применяли лишь при расчете наружных стен, и таким образом получали приведенное сопротивление теплопередаче. К тому же СП 23-101-2004 также допускал проводить расчет приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции R_o^r по формуле (3.1):

$$R_o^r = R_o^{con} \cdot r, \quad (3.1)$$

где R_o^{con} – сопротивление теплопередаче участка однородной ограждающей конструкции, определяемое по формуле, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; r – коэффициент теплотехнической однородности участка ограждающей конструкции, учитывающий влияние теплопроводных включений.

а) Для начала проведем расчет приведенного сопротивления теплопередаче по формуле (3.1).

Сопротивление теплопередаче участка однородной ограждающей конструкции определим по формуле (3.2):

$$R_0^{con} = R_{si} + R_k + R_{sb}, \quad (3.2)$$

где R_k - это сумма термического сопротивления теплопередаче каждого слоя конструкции.

$$R_0^{con} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,032}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23} = 5,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче определяем по формуле (3.1) при $r=0,95$ (согласно МГСН 2.01.99 [22] для перекрытий верхнего этажа, совмещенных с кровельным покрытием):

$$R_o^r = 5,84 \cdot 0,95 = 5,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Величина приведенного сопротивления теплопередаче R_o^r больше нормируемого R_{req} ($5,55 > 5,2$), следовательно представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по сопротивлению теплопередаче.

										Лист
										94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

б) Теперь проведем расчет приведенного сопротивления теплопередаче по тем же самым нормативным документам СНиП 23-02-2003 и СП 23-101-2004, но уже с моделированием температурных полей по формуле (3.3) для участка неоднородной конструкции и по формуле (3.4) для всей ограждающей конструкции:

$$R_0^r = n(t_{int} - t_{ext}) \cdot A/Q, \quad (3.3)$$

где A – площадь неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента, m^2 ; Q – суммарный тепловой поток через конструкцию или ее фрагмент площадью A , Вт, определяемый на основе расчета температурного поля на ЭВМ либо экспериментально; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый согласно таблице 6 СНиП 23-02-2003.

$$R_0^r = \frac{A}{\sum_{i=1}^m \frac{A_i}{R_{0,i}^r}}, \quad (3.4)$$

где $A_i, R_{0,i}^r$ – соответственно площадь i -го участка части ограждающей конструкции, m^2 , и его приведенное сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, m^2 ; m – число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче.

Найдем приведенное сопротивление теплопередаче каждого участка кровли по формуле (3.3) с применением значений теплового потока через $1m^2$, полученных в результате расчета температурных полей во 2 главе.

$$R_{0,1}^r = 1(21 - 34) \cdot \frac{1}{17,34} = 3,17 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт \text{ – для участка с опорой};$$

$$R_{0,2}^r = 1(21 - 34) \cdot \frac{1}{9,517} = 5,78 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт \text{ – для участка с аэратором};$$

$$R_{0,3}^r = 1(21 - 34) \cdot \frac{1}{14,351} = 3,83 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт \text{ – для участка с воронкой};$$

$$R_{0,4}^r = 1(21 - 34) \cdot \frac{1}{9,42} = 5,84 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт \text{ – для однородного участка}.$$

Определим приведенное сопротивление теплопередаче всей кровельной конструкции по формуле (3.4):

										Лист
										95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

точечный элемент 2 – кровельный аэратор;

точечный элемент 3 – водосборная воронка.

Таким образом, в рассматриваемой ограждающей конструкции один вид плоских, один вида линейных и 3 вида точечных элементов.

Геометрические характеристики элементов

Общая площадь кровли составляет 250 м², на кровле расположены 2 вентиляционные шахты размером 750 x 1000 мм, 8 опор под оборудование диаметром 100мм, 2 водосборных воронки диаметром 110 мм и 4 кровельных аэратора диаметром 100мм. Длина примыкания кровельного покрытия к парапету составляет 53,5 м.

Площадь поверхности ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче $R_0^{пр}$ составляет:

$$A = 124 - 1,5 = 122,5 \text{ м}^2$$

Площадь плоского элемента конструкции, приходящаяся на 1 м² ограждающей конструкции, определяется по формуле (3.5):

$$a = \frac{A_i}{\sum A_i} = \frac{122,5}{122,5} = 1 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2} \quad (3.5)$$

Удельная геометрическая характеристика линейного элемента l равна:

$$l_1 = \frac{53,5}{122,5} = 0,437 \text{ м}^{-1}$$

Общее количество опор на кровельном покрытии равно 8 шт. Количество таких опор, приходящихся на 1 м² конструкции равно:

$$n_1 = \frac{8}{122,5} = 0,065 \text{ м}^{-2}$$

Общее количество аэраторов на кровельном покрытии равно 4 шт. Количество таких аэраторов, приходящихся на 1 м² конструкции равно:

$$n_2 = \frac{4}{122,5} = 0,033 \text{ м}^{-2}$$

Общее количество водосборных воронок на кровельном покрытии равно

										Лист
										97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

2шт. Количество таких воронок, приходящихся на 1м² конструкции равно:

$$n_3 = \frac{2}{122,5} = 0,0016 \text{ м}^{-2}$$

Расчет удельных потерь теплоты, вызванных элементами

Для плоского элемента теплозащитные характеристики определяются по формулам (2.2) и (3.6):

$$\begin{aligned} R_{o,1}^{усл} &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,032}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23} \\ &= 5,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \\ U_1 &= 1/R_{o,1}^{усл} = 1/5,84 = 0,171 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

где U_1 – удельные потери теплоты через плоский элемент.

Удельные потери теплоты линейного элемента 1 (примыкание к парапету) принимаем по таблице Г.41 СП 230.1325800. В рассматриваемом узле $\delta_{\text{осн.ст}} = 250$ мм, $\lambda_{\text{осн.ст}} = 0,22 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $R_{\text{ут.2}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, $R_{\text{ут.1}} = 3,125 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\psi_1 = 0,223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 1 (прохождение опоры/колонны) принимаем по таблице Г.59 СП 230.1325800. В рассматриваемом узле $R_{\text{ут}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\chi_1 = 0,077 \frac{\text{Вт}}{\text{°C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 2 (кровельный аэратор) принимаем по таблице Г.55 СП 230.1325800. В рассматриваемом узле $R_{\text{ут}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, диаметр аэратора 100мм. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\chi_2 = 0,006 \frac{\text{Вт}}{\text{°C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 3 (водосборная воронка) в таблицах СП 230.1325800 не представлены, поэтому их учитывать мы не будем.

										Лист
										98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

Составление сводной таблицы

Сводим данные расчетов в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов удельных потерь теплоты конструкции через каждый элемент

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты,	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°С)	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1 = 0,171$ Вт/(м ² ·°С)	$U_1 a = 0,171$	62,6
Линейный элемент 1 (примыкание к парапету)	$l_1 = 0,437 \text{ м}^{-1}$	$\Psi_1 = 0,223$ Вт/(м·°С)	$\Psi_1 l_1 = 0,097$	35,5
Точечный элемент 1 (прохождение опоры/колонны)	$n_1 = 0,065 \text{ м}^{-2}$	$\chi_1 = 0,077$ Вт/(°С)	$\chi_1 n_1 = 0,005$	1,8
Точечный элемент 2 (кровельный аэратор)	$n_2 = 0,033 \text{ м}^{-2}$	$\chi_2 = 0,006$ Вт/(°С)	$\chi_2 n_2 = 0,0002$	0,1
Точечный элемент 3 (водосборная воронка)	$n_3 = 0,016 \text{ м}^{-2}$	-	-	-
Итого			$1/R_o^{\text{пр}} = 0,2732$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитываем по формуле (1.7):

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{0,171 + 0,097 + 0,005 + 0,0002} = \frac{1}{0,2732} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$$

Величина приведенного сопротивления теплопередаче $R_o^{\text{пр}}$ меньше нормируемого $R_o^{\text{тп}}$ ($3,66 < 5,2$), следовательно представленная ограждающая конструкция не соответствует требованиям по сопротивлению теплопередаче.

Способ 3

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче по методике СП 50.13330. и значениям удельных потерь теплоты через неоднородности, полученным в данной работе путем расчета температурных полей

Алгоритм расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции аналогичен алгоритму, описанному в способе 2. Разбивка на элементы и их геометрические характеристики будут такие же, как и в способе 2.

Начнем расчет с определения удельных потерь, вызванных элементами.

Расчет удельных потерь теплоты, вызванных элементами

Для плоского элемента теплозащитные характеристики определяются по формулам (2.2) и (3.6).

$$R_{o,1}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,17} + \frac{0,032}{0,17} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,05}{0,11} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{23} = 5,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$U_1 = 1/R_{o,1}^{усл} = 1/5,84 = 0,171 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

Удельные потери теплоты линейного элемента 1 (примыкание к парапету) принимаем по таблице 2.4 главы 2. В рассматриваемом узле $\delta_{осн.ст} = 250 \text{ мм}$, $\lambda_{осн.ст} = 0,22 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $\delta_{ут.ст} = 100 \text{ мм}$, $\delta_{ут.кр} = 200 \text{ мм}$, $R_{ут.кр} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, $R_{ут.ст} = 3,125 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\psi_1 = 0,1067 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 1 (прохождение опоры/колонны) принимаем по таблице 2.9 главы 2. В рассматриваемом узле $R_{ут} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. $d_0=100\text{мм}$. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\chi_1 = 0,144 \frac{\text{Вт}}{\text{°C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 2 (кровельный аэратор) принимаем по таблице 2.6 главы 2. В рассматриваемом узле $R_{ут} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, диаметр аэратора $d_{аэр} = 100\text{мм}$. В таблице значения представлены для диаметра 90 и 110, поэтому удельные потери находим интерполяцией. Удельные потери

										Лист
										100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

08.04.01-2016-162-ПЗ

теплоты для узла составят:

$$\chi_2 = 0,0017 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$$

Удельные потери теплоты точечного элемента 3 (водосборная воронка) принимаем по таблице 2.7 главы 2. В рассматриваемом узле $R_{\text{ут}} = 5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, диаметр воронки $d_{\text{в}} = 110 \text{ мм}$. Удельные потери теплоты для узла составят:

$$\chi_3 = 0,0896 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$$

Составление сводной таблицы

Сводим данные расчетов в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов удельных потерь теплоты конструкции через каждый элемент

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1 = 0,171 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$U_1 a = 0,171 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	74,86
Линейный элемент 1 (примыкание к парапету)	$l_1 = 0,437 \text{ м}^{-1}$	$\Psi_1 = 0,1067 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$\Psi_1 l_1 = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	20,57
Точечный элемент 1 (прохождение опоры/колонны)	$n_1 = 0,065 \text{ м}^{-2}$	$\chi_1 = 0,144 \text{ Вт}/(^\circ\text{C})$	$\chi_1 n_1 = 0,009 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	3,94
Точечный элемент 2 (кровельный аэратор)	$n_2 = 0,033 \text{ м}^{-2}$	$\chi_2 = 0,0017 \text{ Вт}/(^\circ\text{C})$	$\chi_2 n_2 = 0,00006 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	0,02
Точечный элемент 3 (водосборная воронка)	$n_3 = 0,016 \text{ м}^{-2}$	$\chi_3 = 0,0896 \text{ Вт}/(^\circ\text{C})$	$\chi_3 n_3 = 0,0014 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	0,61
Итого			$1/R_o^{\text{пп}} = 0,2284 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	100

теплопередаче.

Однако, стоит отметить, что значения приведенного сопротивления теплопередаче, посчитанные с применением таблиц СП 230.1325800 и с применением полученных в данной работе таблиц для Челябинской области отличаются. Причиной этому может служить то, что данные в таблицах СП 230.1325800 не учитывают климатических особенностей Челябинской области и имеют усредненные значения.

Корректность полученных результатов в ходе исследовательской работы подтверждается данными натурных исследований Государственного бюджетного учреждения «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве» (ГБУ "ЦЭИИС) города Москвы, которое выполняет работы по оценке соответствия проектным требованиям показателей энергоэффективности объектов капитального строительства [19]. Лабораторией тепловизионного обследования ГБУ «ЦЭИИС» были получены фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Сравнение полученных лабораторией значений с проектными по СНиП 23-02-2003 и значениями, рассчитанными по СП 50.13330.2012 представлены на рисунке 3.6. Данный фрагмент с таблицей взят из доклада начальника лаборатории строительной физики Крышова С.И. на VII Международном конгрессе «Энергоэффективность. XXI век. Инженерные методы снижения энергопотребления зданий» в 2014 году [20].

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

через узлы с неоднородностями для Челябинской области позволяет снизить экономические затраты на утепление конструкции приблизительно. Однако результаты, полученные в ходе данного исследования, необходимо проверить с помощью натуральных испытаний узлов кровельной конструкции в климатической камере, чтобы получить окончательные достоверные результаты.

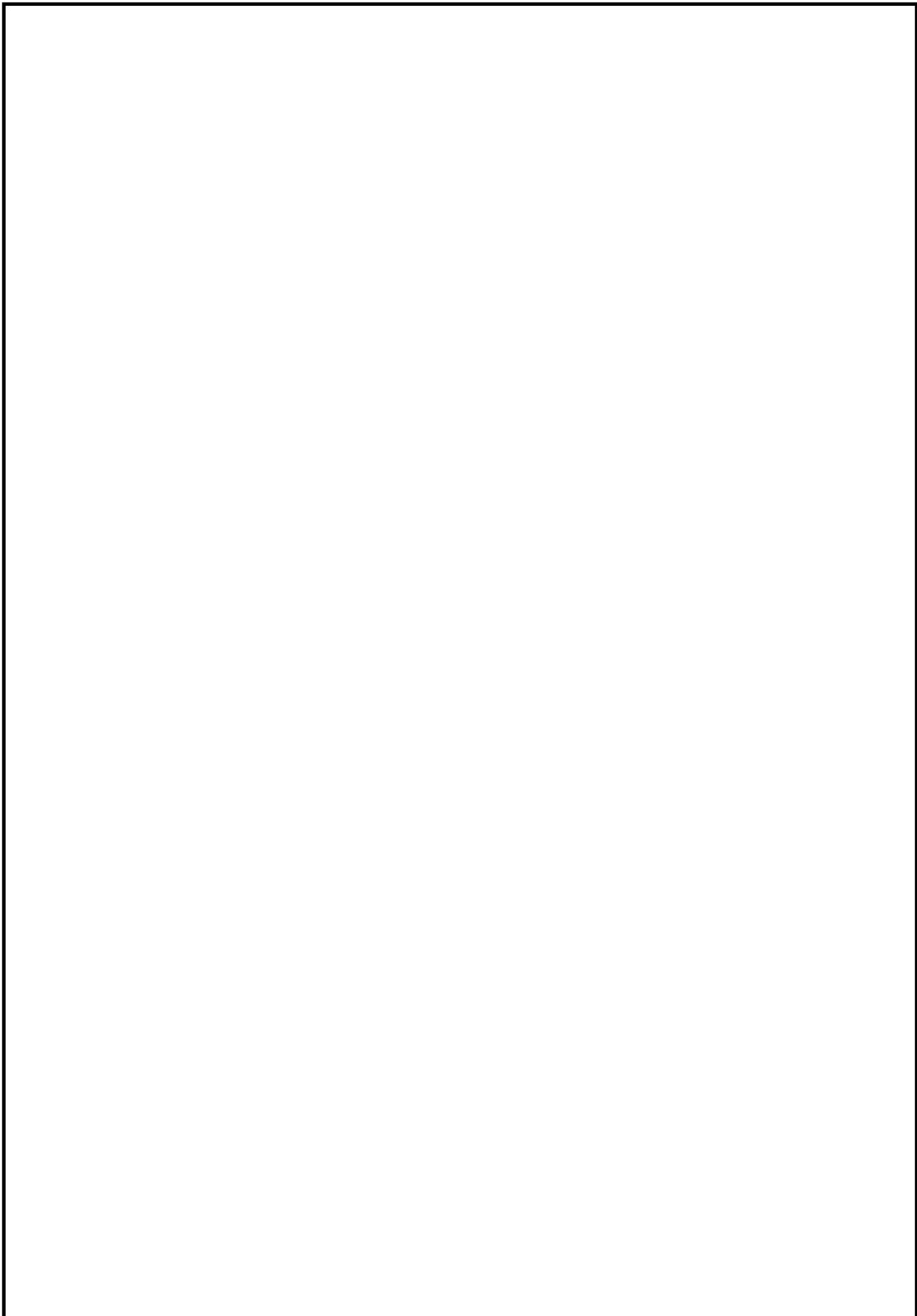
					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

области позволит снизить затраты на отопление более чем на 20%. Достоверность полученных значений подтверждается натурными испытаниями лаборатории ГБУ «ЦЭИИС», которая проводила сравнение фактических значений приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с проектными на объектах капитального строительства.

В заключении следует добавить, что проделанная работа может быть продолжена путем проведения натурных испытаний в климатической камере узлов кровельного покрытия. Это позволит окончательно проверить достоверность значений удельных потерь теплоты через линейные и точечные неоднородности в ограждающей конструкции.

					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

38. СНиП II-3-79. Нормы проектирования. Часть II. Строительная теплотехника. – М., 1979. – 33 с.
39. СНиП II-3-79*. Нормы проектирования. Часть II. Строительная теплотехника. – М., 1995. – 40 с.
40. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2004. – 25 с.
41. СП 17.13330.2011. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – М.: Минрегион России, 2011. – 53 с.
42. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 139 с.
43. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012. – 100 с.
44. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99 – М.: Минрегион России, 2012. .110 с.
45. СП 230. 1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей. – М.: Минрегион России, 2015. – 68 с.
46. Строительные системы ТехноНИКОЛЬ. Альбом узлов. Кровля. – М., 2014.
47. Технические условия и нормы теплотехнического расчета ограждающих конструкций. - М., 1929. – 41с.
48. Указ Президента РФ от 7 мая 1995 N 472 «Об Основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно - энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года».
49. Указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики».
50. Федеральный закон от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ «Об энергосбережении»



					08.04.01-2016-162-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117