

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

Инженерно-строительный институт
институт
Проектирования зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Расчет тепловлажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых
ограждений»

тема

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Руководитель

подпись, дата

Д. т. н., профессор

должность, ученая степень

Р.А. Назиров

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Л.В. Иванова

инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Студенту Ивановой Любови Вячеславовне

фамилия, имя, отчество

Группа СФ20-04М Направление (специальность) 08.04.01 Строительство

номер

код

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

полное наименование

Тема магистерской диссертации: «Расчет тепловлажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений»

Утверждена приказом по университету № 16668/с от 27 октября 2020 г.

Руководитель магистерской диссертации Р.А. Назиров, заведующий кафедрой

инициалы, фамилия, должность, ученое звание

ПЗиЭН, д.т.н., профессор

и место работы

Исходные данные для магистерской диссертации: нормативно-правовые документы по вопросам энергосбережения и энергоэффективности на территории РФ, своды правил, учебники, справочники, методические пособия, научные статьи, справочные данные сети интернет, материалы научно-исследовательской практики.

Перечень разделов магистерской диссертации:

- Введение
- ГЛАВА 1. Современное состояние вопроса тепловлажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений;
- ГЛАВА 2. Тепло-влажнотфизические расчеты стеновых конструкций;
- ГЛАВА 3. Результаты тепловизионных обследований и численные расчеты угловых сопряжений;
- ГЛАВА 4. Экономика;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложение.

Перечень графического материала презентация.

Руководитель ВКР

подпись

Р.А. Назиров

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Л.В. Иванова

инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. Современное состояние вопроса тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений	7
1.1 Развитие нормативных требований по тепловой защите зданий	7
1.2 Правовое регулирование в сфере энергосбережения и энергоэффективности	10
1.3 Обзор отечественного и зарубежного опыта в вопросе тепло-влажностного состояния	11
1.4 Способы наружного утепления	15
1.5 Анализ проблемы тепловых потерь через угловые сопряжения стеновых ограждений и последствия нарушения температурно-влажностного режима	17
1.6 Выводы по первой главе	21
ГЛАВА 2. Тепло-лагофизические расчеты стеновых конструкций	23
2.1 Теплотехнический и влажностный расчет конструкций ограждения по нормативной методике.....	23
2.2 Методика численного расчета конструкции	29
ГЛАВА 3. Результаты тепловизионных обследований и численные расчеты угловых сопряжений	31
3.1 Результаты тепловизионного обследования корпуса СФУ с дополнительным утеплением	31
3.2 Климатические показатели и параметры микроклимата в помещении	34
3.3 Теплотехнический расчет исходной конструкции стены	36
3.4 Теплотехнический расчет конструкции стены при устройстве навесного вентилируемого фасада	37
3.5 Теплотехнический расчет конструкции стены при устройстве штукатурного утепленного фасада	39
3.6 Определение сопротивления паропрооницанию.....	40

3.6.1	Определение сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции с устройством навесного вентилируемого фасада.....	40
3.6.2	Определение сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции с устройством штукатурного утепленного фасада	42
3.7	Результаты численного моделирования.....	46
3.7.1	Исходная конструкция	47
3.7.2	Конструкция с навесным вентилируемым фасадом.....	50
3.7.3	Конструкция со штукатурным утепленным фасадом	55
3.7.4	Влагонакопление за годовой период эксплуатации	59
3.8	Выводы по третьей главе	69
ГЛАВА 4. Экономика		71
4.1	Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период	71
4.2	Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период с устройством навесного вентилируемого фасада.....	72
4.3	Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период с устройством штукатурного утепленного фасада	72
4.4	Сравнение вариантов	72
4.5	Определение стоимости устройства навесного вентилируемого фасада и штукатурного утепленного фасада	73
4.6	Выбор оптимального варианта утепления	74
Заключение		76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		78
Приложение А		85

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из самых важных задач в строительстве является увеличение энергоэффективности зданий. Поэтому значительное внимание уделяется повышению теплотехнических характеристик для того, чтобы уменьшить тепловые потери через ограждающие конструкции и снизить энергопотребление.

Наибольшие тепловые потери наблюдаются через теплонапряженные элементы, что, соответственно, существенно влияет на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. Одними из таких элементов являются угловые сопряжения стеновых ограждений.

С повышением влажности строительных материалов повышается их теплопроводность, следовательно, увлажнение ограждающих конструкций оказывает отрицательное влияние на их теплозащитные свойства. В некоторых случаях может происходить промерзание углов. В связи с этим требуется расчет тепло-влажностного состояния с целью исключения образования зон повышенной влажности и областей возможной конденсации.

Проблема нарушения тепловлажностного режима в особенности актуальна в местах с более суровым климатом, в частности, в Сибири. В г. Красноярске жилой фонд представлен большим количеством домов, построенных в прошлом столетии по старым недействующим в настоящее время нормативам. Данные строения не соответствуют современным нормам, а также требованиям энергоэффективности. В настоящее время одним из решений данной проблемы является применение дополнительной наружной теплоизоляции посредством устройства навесных вентилируемых фасадов и штукатурных утепленных фасадов. Расчет данных конструкций производится для минимальных температур и без учета изменения коэффициента теплопроводности в зависимости от изменения влажности самих материалов в годовом цикле эксплуатации.

Актуальность исследования заключается в необходимости изучения тепло-влажностного состояния конструкций с учетом изменения характеристик материалов в процессе эксплуатации.

Цель магистерской диссертации: исследование тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений в климатических условиях г. Красноярска.

Задачи:

- изучить нормативную документацию для определения требуемой толщины утеплителя из условий тепловой защиты зданий и защиты от переувлажнения ограждающих конструкций;

- провести анализ проблемы тепловых потерь через угловые соединения стеновых ограждений и последствия нарушения температурно-влажностного режима;

- исследовать способы снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции;

- произвести численные расчеты тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений, а также расчеты на влагонакопление за годовой период эксплуатации;

- определить наиболее предпочтительный вариант утепления для условий г. Красноярска и разработать рекомендации по выбору оптимальной толщины дополнительного утепления при проектировании конструкций навесного вентилируемого фасада и утепленного штукатурного фасада.

Объектом исследования является угловое сопряжение стеновых ограждений.

Предметом исследования является изменение тепло-влажностного состояния в зависимости от конструктивной особенности углового сопряжения.

Методы исследования:

- численное моделирование конструкции в программном комплексе COMSOL Multiphysics;

- натурное тепловизионное исследование угловых сопряжений.

Научная новизна.

1. На основе литературных и нормативных данных установлены расчетные функциональные зависимости сорбционной влажности и коэффициентов теплопроводности стеновых материалов при эксплуатации конструкций в климатических условиях г. Красноярска и применены в численных расчетах.

2. Установлено, что в конструкциях с навесным вентилируемым фасадом и штукатурным утепленным фасадом процессы влагонакопления и сушки в годовом цикле эксплуатации происходят по-разному и отличаются по скорости, периодам и величиной увлажнения строительных материалов.

3. Расчетом установлено, что для обоих вариантов дополнительного утепления наряду с кинетическими процессами сушки и влагонакопления наблюдается период относительной стабилизации влажности в материалах ограждений.

Практическая значимость.

1. Определена необходимая толщина утепления с учетом изменения коэффициента теплопроводности от влажности. Для навесного вентилируемого фасада требуемая толщина утеплителя составляет 140 мм, для штукатурного утепленного фасада 120 мм.

2. При применении дополнительного утепления не происходит прироста влаги за годовой период эксплуатации, не образуется плоскостей возможной конденсации при расчетных температурах, установленных сводом правил, и при низких температурах наружного воздуха.

3. Актуализирована необходимость внедрения в нормативную документацию методик численных расчетов на современных программных комплексах.

Публикации. Основные положения магистерской диссертации изложены в 1 статье в рецензированном журнале из перечня ВАК.

ГЛАВА 1. Современное состояние вопроса тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений

1.1 Развитие нормативных требований по тепловой защите зданий

История развития нормативных требований по тепловой защите зданий подробно рассмотрена в статье [31].

Требования к тепловой защите зданий впервые появились в 1955 году в СНиП II-В.3 «Нормы строительного проектирования». Согласно п.7 §3 СНиП II-В.3 величина сопротивления теплопередаче ограждения R_0 должна была быть не менее требуемого R_0^{TP} .

В СНиП IIА.7-71 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования», появилось следующее требование к сопротивлению теплопередаче: сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 должно быть не менее сопротивления теплопередаче R_0^{TP} , требуемого из санитарно-гигиенических условий, и $R_0^{ЭК}$, определяемого экономическим расчетом.

В данном документе появилось требование экономического обоснования требуемого уровня теплоизоляции ограждающих конструкций.

В следующем нормативном документе, СНиП-II-3-79 «Строительная теплотехника» появился термин приведенного сопротивления передаче. Согласно СНиП-II-3-79 «Строительная теплотехника» значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий должно было приниматься в соответствии с заданием на проектирование, однако оно должно было быть выше требуемых значений, определявшихся исключительно исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий.

До конца 1980-х основное внимание уделялось снижению затрат на материалы при строительстве, задача энергосбережения не рассматривалась ввиду низкой стоимости топлива. В нормативных документах учитывалось сопротивление теплопередаче, определяемое из санитарно-гигиенических условий.

В начале 1990-х годов вследствие перехода страны к рыночной экономике, подорожали энергетические ресурсы и встал вопрос об их экономии, и, следовательно, и об энергосбережении в целом.

Строительные нормы претерпели ряд изменений. В новой редакции СНИП-П-3-79* требуемые значения сопротивления теплопередаче R_0^{TP} , должны были определяться исходя не только из санитарно-гигиенических и комфортных условий, но и с учетом значений, определяемых исходя из условий энергосбережения. Требуемое сопротивление теплопередаче определялось в зависимости от градусо-суток отопительного периода.

К 2000-му году требования по сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций жилых и общественных зданий были повышены примерно в 2 раза.

Данные изменения можно считать предпосылками к появлению тенденции наружного утепления как уже существующих зданий, так и вновь проектируемых [31].

В СНИП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», вводились показатели энергетической эффективности зданий, были введены 5 классов энергетической эффективности. Присвоение классов D и E допускалось только для зданий, возведенных до 2000 г. с целью разработки органами администрации субъектов Российской Федерации очередности мероприятий по реконструкции этих зданий.

Требование к приведенному сопротивлению теплопередаче стало следующим: приведенное сопротивление теплопередаче R_q , $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следовало принимать не менее нормируемых значений R_{req} , $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$.

R_{req} учитывало температуры внутреннего и наружного воздуха, разницу температур внутреннего воздуха и внутренней поверхностью конструкции, положение конструкции и теплопередачу внутренней поверхности.

1 июля 2013 был введен СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Согласно СП 50.13330.2012 теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

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

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

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование) [33].

Для теплонапряженных элементов в СП 50.13330.2012 существует следующее требование:

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (за исключением вертикальных светопрозрачных конструкций, т. е. с углом наклона к горизонту 45° и более) в зоне теплопроводных включений, в углах и оконных откосах, а также зенитных фонарей должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха – t_n , °С [33].

Обязательным является расчет защиты от переувлажнения ограждающих конструкций, основанный на расчете такого сопротивления паропрооницанию, чтобы выполнялись условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации и условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха [33].

При расчете по сводам правил, который используется в настоящее время, значения теплофизических характеристик, а именно, коэффициента теплопроводности, λ , определяются в зависимости от влажностного режима помещения и зоны влажности района строительства.

Расчеты основных показателей ведутся на основании СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», который, в свою очередь претерпел больше различных редакций ввиду постоянных изменений климатических показателей.

В сравнении с редакцией 2018 года для г. Красноярска изменились продолжительность и средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С. Так, вместо 235 суток в прошлой редакции, в новой редакции $z_{от} = 234$, $t_{от} = 6,6$ °С по сравнению с $6,5$ °С в прошлой редакции. Данные величины, в частности, влияют на градусо-сутки отопительного периода и, соответственно, влияют и на величину базового значения требуемого сопротивления теплопередаче.

1.2 Правовое регулирование в сфере энергосбережения и энергоэффективности

В настоящее время основным законом в сфере энергосбережения и энергоэффективности является Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который регулирует отношения в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности [38].

После выхода Постановления Правительства РФ № 18 от 25.01.2011 «Об утверждении правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» к показателям, характеризующим выполнение требований энергетической эффективности относится показатель удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию для всех типов зданий, строений, сооружений [39].

Согласно Приказу от 17 ноября 2017 года № 1550 «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», для вновь создаваемых зданий удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию уменьшается:

с 1 июля 2018 г. на 20 %;

с 1 января 2023 г. на 40 %;

с 1 января 2028 г. на 50 %.

Для реконструируемых или проходящих капитальный ремонт зданий удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию уменьшается с 1 июля 2018 г. на 20 % по отношению к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию. [40].

21 апреля 2018 г. вышло Постановление Правительства РФ «О внесении изменений в постановление правительства российской федерации от 31 декабря 2009 г. № 1221». Согласно этому постановлению подготовка проектной документации для строительства и реконструкции многоквартирных домов, общественных и административных зданий должна обеспечивать класс энергетической эффективности зданий не ниже первых пяти наивысших классов [54].

1.3 Обзор отечественного и зарубежного опыта в вопросе тепло-влажностного состояния

В отечественной практике одним из первых, кто занимался строительной теплотехникой и методами расчета тепло-влажностного режима, является К.Н. Фокин. В [1] содержится описание особенностей теплотехнического режима отдельных частей наружных ограждений, в частности, угловых сопряжений. Автором разработан практический метод расчета влажностного режима и метод расчета температурных полей в ограждающих конструкциях. Представлен графический метод расчета действительных парциальных давлений в многослойных конструкциях. Описан алгоритм расчета на конденсацию влаги в стационарных и нестационарных условиях, основанный на нахождении зоны возможной конденсации в конструкции. Метод нестационарного расчета, или метод последовательного увлажнения позволяет определить последовательное изменение влажности материала в ограждении во времени, а также определить период высыхания ограждений [1].

В.Н. Богословский работал в области теплофизики, первым сформулировал задачи переноса теплоты с граничными условиями четвертого рода и построил аналитическую теорию теплопроводности [48]. Для расчета многослойных конструкций в 1952-м году В.Н. Богословский ввел понятие «потенциала влажности», позволяющего определить сверхсорбционную влажность [44]. Открытие потенциала влажности легло в основу многих других исследований, в частности, в статье [45] авторами была предложена математическая модель и метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций на примере стен из полистиролбетонных блоков.

В настоящее время существует ряд научных публикаций, посвящённых изучению вопроса тепло-влажностного состояния в местах расположения теплонапряженных элементов.

В статье [2] производится оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле эксплуатации для условий г. Санкт-Петербурга и г. Казани. Сделан вывод, что использование стен с хорошо вентилируемой воздушной прослойкой позволяет улучшить влажностный режим ограждающих конструкций.

В статье [7] приведена методика оценки температурно-влажностного режима и тепловых потерь через краевые зоны ограждающих конструкций, в частности, углы и оконные откосы.

В статье [3] рассматриваются несколько теплонапряженных элементов, таких как угловой фрагмент наружной стены и фрагмент сопряжения угловой части наружной стены с балконной плитой. Согласно исследованию, температура в углу, образованном наружной стеной и перекрытием ниже температуры точки росы. Для решения этой проблемы используется способ заполнения пустот пенополистиролом. Однако повышение температуры незначительно и сохраняет вероятность появления проблемы в дальнейшем, в случае, если пенополистирол потеряет свои первоначальные характеристики.

В статье [4] исследовано влияние нагревательного кабеля на тепловое состояние наружных ограждающих конструкций в зоне углового соединения. На

основании расчетов сделан вывод, что применение нагревательного кабеля приводит к более равномерному распределению теплового потока. При помощи данного метода можно утеплить углы в уже построенных зданиях.

В учебном пособии [8] предлагается обеспечение устойчивой циркуляции воздуха вблизи таких поверхностей, как угловые соединения. Данный метод возможно предусмотреть при проектировании новых зданий, но в зданиях, построенных в прошлом веке, это не всегда осуществимо в связи с уже изношенными системами вентиляции.

В статье [9] исследуется влияние форм наружных углов на температурные показатели внутренних поверхностей стен здания. Произведено экспериментальное определение и сравнение температуры внутренней поверхности наружных углов 90° и 135° , которое показало, что вероятность выпадения конденсата на внутренней поверхности угла 90° будет значительно выше, чем у угла 135° .

В зарубежной практике существует ряд исследований, посвященных рассматриваемой проблеме. Согласно [20] в США 48,7 % энергопотребления приходится на жилые и общественные здания, поэтому вопрос энергосбережения в сфере жилого и общественного строительства является приоритетным. В строительной практике США особое внимание уделяется контролю влажности в помещениях [13].

Некоторые наиболее распространенные методы, применяемые в практике:

1. Внедрение специальных систем кондиционирования воздуха для управления направлением воздушных потоков.
2. Использование строительных материалов, способных выдерживать многократное намокание на участках, на которых может конденсироваться влага.
3. Устройство воздушных зазоров.
4. Ввод регулярного наблюдения за конструкциями и проверка соблюдения температурно-влажностного состояния требуемым нормам.

Данные методы носят рекомендательный характер и позволяют понизить риск возникновения проблемы, но не способны полностью решить ее.

В статье [14] исследовано влияние толщины утеплителя на образование мостиков холода и их влияние на теплотехнические характеристики. Отмечено, что при увеличении толщины изоляции на 50% и 100% значение коэффициента теплоотдачи наружной поверхности уменьшается на 22% и 37% соответственно. Риск выпадения конденсата не был исключен полностью. Был сделан вывод, что установка теплоизоляции снаружи снижает риск образования мостиков холода.

В статье [26] рассмотрен метод оценки мостиков холода в ограждающей конструкции здания с помощью инфракрасной термографии. Демонстрируется тесная взаимосвязь между геометрией и теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций. В ходе исследования были обнаружены существенные различия между расчетными и измеренными значениями.

Выпадение конденсата является также серьезной проблемой в большом количестве жилых домов в Великобритании, вызывающая примерно 1,5 миллиона случаев существенного нарушения влажностного режима в помещениях [18].

В статье [15] установлено, что в комнате с неутепленными наружными стенами, двойным остеклением и угловым сопряжением, температура в угловом сопряжении может быть ниже, чем в зоне оконного откоса.

В статье [16] рассматривается проблема образования мостиков холода в многоквартирных жилых домах. Исследование проводилось в многоквартирных домах, построенных между 1962 и 1990 годами. В результате исследования было установлено, что в домах из сборного железобетона визуально плесень обнаруживается в 46% домов, возможность выпадения конденсата в 54% исследуемых сооружений. Показатели в кирпичном строительстве сравнительно лучше – только в 33% видимое образование плесени, в 45% существует риск выпадения конденсата. Для деревянных сооружений показатели следующие: в 28% зданий присутствует видимое образование плесени и в 49% существует риск выпадения конденсата.

Результаты показывают, что мостики холода, вызванные низкой температурой поверхности, существуют во всех типах многоквартирных домов, построенных в прошлом столетии.

1.4 Способы наружного утепления

Наружное утепление стен зданий является наиболее эффективным способом снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции.

Для улучшения теплозащитных характеристик ограждающих конструкций в настоящее время используется утепление зданий при помощи различных систем с применением эффективных видов теплоизоляционных материалов.

Наружное утепление осуществляется путем устройства наружного вентилируемого фасада или штукатурного утепленного фасада.

Устройство навесного вентилируемого фасада представлено на рисунке 1.1.

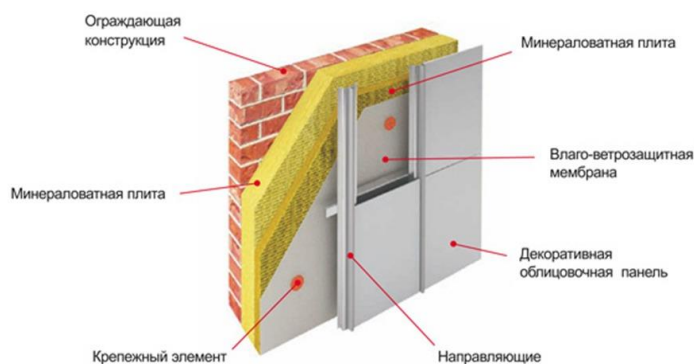


Рисунок 1.1 – Устройство навесного вентилируемого фасада

Использование такой конструкции может решить проблему миграции пара путем создания вентилируемой воздушной прослойки между утеплителем и наружной облицовкой стены.

Основные преимущества вентилируемых фасадов:

- увеличение теплозащитных свойств;

- защита ограждающих конструкций от агрессивных воздействий окружающей среды;
- возможность ведения работ в любое время года;
- невысокие требования к качеству стены-основания;
- вентиляция теплоизоляционного слоя;
- возможность частичного ремонта фасада при необходимости.

К недостаткам таких систем можно отнести высокую стоимость монтажа, возможное промерзание слоя утеплителя при отрицательных температурах.

Штукатурный утепленный фасад представляет собой многослойную конструкцию из утеплителя, который закрепляется на стене, армирующей сетки, грунтовки, отделочной штукатурки.

Устройство штукатурного утепленного фасада приведено на рисунке 1.2.

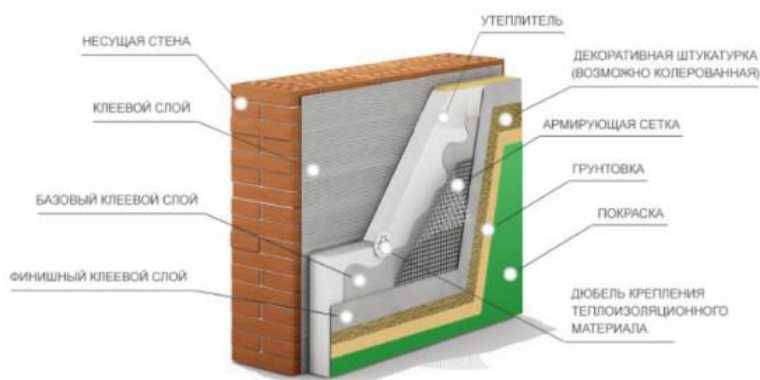


Рисунок 1.2 – Устройство штукатурного утепленного фасада

Преимущества штукатурного утепленного фасада:

- увеличение теплозащитных свойств, снижение тепловых потерь;
- небольшой вес;
- возможность придать старым зданиям современный облик;
- невысокая стоимость по сравнению с вентилируемым фасадом.

К недостаткам относятся сезонность выполнения работ, повышенные требования к качеству стены-основания, сложная технология ведения работ.

1.5 Анализ проблемы тепловых потерь через угловые сопряжения стеновых ограждений и последствия нарушения температурно-влажностного режима

Проблема нарушения температурно-влажностного режима и вопрос тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях ограждающих конструкций чаще всего встречается в зданиях, построенных в прошлом столетии в соответствии с требованиями старых строительных норм.

С течением времени нормативы претерпели значительные изменения, в частности, изменились требования к сопротивлению теплопередаче. Более того, с течением времени изменяются и климатические показатели, что отражается в новых редакциях соответствующих документов.

Соответственно, здания, построенные с использованием не действующих в настоящее время нормативов, не соответствуют современным требованиям, а также не удовлетворяют требованиям энергоэффективности.

На конец 2020 года жилищный фонд Красноярского края составлял 74,1 миллиона м² и за год увеличился на 1,6 %. Жилищный фонд края включает 223,3 тысячи жилых домов (индивидуально-определённых зданий), 173,8 тысячи домов блокированной застройки и 15,9 тысячи многоквартирных жилых домов [46]. При этом в проведении капитального ремонта нуждаются 55% многоквартирных жилых домов, расположенных на территории края [47]. В основном это здания постройки до 1995 года, спроектированные и возведенные в соответствие с недействующими в настоящее время нормативами.

Основные тепловые потери жилых 5-ти этажных зданий постройки до 1995-го года происходят через стены и системы отопления и естественной вентиляции (31% и 33% от общего числа тепловых потерь соответственно) [55].

Структура теплопотерь в жилых многоквартирных домах приведена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Структура теплопотерь в жилых многоквартирных домах

Особенностью ограждающих конструкций зданий является наличие большого количества различных теплонапряженных элементов, к ним относятся угловые сопряжения, оконные проемы, элементы крепления, металлические кронштейны конструкций вентилируемых фасадов, участки сопряжения стеновых ограждений с плитами перекрытий, балконными плитами и пр.

При разности температур воздуха снаружи и внутри здания возникает теплопередача через наружные ограждающие конструкции по направлению к более низким температурам.

Теплопроводность является основной составляющей процесса передачи тепла через ограждения [10].

В значительной степени теплопроводность материалов конструкции зависит от их влажности, которая, с свою очередь, зависит от относительной влажности воздуха. Для различных материалов существуют зависимости между влажностью материала и относительной влажностью воздуха, называемые изотермами сорбции. С повышением влажности материалов резко повышается и их теплопроводность, поэтому одной из основных задач при проектировании является обеспечение защиты ограждающих конструкций от чрезмерного увлажнения [10].

В местах с более высокой теплопроводностью возможно появление так называемых мостиков холода. Мостики холода определяются в первую очередь по их воздействию на сооружение: появлению конденсата, более холодных участков, промерзанию углов.

Виды мостиков холода:

1. Обусловленные конструктивными особенностями, когда теплопроводящий элемент проходит через изолирующий слой. К таким мостикам холода относятся, например, кронштейны, крепящие внешний облицовочный слой навесного фасада или элементы крепления утеплителя к стене.

2. Обусловленные расположением. Зависят от геометрии. Примером данного вида служит угловое сопряжение.

Причины понижения температуры в угловых сопряжениях:

1. Геометрическая форма угла. Так как в наружном углу площадь тепловосприятия меньше площади теплоотдачи, он охлаждается больше, в сравнении с гладью стены.

2. Уменьшение коэффициента тепловосприятия в наружном углу, что происходит в связи с уменьшением передачи тепла излучением и в результате понижения интенсивности конвекционных токов воздуха. При уменьшении коэффициента тепловосприятия увеличивается сопротивление тепловосприятию, что оказывает влияние и на понижение температуры наружного угла [1].

На величину понижения температуры в наружном углу влияют следующие параметры:

1. Форма и конструкция угла. Согласно исследованиям, при тупом угле понижение температуры в нем будет меньше, чем при остром угле.

2. Величина термического сопротивления стены. При ее повышении уменьшается величина понижения температуры.

3. Разность температур внутреннего и наружного воздуха. Величина понижения температур прямо пропорциональна разности температур внутреннего и наружного воздуха.

4. Изменение величины сопротивления тепловосприятию в наружном углу. С ее повышением, повышается величина понижения температуры [1].

При достижении температуры точки росы и дальнейшем понижении температуры на внутренней поверхности стены образуется конденсат.

Влага может конденсироваться как на внутренней поверхности ограждения, так и в его толще, что повышает влажность строительных материалов, и, следовательно, их теплопроводность, тем самым ухудшая теплотехнические характеристики.

Для определения точки росы и расчетов на конденсацию влаги используют величину парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, которая является характеристикой влажности воздуха [1].

Условие конденсации влаги следующее

$$e_x = E_x, \quad (1.1)$$

где e_x – действительное парциальное давление водяного пара, Па;

E_x – максимальное парциальное давление водяного пара, Па.

Понижение температуры поверхности стены в углу крайне неблагоприятно, так как в этих местах может произойти выпадение конденсата, образуется сырость, и, как следствие, плесень, что нарушает санитарно-гигиенические требования.

Существенный ущерб тепловые потери через угловые соединения наносят и на состояние конструкции, в основном это связано с промерзанием углов. Наиболее часто встречаются следующие проблемы:

- разрушение элементов ограждающих конструкций за счет повреждения строительных материалов во время циклов замораживания и оттаивания; а также отложения солей на поверхности;

- повреждение отделочных материалов как снаружи здания, так и внутри него;

- коррозия элементов крепления в связи с повышенной влажностью в угловых соединениях.

Помимо влияния на теплопроводность, влажность материала также влияет на морозостойкость материалов; чем выше влажность материала, тем меньше его морозостойкость.

Таким образом, влажностный режим существенно влияет на санитарно-гигиенические условия, теплотехнические характеристики материалов ограждения, на состояние конструкции ограждения и его долговечность, что вызывает необходимость расчета влажностного режима при проектировании тепловой защиты зданий.

1.6 Выводы по первой главе

1. Начиная с 2000-х годов ряд основных нормативов в проектировании тепловой защиты претерпели существенные изменения, затронувшие величину приведенного сопротивления теплопередачи. Периодически обновляется свод правил по строительной климатологии с целью уточнения изменяющихся параметров наружного воздуха в различных климатических районах России.

2. В настоящее время существует ряд Федеральных законов и Постановлений Правительства, направленный на урегулирование отношений в сфере энергоэффективности.

3. В настоящее время проводится множество исследований, как в отечественной, так и в зарубежной практике, направленных на решение проблемы понижения температуры в угловых сопряжениях и на расчет влажностного режима с целью проектирования тепловой защиты, соответствующей требованиям энергоэффективности.

4. Проблема нарушения тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений наиболее часто встречается в домах,

построенных в прошлом столетии. В Красноярском крае значительная доля жилых многоквартирных домов нуждаются в проведении капитального ремонта и не соответствуют современным требованиям теплозащиты.

5. Учет влажностного режима при проектировании тепловой защиты необходим, так как он оказывает существенное влияние на теплотехнические характеристики наружных ограждений, а также на их долговечность.

6. В настоящее время существует несколько способов наружного утепления, в частности навесной вентилируемый фасад и штукатурный утепленный фасад, однако каждому методу присущи определенные недостатки и требуется проведение точных расчетов для выбора наиболее оптимального и эффективного решения.

7. В настоящих нормативах по тепловой защите выбор теплофизических характеристик, в частности, коэффициента теплопроводности основывается на влажностном состоянии помещения и зоны влажности района строительства. Не учитывается влияние влажностных свойств самих материалов на изменение коэффициента теплопроводности, которые могут отличаться на разных участках конструкции.

ГЛАВА 2. Тепло-влажнoфизические расчеты стеновых конструкций

2.1 Теплотехнический и влажностный расчет конструкций ограждения по нормативной методике

Согласно [33] приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p, \quad (2.1.1)$$

где $R_0^{\text{тп}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяемое по формуле 2.1.2;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства ($m_p = 1$ [33]).

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_0^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.1.2)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 [33].

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$

Градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, определяются по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (2.1.3)$$

где $t_{от}$, $z_{от}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [34] для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется по СП 23-101-2004 в соответствии с пунктом 9.1.4 [36], и определяется по формуле

$$R_0^{пр} = R_0^{усл} \cdot r, \quad (2.1.4)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности участка ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений.

Условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки определяется по формуле

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{\alpha_{н}} + \sum_{i=1}^s \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (2.1.5)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, определяемый по таблице 4 [33];

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи для зимних условий, определяемый по таблице 6 [33];

δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – расчетная теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°С), в случае отсутствия данных принимается по приложению Т [33].

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропроницанию внутренних слоев не менее требуемого

значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса (осуществляемому по механизму паропроницаемости) [33].

Сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_n = \sum R_{ni}, \quad (2.1.6)$$

где R_{ni} – сопротивление паропроницанию отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции, определяемое по формуле 8.9 [п.8.7, 33].

Сопротивление паропроницанию отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_{ni} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (2.1.7)$$

где δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ_i – расчетная паропроницаемость материала слоя ограждающей конструкции, мг/(м·ч·Па).

Сопротивление паропроницанию R_n , (м²·ч·Па)/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения, определяемой в соответствии с 8.5) должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

1. Требуемого сопротивления паропроницанию $R_{n1}^{тр}$, (м²·ч·Па)/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(e_B - E)R_{п.н.}}{E - e_H}, \quad (2.1.8)$$

где e_B – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности воздуха в помещении;

E – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па;

$R_{п.н.}$ – сопротивление паропроницанию ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной ограждающей конструкцией и плоскостью максимального увлажнения;

e_n – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па [34].

2. Требуемого сопротивления паропроницанию $R_{n2}^{тр}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$R_{n2}^{тр} = \frac{0,0024z_0(e_B - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta}, \quad (2.1.9)$$

где z_0 – продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха [34];

e_B – то же, что и в формуле 2.1.8;

E_0 – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое по средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_0 ;

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, $\text{кг}/\text{м}^3$;

δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной $2/3$ толщины однородной (однослойной) стены или толщине слоя многослойной ограждающей конструкции, в котором располагается плоскость максимального увлажнения;

Δw – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, %, по массе, за период влагонакопления z_0 , принимаемое по табл. 10 [33];

η – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{н,отр})z_0}{R_{п.н.}}, \quad (2.1.10)$$

где $e_{н,отр}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па, [34].

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности воздуха в помещении определяется по формуле

$$e_B = \left(\frac{\varphi_B}{100}\right) \cdot E_B, \quad (2.1.11)$$

где φ_B – относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая для различных зданий в соответствии с 5.7 [33].

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па, определяется по формуле

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12}, \quad (2.1.12)$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальные давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, Па, определяемые согласно п. 8.6 [33];

z_1, z_2, z_3 – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес, определяется по [34] с учетом условий [п. 8.1, 34].

Парциальное давление насыщенного водяного пара E , Па, при температуре t , °C от -40 °C до +45 °C, определяется по формуле

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right) \quad (2.1.13)$$

Для определения плоскости максимального увлажнения вычисляют значение комплекса $f_i(t_{м.у.})$ для каждого слоя конструкции по формуле

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 \cdot \frac{R_{0,п}(t_B - t_{н,отр})}{R_0^{усл}(e_B - e_{н,отр})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}, \quad (2.1.14)$$

где $R_{0,п}$ – общее сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции, $(м^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$, определяется согласно п. 8.7 [33];

$R_0^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции, $(м^2 \cdot °C)/Вт$;

$t_{н,отр}$ – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, °C;

e_B – то же, что и в формуле (2.1.8);

$e_{н,отр}$ – то же, что и в формуле (2.1.10);

μ_i – то же, что и в формуле (2.1.6);

λ_i – расчетная теплопроводность материала соответствующего слоя, $Вт/(м \cdot °C)$.

Температура t_x , °C, ограждающей конструкции в плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x , м, определяется по формуле

$$t_x = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0^{усл}} R_x, \quad (2.1.15)$$

где t_B и t_H – температура внутреннего и наружного воздуха, соответственно, °C;

R_x – сопротивление теплопередаче части многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x , м, определяется по формуле 8.11 [33].

2.2 Методика численного расчета конструкции

Перенос тепла через конструкцию определяется уравнением теплопроводности, а перенос влаги, в свою очередь, определяется уравнением диффузии.

Уравнение Фурье для одномерного температурного поля имеет вид

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (2.2.1)$$

где q – удельный тепловой поток, Вт/м²;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$\frac{dt}{dx}$ – изменение температуры в направлении теплового потока, °С/м.

Уравнение теплопроводности для однослойного ограждения имеет вид [10]

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_B - \tau_H), \quad (2.2.2)$$

где τ_B и τ_H — температуры внутренней и наружной поверхностей.

Формула для определения расхода пара имеет следующий вид

$$m = \frac{\mu}{\delta} (e_B - e_H), \quad (2.2.3)$$

где m – расход пара, мг/(м²·ч);

μ – коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м²·ч·Па);

δ – толщина слоя, м;

e_v, e_n – действительные парциальные давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па.

При решении задачи тепло- и влаго- переноса используется следующая система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dx} \lambda \frac{dT}{dx} + \frac{d}{dy} \lambda \frac{dT}{dy} = 0 \\ \frac{d}{dx} \mu \frac{de}{dx} + \frac{d}{dy} \mu \frac{de}{dy} = 0 \\ E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \varphi = \frac{e}{E} 100\%; \lambda = f(W); W = f(\varphi) \end{array} \right. \quad (2.2.4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

T – температура, К;

μ – коэффициент паропроницаемости материала, кг/(с·м·Па);

E – давление насыщенного водяного пара, Па;

φ – относительная влажность, %;

e – парциальное давление водяного пара, Па.

В расчетах использовались граничные условия 3-го рода.

Заданы коэффициенты теплоотдачи для внешней части конструкции, коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, коэффициенты влагоотдачи внешней и внутренней поверхностей.

ГЛАВА 3. Результаты тепловизионных обследований и численные расчеты угловых сопряжений

3.1 Результаты тепловизионного обследования корпуса СФУ с дополнительным утеплением

Для оценки тепло-влажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых ограждений проведено исследование нескольких угловых сопряжений в здании Сибирского Федерального Университета, расположенного по адресу г. Красноярск, Свободный проспект, 82а.

Съемка тепловизором проводилась в исследуемых помещениях в феврале. Температура наружного воздуха составляла $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность воздуха 72% .

Результаты измерений в углу на лестничной клетке на разных этажах представлены на рисунках 3.1, 3.2 и 3.3 соответственно.



Рисунок 3.1 – Фрагмент углового сопряжения на 5-м этаже лестничной клетки

Температура в углу значительно ниже, чем на глади стены. Температура в углу составляет $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; влажность воздуха $12,4\%$. Температура в помещении составила $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

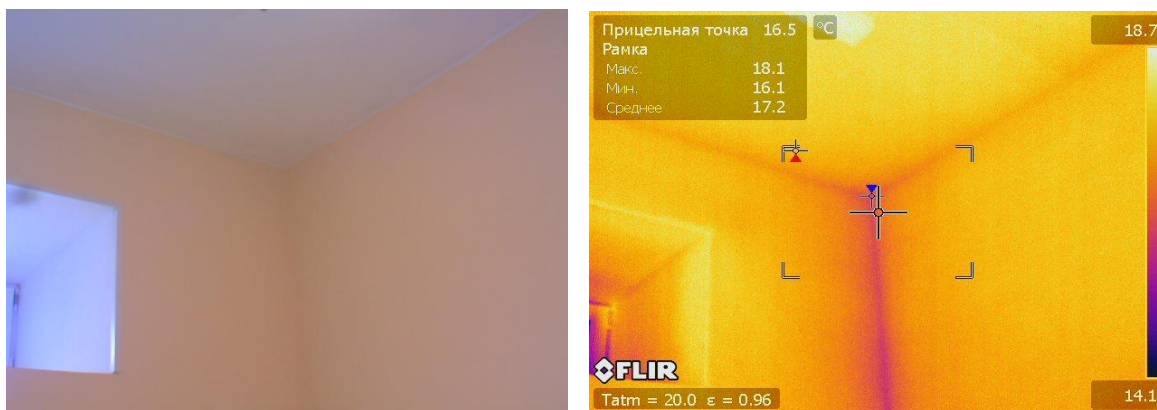


Рисунок 3.2 – Угловое сопряжение на 6-м этаже лестничной клетки

Температура в углу составляет 16,1 °С, влажность воздуха 12,7 %.
Температура в помещении составляет 19,7 °С.

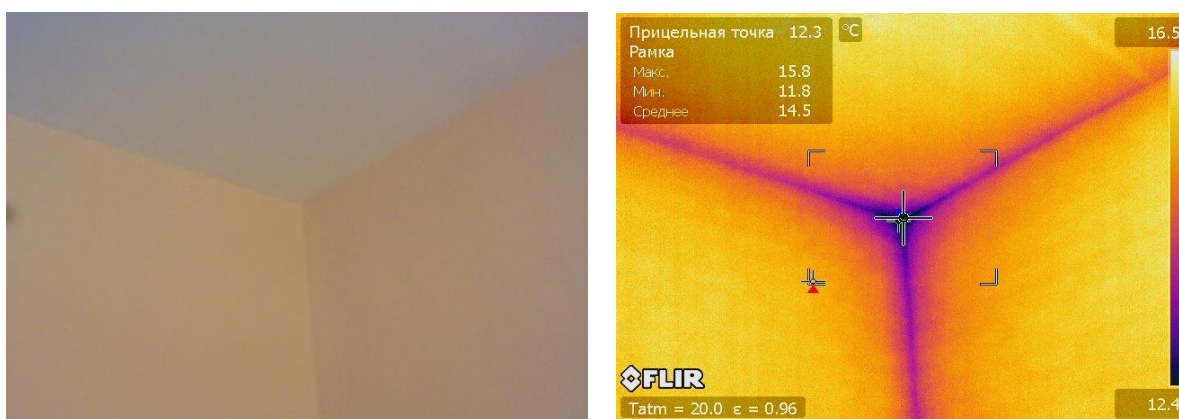


Рисунок 3.3 – Фрагмент углового сопряжения на техническом этаже

Температура в углу составляет 11,8 °С, влажность воздуха 14,1 %.
Температура в помещении составляет 18,4 °С. Температура в углу близка к температуре точки росы, при ее достижении и при повышении влажности внутреннего воздуха до 55% будет гарантировано выпадение конденсата на поверхности стены.

В аудитории А501 были исследованы прямой угол и тупой угол.

Фрагменты углового сопряжения и термография тупого и прямого угла представлены на рисунках 3.4 и 3.5 соответственно.



Рисунок 3.4 – Фрагмент углового сопряжения и термография тупого угла

В тупом углу перепад температур на глади стены и в самом углу меньше, чем в прямом. Это связано с тем, что соотношение между площадями теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностью меньше, чем в случае с прямым углом.

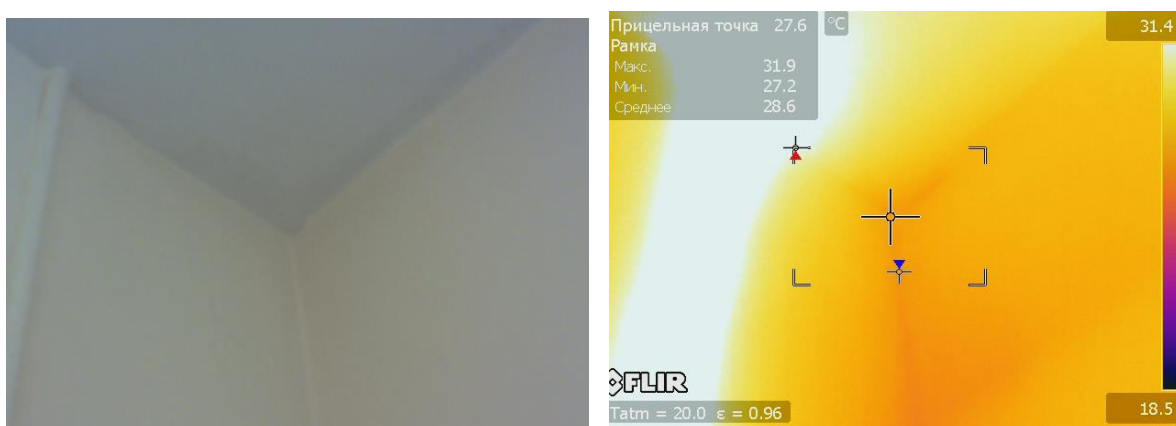


Рисунок 3.5 – Термография прямого угла

Незначительный перепад температур в данном угловом сопряжении объясняется расположением стояка разводящего трубопровода центрального отопления вблизи угла, что значительно повышает температуру в углу.

Исследован фрагмент примыкания перегородки к наружной стене. Результаты приведены на рисунке 3.6.

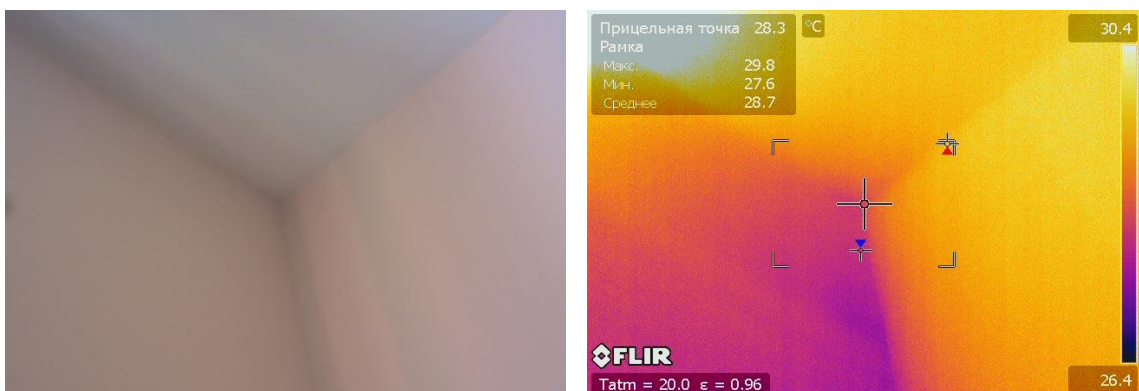


Рисунок 3.6 – Фрагмент примыкания перегородки и наружной стены

Температура в углу составляет 27,6 °С, влажность воздуха 14,5 %. Перегородка является конструкцией, которая передает тепло к наружной холодной поверхности.

3.2 Климатические показатели и параметры микроклимата в помещении

Климатические показатели и параметры микроклимата в помещении для условий г. Красноярска представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Климатические показатели и параметры микроклимата

№	Показатель	Значение	Обоснование
1	Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, t_n , °С,	- 37	табл. 3.1, СП 131.13330.2020
2	Средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, $t_{от}$, °С	- 6,6	табл. 3.1, СП 131.13330.2020
3	Продолжительность отопительного периода, $z_{от}$, сут	234	табл. 3.1, СП 131.13330.2020
4	Средняя месячная относительная влажность наиболее холодного месяца, ф, %	72	табл. 3.1, СП 131.13330.2020
5	Расчетная температура внутреннего воздуха, t_v , °С (жилая комната)	21	табл. 1, ГОСТ 30494-2011

Продолжение таблицы 3.1

№	Показатель	Значение	Обоснование
6	Относительная влажность воздуха $\varphi_{int},\%$ (жилая комната)	55	п. 5.7. СП 50.13330.2012
7	Температура точки росы, $t_p, ^\circ\text{C}$ (жилая комната)	11,62	прил. Р, СП 23-101-2004
8	Влажностный режим помещений (условия эксплуатации)	нормальный (А)	табл. 2, СП 50.13330.2012

Средняя месячная температура, парциальное давление и относительная влажность наружного воздуха представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Средняя месячная температура, парциальное давление и относительная влажность наружного воздуха

№ п/п	Месяц	Средняя месячная температура наружного воздуха, $t_{ext}, ^\circ\text{C}^*$	Среднее месячное парциальное давление водяного пара, гПа ^{**}	Относительная влажность наружного воздуха, $\varphi_{ext}, \%$
1	Январь	-16,3	1,6	89
2	Февраль	-13,9	1,8	83
3	Март	-5,9	2,9	72
4	Апрель	2,4	4,4	60
5	Май	9,7	6,8	56
6	Июнь	16,4	12,0	64
7	Июль	18,7	15,4	71
8	Август	15,6	13,6	77
9	Сентябрь	9	8,8	77
10	Октябрь	1,7	5,2	75
11	Ноябрь	-7,4	3,0	84
12	Декабрь	-13,6	1,9	86
* – согласно табл. 5.1, СП 131.13330.2020;				
** – согласно табл. 7.1, СП 131.13330.2020				

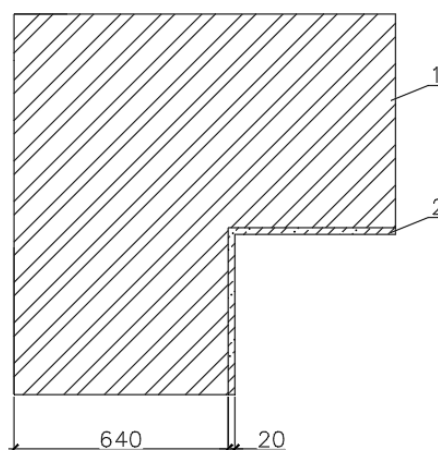
3.3 Теплотехнический расчет исходной конструкции стены

Для расчета исходной конструкции был взят фрагмент кирпичной стены:

- кладка из кирпича глиняного обыкновенного ($\delta = 640$ мм);
- внутренний слой: штукатурный - цементно-песчаный раствор ($\delta = 20$ мм).

Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции приведены в таблице 3.3.

Конструкция углового сопряжения представлена на рисунке 3.7.



1 – кладка из кирпича ($\delta = 0,64$ м); 2 – штукатурный слой ($\delta = 0,02$ м)

Рисунок 3.7 – Исходная конструкция

Таблица 3.3 – Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции

№ слоя	Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя, δ , м
1	Кладка из обыкновенного глиняного кирпича, $\gamma=1800$ кг/м ³	0,7	0,64
2	Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), $\gamma=1800$ кг/м ³	0,76	0,02

По формуле (2.1.3)

$$\Gamma_{\text{СОП}} = (21 - (-6,6)) \cdot 234 = 6458,4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год.}$$

По формуле (2.1.2)

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 6458,4 + 1,4 = 3,66 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

По формуле (2.1.1) $R_0^{\text{НОРМ}} = 3,66 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$

По формуле (2.1.4)

$$R_0^{\text{УСЛ}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,099 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

По формуле (2.1.4)

$$R_0^{\text{ПР}} = 1,099 \cdot 0,95 = 1,044 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт.}$$

$$R_0^{\text{ПР}} < R_0^{\text{НОРМ}}.$$

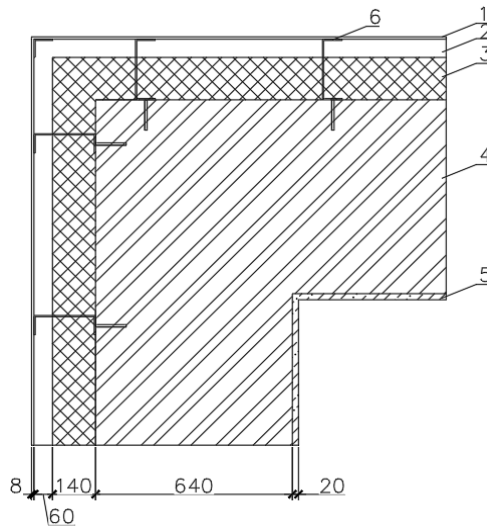
Условие не выполняется, необходимо применить меры по улучшению тепловой защиты здания.

Учитывая законодательную необходимость устройства дополнительного утепления в дальнейшем рассматриваются варианты устройства навесного вентилируемого фасада и штукатурного утепленного фасада.

3.4 Теплотехнический расчет конструкции стены при устройстве навесного вентилируемого фасада

Конструкция углового сопряжения приведена на рисунке 3.8.

Теплотехнические характеристики стеновой конструкции приведены в таблице 3.4.



1 – плиты облицовочные ($\delta = 0,08$ м); 2 – воздушный зазор ($\delta = 0,06$ м); 3 – утеплитель ($\delta = 0,14$ м); 4 – кладка из кирпича ($\delta = 0,64$ м); 5 – штукатурный слой ($\delta = 0,020$ м); 6 – элемент крепления облицовочного слоя

Рисунок 3.8 – Конструкция углового сопряжения

Таблица 3.4 – Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции

№ слоя	Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя, δ , м
1	Плиты облицовочные	-	0,008
2	Воздушный зазор	-	0,06
3	Утеплитель «ТехноВент Оптима» $\gamma = 90$ кг/м ³	0,04	x
4	Кладка из обыкновенного глиняного кирпича, $\gamma = 1800$ кг/м ³	0,7	0,64
5	Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), $\gamma = 1800$ кг/м ³	0,76	0,02

Толщина утеплителя

$$\delta_s = \left(3,66 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,64}{0,7} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{1}{12} \right) \cdot 0,04 = 0,109 \text{ м.}$$

Принимаю толщину утеплителя 140 мм исходя из условий п. 5.7 [33].

По формуле (2.1.5)

$$R_o^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,14}{0,04} + \frac{1}{12} = 4,85 \text{ (м}^2 \cdot \text{° C)/Вт.}$$

По формуле (2.1.4)

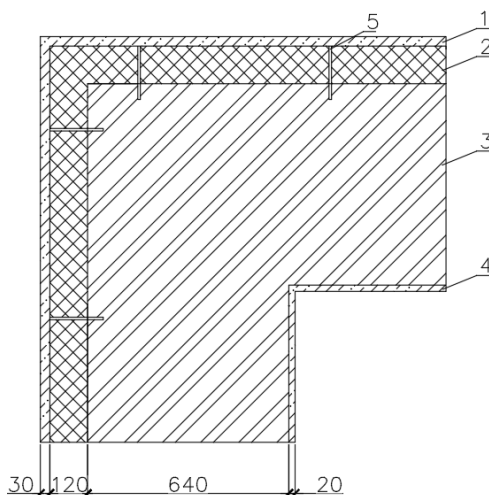
$$R_o^{пр} = 4,85 \cdot 0,75 = 3,68 > R_o^{норм} = 3,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{° C)/Вт.}$$

Условие выполняется.

Конструкция удовлетворяет требованиям.

3.5 Теплотехнический расчет конструкции стены при устройстве штукатурного утепленного фасада

Конструкция углового сопряжения приведена на рисунке 3.9.



1 – штукатурный слой ($\delta = 0,03$ м); 2 – утеплитель ($\delta = 0,12$ м); 3 – кладка из кирпича ($\delta = 0,64$ м); 4 – штукатурный слой ($\delta = 0,02$ м); 6 – элемент крепления

Рисунок 3.9 – Конструкция углового сопряжения

Теплотехнические характеристики конструкции приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Теплотехнические характеристики ограждающей конструкции

№ слоя	Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя, δ , м
1	Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), $\gamma=1800$ кг/м ³	0,76	0,03
2	Плиты из минеральной ваты ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ	0,04	x
3	Кладка из обыкновенного глиняного кирпича, $\gamma=1800$ кг/м ³	0,7	0,64
4	Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), $\gamma=1800$ кг/м ³	0,76	0,02

Толщина утеплителя

$$\delta_s = \left(3,66 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,03}{0,76} - \frac{0,64}{0,7} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,04 = 0,112 \text{ м.}$$

Принимаю толщину утеплителя 120 мм.

$$R_o^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,64}{0,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{1}{23} = 4,14 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт.}$$

$$R_o^{\text{пр}} = 4,14 \cdot 0,92 = 3,81 > R_o^{\text{норм}} = 3,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт.}$$

Условие выполняется.

Конструкция удовлетворяет требованиям.

3.6 Определение сопротивления паропрооницанию

3.6.1 Определение сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции с устройством навесного вентилируемого фасада

Средняя температура наружного воздуха за период с отрицательными среднемесячными температурами

$$t_{н,отр.} = \frac{(-16,3 + (-13,9) + (-5,9) + (-7,4) + (-13,6))}{5} = -11,42 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При температуре $t_b = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$ значение парциального давления насыщенного водяного пара по формуле (2.1.13)

$$E_b = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+21}\right) = 2462,54 \text{ Па}.$$

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха по формуле (2.1.11)

$$e_b = \frac{55}{100} \cdot 2462,54 = 1354,4 \text{ Па}.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами

$$e_{н, отр} = \frac{(160+180+290+300+190)}{5} = 224 \text{ Па}.$$

Общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции

$$R_{о.п.} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,64}{0,11} + \frac{0,14}{0,32} = 6,48 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}.$$

Определяю положение плоскости максимального увлажнения согласно п. 8.5 [33].

Результаты расчетов приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6. – Результаты расчетов

№ слоя	Толщина слоя, δ , м	f_i ($t_{м.у.}$)	$t_{м.у.}$, °С	t_x , °С
Помещение				20,26
1	0,02	24,19	>27	
1-2				20,06
2	0,64	32,09	23	
2-3				13,91
3	0,14	1719,91	-36	
Улица				-11,22

При сравнении значений $t_{м.у.}$ с температурами на границах слоев конструкции согласно п. 8.5.4 [33], можно сделать вывод, что плоскость максимального увлажнения отсутствует.

Внутри конструкции плоскость максимального увлажнения отсутствует, следовательно, она расположена вне ее пределов [п. 8.5.5, 33].

Накопление влаги в рассмотренном стеновом ограждении происходить не будет. Конструкция удовлетворяет требованиям по паропроницаемости.

3.6.2 Определение сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции с устройством штукатурного утепленного фасада

Определяю сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения.

Принимаю плоскость максимального увлажнения на наружной границе утеплителя, так как паропроницаемость материала наружного защитного слоя меньше, чем у материала теплоизоляционного слоя, термическое сопротивление теплоизоляционного слоя $> \frac{2}{3} R_0^{усл}$ ($R_y = \frac{0,12}{0,04} = 3 > 2,76$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°С}$)/Вт) и выполняется неравенство $\frac{\mu_{ут}}{\lambda_{ут}} > 2$ (согласно п. 8.5.5, 33).

Сопротивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения

$$R_n = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,64}{0,11} + \frac{0,12}{0,32} = 6,42 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг}.$$

1. Определение требуемого сопротивления паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации.

Сопротивление теплопередаче части многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, определяемой по формуле 8.11 [33]

$$R_x = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,64}{0,7} + \frac{0,12}{0,04} = 4,06 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}.$$

К зимнему периоду в условиях города Красноярска относятся: январь, февраль, март, ноябрь, декабрь. Продолжительность зимнего периода z_1 составляет 5 месяцев.

Средняя температура за период

$$t_{01} = \frac{(-16,3 + (-13,9) + (-5,9) + (-7,4) + (-13,6))}{5} = -11,42 \text{ °C}.$$

Температура ограждающей конструкции в плоскости возможной конденсации по формуле (2.1.14)

$$t_1 = 21 - \frac{21 - (-11,42)}{4,14} \cdot 4,06 = -10,79 \text{ °C}.$$

К весенне-осеннему периоду относятся: апрель, октябрь.
 Продолжительность весенне-осеннего периода z_2 составляет 2 месяца.

$$t_{02} = \frac{2,4 + 1,7}{2} = 2,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$t_2 = 21 - \frac{21 - 2,05}{4,14} \cdot 4,06 = 2,42 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

К летнему периоду относятся: май, июнь, июль, август, сентябрь.
 Продолжительность летнего периода z_3 составляет 5 месяцев.

$$t_{03} = \frac{9,7 + 16,4 + 18,7 + 15,6 + 9}{5} = 13,88 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$t_3 = 21 - \frac{21 - 13,88}{4,14} \cdot 4,06 = 14,01 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара по формуле (2.1.13)

$$E_1 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + (-10,79)}\right) = 273,41 \text{ Па}.$$

$$E_2 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + 2,42}\right) = 724,83 \text{ Па}.$$

$$E_3 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + 14,01}\right) = 1583,54 \text{ Па}.$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации по формуле (2.1.12)

$$E = \frac{273,41 \cdot 5 + 724,83 \cdot 2 + 1583,54 \cdot 5}{12} = 894,53 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения по (2.1.7)

$$R_{п.н.} = \frac{0,03}{0,09} = 0,33 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг.}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период

$$e_n = \frac{160+180+290+440+680+1200+1540+1360+880+520+300+190}{12} = 645 \text{ Па.}$$

Требуемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(1354,4-894,53) \cdot 0,33}{894,53-645} = 0,61 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг.}$$

2. Определение требуемого сопротивления паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха.

Продолжительность периода влагонакопления $z_0 = 151$ сут, средняя температура наружного воздуха периода накопления $t_0 = -11,42$ °С.

Температура ограждающей конструкции в плоскости возможной конденсации по формуле (2.1.14) составляет

$$t = 21 - \frac{21 - (-11,42)}{4,14} \cdot 4,06 = -10,79 \text{ °С.}$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения составляет

$$E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+(-10,79)}\right) = 273,41 \text{ Па.}$$

Коэффициент η по формуле (2.1.10) составляет

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (273,41 - 224) \cdot 151}{0,33} = 54,26.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по формуле (2.1.9)

$$R_{n2}^{тр} = \frac{0,0024 \cdot 151 (1354,4 - 273,41)}{\left(1800 \cdot \frac{0,03}{2} \cdot 2 + 133 \cdot \frac{0,12}{2} \cdot 3\right) + 54,26} = 2,97 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг.}$$

Проверка требований.

$$1. R_n = 6,42 > R_{n1}^{тр} = 0,61 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг.}$$

$$2. R_n = 6,42 > R_{n2}^{тр} = 2,97 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг.}$$

Условия выполняются.

Накопление влаги в стеновом ограждении происходить не будет. Конструкция удовлетворяет требованиям по паропроницаемости.

3.7 Результаты численного моделирования

Численное моделирование конструкции проводилось в программном комплексе COMSOL Multiphysics.

В расчете использовались зависимости теплопроводности материалов от относительной влажности и зависимости сорбционной влажности от

относительной влажности воздуха, полученные на основе литературных и нормативных данных.

Характеристики материалов представлены на рисунках 3.10 и 3.11.

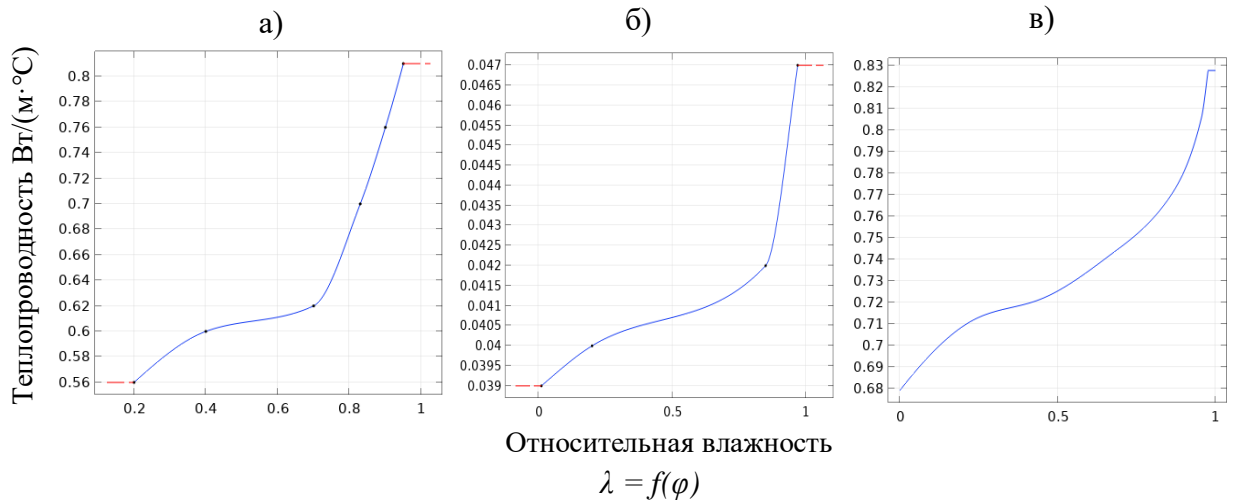


Рисунок 3.10 – Зависимость теплопроводности от относительной влажности воздуха: а) кирпич; б) утеплитель; в) штукатурный раствор

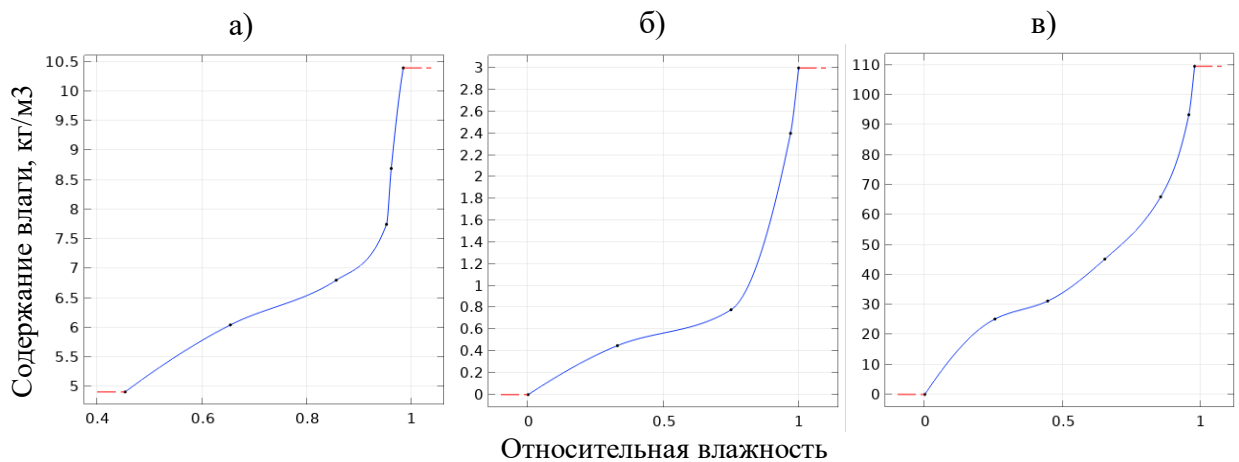


Рисунок 3.11 – Зависимость содержания влаги в материале от относительной влажности воздуха: а) кирпич; б) утеплитель; в) штукатурный раствор

3.7.1 Исходная конструкция

Распределение температурных полей в исходной конструкции представлено на рисунке 3.10.

При расчетной температуре наружного воздуха $t_n = -37\text{ }^\circ\text{C}$, температура в углу, t_y , составляет $7\text{ }^\circ\text{C}$, что ниже температуры точки росы, $t_p = 11,62\text{ }^\circ\text{C}$ [36]. При расчетной влажности 55% в углу гарантировано выпадение конденсата.

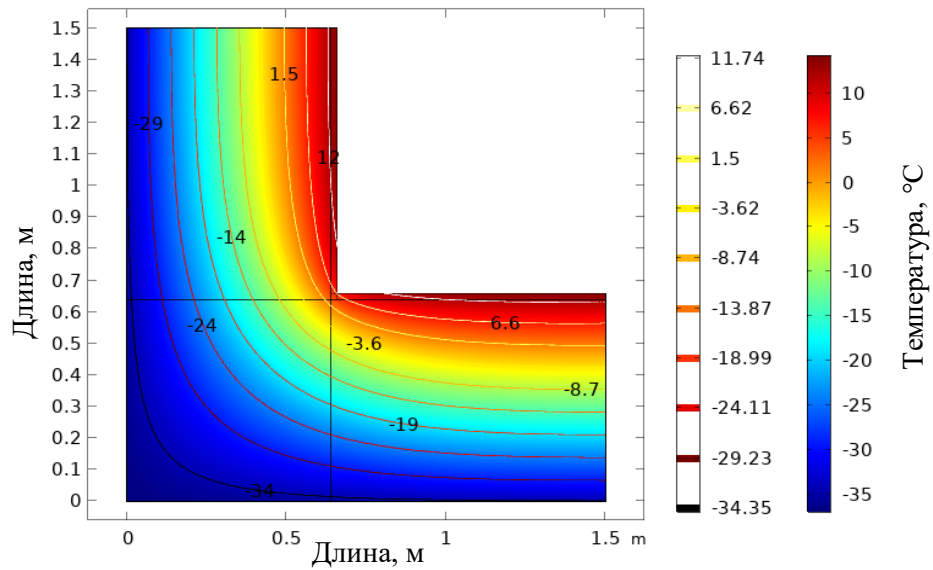


Рисунок 3.10 – Распределение температурных полей в исходной конструкции

На рисунке 3.11 представлен график изменения температуры и влажности по глади стены в направлении к углу.

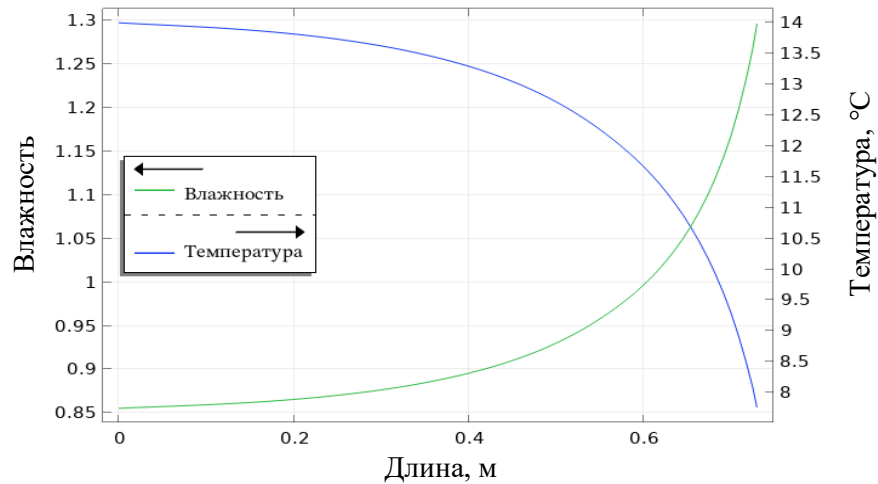


Рисунок 3.11 – График изменения температуры и влажности по глади стены в направлении к углу

По мере приближения к углу наблюдается резкое снижение температуры и повышение влажности.

Распределение влажностных полей при температуре наружного воздуха $t_n = -16,3\text{ }^\circ\text{C}$ приведено на рисунке 3.12.

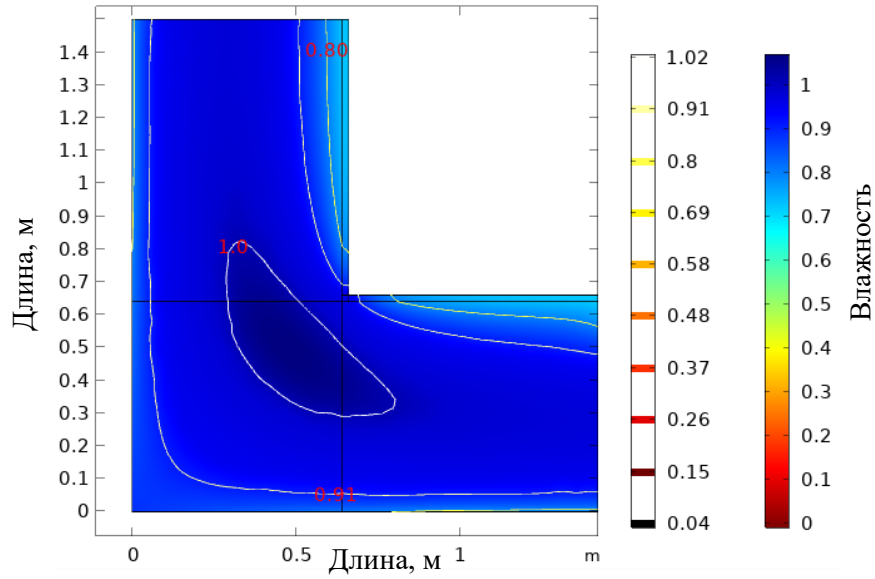


Рисунок 3.12 – Распределение влажностных полей в исходной конструкции

В несущем слое конструкции наблюдается повышенная влажность.

На рисунке 3.13 представлено распределение парциальных давлений по сечению стены и в угловом сопряжении.

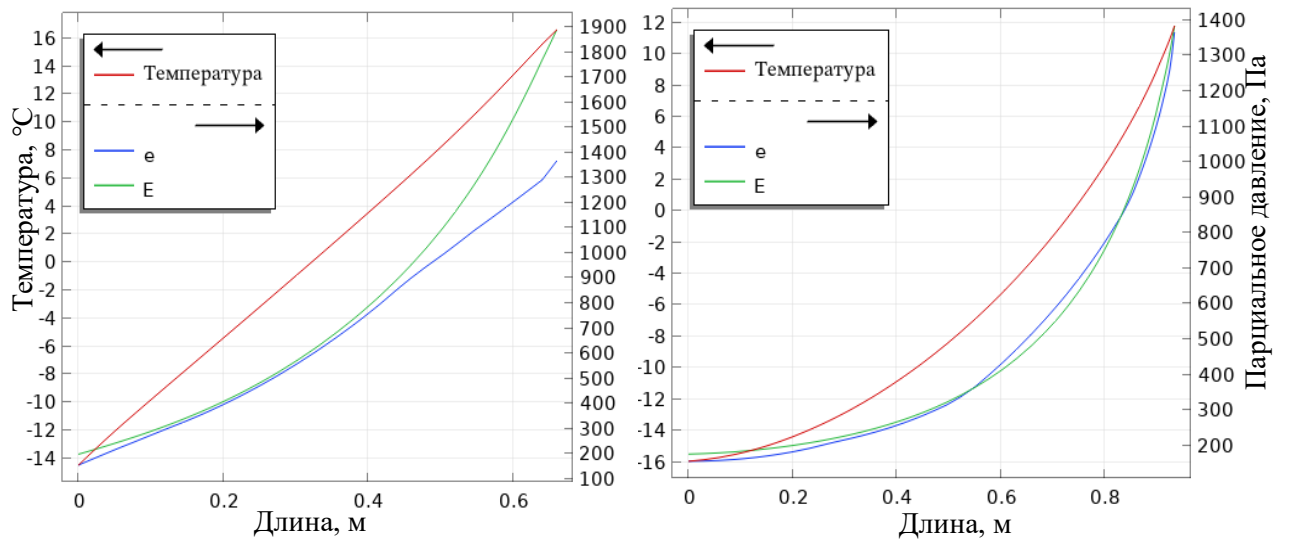


Рисунок 3.13 – Распределение парциальных давлений по сечению стены и в угловом сопряжении

Графики распределения парциального давления показывают, что на участке глади стены действительное парциальное давление не превышает максимальное, однако в угловом сопряжении кривые дважды пересекаются, что свидетельствует о наличии условий для конденсации влаги в толще ограждения. Плоскость конденсации находится между точками пересечения этих графиков и приходится на слой кирпичной кладки, то есть влага конденсируется в несущей стене.

Расчеты по своду правил предполагают проверку требований паропроницаемости только на глади конструкции и не учитывают угловое сопряжение.

Исходная конструкция не удовлетворяет современным теплотехническим требованиям, в связи с чем необходимо устройство дополнительного утепления.

3.7.2 Конструкция с навесным вентилируемым фасадом

Распределение температурных полей в конструкции представлено на рисунке 3.14. За расчетную температуру наружного воздуха принята температура воздуха наиболее холодной пятидневки, $t_n = -37^\circ\text{C}$.

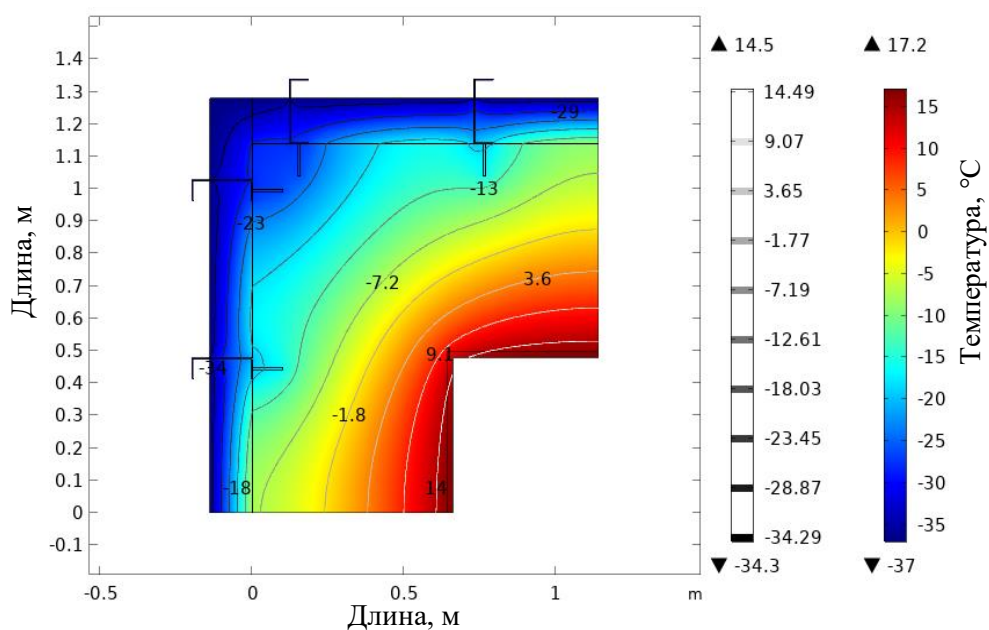


Рисунок 3.14 – Распределение температурных полей в конструкции

Температура в углу, t_y , составляет 12,3 °С, что выше температуры точки росы, что удовлетворяет требованиям п. 5.7 [33]. Температура на глади стены на расстоянии 0,5 м от угла составляет 17,1 °С.

На рисунке 3.15 показаны линии, по которым определяются параметры.

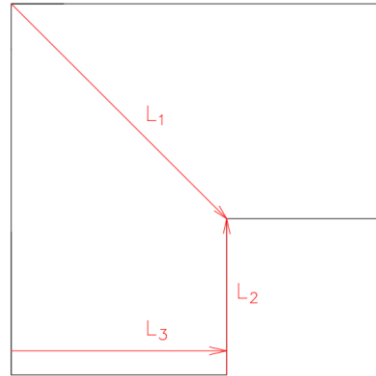


Рисунок 3.15 – Линии для определения параметров

На рисунке 3.16 представлены графики изменения температуры и относительной влажности от наружного к внутреннему углу (по линии L_1) и по глади стены в направлении к углу (по линии L_2).

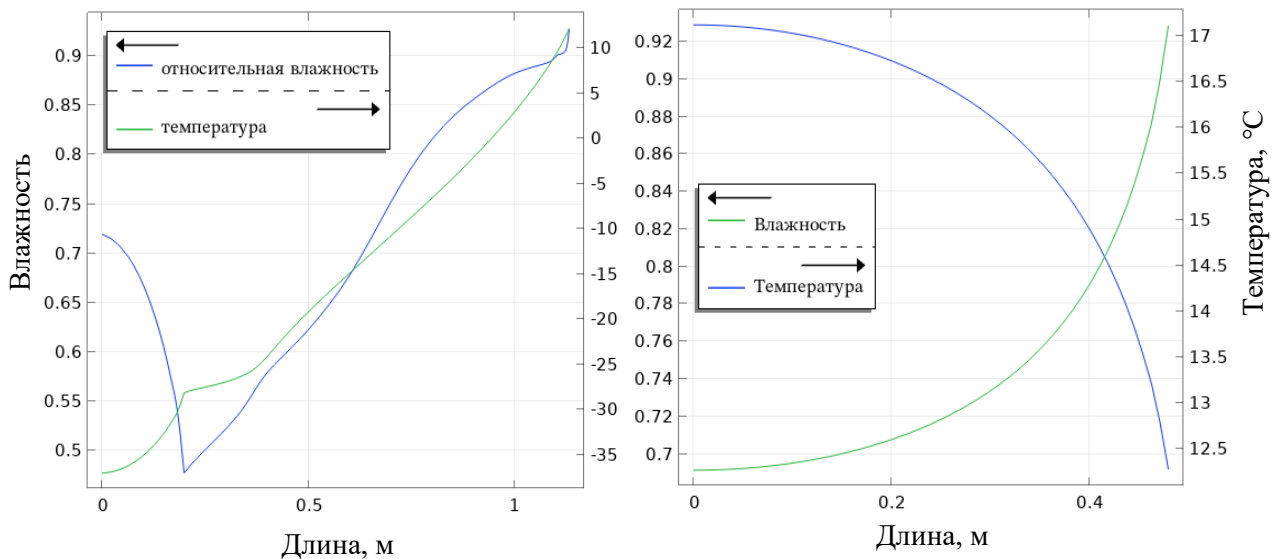


Рисунок 3.16 – Графики изменения температуры и относительной влажности от наружного к внутреннему углу и по глади стены в направлении к углу

По мере приближения к углу значительно возрастает влажность и понижается температура. График изменения влажности в конструкции имеет сложный характер и коррелируется с графиком температуры.

На рисунке 3.17 приведен график изменения относительной влажности и плотности теплового потока по глади стены по направлению к углу (линия L₂).

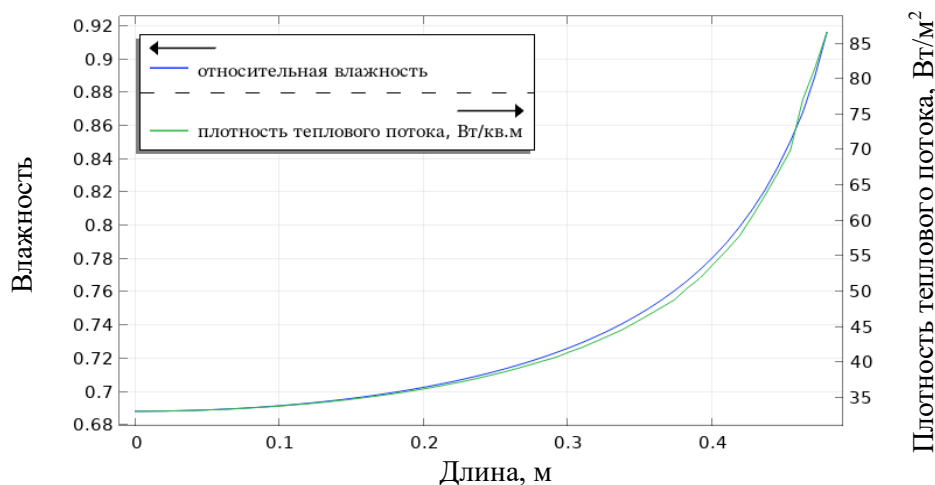


Рисунок 3.17 – График изменения относительной влажности и плотности теплового потока по глади стены по направлению к углу

При увеличении относительной влажности воздуха увеличивается тепловой поток.

На рисунке 3.18 приведен график изменения теплопроводности по толще стены (по линии L₃).

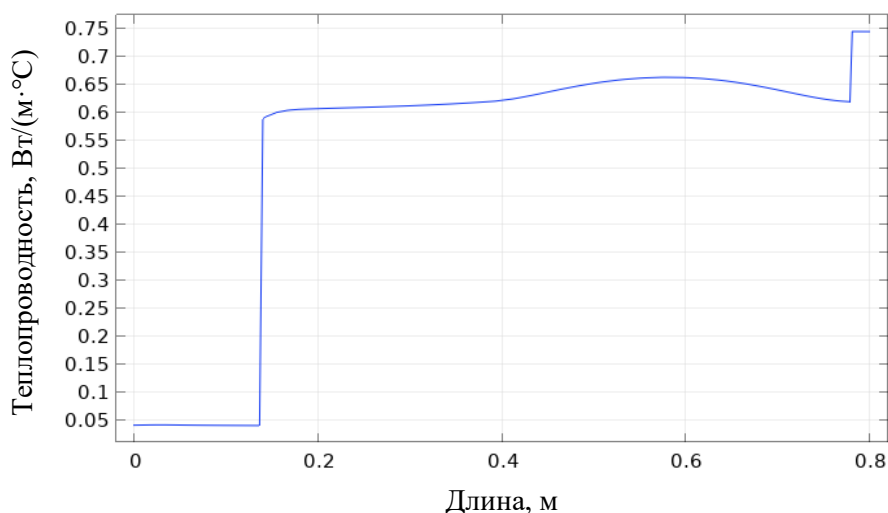


Рисунок 3.18 – График изменения теплопроводности по сечению стены

В таблице 3.7 представлено сравнение фактических значений теплопроводности (в зависимости от влажности) с нормативными значениями для условий эксплуатации А [33].

Таблица 3.7 – Значения фактической и нормативной теплопроводности

Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)		Разница, %
	По СП 50	Фактическая	
Утеплитель	0,04	0,04-0,038	5
Кирпичная кладка	0,7	0,58-0,67	4,3-17,1
Штукатурный раствор	0,76	0,74	2,6

Теплопроводность в разных точках конструкции значительно отличается в зависимости от материала и влажности, не всегда соответствует нормативным значениям.

На рисунке 3.19 приведено распределение влажностных полей при температуре наружного воздуха $t_n = -16,3$ °С (температура наиболее холодного месяца).

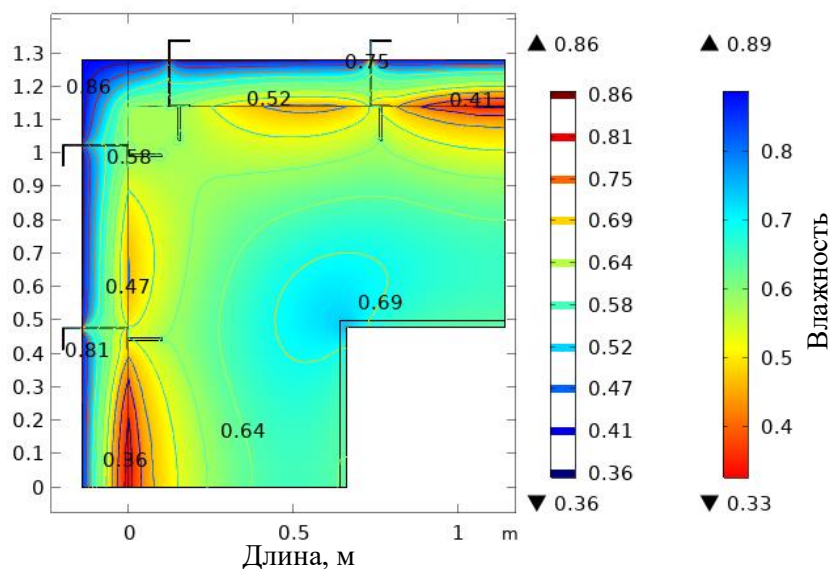


Рисунок 3.19 – Распределение влажностных полей

На рисунке 3.20 приведены графики распределения парциального давления и температуры по толще стены (по линии L_3) и по углу (по линии L_1).

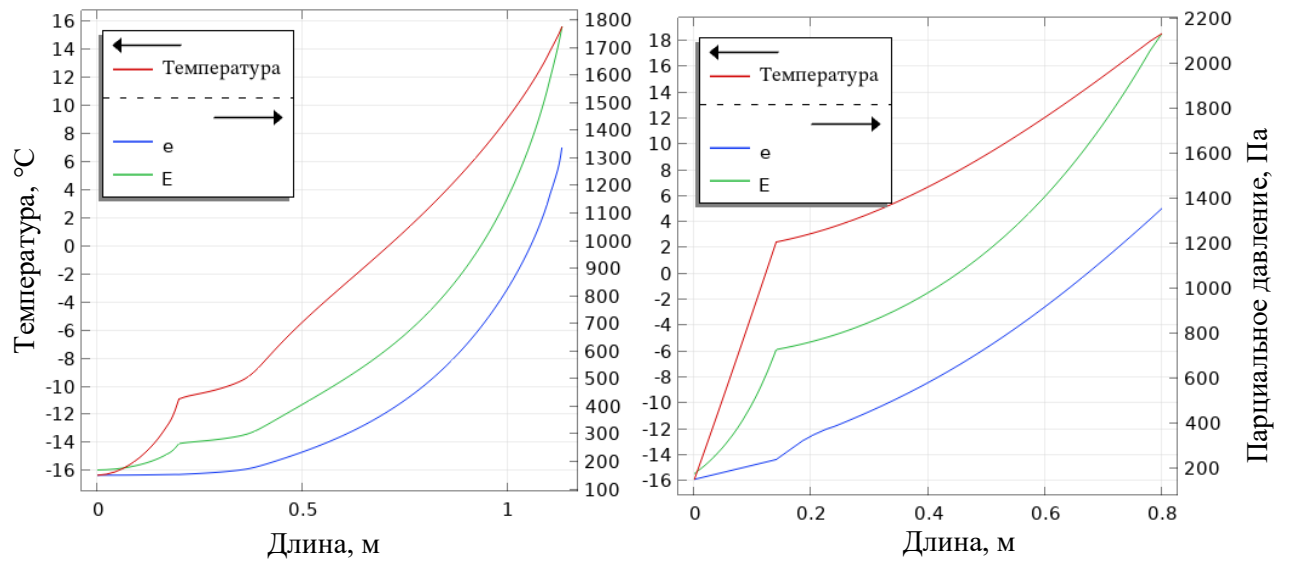


Рисунок 3.20 – График распределения парциального давления и температуры по толще стены (линия L₃) и по углу (линия L₁)

На рисунке 3.21 приведены распределение влажностных полей и график распределения парциального давления и температуры в угловом соединении при $t_n = -37\text{ °C}$.

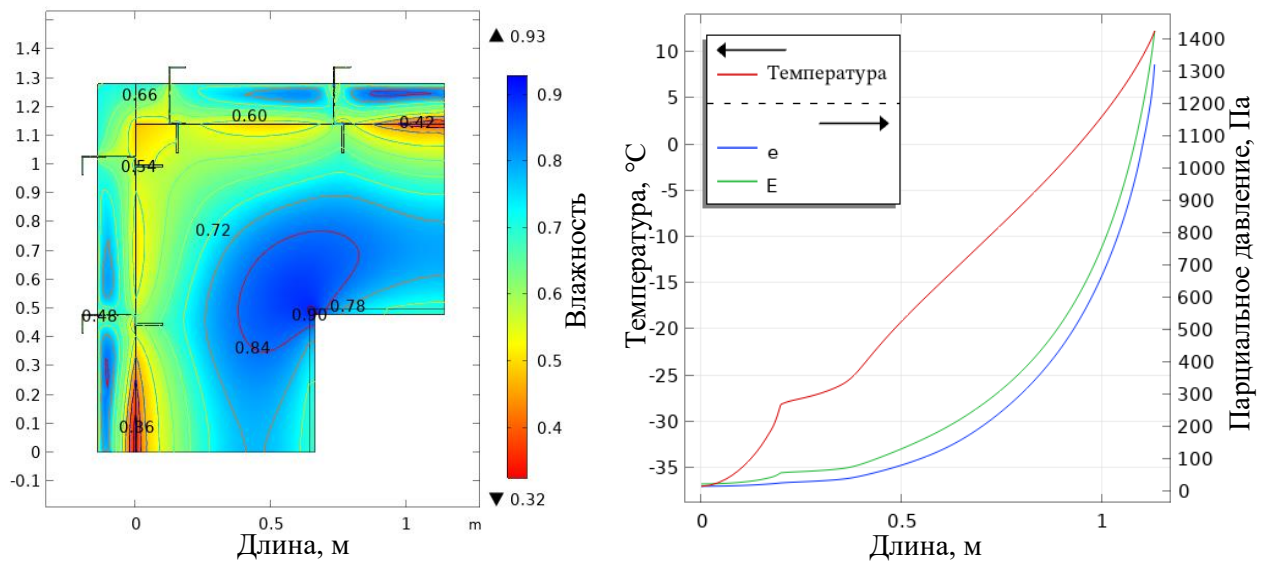


Рисунок 3.21 – Распределение влажностных полей и график распределения парциального давления и температуры в угловом соединении

Во всех точках конструкции величина действительного парциального давления меньше величины максимального парциального давления, что

указывает на отсутствие зон конденсации водяного пара в ограждающей конструкции, и, в частности, в угловом сопряжении. Кривые не пересекаются, что доказывает невозможность образования конденсата.

Зоны конденсации не наблюдаются и при минимальных температурах. Зона повышенной влажности располагается в угловом сопряжении, но в зоне положительных температур и незначительных отклонений от нуля.

В угловом сопряжении величина парциального давления ниже, чем на по сечению стены в связи с пониженной температурой в угловом сопряжении.

3.7.3 Конструкция со штукатурным утепленным фасадом

Распределение температурных полей в исходной конструкции при $t_{н} = -37^{\circ}\text{C}$ представлено на рисунке 3.22.

Температура в углу, t_{y} , составляет $12,5^{\circ}\text{C}$, что выше температуры точки росы. Температура на глади стены составляет $17,2^{\circ}\text{C}$.

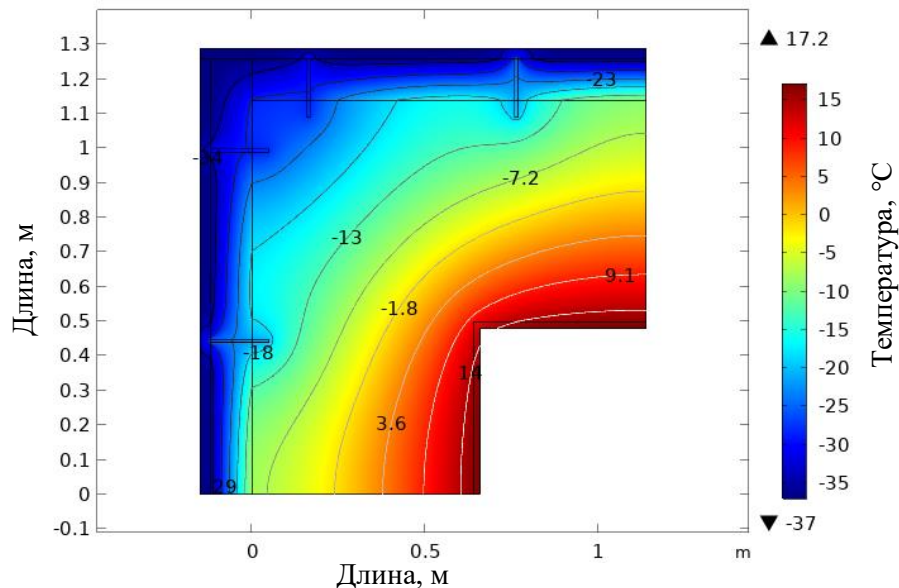


Рисунок 3.22 – Распределение температурных полей в конструкции

На рисунке 3.23 Приведен график изменения температуры и относительной влажности по глади стены в направлении к углу (по линии L_2).

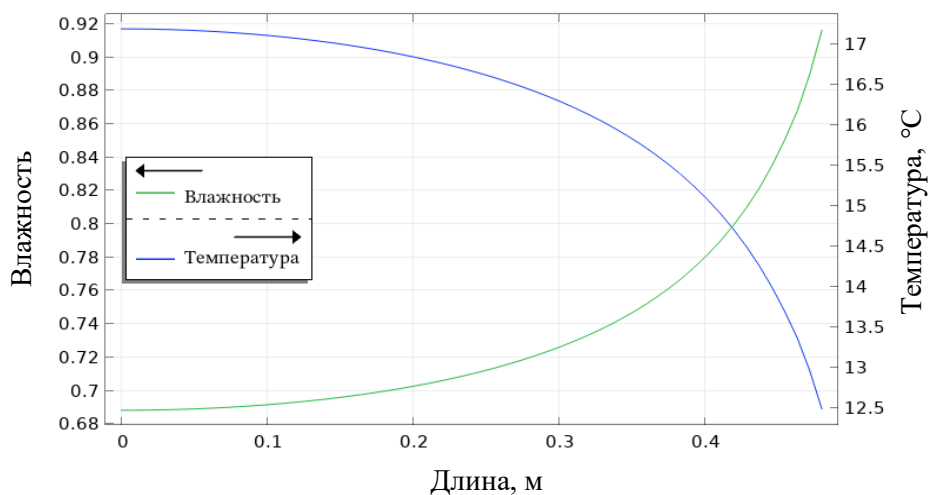


Рисунок 3.23 – График изменения температуры и относительной влажности по глади стены в направлении к углу

По мере приближения к углу значительно возрастает влажность и понижается температура.

На рисунке 3.24 приведен график изменения относительной влажности и плотности теплового потока по глади стены по направлению к углу (линия L_2).

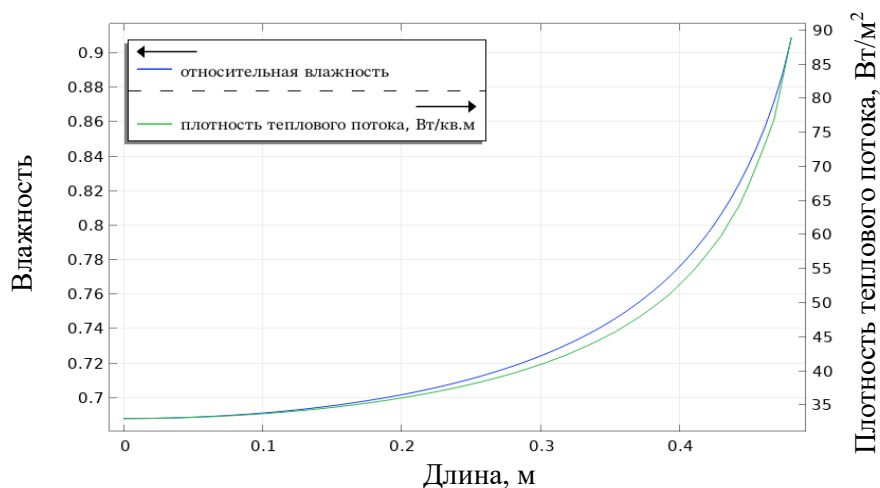


Рисунок 3.24 – График изменения относительной влажности и плотности теплового потока по глади стены по направлению к углу

При увеличении относительной влажности воздуха увеличивается тепловой поток.

На рисунке 3.25 приведен график изменения теплопроводности по толще стены вблизи углового сопряжения (по линии L₃).

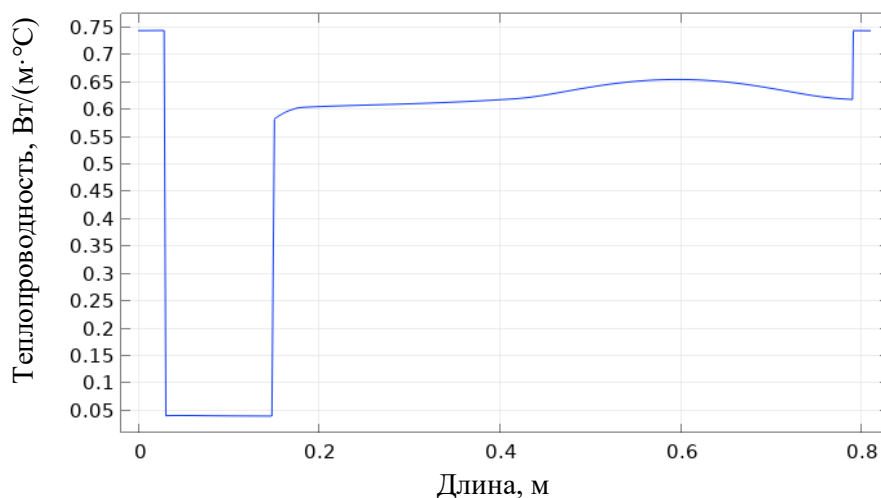


Рисунок 3.25 – График изменения теплопроводности по сечению стены

В таблице 3.8 приведено сравнение фактических значений теплопроводности (в зависимости от влажности) с нормативными значениями для условий эксплуатации А [33].

Таблица 3.8 – Значения фактической и нормативной теплопроводности

Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)		Разница, %
	По СП 50	Фактическая	
Штукатурный раствор 1	0,76	0,74	2,6
Утеплитель	0,04	0,04-0,039	2,5
Кирпичная кладка	0,7	0,58-0,66	6,7-17,2
Штукатурный раствор 2	0,76	0,78-0,79	3,9

Наибольшие изменения – в кирпичной кладке, где происходит резкая перемена влажности. Значения отличаются от задаваемых в расчетах по СП 50.13330.2012.

На рисунке 3.26 приведено распределение влажностных полей при температуре наружного воздуха $t_n = -16,3$ °С.

На рисунке 3.27 приведены графики распределения парциального давления и температуры по толще стены (по линии L₃) и по углу (по линии L₁).

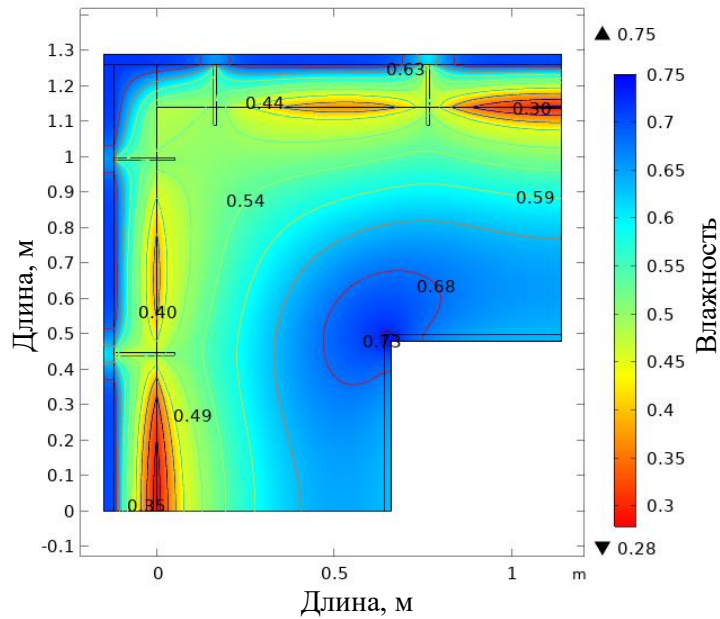


Рисунок 3.26 – Распределение влажностных полей в конструкции

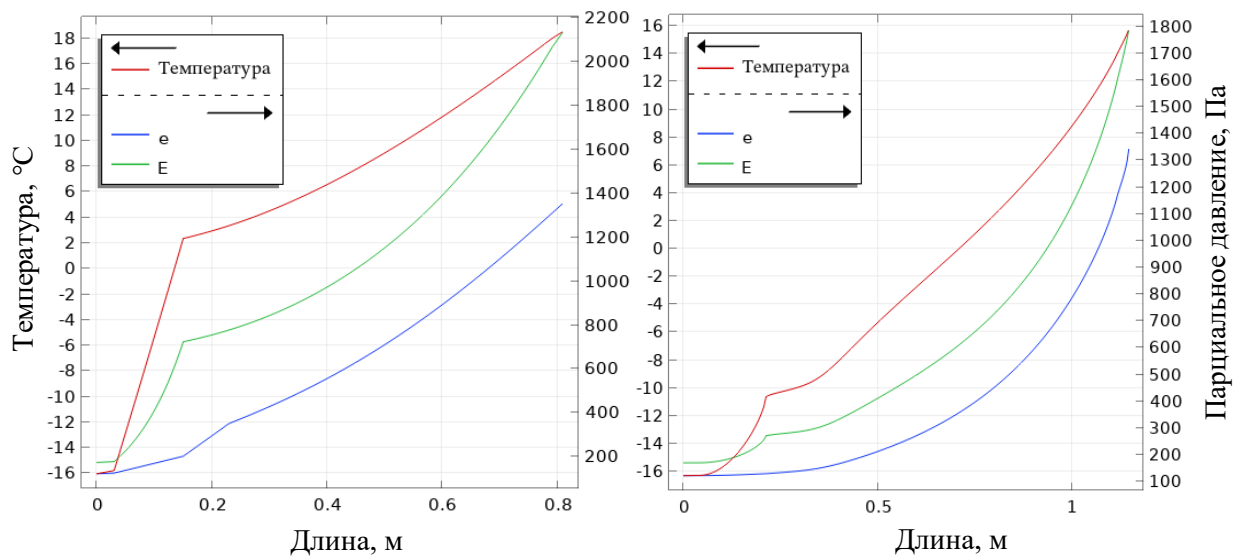


Рисунок 3.27 – График распределения парциального давления и температуры по сечению (линия L₃) и в углу (линия L₁)

На рисунке 3.28 приведены распределение влажностных полей и график распределения парциального давления и температуры в угловом соединении при $t_n = -37\text{ °C}$.

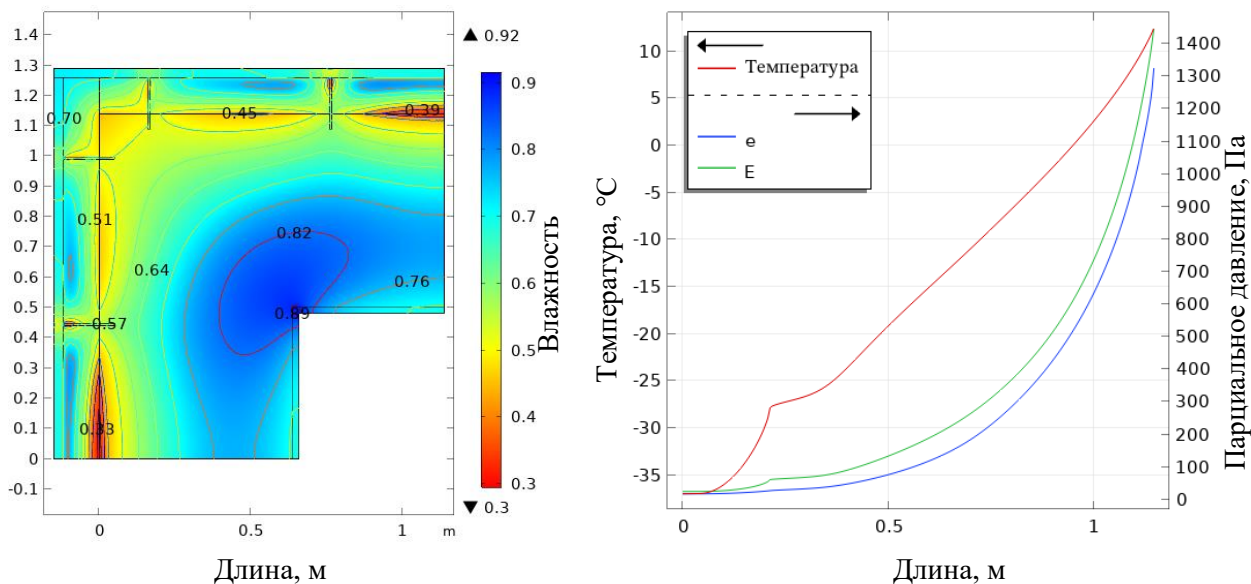


Рисунок 3.28 – Распределение влажностных полей и график распределения парциального давления и температуры в угловом соединении

На всех участках конструкции величина действительного парциального давления меньше величины максимального парциального давления, кривые не пересекаются, что доказывает невозможность образования конденсата в толще конструкции. При температуре воздуха $t_n = -37^\circ\text{C}$ и при повышенной влажности в зоне углового сопряжения также не происходит образования зоны конденсации водяного пара.

3.7.4 Влагонакопление за годовой период эксплуатации

Периоды влагонакопления в строительной конструкции могут быть оценены по двум параметрам:

- скорость накопления или сушки;
- продолжительность периода накопления или сушки.

1. Оценка накопления влаги за годовой период в конструкции с навесным вентилируемым фасадом (конструкция 1).

На рисунках 3.27 и 3.28 приведены графики содержания влаги в период сушки и накопления, а также периода стабилизации влаги в утеплителе.

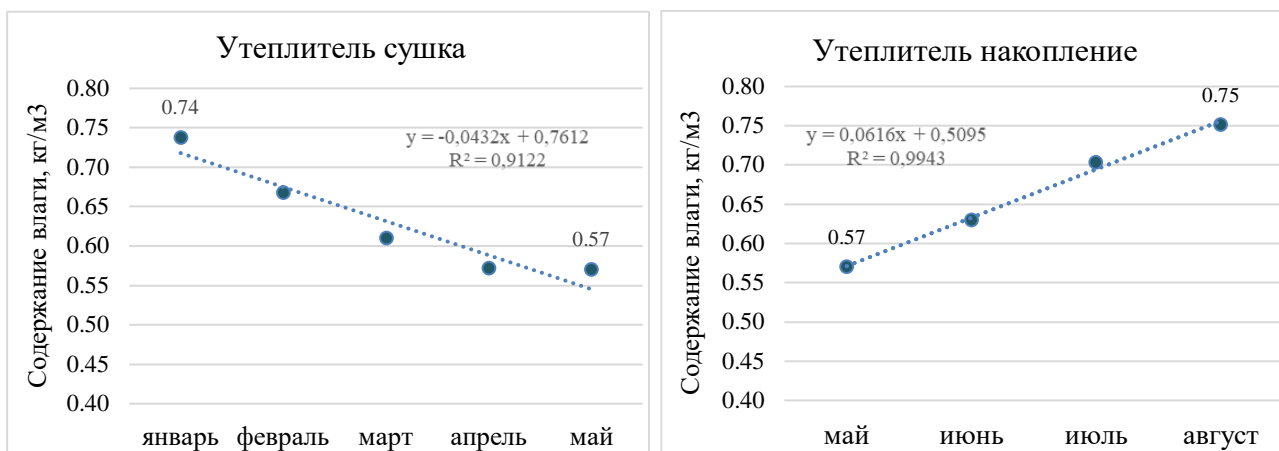


Рисунок 1.27 – График содержания влаги в период сушки и накопления в утеплителе

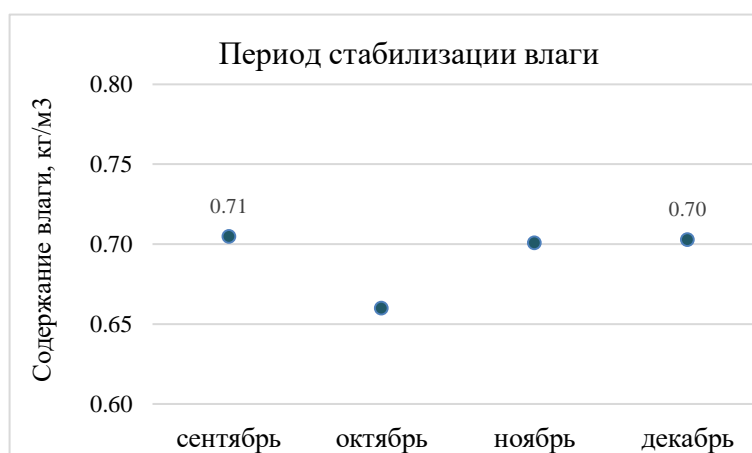


Рисунок 3.28 – График периода стабилизации влаги в утеплителе

Период сушки утеплителя составляет 5 месяцев (январь, февраль, март, апрель, май). Период накопления составляет 3 месяца (июнь, июль, август). Период стабилизации влаги в слое утеплителя составляет 4 месяца (с сентября по декабрь). Накопления влаги за годовой период эксплуатации не наблюдается.

На рисунках 3.29 и 3.30 приведены графики содержания влаги в период сушки и накопления в кирпичной кладке.

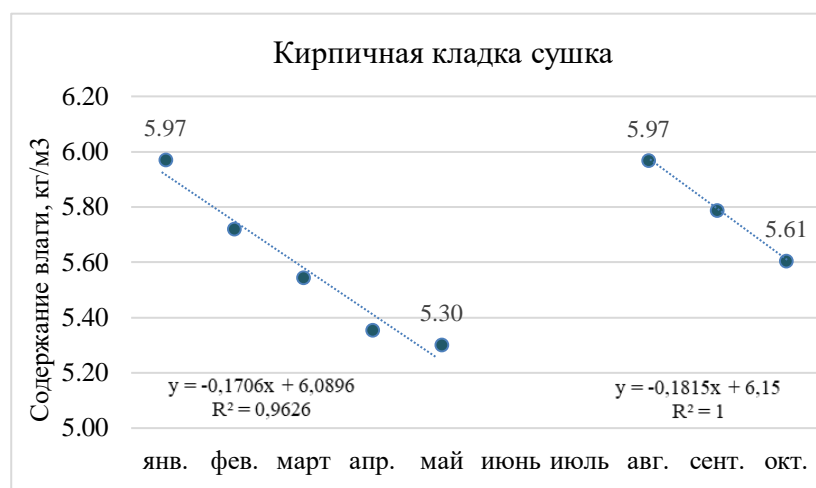


Рисунок 3.29 – График содержания влаги в период сушки в кирпичной кладке

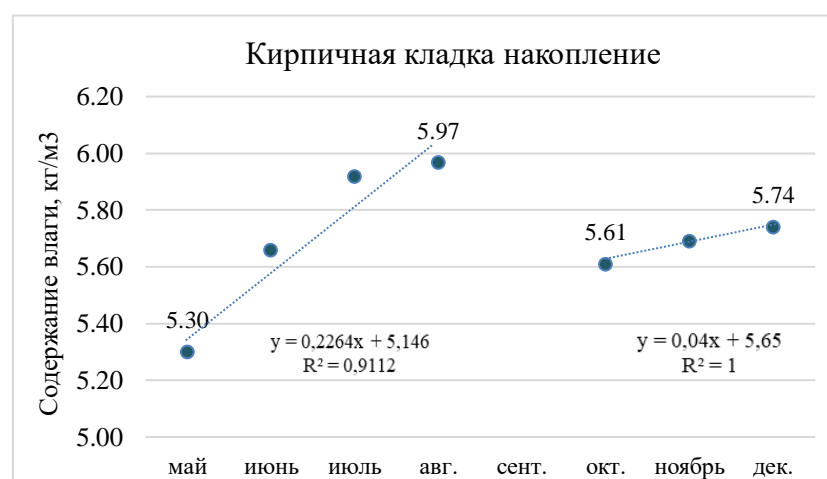


Рисунок 3.30 – График содержания влаги в период накопления в кирпичной кладке

Период сушки в кирпичной кладке проходит в два периода и составляет 7 месяцев. Период накопления составляет 5 месяцев (июнь, июль, август, ноябрь и декабрь). Как и в случае с утеплителем накопление осуществляется преимущественно в летний период с положительными среднемесячными температурами воздуха.

На рисунке 3.31 приведен график содержания влаги в период сушки и накопления во внутреннем штукатурном слое.

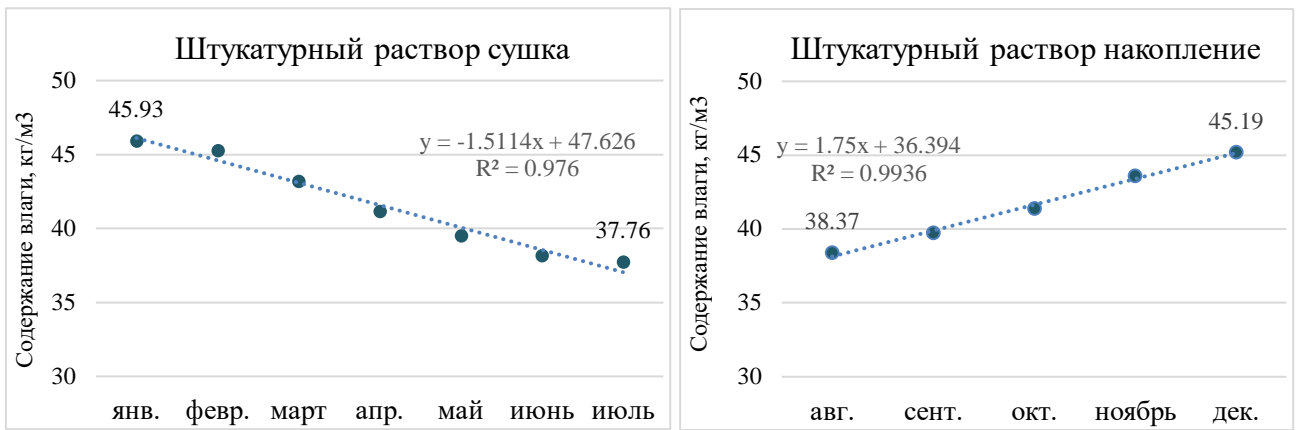


Рисунок 3.31 – График содержания влаги в период сушки и накопления во внутреннем штукатурном слое

Период сушки во внутреннем штукатурном слое составляет 7 месяцев (с января по июль). Период накопления составляет 5 месяцев (с августа по декабрь).

На рисунке 3.32 приведен график содержания влаги во всей конструкции за годовой период.

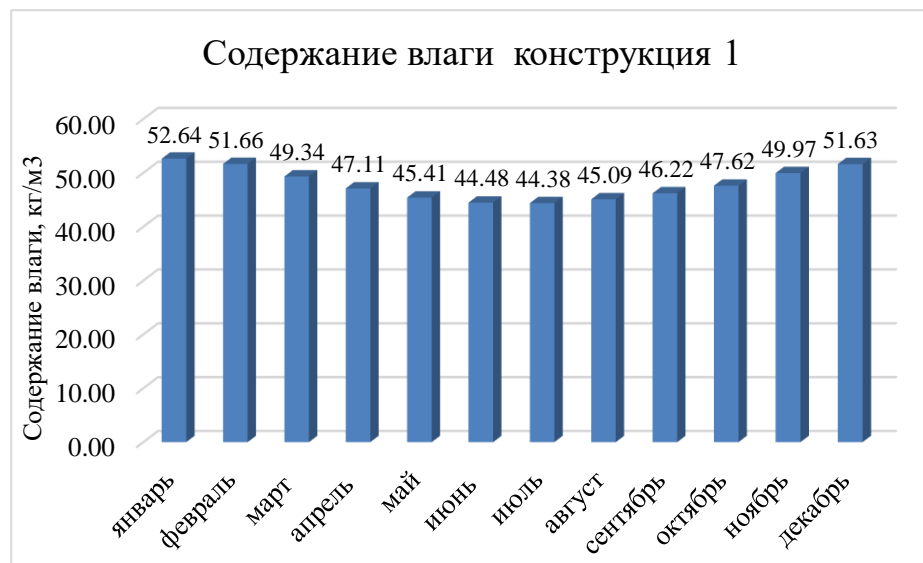


Рисунок 3.32 – График содержания влаги в конструкции за годовой период

В таблице 3.9 сведены результаты изменения влагосодержания в материалах конструкции и в конструкции в целом.

Таблица 3.9 – Результаты изменения влагосодержания в материалах конструкции

Материал	Изменение содержания влаги за период сушки и накопления, кг/м ³		Скорость изменения содержания влаги, кг/(мес·м ³)	
	Сушка	Накопление	Сушка	Накопление
Утеплитель (период 1,2, период стабилизации)	- 0,17	0,18	0,043	0,062
	- 0,09	0,04	0,045	0,021
Кирпичная кладка (период 1,2)	-0,67	0,31	0,171	0,226
	-0,18	0,05	0,181	0,226
Штук. раствор	-8,17	6,82	1,5	1,75
Вся конструкция	-8,26	7,25	1,537	1,684

Скорость накопления влаги в материалах незначительно превышает скорость сушки, однако продолжительность периодов сушки выше.

Период сушки конструкции составляет 7 месяцев (с января по июль), период накопления 5 месяцев (август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь).

За годовой цикл увеличения содержания влаги не наблюдается.

В таблице 3.10 представлены показатели фактического приращения влажности в материале в процентах от массы и предельно допустимого.

Таблица 3.10 – Показатели фактического приращения влажности в материале и предельно допустимого в процентах от массы

Материал	Приращение влажности в материале, % по массе	Предельно допустимое приращение влажности в материале, % по массе*
Утеплитель	0,2	3
Кирпичная кладка	0,02	1,5
Штукатурный раствор	0,37	2
* согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»		

Значения величин фактического приращения влажности в материале не превышают предельно допустимых.

2. Оценка накопления влаги за годовой период в конструкции с утепленным штукатурным фасадом (конструкция 2).

На рисунке 3.33 приведен график содержания влаги в периоды сушки и накопления во внешнем штукатурном слое.

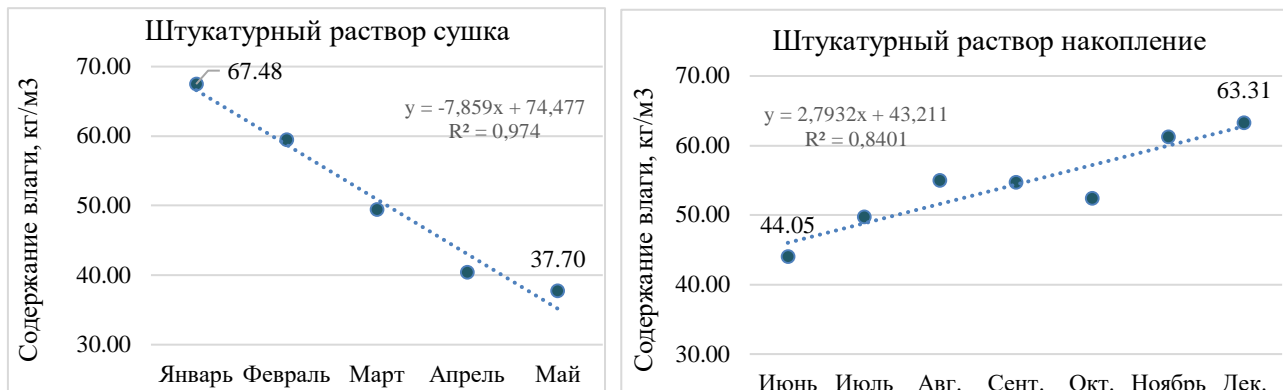


Рисунок 3.33 – График содержания влаги в периоды сушки и накопления во внешнем штукатурном слое

Продолжительность периода накопления превышает продолжительность периода сушки, однако скорость сушки превышает скорость накопления более, чем в 2,5 раза. Период сушки составляет 5 месяцев (с января по май). Период накопления составляет 7 месяцев (с июня по декабрь). В сентябре и октябре наблюдается незначительное снижение содержания влаги в материале.

На рисунках 3.34 и 3.35 приведены графики содержания влаги в период сушки и накопления, а также периода стабилизации влаги в утеплителе.

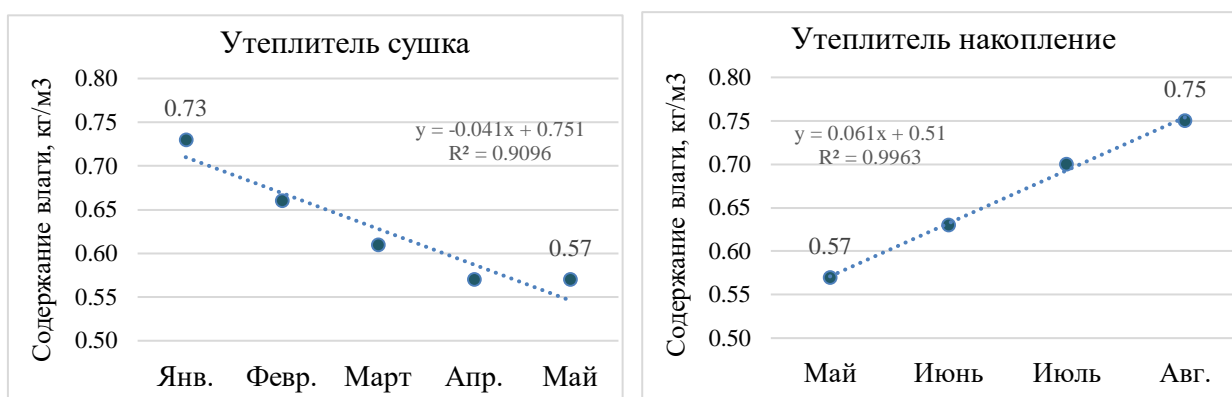


Рисунок 3.34 – График содержания влаги в период сушки и накопления в утеплителе

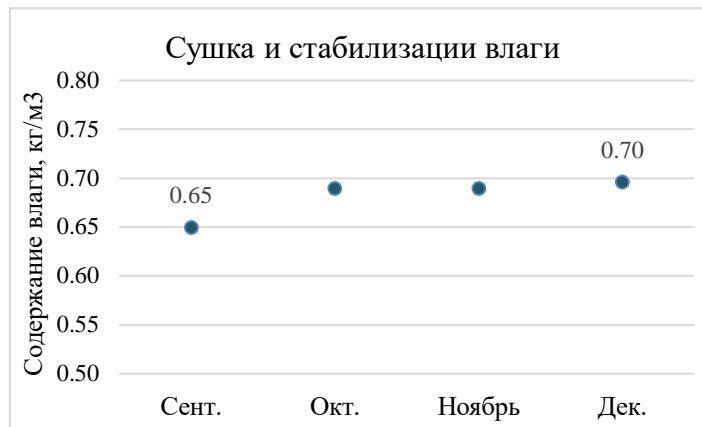


Рисунок 3.35 – Период сушки и стабилизации влаги в утеплителе

Период сушки составляет 5 месяцев (с января по май). Период накопления составляет 3 месяца (июнь, июль, август). Накопление влаги происходит в летний период.

Период сушки и стабилизации влаги характеризуется значительным снижением содержания влаги в утеплителе в сентябре, а также последующей стабилизацией влагосодержания в период с октября по декабрь.

На рисунках 3.36 и 3.37 приведен график содержания влаги в периоды сушки и накопления в кирпичной кладке.

Аналогично первому варианту (навесной вентилируемый фасад), накопление и сушка в кирпичной кладке проходят в два этапа.

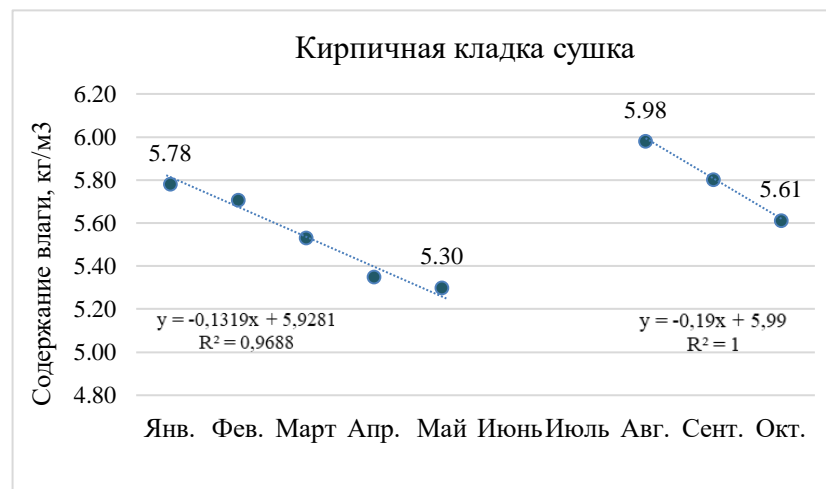


Рисунок 3.36 – График содержания влаги в периоды сушки

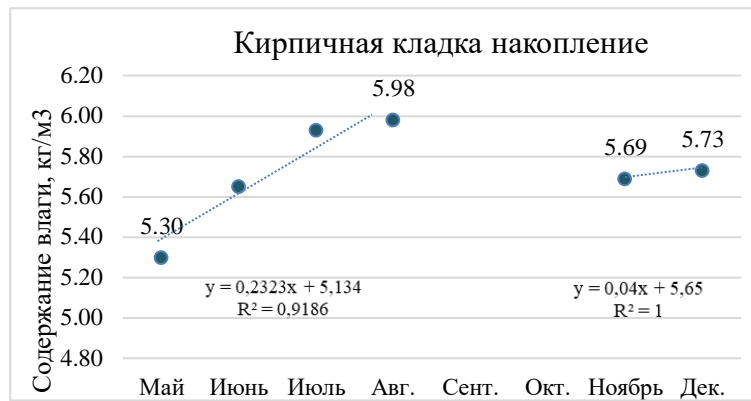


Рисунок 3.37 – График содержания влаги в периоды накопления

Сушка суммарно составляет 7 месяцев, накопление 5 месяцев.

На рисунке 3.38 приведены графики содержания влаги в периоды сушки и накопления во внутреннем штукатурном слое.

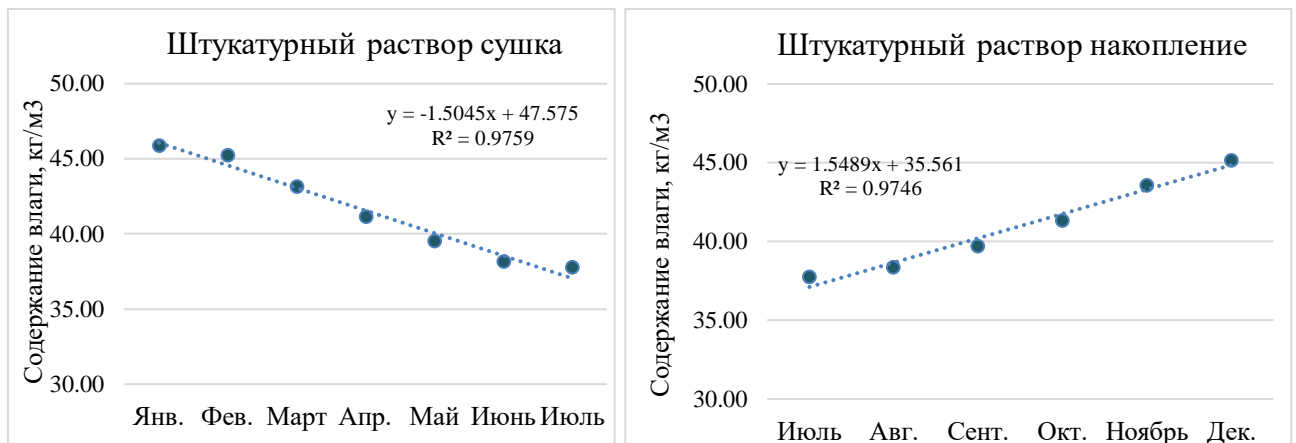


Рисунок 3.38 – График содержания влаги в период накопления во внутреннем штукатурном слое

Количество месяцев сушки во внутреннем штукатурном слое и ее характер аналогичен процессу сушки в конструкции с навесным вентилируемым фасадом. Период накопления составляет 5 месяцев (с августа по декабрь), скорость накопления практически не отличается от скорости сушки.

На рисунке 3.40 приведен график содержания влаги в конструкции за годовой период.

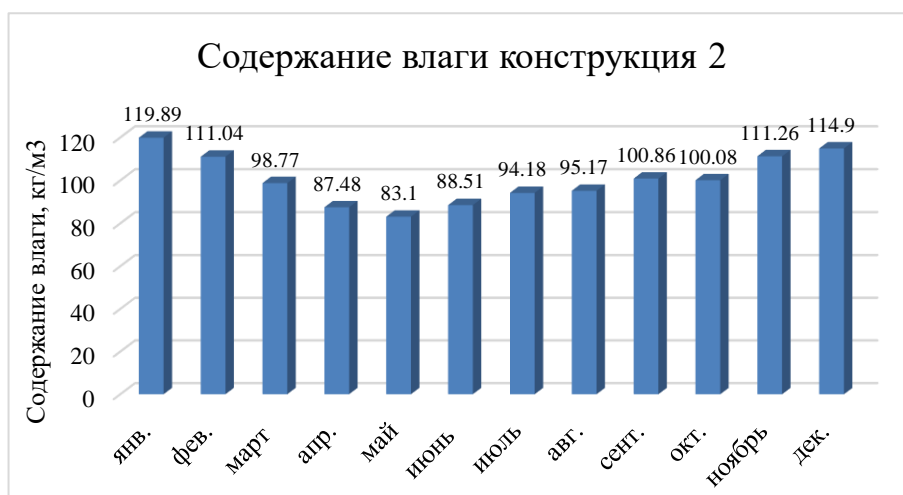


Рисунок 3.40 – График содержания влаги в конструкции за годовой период

В таблице 3.11 приведены результаты изменения влагосодержания в материалах конструкции и в конструкции в целом.

Таблица 3.11 – Результаты изменения влагосодержания в материалах

Материал	Изменение содержания влаги за период сушки и накопления, кг/м ³		Скорость изменения содержания влаги, кг/(мес·м ³)	
	Сушка	Накопление	Сушка	Накопление
Штукатурный раствор	-29,78	19,26	7,86	2,79
Утеплитель (период 1, 2)	- 0,16	0,12	0,041	0,061
	- 0,1	0,05	0,1	0,014
Кирпичная кладка (период 1,2)	-0,48	0,33	0,132	0,232
	-0,19	0,04	0,19	0,04
Штукатурный раствор	-8,14	6,79	1,5	1,55
Вся конструкция	-36,79	31,8	-9,7	4,23

Период сушки конструкции составляет 5 месяцев (январь, февраль, март, апрель, май), период накопления 6 месяцев (июнь, июль, август, сентябрь, ноябрь, декабрь), однако скорость сушки значительно выше скорости

накопления. В октябре происходит незначительное снижение содержания влаги в конструкции ограждения, что может быть связано с понижением среднемесячной влажности воздуха в этом месяце.

За годовой цикл увеличения содержания влаги в конструкции не наблюдается.

В таблице 3.12 представлены показатели фактического приращения влажности в материале в процентах от массы и предельно допустимого.

Таблица 3.12 – Показатели фактического приращения влажности в материале и предельно допустимого в процентах от массы

Материал	Приращение влажности в материале, % по массе	Предельно допустимое приращение влажности в материале, % по массе*
Штукатурный раствор	1,07	2
Утеплитель	0,09	3
Кирпичная кладка	0,02	1,5
Штукатурный раствор	0,4	2
* согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»		

Значения величин фактического приращения влажности в материале не превышают предельно допустимых. Анализируя низкие значения приращения можно заметить, что полученные показатели значительно ниже требований СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». В этой связи следует заметить, что г. Красноярск находится в 3-й зоне влажности, т.е. район строительства характеризуется как сухой.

В обеих конструкциях прирост содержания влаги исключен, однако влагосодержание влаги по месяцам в конструкции со штукатурным утепленным фасадом превышает содержание влаги в конструкции с навесным вентилируемым фасадом более, чем в 2 раза, что объясняется присутствием наружного штукатурного слоя с низкой паропроницаемостью.

На рисунке 3.42 приведен график содержания влаги в обеих конструкциях за годовой период эксплуатации.

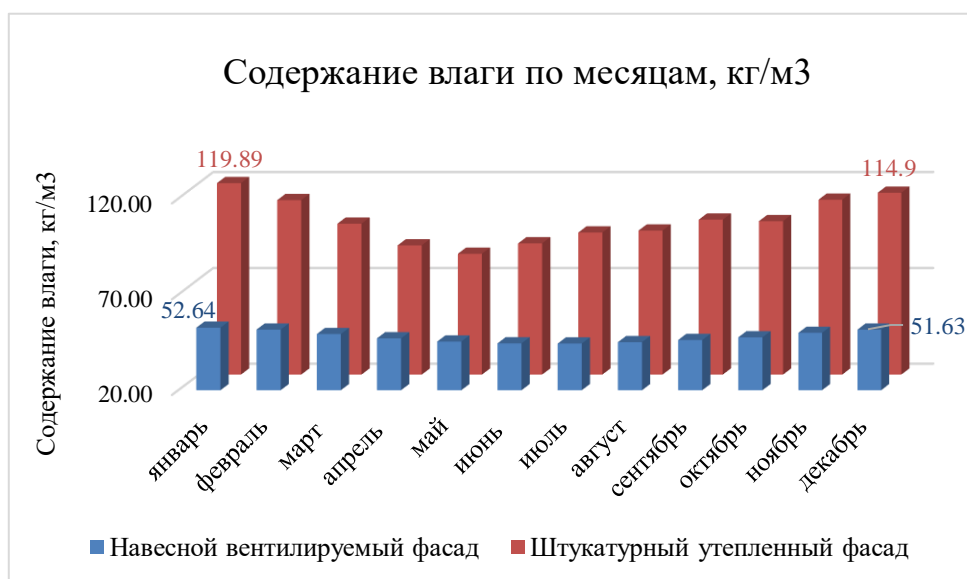


Рисунок 3.42 – График содержания влаги в обеих конструкциях за годовой период эксплуатации

Характер влагонакопления и сушки в конструкциях также отличается, в частности, период сушки в конструкции 1 (навесной вентилируемый фасад) составляет 7 месяцев и характеризуется меньшей скоростью, в то время как период сушки в конструкции 2 (штукатурный утепленный фасад) составляет 6 месяцев, но характеризуется высокой скоростью, в два раза превышающей скорость накопления.

3.8 Выводы по третьей главе

1. При помощи тепловизионной съемки было доказано, что температура в угловом сопряжении значительно ниже температуры на глади стены.

2. Для расчета тепло-влажностного состояния были выведены зависимости теплопроводности материалов от относительной влажности воздуха, которые позволяют выполнить более точный расчет конструкций.

3. Исходная конструкция не соответствует требованиям, температура в наружном углу значительно ниже температуры точки росы, в угловом сопряжении присутствуют области возможной конденсации влаги, располагающиеся в толще несущей конструкции стены.

4. На основании результатов численного моделирования конструкции была определена толщина утеплителя для двух видов фасадных систем, при которой конструкции удовлетворяют теплотехническим требованиям и требованиям паропроницаемости. При толщине утеплителя 140 мм в конструкции с навесным вентилируемым фасадом и 120 мм в конструкции со штукатурным утепленным фасадом в угловом сопряжении при расчетной температуре наружного воздуха $t_y = - 37 \text{ }^\circ\text{C}$, в угловом сопряжении устанавливается температура выше температуры точки росы, в толще конструкции не образуется областей возможной конденсации водяного пара.

5. В ходе расчета влагосодержания установлено, что прироста влаги за годовой период эксплуатации в утепленных конструкциях не происходит, приращение влаги в отдельных материалах конструкции не превышает предельно допустимых значений.

6. Определены периоды сушки и накопления, как в отдельных материалах, так и во всей конструкции, а также определены периоды относительной стабилизации влаги в слое утеплителя.

Период накопления влаги в конструкции с навесным вентилируемым фасадом составляет 5 месяцев (август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь), что количественно соответствует периоду накопления по своду правил, однако не соответствуют месяцы накопления.

Период накопления влаги в конструкции со штукатурным утепленным фасадом составляет 6 месяцев (июнь, июль, август, сентябрь, ноябрь, декабрь). В октябре наблюдается незначительное снижение влагосодержания.

Обе конструкции удовлетворяют условиям недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации.

ГЛАВА 4. Экономика

4.1 Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период

Потери теплоты через участок однородной стены определяется по формуле

$$Q = \frac{t_b - t_n}{R_0^{пр}} \cdot S, \quad (4.1.1)$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_n – расчетная температура наружного воздуха, °С;

$R_0^{пр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяется по формуле (2.2);

S – площадь однородного фрагмента конструкции, м^2 .

Затраты на отопление в год, $\text{руб} / \text{м}^2$, определяются по формуле

$$З = Q \cdot T_{т.э.}, \quad (4.1.2)$$

где Q – потери теплоты через участок однородной стены, $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$, определяются по формуле (5);

$T_{т.э.}$ – тариф на тепловую энергию [51].

Тариф на тепловую энергию для потребителей ООО «КрасТЭК» на 1 п/Г 2022 года = 1836,7 руб. [51].

Потери теплоты через участок стены по формуле (4.1.1)

$$Q = \frac{21 - (-37)}{1,044} \cdot 1 = 53,69 \text{ Вт/м}^2 = 0,257 \text{ Гкал/год.}$$

По формуле (6) затраты на отопление по формуле (4.2.2)

$$З = 0,257 \cdot 1836,7 = 472,03 \text{ руб.}$$

4.2 Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период с устройством навесного вентилируемого фасада

Потери теплоты через участок стены

$$Q = \frac{21 - (-37)}{3,68} \cdot 1 = 15,69 \text{ Вт/м}^2 = 0,0751 \text{ Гкал/год.}$$

По формуле (8) затраты на отопление

$$З = 0,0751 \cdot 1836,7 = 137,94 \text{ руб.}$$

4.3 Расчет тепловых потерь и затрат на отопление за расчетный период с устройством штукатурного утепленного фасада

Потери теплоты через участок стены

$$Q = \frac{21 - (-37)}{3,81} \cdot 1 = 15,17 \text{ Вт/м}^2 = 0,0726 \text{ Гкал/год.}$$

По формуле (6) затраты на отопление

$$З = 0,0726 \cdot 1836,7 = 133,34 \text{ руб.}$$

4.4 Сравнение вариантов

Сравнение двух вариантов утепления представлено в Таблице 4.1.

Вариант 1 – Навесной вентилируемый фасад.

Вариант 2 – Штукатурный утепленный фасад.

Таблица 4.1 – Теплопотери и затраты на отопление за расчетный период

Показатель	Исходный вариант	Вариант 1	Вариант 2
Общие теплопотери через участок стены за отопительный период, кВт/м ²	53,69	15,69	15,17
Общие теплопотери за отопительный период, Гкал·год/м ²	0,257	0,0751	0,0726
Затраты на отопление, руб	472,79	137,94	133,34

Утепление при помощи устройства штукатурного утепленного фасада является незначительно более выгодным. Затраты на отопление конструкций с дополнительным утеплением в 3,5 раза меньше, чем в конструкциях без утепления.

4.5 Определение стоимости устройства навесного вентилируемого фасада и штукатурного утепленного фасада

Для определения стоимости устройства навесного вентилируемого фасада и штукатурного утепленного фасада произведен локальный сметный расчет стоимости базисно-индексным методом. Расчет представлен в Приложении А.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.2.

Вариант 1 – устройство навесного вентилируемого фасада.

Вариант 2 – устройство штукатурного утепленного фасада.

Таблица 4.2 – Результаты расчетов

Показатель	Вариант 1	Вариант 2
Стоимость устройства фасада, руб/м ²	10469,88	6072,12

4.6 Выбор оптимального варианта утепления

Результаты расчетов сведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчетов

Показатель	Вариант 1	Вариант 2
Теплопотери, Гкал·год/м ²	0,0751	0,0726
Затраты на централизованное отопление, руб/м ²	237,94	133,34
Стоимость за 1 м ² , руб	10469,88	6072,12

Устройство данных видов фасадов производится в ходе реконструкции зданий. Здания без утепления не соответствуют требованиям по тепловой защите действующим нормам, что делает утепление фасадов обязательным мероприятием, независимо от величины принесенной экономической выгоды или убытков.

Несмотря на то, что стоимость устройства навесного вентилируемого фасада превышает стоимость устройства штукатурного утепленного фасада практически в 1,7 раза, первый вариант утепления является наиболее предпочтительным в условиях Красноярского края.

Это обусловлено тем, что устройство навесного вентилируемого фасада не предполагает ограничений по проведению работ, в то время, как работы по устройству штукатурного утепленного фасада возможно проводить при температуре не ниже +5 °С, что для условий города Красноярска составляет всего 5 месяцев, соответственно, накладываются существенные ограничения на период проведения работ. Устройство штукатурного утепленного фасада является более трудоёмким процессом, предъявляются высокие требования к качеству стены основания, что предполагает применение дополнительных мер для зданий старой постройки. Результаты расчета содержания влаги за годовой

период эксплуатации, приведенные в предыдущей главе, показывают, что для условий города Красноярска данный вид утепления является также менее предпочтительным ввиду более высокого содержания влаги в конструкции, за счет устройства наружного штукатурного слоя, который адсорбирует значительно большее количество влаги, при этом существенно изменяя продолжительность и динамику периодов сушки и накопления влаги в конструкции в целом.

Заключение

В рамках работы было исследовано тепловлажностное состояние в угловых сопряжениях стеновых ограждений в климатических условиях г. Красноярска.

Основные выводы.

1. Для улучшения теплозащитных характеристик и устранения наблюдаемых нарушений современных санитарно-гигиенических требований в зданиях старой постройки целесообразно использовать наружное утепление с применением систем навесного вентилируемого и штукатурного утепленного фасада.

2. Расчет по современным действующим нормативам выполняется только по глади стены и не дает представления о влагофизическом состоянии угловых сопряжений стеновых ограждений. Тепловизионными обследованиями и численными расчетами доказано, что условия переувлажнения создаются в угловых сопряжениях конструкций, что актуализирует необходимость внедрения в проектную практику методик численных расчетов с использованием, в том числе, зависящих от времени и окружающей среды характеристик влаго- и теплопроводности строительных материалов, что позволит существенным образом повысить объективность расчетов.

3. Численными расчетами с использованием функциональных зависимостей сорбционной влажности материала от относительной влажности воздуха и зависимостей коэффициента теплопроводности от относительной влажности для каждого материала конструкции установлены оптимальные толщины утеплителей для обоих вариантов конструкций в условиях г. Красноярска. Толщина утеплителя для конструкции с навесным вентилируемым фасадом составила 140 мм, для конструкции со штукатурным утепленным фасадом 120 мм. Установлено, что в утепленных конструкциях отсутствуют зоны возможной конденсации.

4. В обеих конструкциях за годовой период эксплуатации в кирпичной кладке наблюдается два периода сушки и накопления, в утеплителе присутствует период стабилизации влаги в течении четырех месяцев с октября по декабрь. В исследуемых конструкциях прироста влаги за годовой период эксплуатации не наблюдается, однако влагосодержание в конструкции с устройством штукатурного утепленного фасада значительно выше в связи с низкой паропроницаемостью штукатурного раствора.

5. Накопление влаги в конструкции с навесным вентилируемым фасадом характеризуется небольшой скоростью, но сравнительно длинным периодом в 7 месяцев (с января по июль). Скорость накопления значительно превышает скорость сушки, однако период накопления длится пять месяцев (с августа по декабрь).

6. Результаты тепловизионного обследования и численного моделирования показывают необходимость внедрения расчетов на современных программных комплексах с учетом изменения тепло-влажностных характеристик на стадии проектирования ограждающих конструкций.

7. Устройство штукатурного утепленного фасада в 1,7 раза дешевле, однако, для условий г. Красноярска предпочтительней выбирать вариант утепления при помощи устройства системы навесного вентилируемого фасада ввиду отсутствия ограничений по периодам выполнения работ и требований к качеству стены основания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин, под ред. Ю. А. Табунщикова, В.Г. Гагарина, 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 287 с.
2. Корниенко, С.В. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшкова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2005. – № 6 (33). – С. 60-62.
3. Козлобородов, А.Н. Анализ совместного влияния нескольких теплонапряженных элементов на тепловое состояние строительных конструкций / А.Н. Козлобородов, Е.А. Иванова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2006. - № 1. – С. 133-139.
4. Козлобородов, А.Н. Исследование влияния нагревательного кабеля на тепловое состояние ограждающей конструкции в области наружного угла / А.Н. Козлобородов, Е.А. Иванова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. - № 5. – С.127-137.
5. Ройфе, В.С. Экспериментальные исследования влажностного состояния строительных конструкций / В.С. Ройфе // Вестник МГСУ. – 2011. - № 3. – С.102-108.
6. Кудинов, А.А. Строительная теплофизика: учебное пособие / А.А. Кудинов. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 262 с.
7. Корниенко, С.В. Теплотехнический расчет строительных конструкций с краевыми зонами / С.В. Корниенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. - № 34 (53). – С. 22-29.
8. Толстова, Ю.И. Основы строительной теплофизики: учебное пособие / Ю.И. Толстова, Р.Н. Шумилов // М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 104 с.

9. Назиров Р.А., Подковырин В.С., Подковырина К.А. Определение температуры внутренней поверхности в наружных углах здания // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. - № 10-11 (694-695). – С. 106-111.
10. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов / В.Н. Богословский. – СПб: изд. АВОК Северо-запад, 2006. – 400 с.
11. Sviták M. Defining of thermal bridges of wood building and their elimination / M. Sviták, K. Krontorad, J. Tomek // Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology, Department of Wood Processing. – 2016. - V.61 No.4. - PP.607-614.
12. Dohnal, J., Pěňčík, J. Analysis of thermal – Moisture problems in massive wooden sandwich structures // Brno University of Technology, Faculty of Civil Eng. – 2016. –V. 824 – P. 563-570.
13. U.S. Environmental Protection Agency Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance. – 2013. –144 p.
14. Jedidi M. Effect of thermal bridges on the heat balance of buildings/ M. Jedidi, O. Benjeddou // International Journal of Scientific Research in Civil Engineering. – 2018. – V.2.
15. Cold bridging at corners: surface temperature and condensation risk / Building Serv. Res. Technol. – 1998. – V. 9. – Pp. 167-175.
16. Ilomets S. Evaluation of the criticality of thermal bridges / S. Ilomets, T. Kalamees // Journal of building pathology and rehabilitation. – 2016. – V. 11.
17. Garay R., Arregi B., Elguezabal P. Experimental thermal performance assessment of a prefabricated external insulation system for building retrofitting // Procedia environmental sciences. – 2017. - V. 38. - P. 155–161.
18. Saunders, C.H. Dampness: one week's complaints in five local authorities in England and Wales/ C.H. Saunders, J.P. Cornish // Garston: Building Research Establishment– Great Britain, 1982.

19. Dr. Volker Kienzlen The significance of thermal insulation. Arguments aimed at overcoming misunderstandings / Dr. Volker Kienzlen [идр.] // KEA Climate Protection and Energy Agency of Baden-Wurttemberg GmbH. – Kaiserstr, 2014. – 65 p.
20. Andre, D. The effects of thermal bridging on building envelope performance / D. Andre. – Торонто.: Morrison Hershfield, 2014. – 78 с.
21. Anderson, J. Thermal bridging Solutions: Minimizing Structural Steel's Impact on Building Envelope Energy Transfer / J. Anderson [идр.] // A Supplement to modern steel construction. – 2012. – 16 p.
22. Kotti, S. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a Greek residential building / S. Kotti, D. Teli, P.A.B. James // Faculty of Engineering and Environment, University of Southampton. – Southampton, 2017. – V. 38. – Pp. 306-313.
23. Шеина, С.Г. Анализи расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий / С.Г. Шеина, А.Н. Миненко // Инженерный вестник Дона. – 2012. - № 4-1 (22).
24. Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2011. - № 8. – С. 5-12.
25. Протасевич, А.М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций и микроклимат помещений / А.М. Протасевич. – Минск: БНТУ, 2016. – 452 с.
26. Bianchi, F. Infrared Thermography assessment of thermal bridges in building envelop: Experimental Validation in a Test Room Setup / F. Bianchi, A.L. Pisello, G. Baldinelli, F. Asdrubali // Sustainability, CIRIAF, University of Perugia. – Perugia, 2014. – V. 6. – 15 p.
27. Толстова, Ю.И. Теплопотери острых углов зданий / Ю.И. Толстова, Т. Харитоновна // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. - № 8 (116). – С. 52-53.

28. Данилов, Н.Д. Прогнозирование температурного режима угловых соединений наружных ограждающих конструкций / Н.Д. Данилов, В.Ю. Шадрин, Н.Н. Павлов // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. - № 1-2. – С. 28-31.
29. Шихов, А.Н. Архитектурная и строительная физика: учебное пособие / А.Н. Шихов, Д.А. Шихов. – Пермь: изд-во: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013 – 377 с.
30. Zedan, M.E. Effects of thermal bridges in insulated walls on air-conditioning loads using whole building energy analysis / M.E. Zedan [и др.] // Mechanical Engineering Department , King Saud University. – 2016.
31. Иванова Л.В. Развитие нормативных требований к тепловой защите зданий // Архитектура и дизайн. – 2021. – № 1. – С. 33-44.
32. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. Научное издание.
33. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012.
34. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Введ. 25.06.2021. - М.: ФАУ «ФЦС», 2021. – 120 с.
35. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Общие положения. Взамен ГОСТ 30494-96. Введ. 01.01.2013. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 20 с.
36. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. Введ. 01.06.2004. – М.: ОАО «ЦНИИпромзданий», 2004. – 186 с.
37. ГОСТ Р 57418-2017 Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Методы определения срока эффективной эксплуатации. Введ. 01-07-2017. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2017. – 20 с.
38. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

39. Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 г. № 18 "Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов".

40. Приказ Минстроя РФ от 17 ноября 2017 года № 1550/пр «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений».

41. Стратегия социально-экономического развития Красноярского края на период до 2030 года : офиц. текст. – Красноярск, 2012. –160 с.

42. Алоян Р.М. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения / Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Л.А. Опарина. – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.

43. Бирюкова Т. П. Ограждающие конструкции стен с использованием современных фасадных систем // Промышленное и гражданское строительство (ПГС): Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2005. №1. С. 50-51.

44. Богословский В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий: монография/ В.Н. Богословский, под ред. В.Г. Гагарина; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — Москва : МГСУ, 2013. — 112 с.

45. Гагарин В.Г. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций/ В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2006. – № 2. – С. 60-63.

46. Состояние жилищного фонда красноярского края на конец 2020 года [Электронный ресурс] / Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, республики Хакассия и республики Тыва. – Режим доступа: <https://krasstat.gks.ru/news/document/125755>

47. Постановление администрации города Красноярска от 30.06.2020 № 501 "Об утверждении плана мероприятий по реализации стратегии социально-экономического развития города Красноярска до 2030 года" [Электронный ресурс] / Красноярск. Администрация города. – Режим доступа: http://www.admkrsk.ru/citytoday/economics/social_situation/Pages/developmentprogram.aspx.

48. Хрусталеv Б.М. Тепло- и массообмен: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 /Б.М. Хрусталеv [и др.]; под общ. ред. А.П. Несенчука. — Минск: БИТУ, 2009. – 274 с.

49. Киселев И.Я. Влияние равновесной сорбционной влажности строительных материалов на сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий / Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН // Научно-технический и производственный журнал. – 2013. – № 6. – С. 39-40.

50. Королев Д. Ю. Современные методы повышения тепловой защиты зданий / Д. Ю. Королев, В. Н. Семенов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2010. — № 3 (14). — С. 26-29.

51. Сибирская генерирующая компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sibgenco.ru/consumers/tariffs/>

52. Градостроительный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2004 г. No 190-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2019. – 540 с.

53. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.

54. Постановление Правительства РФ от 21 апреля 2018 года № 486 «О внесении изменений в постановление Правительства РФ от 31 декабря 2009 г. № 1221».

55. Ливчак В.И. Обоснование расчета удельных показателей расхода тепла на отопление разноэтажных жилых зданий / В.И. Ливчак // АВОК. – 2005. – № 2.

56. Kurt Kielsgaard Sorption Isotherms. A catalogue / К. Keilsgaard // Building Materials Laboratory. The Technical University of Denmark. – 143 с.
57. Controlling condensation [Электронный ресурс] / С. Barger // Building + Construction. Building materials. – 2017. – Режим доступа: <https://www.bdcnetwork.com/blog/controlling-condensation>.
58. Damp and Condensation [Электронный ресурс] / Heritage House. Building and Restoration. – Режим доступа: <https://www.heritage-house.org/damp-and-condensation/types-of-damp-what-have-i-got/condensation.html>.
59. Малявина Е. Г. Теплотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. - 144 с.
60. Основы строительной теплофизики : учеб. пособие / Ю. И. Толстова, Р. Н. Шумилов. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 104 с.
61. Приказ от 4 августа 2020 года N 421/пр Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации.
62. Юшкова А.Н. Повышение энергоэффективности в жилых зданиях при реконструкции // А.Н. Юшкова, А.Д. Кузьмин // E-Scio. – 2019. – 10 с.
63. Кирюдичева А.Е. Энергоэффективные фасадные системы / А.Е. Кирюдичева, В.В. Шишкина // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. - № 4 (31). – С. 248-262.
64. ТЕХНОНИКОЛЬ [электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.tn.ru/>

Приложение А

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 1

Устройство 1 м² навесного вентилируемого фасада
(наименование конструктивного решения)

Составлен _____ базисно-индексным _____ методом

Основание _____ чертежи теплозащитной конструкции
(проектная и (или) иная техническая документация)

Сметная стоимость _____ 10,47 тыс. руб.

в том числе:

строительных работ _____ 10,47 тыс. руб.

монтажных работ _____ тыс. руб.

оборудования _____ тыс. руб.

прочих затрат _____ тыс. руб.

Средства на оплату труда рабочих _____ 0,37 тыс. руб.

Нормативные затраты труда рабочих _____ чел.-ч.

Нормативные затраты труда машинистов _____ чел.-ч.

Расчетный измеритель конструктивного решения _____

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на единицу	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу	коэффициенты	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раздел 1. Навесной вентилируемый фасад											
1	ФЕР 15-01-090-01	Устройство вентилируемых фасадов с облицовкой панелями из композитных материалов с устройством теплоизоляционного слоя	100 м ²	0,01		0,01					
		1 ОТ					3 219,43		32,19		329,63
		2 ЭМ					1 002,23		10,02		
		3 в т.ч. ОТМ					394,93		3,95		40,44

4	М				0,00	0,00		
ФССЦ 01.7.06.14-0027	Лента двусторонняя	кг		0,001	30,40	0,03		
ФССЦ 01.7.15.07-148	Дюбель-гвозди распорные, с увеличенной прижимной шайбой, для крепления теплоизоляционных материалов к бетону, полнотелому и пустотелому кирпичу, камню, бетону, размер 10x200	100 шт.		0,06	83,68	5,02		
ФССЦ 12.1.01.03-0032	Пленка влаго-ветроизоляционная "Ондутис А120"	10 м2		0,1	60,80	6,08		
ФССЦ 01.6.01.11-0033	Плиты облицовочные в комплекте с планками заполнения стыков	м2		0,6	121,71	73,03		
ФССЦ 12.2.05.05-0024	Плиты минераловатные на синтетическом связующем Техно (ТУ 5762-043-17925162-2006) марки:ТЕХНОВЕНТ ОПТИМА	м3		1,03	626,89	645,70		
ФССЦ 07.2.06.06-0011	Конструкции навесной фасадной системы с воздушным зазором	м2		0,1	261,21	26,12		
	ЗТ	чел.-ч	334,66	3,3466				
	Итого по расценке				5 406,35	798,19		
	ФОТ					36,14		
Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.90	НР Отделка	%	100	100		36,14		370
Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.90	СП Отделка	%	49	49		17,71		181
Перевод в текущие цены 1 квартала 2022 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Жилые здания)	ВСЕГО прямые затраты по смете					798,19	10,42	8 173,48
	В том числе:							
	Оплата труда					32,19		329,63
	Эксплуатация машин и механизмов					10,02		0,00
	Материальные ресурсы					755,97		0,00
	Всего ФОТ (справочно)					36,14		370,07

Всего накладные расходы	36,14	370,07
Всего сметная прибыль	17,71	181,35
НДС (20%)		1 744,98
ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)	888,18	10 469,89

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 2
Устройство 1 м² штукатурного утепленного фасада
(наименование конструктивного решения)

Составлен _____ базисно-индексным _____ методом

Основание _____ чертежи теплозащитной конструкции
(проектная и (или) иная техническая документация)

Сметная стоимость _____ **6,07** тыс. руб.

в том числе:

строительных работ _____ **6,07** тыс. руб.
монтажных работ _____ тыс. руб.
оборудования _____ тыс. руб.

прочих затрат _____ тыс. руб.

Средства на оплату труда рабочих _____ **0,38** тыс. руб.

Нормативные затраты _____ чел.-ч.

труда рабочих _____

Нормативные затраты _____ чел.-ч.

труда машинистов _____

Расчетный измеритель конструктивного решения _____

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость в базисном уровне цен (в текущем уровне цен (гр. 8) для ресурсов, отсутствующих в СНБ), руб.			Индексы	Сметная стоимость в текущем уровне цен, руб.
				на единицу	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу	коэффициенты	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Раздел 1. Штукатурный утепленный фасад						
1	ФЕР 15-07-003-02	Нанесение на поверхность водно-дисперсной грунтовки на пористые поверхности (камень, кирпич, бетон и т.д.)	100 м2	0,01	0,01	
	1	ОТ			33,87	0,34
	2	ЭМ			22,40	0,22
	3	в т.ч. ОТм			0,58	0,01
	4	М			1,84	0,02
	ФССЦ 14.4.01.02-0012	Грунтовка укрепляющая глубокого проникновения, быстросохнущая	кг		0,14	1,83
		ЗТ	чел-ч.	3,69		0,04
		Итого по расценке			71,19	2,41
2	ФЕР 15-01-080-03	Устройство наружной теплоизоляции зданий с тонкой штукатуркой по утеплителю толщиной плит до 120 мм	100 м2	0,01	0,01	
	1	ОТ			3 323,47	33,23
	2	ЭМ			4 147,37	41,47
	3	в т.ч. ОТм			416,28	4,16
	4	М			19 491,40	194,91
	ФССЦ 01.7.17.09-0061	Сверло кольцевой алмазное, диаметр 5 мм	шт.		1	23,79
	ФССЦ 12.2.05.05-0045	Плиты минераловатные на синтетическом связующем Техно (ТУ 5762-043-17925162-2006) марки:ТЕХНОФАС	м3		0,13	902,22
		ЗТ	чел-ч.	370,51		3,71
		Итого по расценке			27 888,25	414,67
3	ФЕР 15-04-019-02	Окраска фасадов акриловыми составами с люлек краскопультами с подготовкой поверхности	100 м2	0,01	0,01	
	1	ОТ			141,06	1,41
	2	ЭМ			428,53	4,29
	3	в т.ч. ОТм			0,93	0,01
	4	М			105,72	1,06

ФССЦ 14.4.01.02-0012	Грунтовка укрепляющая глубокого проникновения, быстросохнущая	т		0,13	13,08	1,70		
ФССЦ 14.3.02.01-03435	Краски акриловые гладкие серии "КамАкрил" для наружных работ: КА-13 Люкс цветная, ненасыщенные тона	т		0,00	27 081,14	10,29		
	ЗТ	чел-ч.	14,22	0,14				
	Итого по расценке				27 769,53	18,74		
	ФОТ					39,16		
Приказ Минстроя России № 812/пр от 21.12.2020 Прил. п.90	НР Отделка	%	100	100		39,16	401,02	
Приказ Минстроя России № 774/пр от 11.12.2020 Прил. п.90	СП Отделка	%	49	49		19,19	196,50	
Перевод в текущие цены 1 квартала 2022 (Письмо Минстроя России от 20.09.2021 №40123-ИФ/09 Красноярск 1 зона Жилые здания)	ВСЕГО прямые затраты по смете					435,80	10,24	4 462,58
	В том числе:							
	Оплата труда					34,98	358,24	
	Эксплуатация машин и механизмов					45,98	470,87	
	Материальные ресурсы					354,83	3 633,46	
	Всего ФОТ (справочно)					39,16	401,02	
	Всего накладные расходы					39,16	401,02	
	Всего сметная прибыль					19,19	196,50	
	НДС (20%)						1 012,02	
	ВСЕГО по смете (в базисном и текущем уровнях цен)					533,31		6 072,12

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

Инженерно-строительный институт
институт
Проектирования зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« 16 » 06 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Расчет тепловлажностного состояния в угловых сопряжениях стеновых
ограждений»

тема

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы


Руководитель


подпись, дата

Д. т. н., профессор
должность, ученая степень

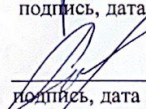
Р.А. Назиров
инициалы, фамилия

Выпускник

 16.06.2022
подпись, дата

Л.В. Иванова
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

к.т.н.
должность, ученая степень

А.Р. Рожков
инициалы, фамилия

Красноярск 2022