

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Проектирования зданий и экспертизы недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Многослойные клееные деревянные панели для строительства
многоквартирных домов

тема

Строительство

08.04.01

код и наименование направления

08.04.01.04 Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

подпись, дата

доцент, к.ф.-м.н.
должность, ученая степень

А.С. Орешонков
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Н.С. Башкова
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Проектирования зданий и экспертизы недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Р.А. Назиров

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 20____ г.

**ЗАДАНИЕ
НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

Студенту Башкова Наталья Сергеевна

фамилия, имя, отчество

Группа СФ 20-04М Направление (специальность) 08.04.01 Строительство

номер

код и наименование

Тема магистерской диссертации «Многослойные клееные деревянные панели для строительства многоквартирных домов»

Утверждена приказом по университету № 6877/с от 06 мая 2022 г.

Руководитель магистерской диссертации А.С. Орешонков, доцент кафедры

инициалы, фамилия, должность, ученое звание

ПЗиЭН, к.ф.-м.н.

и место работы

Исходные данные для магистерской диссертации: нормативно-правовые документы, регламентирующие соблюдение основных норм тепловой защиты зданий на территории РФ, учебники, справочники, методические пособия, диссертации, научные статьи, доклады и отчеты, материалы конференций и семинаров, справочные данные сети интернет, материалы научно-исследовательской практики.

Перечень разделов магистерской диссертации:

- Введение;
- Глава 1. Виды и характеристики материалов, применяемых в деревянном домостроении;
- Глава 2. Обзор применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве;
- Глава 3. Методы исследования;
- Глава 4. Результаты численных исследований;
- Глава 5. Экономическая оценка;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложения
- Перечень графического материала презентация

Руководитель ВКР

Подпись

А.С. Орешонков

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

Подпись

Н.С. Башкова

инициалы, фамилия

«__» _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Виды и характеристики материалов, применяемых в деревянном домостроении.....	7
1.1 Клееный брус	7
1.2 SIP панели	11
1.3 CLT панели.....	13
1.4 Утеплители.....	18
2 Обзор применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве.....	24
2.1 Зарубежный опыт	24
2.2 Отечественный опыт	45
3 Методы исследования.....	48
3.1 COMSOL Multiphysics – численное моделирование тепло-технических характеристик	48
3.2 Программный комплекс Гранд смета.....	51
4 Результаты численных исследований	53
4.1 Температурные характеристики	53
4.2 Влажностные характеристики.....	57
4.3 Расчёты углового соединения наружной ограждающей конструкции.....	59
4.4 Выводы по главе 4.....	62
5 Экономическая оценка.....	64
5.1 Расчёт показателей эффективности проекта	78
5.2 Выводы по Главе 5	87
Заключение	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91
Приложение А	92
Приложение Б.....	100

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия деревянным домостроением в России системно не занимались. Однако, приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. N 129/пр утверждён СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» [1], в котором, в том числе, идет речь об использовании перекрестно-клееной древесины, позволяющей строить многоэтажные здания. В 2020 году введены СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций» [2] и СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций» [3]. Также, 2021 году, вышло распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 № 312-р в котором упоминаются перекрестно-клееные панели для строительства жилых домов.

Стоит отметить, что в Северо-восточном федеральном университете с 2022 года открыли подготовку специалистов по профилю «Деревянное домостроение». Таким образом, можно сделать вывод о том, что интерес к деревянному домостроению в стране увеличивается. Следовательно, появляется необходимость в проведении дополнительных исследований в области применения перекрестно-клееных панелей в деревянном домостроении. В связи с вышесказанным, тема исследования имеет высокую **степень актуальности**.

Объект исследования – многослойные клееные деревянные панели.

Цели исследования: Разработка рекомендаций по использованию многослойных клееных деревянных панелей для строительства многоквартирных домов в климатической зоне города Красноярска

Задачи исследования:

- Провести анализ современных деревянных строительных материалов для наружных ограждающих конструкций жилых зданий
- Провести расчёт теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций из многослойных клееных деревянных панелей

- Оптимизировать конструкции наружных деревянных ограждающих конструкций с учетом климатической зоны города Красноярска
- Рассмотреть экономический эффект предложенных решений

Научная новизна диссертационного исследования: предложены варианты наружных ограждающих конструкций из CLT-панелей для развития строительства многоэтажных деревянных зданий в климатической зоне г. Красноярска.

Практическая значимость состоит в том, что результаты диссертационного исследования могут быть использованы при строительстве многоэтажных деревянных зданий в климатической зоне г. Красноярска.

Структура и объём диссертации: диссертационная работа содержит страниц текстового документа 100, таблиц 13, рисунков 37, приложений 2, использованных источников 6.

1 ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ

1.1 Клееный брус

В настоящее время древесина является самым безвредным строительным материалом. Данный факт, несомненно, влияет на высокий спрос домов построенных из дерева. Однако, древесине присущи такие недостатки как кручение, растрескивание и биологическая неустойчивость.

Для того чтобы снизить вероятность появления этих недостатков, которые в той или иной степени могут проявиться в течение срока эксплуатации, разрабатываются новые технологии такие как, например, клееный брус.

Клееный брус занимает относительно большой процент рынка деревянного домостроения в российской федерации.

Данный строительный материал – это технологичный пиломатериал, который состоит из досок (ламелей), склеенных между собой и после профилирования представляет собой стабильный деревянный брус, с улучшенными характеристиками по сравнению с обычным брусом.



Рисунок 1.1.1 – Внешний вид клееного бруса.

Чтобы понять, в чем особенность клееного бруса нужно коротко рассмотреть, как делают этот вид материала. Хвойные породы древесины наиболее популярны для изготовления клееного бруса. Наиболее доступными на территории РФ и простыми в обработке являются сосна и ель, к тому же они наиболее стойкие к воздействию окружающей среды. Клееный брус из лиственных пород также встречается, однако его стоимость существенно выше.

Наиболее популярными породами являются:

- кедр. За счёт содержания эфирных масел в помещении, построенном из кедра, создаётся уникальный микроклимат, в тоже время этот материал прочный и обладает обеззараживающим эффектом. Основным минус этого материала – высокая цена;
- ель. Прочность ели чуть меньше, чем у сосны, однако ель обладает хорошими звукоизоляционными качествами и мягким желтым цветом. Стоимость клееного бруса из ели сопоставима с сосновым брусом.
- сосна. Данный вид древесины прочный, доступный, у него низкая стоимость и красивая фактура. Наибольший процент клееного бруса на рынке занимает клееный брус из сосны. Основные недостатки – присутствие смоляных карманов и сучков. В тоже время, благодаря специфике изготовления клееного бруса, сучки и смоляные карманы можно вырезать и использовать только качественные части сосновой древесины;
- лиственница. Данный вид древесины чрезвычайно прочен и устойчив к внешним воздействиям. Обладает красивым внешним видом. Из-за высокой цены из лиственницы делают только внешние части клеёного бруса. Основные минусы связаны с повышенной смолистостью, что усложняет обработку и отрицательно влияет на прочность склеивания, низкая воздухопроницаемость, более высокая цена по сравнению с другой древесиной;

- дуб. Прочный и надежный вид древесины. Отличается высокой сложностью обработки и высокой стоимостью древесины, что не позволяет поставить производство клееного бруса на поток. Возможно производство клееного бруса из дуба под заказ. В силу высокой стоимости дуба из него изготавливают внешние ламели клееного бруса. Работают с дубом только крупные производители на специальном оборудовании.

Для формирования лицевой стороны клееного бруса используют древесину наиболее прочных пород, причем самую твердую часть древесного ствола – ядро. Древесина из ядра дерева наименее подвержена растрескиванию и кручению, нежели сердцевина, которая, как самая мягкая часть древесины, удалена от края и помещена между лицевыми ламелями. Это, так называемый, финский стандарт. В практике отечественного производства не все производители выдерживают такое требование, поэтому не всегда свойства клееного бруса соответствуют заявленным.

К плюсам клееного бруса можно отнести следующее:

- Клееный брус является несомненно красивым деревянным строительным материалом, в том числе из-за высококачественной обработки ламелей;
- Это экологически чистый материал. Можно возразить, что наличие клея не позволяет отнести клееный брус к экологически чистым материалам. Однако используемый клей подлежит обязательной сертификации, а для строительства используются только клеевые составы, удовлетворяющие требованиям по безопасности;
- Клееный брус слабо подвержен к растрескиванию, этому способствуют три основных момента. Первый – ламели клееного бруса высушиваются по всему объёму. Второй – клей придаёт ламелям

прочность. В-третьих – вероятность сквозного растрескивания отсутствует как таковая;

- Клееный брус не ведет вне зависимости от условий эксплуатации;
- При малом весе клееный брус обладает высокой несущей способностью;
- Клееный брус позволяет создавать сложные формы, в том числе изгибы, возможно возведение длинных стен без перестенок и сращивания строительного материала;
- В одном проекте можно совмещать стены разной толщины;
- Усадка составляет всего 0,4-1,5% за весь период эксплуатации здания;
- Время года и погодные условия не играют роли при сборке дома из клееного бруса;
- Возможность сразу же заселиться в построенный дом или приступить к его отделке;
- Клеёный брус обладает повышенными теплоизоляционными показателями;

Перечислим минусы клееного бруса:

- Более высокая стоимость по сравнению с профилированным брусом, высушенным в камере и другими деревянными строительными материалами;
- В случае нарушения технологии производства, имеется ненулевая вероятность расслоения ламелей, что скажется на характеристиках клееного бруса;
- Риск купить контрафакт;
- Зданиям из клееного бруса необходим регулярный уход, однако такое требование выдвигается ко всем домам из дерева.

1.2 SIP панели

СИП-панель - Структурная изолированная панель, монолитная конструкция, состоящая из плит ОСП и слоя промежуточного слоя утеплителя. Используется в строительстве частных домов и гаражей по каркасной технологии. Относится к безопасным и экологичным видам материалов.

СИП-панели являются удобным материалом с отличными характеристиками и продолжительным сроком эксплуатации, позволяющим возводить постройки в кратчайшие сроки.

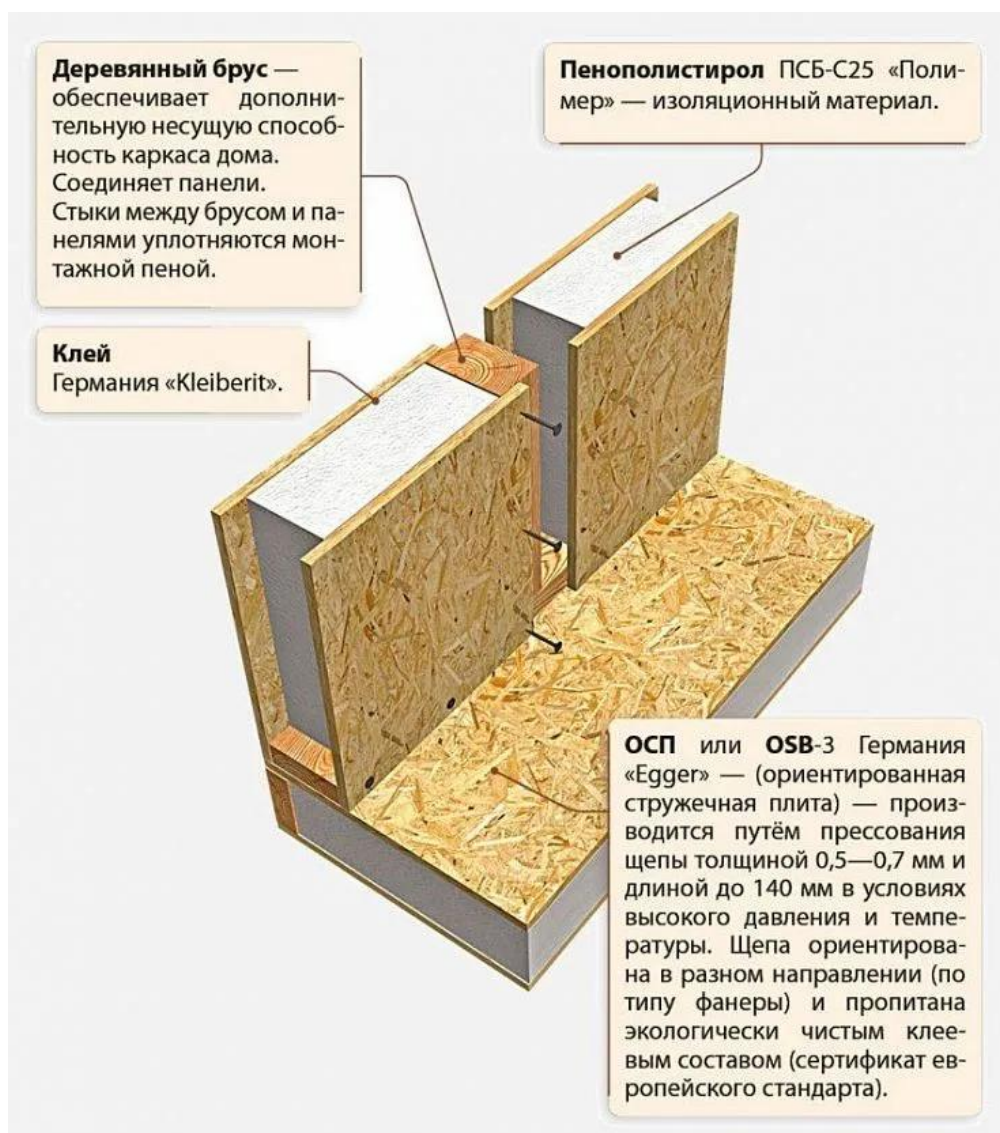


Рисунок 1.2.1 – Конструкция из СИП-панелей.

Основные преимущества зданий построенных из СИП-панелей связаны с конструктивными особенностями данного строительного материала:

Основным элементом данного материала являются ОСП-плиты. Данные плиты состоят из узких и длинных щепок, которые укладываются в несколько слоёв и спрессовываются так, чтобы со всех сторон плиты они располагались перпендикулярно друг другу. Благодаря подобной технологии увеличивается гибкость плит, что отличает данный материал от обычной древесины. В основном используются щепки сосны и осины. В процентном соотношении, плиты состоят на 97% из древесины, и на оставшиеся 3% из связующих компонент. ОСП-плиты обрабатываются водоотталкивающим раствором, что обеспечивает защиту от проникновения влаги и гниения.

В состав панелей также входит пенополистирол, который при лёгком весе обладает относительно низкой теплопроводностью. При производстве утеплителя полистиролловую массу добавляется газ. Использование углекислого газа позволяет повысить пожароустойчивость конструкций. Если сравнивать со стеной из классического кирпича в 2 метра, то лист такого изделия толщиной одиннадцать сантиметров способен обеспечить такой же уровень теплоизоляции.

Можно выделить следующие преимущества конструкций из СИП-панелей:

- Заметная экономия расходов на отоплении дома;
- Увеличение полезной площади помещений из-за малой толщины стен;
- Ускоренное строительство дома. Более дешевый фундамент по сравнению с классическими материалами. Например, винтовой фундамент;
- СИП-панели не дают усадки, таким образом возможна круглогодичная стройки;
- Технология сборки достаточно проста;

- Конструкция лёгкая и прочная.

Недостатки

- СИП-панели имеют высокую цену;
- Необходима приточно-вытяжная вентиляция ограждающих конструкций;
- Низкая несущая способность стен;

Также к недостаткам часто относят:

- Высокая горючесть ограждающих конструкций;
- Выделения при вредных веществах при горении. При плавлении выделяется стирол со специфическим сладким запахом. При высокой концентрации он опасен для человека. С другой стороны, запах стирола становится непереносимым уже при концентрации свыше 200 ppm, что является сигналом к срочной эвакуации;
- Данный материал могут портить грызуны.

Таким образом, СИП-панели, как и другие строительные материалы имеют плюсы и минусы. Тем не менее, возведенный согласно технологии дом из СИП-панелей может служить полноценным круглогодичным жилищем.

1.3 CLT панели

CLT-панели – это деревянные многослойные перекрестно клееные панели. При изготовлении они склеиваются и спрессовываются. Ряды ламелей укладываются крест-накрест относительно друг друга. Вертикальные ламели обеспечивают несущую способность, а горизонтальные — жесткость в продольной плоскости.

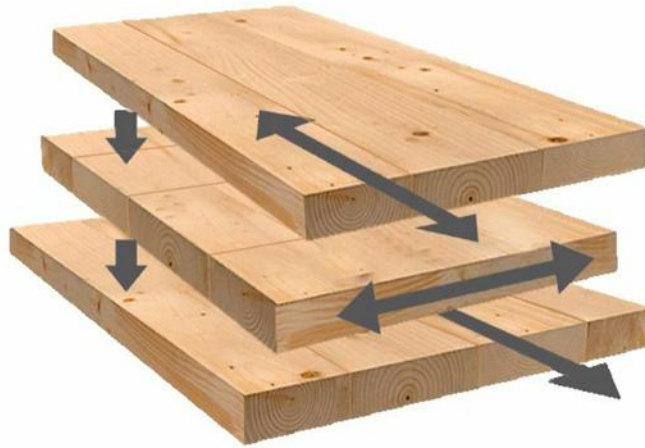


Рисунок 1.3.1 – Схема компоновки CLT-панели.

Опасения потенциальных заказчиков связаны в первую очередь с тем, что новый материал ещё не прошёл проверку временем и неизвестно, как он поведёт себя по прошествии многих лет. Но и CLT-панели, и технологию их монтажа только с натяжкой можно считать новыми. Дерево – самый древний строительный материал, недостатки которого и способы их нивелирования известны всем. Сама же конструкция подвергалась самым серьёзным испытаниям и на прочность, и на пожаробезопасность, и даже на сейсмоустойчивость. Кроме того, первым зданиям, построенным по этой технологии в Западной Европе, уже около 30 лет, и пока нареканий по их эксплуатации нет.

Самыми серьёзными проблемами являются достаточно высокая стоимость материала и необходимость применения мощной и габаритной техники для строительства.

CLT-панели обладают физическими параметрами (плотность, прочность, огнестойкость и т.п.), которые позволяют использовать их для строительства многоэтажных жилых домов, при этом у них есть ряд преимуществ по сравнению с классическими материалами - металлом, бетоном и кирпичом [4]. На конец 2021 года самый высокий деревянный дом построен в Норвегии, в нём 18 этажей и 85 метров. Первым подобным проектом в России ста-

нет строительство четырехэтажного жилого здания из CLT-панелей для работников деревообрабатывающего комбината в г. Сокол.

Далее следует этап строгания и шлифовки для получения идеально гладкой поверхности. Если панели будут использоваться для монтажа стен, их могут отделывать слоем ОСП. Затем в соответствии с планом здания прорезаются оконные, дверные проемы, каналы для прокладки коммуникаций. Эту процедуру выполняют на станках с ЧПУ, что обеспечивает высокую точность обработки. Характеристики CLT-панелей приведены в Таблице 1.3.1.

Процесс производства одной заготовки длится от 15 до 60 минут. В результате получают панели шириной от 60 до 400 см и длиной до 24 м. Они состоят из 3-12 слоев и могут иметь толщину от 6 до 35 см.

Процесс строительства:

Готовые элементы будущего здания транспортируют на участок, а затем собирают, подобно детскому конструктору. У строителей есть план дома, по которому производится установка и монтаж каждой пронумерованной панели. Конструкция собирается на заранее подготовленный фундамент.

В процессе строительства принимает участие небольшая бригада, использующая лишь подъемный кран и простой электроинструмент. На установку одной панели в среднем требуется около 20 минут. Дом для одной семьи строители собирают примерно за 8 часов.

После этого можно сразу приступить к внутренней и наружной отделке. При этом стены не нужно штукатурить, так как они после механической обработки на производстве приобретают идеально ровную поверхность. Для всех коммуникаций уже подготовлены необходимые трассы, места для установки щитков, ревизионных окон и т. д. Поэтому дом будет готов к сдаче за считанные дни.

Таблица 1.3.1 Характеристики CLT-панелей

Показатели	Значения показателей					
	3		5		7	8
Число слоёв ламелей	ТТ	ТL	ТТ	ТL	ТL	ТL
Толщина панелей, мм	57, 72, 94, 120	57, 60, 78, 90, 95, 108, 120	95, 125, 128, 158, 200	117, 125, 140, 146, 162, 182, 200, 202, 226	208, 230, 260, 280	248, 300, 320
Рекомендованная (с целью оптимизации отходов) ширина панелей, мм	2400/2500/2720/2950					
Деформация	В плоскости панели деформация пренебрежимо малая, перпендикулярно плоскости панели – 0.24 мм/м на 1% влажности					
Влажность, %	12 ± 2					
Огнестойкость, мм/мин	0,67 – только для наружных слоёв, 0,76 – для других слоёв					
Воздухопроницаемость	Тестирование для панелей размером 1000 x 1000 показало, что трёх- и пятислойные воздухопроницаемы. Тестирование готовых модулей помещений длиной 8 м, шириной 4.2 м и высотой 2.5 м с трёхслойными стеновыми элементами (примерный объём – 84 м ³) и трёхслойными элементами перекрытий, но без изоляции облицовки фасадов, показало высокий уровень воздухопроницаемости.					
Теплопроводность	0.13, Вт/(м ² К)					
Удельная теплоёмкость	2.0, кДж/(кг К)					

Примечание: ТТ – верхний слой перпендикулярен направлению панели, ТL – верхний слой параллелен направлению панели.

Тем не менее, у данной строительной технологии большое количество достоинств, что влияет на ее постоянно растущую популярность. Отметим плюсы домов из CLT-панелей:

- Изготовлены из натурального дерева, благодаря этому внутри помещений здоровый микроклимат;
- Материал не подвержен усадке. Можно сразу монтировать окна;
- В стенах отсутствуют щели, которые нужно герметизировать;
- При отделке снаружи здания можно применять навесные фасады;
- Можно строить многоэтажные здания;
- Материал отличается высокой пожаростойкостью;
- Возможность реализации любого архитектурного стиля;
- Материал является экологичным. Применяется натуральная древесина;
- Минимальное количество строительного мусора и отходов;
- Дома из CLT-панелей отличаются высокой сейсмоустойчивостью. Здания могут выдерживать землетрясения до 9 баллов.
- Теплопроводность CLT-панелей 0.13 Вт/м*К;
- Стены и перекрытия обладают высоким шумопоглощением;
- Конструкция весит в 6 раз меньше, чем аналогичное здание из бетона;
- В межэтажных перекрытиях отсутствуют динамические вибрации.
- Внутреннее пространство помещений увеличивается в силу меньшей толщины стен, по сравнению с клееным брусом и бетоном.

Среди недостатков можно выделить следующее:

- Относительно высокая стоимость;
- Необходимость дополнительного утепления в холодном климате;

1.4 Утеплители

Независимо от конструкционных материалов стен, при утеплении здания важно выполнять следующие правила, сформулированные на уровне СНиП:

- теплоизоляцию надо надежно защищать от проникновения в нее влаги;
- доступ паров воды к теплоизоляции должен быть максимально ограничен;
- расположение слоев должно обеспечивать высыхание конструкции и предотвращать в ней накопление влаги.

К утеплителю деревянных стен выдвигаются следующие требования:

- паропроницаемость;
- низкий показатель теплопроводности, чем он ниже, тем лучше материал держит тепло;
- негорючесть. Все знают, что дерево легко воспламеняется и горит, поэтому в паре с ним лучше использовать материалы, которые максимально устойчивы к огню;
- низкий вес. Чем легче материал, тем проще его монтировать. Если утеплитель слишком тяжелый, понадобится более прочный каркас, а это время и лишние расходы.

Для теплоизоляции обычно используют такие материалы:

- все минеральные ваты (каменная вата, шлаковата, стекловата и эковата), они обладают высокими показателями паропроницаемости;



Рисунок 1.4.1 – Внешний вид минеральной ваты.

- твердые полимерные утеплители (пенополистирол и пенопласт);



Рисунок 1.4.2 – Твёрдые полимерные утеплители.

Их использование не запрещено, но сознательно перекрывается дыхание дому. Да, это удобные в монтаже и практичные утеплители, но придется организовать очень серьезную систему вентиляции, а это немалые расходы при обустройстве и эксплуатации. Целесообразно использовать такие материалы разве что для утепления бетонного цоколя и фундамента;

- сыпучие утеплители;



Рисунок 1.4.3 – Сыпучие утеплители.

Сыпучие утеплители (вермикулитовый щебень, керамзитовый гравий, перлитовый щебень) неплохо пропускают воздух и влагу, не боятся высоких температур, не интересны для грызунов, но они обладают низким коэффициентом теплоизоляции, так что подходят только для теплых регионов, но и там особой популярности не приобрели.

- межвенцовые утеплители



Рисунок 1.4.4 – Межвенцовый утеплитель.

Данный вид утеплителя используются, если нужно сохранить внешний вид здания. Одним из таких утеплителей является лен, он доступен на рынке в виде плит, рулонов и матов. Он является отличным теплоизолятором, с большим количеством полезных свойств. Данный утеплитель обладает большим количеством преимуществ, по сравнению с минеральной ватой или пенопластом.

Можно отметить следующие преимущества:

- Главный плюс – утеплитель из льна экологичен и натурален. В его состав входят только натуральные материалы, которые не оказывают отрицательного воздействия на здоровье человека;
- Льняной утеплитель может служить до семидесяти лет. В течение срока службы данного материала можно не переживать за микроклимат в помещении. Материал устойчив к гниению, воздействию ультрафиолета и температурным перепадам;
- Льняной утеплитель обладает низкой теплопроводностью, надежно защищает от шума. По сравнению с минеральной ватой данный материал эффективнее на около тридцати процентов;
- В помещении поддерживается оптимальная влажность, в слое утеплителя не скапливается конденсат, таким образом не требуется дополнительная пароизоляции;
- С льняными плитами легко работать. Они легко режутся и при этом не крошатся. В качестве инструментов можно использовать ручную ножовку, циркулярную или ленточную пилу. Примечательно что его можно резать даже сквозь упаковку, чтобы процесс был еще более простым и «чистым»;
- Лен обладает антисептическими свойствами что противодействует появлению и развития бактерий и грибка. В льняных плитах не живут грызуны;

- Способен выдерживать воздействие высоких температур, т.е. пожароустойчив;

Эти характеристики позволяют использовать льняные плиты как при строительстве производственных, так и общественных и жилых зданий. Льняной утеплитель используется как при внешнем, так и при внутреннем утеплении. Льняные плиты являются отличным теплоизоляционным материалом для стен, перегородок, перекрытий, полов и т.д. Таким образом можно смело сказать, что данный материал многофункционален и универсален.

Рассмотрим утеплитель под торговой маркой Белтермо. Теплоизоляционные плиты под маркой Белтермо (республика Беларусь) это природный материал, который почти полностью состоит из сосны. Данные плиты используются для создания эффективной и теплоизоляции дома.



Рисунок 1.4.5 – Утеплитель Белтермо с соединением шип-паз.

Перечислим ниже основные характеристики утеплителя Белтермо:

- Благодаря высокому значению теплоемкости в помещении становится прохладно даже в жаркие дни, что, несомненно, позволяет экономить на кондиционировании;
- Высокая пористость позволяет поглощать звуковые колебания, т.е. в доме всегда будет тихо, и не требуется использование дополнительной звукоизоляции;
- Теплоизоляционный материал обладает низкой теплопроводностью ($\lambda = 0,038-0,042$ Вт/м*К), что не позволяет теплу выходить наружу, а холоду - проникать внутрь;
- Материал прост в использовании. Формат плит и экологичность материала позволяет производить монтаж без использования защитных средств. Плиты плотно стыкуются и без особого труда нарезаются до нужного размера;
- Материал безопасен для человека и окружающей среды, т.к. содержит натуральную древесину и экологически чистые связующие компоненты.

2 ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ CLT-ПАНЕЛЕЙ В МНОГОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1 Зарубежный опыт

Дом E3 (2008) в Берлине

Дом под названием «E3» (Берлин, Германия) – является первым современным высотным деревянным домом в Европе. Комфортный семиэтажный дом высотой 22 метра построен в 2008 году. Планировка построена так, что одна квартира занимает полностью один этаж



Рисунок 2.1.1 – Дом из CLT-панелей E3 в г. Берлине, Германия.

Необходимость и возможность строительства из древесины на небольшой свободной территории (примерно, 1 тыс. кв. м) между существующими

зданиями была обусловлена рядом компромиссных решений, принятых ради удовлетворения противоречивым требованиям (точечная застройка, комфортабельные квартиры, малая нагрузка на окружающую городскую и природную среду, соответствие современным стандартам энергоэффективности).

Власти города планировали жилую застройку небольшого пустующего места. Строительство дома из железобетона в данном месте было чрезвычайно трудно и затратно. На тот момент технология строительства высотных домов из древесины была не отработана. Каркас многоэтажного дома ЕЗ состоит из клееного бруса (LVL брус), стены и перекрытия было решено выполнить из древесины Brettstapel.

Данный подход очень хорошо подошёл для локальной застройки, так как не создал больших неудобств для горожан, проживающих в окрестностях. Весь процесс строительства занял менее года, требовал небольшое количество техники, был заметно чище и не создавал дополнительную акустическую нагрузку. Строительство дома ЕЗ требовало закладки относительно легкого фундамента, что позволило снизить нагрузку на имеющуюся подземную инженерную инфраструктуру.

На то время в Германии было разрешено только малоэтажное (не более 13 метров высоты) деревянное строительство (что определялось инженерными и противопожарными нормативами). Было предложено альтернативное решение каркасно-панельный дом из деревянных строительных материалов.

Максимальная безопасность была обеспечена компоновкой с отдельной лестницей и изолированными этажами. В целом, данное здание — это архитектурный комплекс из цокольного этажа из бетона, 6-ти деревянных этажей и отдельной стоящей бетонной лестницы. Каждая квартира имеет свой отдельный выход на лестницу через собственную площадку, которая обеспечивает свободное передвижение по лестнице даже в случае пожара в одной из квартир здания. Кроме того, каркасно-панельный деревянный дом спланирован так, что соседние помещения изолированы от распространения

огня в случае пожара. Этажи отделены экранами перекрытиями без каналов распространения огня и дыма (в классическом случае это межэтажные коммуникационные ходы и лестничные пролёты). Оконные проемы соседних этажей находятся не друг над другом, что существенно затрудняет распространение огня при пожаре. Древесина перекрытий и стен закрыта гипсокартоном и штукатуркой. В местах, где распространение огня практически невозможно дерево радует глаз жильцам. Видимые деревянные поверхности обработаны антипиренами, квартиры оснащены современной автоматической системой оповещения по пожаротушения.

Каркас здания собирался из колонн и балок из клееного бруса сечением 30x30 см с помощью стальных "фитингов". Готовые панели (толщина 160 мм) перекрытий и наружных ограждающих конструкций монтировались этаж за этажом. Деревянные полы-перекрытия покрыты арматурой и залиты бетоном. Конструкция крыши выполнена подобным образом. Деревянные панели стен закрыты гипсокартоном, утеплителем и оштукатурены. Несмотря на большой процент остекления, применение древесины и теплоизоляции обеспечили низкий уровень тепловых потерь.

В целом, здание E3 стало удачным пробным многоэтажным домом, продемонстрировавшим, что использование древесины в многоэтажном строительстве безопасно и выгодно. В настоящее время, не осталось сомнений в том, что древесина в современных строительных формах не уступает и даже превосходит классические строительные материалы для массовой застройки.

Жилой комплекс Limnologen

Жилой комплекс Limnologen в г. Векшё, Швеция построен из перекрестно-клееных панелей CLT-панелей. Жилой комплекс Limnologen стал точкой возврата для Швеции к строительству из древесины. Следует отметить, что участником в строительстве стал местный университет.

Высокое развитие промышленности и высокий социальный уровень населения города Векшё обусловили применение в строительстве самых современных материалов и методов. Возврат к деревянному домостроению в данном случае, это результат многих процессов и факторов. В частности: единение с окружающей средой, стремление получить большой комфорт, развития деревообрабатывающих предприятий в Крунуберге. Крунуберг - родина корпорации ИКЕА.



Рисунок 2.1.2 – Жилой комплекс Limnologen в г. Векшё, Швеция.

Застройщик организовал конкурс, согласно которому жилые дома должны были быть полностью деревянными. Бетонным могли быть только первый этаж (из-за близости водоёма). Для обеспечения защиты древесины от влаги и снижения пожароопасности было предложено использовать слой балконов с большой долей остекления. Древесина каркаса строения и обшивки максимально открыта для глаз и при этом достаточно хорошо защищена стеклом. Суммарное число квартир (в каждой от 1 до 5 комнат) в комплексе

134. Работы были начаты в 2006 году и завершились в 2009 (промежуточный этап, сдача первых двух зданий - лето 2008 года).

CLT-панели и клееный из ламелей брус использовались для каркаса стен и перекрытий, массив и древокомпозиты - для отделки. На стройплощадку поставлялись готовые деревянные элементы. Здание возводилось с невероятной скоростью – 1 этаж за 4 дня. Для обеспечения защиты древесины монтировался мобильный дождевой тент. Деревянные конструкции, прибывающие на стройку, укрывались пленкой.

В целях улучшения акустических характеристик контакты между элементами конструкции (межэтажные и межкомнатные) разделены специальными звукоизолирующими прокладками. При монтаже напольных и стеновых элементов помещений применялись крепления и герметики, не проводящие звук. Тепло и звукоизоляция выполнена так, что спальни и санузлы изолированы, то есть обеспечивается внутриквартирная шумоизоляция. Древесина стен внутри помещений закрыта изоляционными панелями и закрыта гипсокартоном. Фасады отделаны древесиной или оштукатурены (на стороне, выходящей к дороге). Изначально полы балконов имели цементное покрытие, которое должно было обеспечить защиту древесины от влаги. После первых сезонов эксплуатации оказалось, что комбинация древесина-цемент для пола балконов решение не оптимальное (происходило растрескивание покрытия). В расчете на полувековой цикл эксплуатации лучше было бы покрыть полы слоем эластичного полимера, резины.

В 2009 году проект Limnologen получил архитектурную премию Крунуберга, затем "Большой экологический приз" в 2010, в 2012 был номинирован на премию Wood Award. Проект привлек внимание шведского парламента, который теперь продвигает деревянное домостроение в национальном масштабе.

Лондонский Stadthaus

В 2009 году в Лондоне, Великобритания, был впервые построен многоквартирный жилой дом высотой 30 метров. Основным строительным материалом при его возведении была перекрестно клееная древесина (CLT-плиты). В Великобритании не было никаких ограничений на строительство многоэтажных домов из деревянных строительных материалов. Однако для проектировщиков и инженеров была непростой, но в тоже время интересной технической задача. В тоже время перед заказчиком стояла задача вписаться в непростое техническое задание – построить современный многоквартирный дом в жилом районе, при этом не нарушая комфорт жильцам окружающих домов.

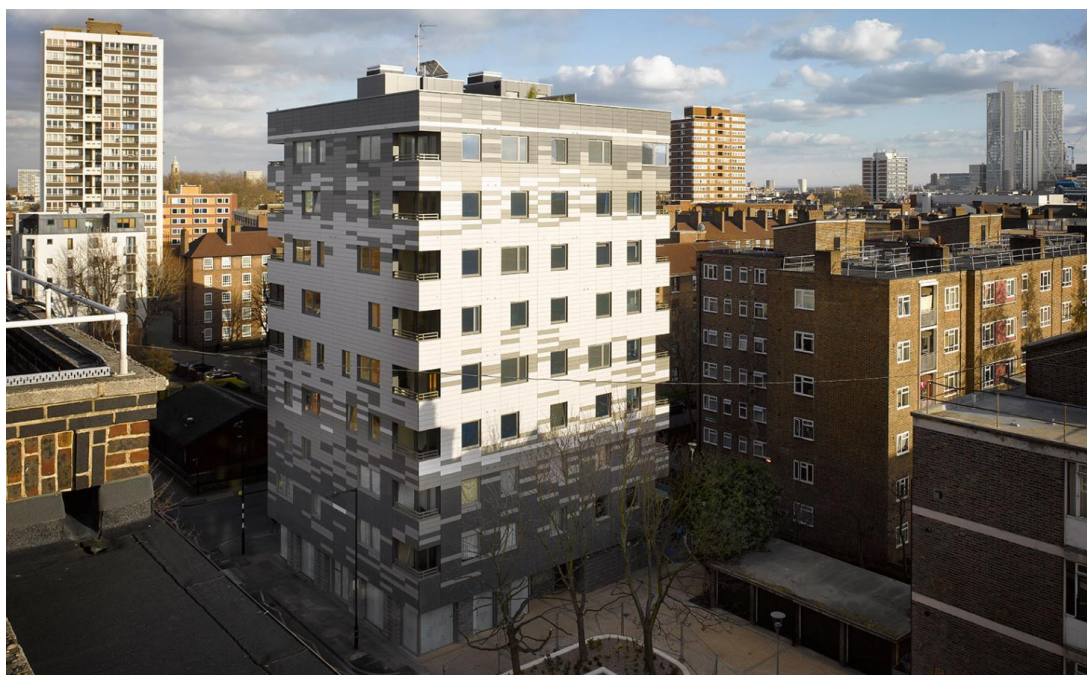


Рисунок 2.1.3 – Дом из CLT-панелей Stadthaus в г. Лондон, Великобритания.

Размер строительной площадки составлял всего 17 на 17 метров, в окружении существующих жилых домов. Это должен был быть энергоэффективный, дешевый и гармонирующий с городской средой дом. Был сделан выбор в пользу деревянного домостроения, в качестве материала была выбрана CLT-панель.

Проект оказался выигрышным во всех отношениях. Изначально более высокая стоимость конструкции из перекрестной клееной древесины и сопутствующих для деревянного строительства материалов, компенсировалась высокой скоростью работ и уменьшением трудозатрат. Так, дом из железобетона строился бы 72 недели, а из CLT-панелей был построен за 49 недель. Поразительно, что верхние 8 этажей собирали четверо рабочих, потратив на это 27 рабочих дней. Использование готовых модулей свело работы к подъему и монтажу готовых элементов, жизнь горожан не была нарушена ни шумом, ни строительным мусором.

Хотя на административном уровне решение в пользу древесины, как строительного материала, было принято осознано (при осознании преимуществ конструкций из CLT-панелей), афишировать новую технологию перед потенциальными покупателями недвижимости и арендаторами не стали. Надежность деревянных конструкций и их пожаробезопасность в период строительства были далеко не бесспорными для общественного мнения. Поэтому Stadthaus, отделанный снаружи декоративными и защитными этернитовыми фасадными панелями, а изнутри гипсокартоном и штукатуркой, ничем не отличается от современного жилого дома.

Лифтовые и лестничные шахты образуют остов здания, вокруг которого располагаются жилые квартиры. Нагрузка перераспределяется и между этим остовом, и между "сотовой" структурой внутренних и наружных стен. Все элементы, включая лифтовые и лестничные шахты, изготовлены из CLT. При монтаже нового этажа готовые панели, с заранее проделанными отверстиями инженерных линий и коммуникаций, с установленными окнами и дверями надстраиваются на уже собранной базе нижележащего. Для установки и фиксации панелей применяются металлические уголки. Конструкция работает благодаря связности всех элементов, однако рассчитана с запасом прочности, позволяющим демонтировать любой из них для замены или перепланировки.

Первый этаж Stadthaus, выполнен из бетона, CLT-конструкции верхних этажей защищают гипсокартон и штукатурка. Практически все деревянные панели здания покрыты тепло и звукоизолирующими прослойками. Наружным стенам они обеспечивают минимальные тепловые потери, а внутренним - хорошую шумоизоляцию. Шахты лифтов построены из двух CLT-панелей с пористым изоляционным слоем каждая.

Энергоэффективность строения оказалась очень высокой. Из систем вентиляции возвращается до 70% тепла, были использованы солнечные батареи. Тепловые потери с квадратного метра стены при перепаде температур в 1 градус составляют всего 0,13 Вт.

Bridport House (Лондон)

Строительство комплекса зданий Bridport House было первым этапом программы обновления муниципального жилого фонда боро (района) Хакни, Лондон (London, Borough of Hackney). В рамках этой программы предполагается увеличить количество жилых домов более чем вдвое (с 4 сотен до 9). Основным материалом для Bridport House была выбрана конструкционная древесина - перекрестно клееные панели (CLT / Cross Laminated Timber) от компании Stora Enso (www.clt.info). Использование технологий деревянного домостроения позволило сравнительно быстро осуществить все работы, избежать неудобств, обычно связанных со строительством жилых многоэтажных домов из железобетона в зоне существующей застройки.



Рисунок 2.1.4 – Дом из CLT-панелей Bridport House в г. Лондон, Великобритания.

Одним из решающих доводов в пользу древесины (клееной, технологичной и надежной) было наличие старых подземных инженерных коммуникаций, которые могли быть повреждены при закладке массивного фундамента традиционной бетонной многоэтажки. При строительстве из легкой древесины нужды в таком фундаменте нет. Это может показаться странным, но древесина визуально не представлена в облике Bridport House. Как большинство проектов деревянного домостроения первого десятилетия 2000-х годов, комплекс в Хакни "маскируется" под привычную для жильцов и городского облика технику строительства, в этом конкретном случае - кирпич.

Bridport House состоит из 2 блоков, 5- и 8-этажного. В комплексе 41 квартира разной площади и планировки.

Stora Enso спроектировала и изготовила для Bridport House 1100 CLT-панелей общим объемом 1576 куб. м. В перекрытиях полов/потолков используется перекрестно-клееная древесина толщиной 160 мм, крыши - 220 мм. Панели стен изготовлены из CLT толщиной 100, 140 и 160 мм. Типичные

размеры панелей 16 на 2,95 м. Панели крепятся друг к другу посредством металлических уголков, винтов и болтов. Наружные панели "укутаны" слоем тепло- и звукоизоляции (толщина 100 мм, основа - натуральное волокно).

Karakusevic Carson Architects так спроектировали конструкцию, что вес вышележащих этажей принимают на себя стены нижележащих не непосредственно через прямой контакт, а через перекрытие пола. Оно выравнивает и перераспределяет нагрузку, в некоторой степени механически изолируя этажи друг от друга. Именно это позволило достаточно свободно планировать пространства этажей - внутренние перегородки не являются несущими.

Работы на площадке начались в октябре 2010 года и заняли 12 недель, дом был сдан в 2011 году. По оценкам, при использовании традиционных технологий потребовалось бы в 2-3 раза больше времени. Темпы строительства Bridport House обусловлены двумя факторами. С одной стороны, сам по себе монтаж готовых, заранее хорошо подогнанных деревянных панелей из перекрестно-клееной древесины не требует больших затрат времени и сил. С другой, сухая древесина CLT-панелей не должна подвергаться воздействию сырой атмосферы, а работы велись в осеннее время. Поэтому "скорость" строительства была просто необходима. Чтобы еще более ускорить процесс на стройплощадку поставлялись CLT-панели с предварительно проделанными коммуникационными/инженерными каналами и нанесенной термоизоляцией. Для защиты от лондонской погоды по мере строительства деревянного панельного корпуса, готовые уровни закрывались пленкой. После монтажа деревянное здание облицовывалось кирпичом, выполняющим декоративные и защитные функции.

Гибридная конструкция CLT и кирпич (при этом из древесины собран и первый этаж, обычно бетонный в гибридных конструкциях) - компромиссное решение сложной задачи переустройства городской среды. Хотя строительство было закончено менее чем за год, обсуждения с участием Ассоциации жителей Колвилла (Colville Estate Residents Association) велись более 10

лет. Кроме технических сложностей, связанных с наличием подземных коммуникаций, нужно было удовлетворить требованиям о гармоничном и традиционном для района дизайне, учитывающем современные стандарты комфорта. В итоге было спроектировано деревянное здание с кирпичной обшивкой и большими "подвесными" балконами. Квартиры нижнего этажа имеют индивидуальные выходы во двор, оформленные как небольшие патио (изолированные дворики с садом). Благодаря этому проекту, архитектурное бюро Karakusevic Carson Architects выиграло конкурс в 2009 году и продолжает заниматься реконструкцией Хакни.

Кроме теплоизоляции с использованием натуральных волокнистых материалов экономия энергии Bridport House обеспечивается двух и трехслойным остеклением, собирающей тепло крышей. Нужно отметить и вообще более высокую "энергоэффективность" строений из древесины. Тратить на отопление жильцы таких домов будут меньше. Ориентация окон и балконов выбрана так (направление восток-запад), чтобы квартиры получали суммарно максимально возможное для их положения в здании количество света. Дренажная система комплекса обладает достаточной емкостью для сбора больших объемов воды. Это не только снижает риск подтопления, но и позволяет длительно использовать воду для полива.

Выбор древесины в качестве основного конструкционного материала позволил существенно снизить выбросы парниковых газов при производстве строительных материалов и даже обеспечил консервацию углерода в "стенах" здания. Проект Bridport House считается примером реализации "зеленой" городской архитектуры будущего. Без существенных изменений конструкцию, реализованную в Bridport House, можно "масштабировать" до 10 этажей (и даже 10+, как отмечается в презентации проекта от Stora Enso).

Комплекс Via Cenni

Проект городского деревянного домостроения Via Cenni (Милан, Италия) интересен не только использованием конструкционной древесины. В городской черте возвели комплекс социального жилья нового типа. Создана целостная среда обитания с развитой инфраструктурой - проживание, бытовые сервисы, развлечения и занятия спортом, рассчитанная на молодого городского жителя.



Рисунок 2.1.5 –Здание из CLT-панелей Via Cenni в г. Милан, Италия.

Комплекс Via Cenni, компания Stora Enso. Один из наиболее интересных и грандиозных реализованных проектов городского деревянного домостроения - Via Cenni (Милан, Италия, завершен в 2013, www.cennidicambiamento.it). Интересен он не просто использованием конструкционной древесины. А тем, что строительство жилых многоэтажных домов из этого природного (но переработанного) материала было лишь частью еще более смелой задачи - возведения в городской черте комплекса социального жилья нового типа. Архитектурное проектирование должно было учесть ряд требований заказчиков (это Fondo Abitare Sociale Milan, Italy и Polaris Investment Italia SGR). Концептуально - создать целостную среду обитания с развитой инфраструктурой (проживание, бытовые сервисы, развлечения и

занятия спортом, даже "шаговый" доступ к живой природе), рассчитанную на молодого городского жителя. Технически - обеспечить соответствие высшему классу современных эко-стандартов и комфорта при сравнительно невысокой цене (стоит отметить, что заметную часть расходов на аренду жилья и льгот по его выкупу предоставляет город).

Визуализация конструкции Via Cenni, Rosseprodi Associati S.R.L. Утвержденный к 2009 году проект предполагал использование вместо бетона, кирпича и стали - перекрестно-клееной древесины, CLT панелей для формирования самонесущей конструкции зданий. Однако и традиционным строительным материалам нашлось место - бетон и металл применяются в фундаменте, элементах цокольного этажа и лестницах (при этом, лестничные шахты собираются из CLT панелей). Внутренняя отделка и фасад скрывают стены из конструкционной древесины, обеспечивая привычную для горожанина визуальную среду. "Дерево", в широком смысле растительность, представлено "живыми" экземплярами в сквере, клумбах, зеленой крыше.

При проектировании комплекса (архитектурное проектирование Rosseprodi Associati S.R.L. / www.rossiprodi.it, инженерные разработки и планирование работ: Borlini&Zanini SA, Andrea Bernasconi, Cristina Zanini Barzaghi, Maria Rosaria Pes) были использованы наработки, применявшиеся в строительстве малоэтажных эко-поселений и современных энергоэффективных умных жилищ. Поэтому в Via Cenni сочетаются горизонтальная планировка коммуникаций таунхаусов с вертикальной городских многоэтажек, децентрализация жилых помещений и общее управление системами энергообеспечения и коммуникаций.

План комплекса Via Cenni, Rosseprodi Associati S.R.L и сайт проекта Via Cenni. Строительные и монтажные работы выполнялись компаниями: MAK Building GmbH (Австрия), Carron S.p.A (Италия) и Service Legno S.r.l (Италия). Деревянная часть комплекса построена из клееной древесины - CLT панелей от финско-шведской лесопромышленной компании Stora Enso.

Четыре деревянные 9-этажки (высота 28 метров) объединены общим цокольным этажом и галереями, образуя единый комплекс Via Cenni с зеленым сквером в центре. Основание каждой башни из CLT панелей - 13,5x19 м. Всего в комплексе 124 квартиры разной площади: 50, 75, 100 кв. м.

Интерьер квартиры, сайт проекта Via Cenni. Для строительства было использовано 6000 куб. м перекрестно-клееной древесины разной толщины и количества слоев. Последнее - характерная особенность проекта, которую можно отнести на счет "итальянского дизайна". Деревянные высотки "холодной" Европы монтируются из стандартных готовых одинаковых по толщине панелей. Теплой Италии, для которой важнее механические характеристики и скорее разнообразие, чем унификация в дизайне, в проекте Via Cenni понадобились панели CLT толщиной от 120 до 230 мм, трех, пяти и семислойные. Самые массивные семислойные 230 мм панели образуют горизонтальные перекрытия над большими пролетами (до 6,7 м), пятислойные 200 мм - меньшими (до 5,8 м). Вертикальные стены нижнего деревянного этажа собраны из CLT панелей 200 мм толщины, а к 9-му этажу толщина панелей ступенчато (2, 3, 4 этажи - 180 мм, 5, 6 - 160 мм, 7, 8 - 140 мм) снижается до 120 мм (трехслойная). Конструкция башен учитывает необходимый запас прочности панельной конструкции при частичном повреждении, пожаре и сейсмических нагрузках.

Комплекс Via Cenni, компания Stora Enso. Благодаря применению готовых деревянных модулей CLT Stora Enso удалось сократить время строительства на половину относительно традиционных методов и технологий. А вместе с этим, затраты на строительство и нагрузку на городскую среду. Проект по энергоэффективности оценивается как "класс А", то есть высший. Экономия ресурсов при его эксплуатации составляет 70-80% при сохранении привычного уровня комфорта. Обеспечивается она не только пассивными средствами (теплоизоляция), но и активными - в системы вентиляции и обогрева включены тепловые машины, резервуарами тепла для которых служат

грунтовые воды. Для полива и технических нужд комплекс оснащен системами сбора дождевой воды.

14-этажный жилой дом Treet

В 2015 году был сдан в эксплуатацию 14-этажный жилой дом Treet («Дерево») в Бергене (Damsgardsveien 99, Bergen, Norway). Проект разрабатывался с 2005 года.



Рисунок 2.1.6 – Жилой дом из CLT-панелей Treet в г. Берген, Норвегия.

Квартиры-модули произведены компанией KodumajaС увеличением размеров сооружения растут и размеры элементов (деталей) его конструкции. Масштабный эффект - одно из препятствий для использования дерева (древесины) в многоэтажном строительстве. Получение цельных деталей большой длины и сечения из натурального дерева для строительства жилых многоэтажных домов или просто невозможно, или обходится слишком дорого. Однако современные технологии (клееная древесина, в частности производство CLT панелей, композитов на основе ацетилированной древесины) позволяют «выращивать искусственные» деревянные детали требуемого размера и профиля. А то, что мы до сих пор не живем в деревянных многоэтажках, скорее результат технологической инерции - следование привычным, стандартным

решениям и нежелание внедрять новое, нарушая сложившуюся индустрию массового строительства.

Тем не менее строительство жилых многоэтажных домов из дерева ведется. Так, в 2015 году был сдан в эксплуатацию 14-этажный жилой дом Treet («Дерево») в Бергене (Damsgardsveien 99, Bergen, Norway). Проект Treet разрабатывался с 2005 года при активном участии компании Bergen и Omega Building Society (BOB), чей собственностью здание и является. Проектирование и инженерные разработки осуществляли агентство Sweco и конструкторское бюро Artec Arkitektur. Здание Treet занимает второе место в мире по высоте (49 м, 14 этажей). Среди реализованных проектов лидирует Brock Commons в Ванкувере, Канада (53 м, 18 этажей). На третьем месте стоит Forte из Мельбурна, Австралия (32 м, 10 этажей).

Интерьер и планировка квартиры в доме Treet Местные погодные условия (берег Северного моря) требовали от сооружения хорошей стабильности при сильных ветрах, соответствия нормативам пассивного дома (эффективной теплозащиты в целом), устойчивости конструкции и материалов к климатическим факторам (осадки, влажность, ветер). При этом нужно было продемонстрировать возможность применения древесины и явно показать это (обеспечить возможность видеть деревянную конструкцию и отделку). Кроме прочего, Treet задумывался, как комфортный жилой комплекс с подземной парковкой, спортивным залом, террасами на верхних этажах и выходом к яхтенным пирсам.

Для удовлетворения всем требованиям был выбран проект, в котором каркас (собственно каркас, шахты лестниц и лифтов) из CLT-древеси́ны (производитель - компания MERK Timber) связывал вместе готовые жилые модули из переработанной древесины (производитель - компания Kodumaja). Для строительства Treet компания MERK Timber предоставила CLT марки LENO размерами до 16x3 м. Сборку несущих ферм, лифтовых шахт и перекрытий из него выполняла компания-партнер MERK Timber - Moelven Limtre.

Сборка ферм каркаса здания Treet из CLT LENO (MERK Timber), предприятие Moelven Limtre. Деревянные конструкции сравнительно легки, что позволяет обходиться не столь массивными фундаментами, как при строительстве из камня или бетона. Однако без дополнительной нагрузки, сами по себе, они не могут обеспечить требуемой стабильности при сильных боковых ветрах. Для увеличения массивности и жесткости сооружения на 5, 10 и 14 этажах Treet размещены бетонные уровни.

При сооружении зданий из бетона приходится решать противоположную задачу - в целях уменьшения веса конструкции и нагрузки на фундамент и нижние этажи применяется предварительно напряженный железобетон. Разрушительные для бетона растягивающие нагрузки компенсируются не дополнительным весом, а внедрением в массу предварительно (до затвердевания бетона) растянутых металлических элементов (арматуры). В условиях сильных ветровых нагрузок массивность бетонных конструкций - плюс в их пользу. Но если таких нагрузок нет, легкие деревянные конструкции предпочтительнее.

Производство квартир-модулей на предприятии компании Kodumaja. От непогоды деревянные остов и жилые блоки Treet защищают остекленные балконы (северная и южная стороны) и металлическая облицовка, под которой проложена эффективная термоизоляция (западная и восточная стороны). Большая площадь остекления балконов не только дает возможность созерцать жильцам городскую и природную панораму (фьорд и холмы), но и открывает для наблюдения снаружи деревянный каркас здания. Для внешней отделки применялись также композитные дерево-полимерные материалы Tricoа с наполнителем из ацетилированной древесины.

Вид на Treet. Проект Treet интересен не только новизной конструкции и применением древесины для многоэтажного строительства. В нем соединились инженерные методы возведения ферменных мостовых конструкций и модульных малоэтажных жилищ. Готовые жилые одно- и многокомнатные

модули Kodumaja изготовлены (на предприятии в Эстонии) с большой точностью не просто для быстрого монтажа конструкции, но и для возможности подключения коммуникаций (электропитания, вентиляции и отопления, пожаротушения и проч.). На месте они быстро собираются в 4-этажные сборки, укрепляются деревянным каркасом и нагружаются бетонным уровнем-перекрытием. Внешний корпус из балконов и навесных стен с хорошей собственной теплоизоляцией образует кокон, защищающий древесину от непогоды и сберегающий тепло. При проектировании делался акцент на стандартные промышленные строительные решения, а не на уникальные методики. Treet рассматривается как пробный проект, который позволит внедрить в индустрию такой тип конструкции и способ строительства.

Квартал Wood City

Квартал Wood City в Хельсинки. Строительные работы по возведению первого жилого здания начались в январе 2017 году. Согласно текущим планам, Wood City может быть построен к концу 2019 года.



Рисунок 2.1.7 – Квартал из CLT-панелей Wood City в г. Хельсинки, Финляндия.

Городские многоэтажки - это бетон и камень, металл и стекло. Кажется, в современном городском домостроении и городском архитектурном проектировании места дереву, как конструкционному материалу, нет. Однако понимание важности проблем окружающей среды вообще (необходимость уменьшения выбросов углекислого газа, необходимость его консервации растениями, возобновляемость природных ресурсов) и влияния окружающей человека обстановки на его жизнь дают повод по-новому посмотреть на древесину (и конструкционную древесину, и отделочную).

Тем более что современная переработанная или правильно, рационально обработанная древесина не уступает материалам для массовой застройки. Убедившись в этом, надзорные органы разрешают использовать дерево для многоэтажного строительства, а архитекторы-энтузиасты предлагают проекты деревянных зданий для комфортного проживания и работы в городской среде.

Стараниями общины, строителей и архитекторов Хельсинки в районе Jätkäsaari планируется построить даже небольшой квартал Wood City, состоящий из двух жилых восьмиэтажек, одного офисного строения, гостиницы и парковки.

Wood City - это примерно 27 тысяч квадратных метров зданий, которые будут построены на пятачке у воды. Они сформируют уютный комплекс для жизни и работы с огражденным от городской суеты зеленым двором в центре. Проект должен продемонстрировать несколько реалий и идей.

Во-первых, уровень качества финского деревянного строительства и строительных материалов. Во-вторых, возможность использования современных деревоматериалов (массив, конструкционная древесина LVL и CLT) в многоэтажном строительстве. В-третьих, возможность применения уже существующих решений и технологий для массового, серийного строительства деревянного жилья.

Наконец, одним из наиболее важных аспектов проекта является стремление показать положительную роль древесины в среде обитания. Дерево станет не только видимым и осязаемым материалом в конструкции зданий и жилых помещений, архитекторы будут использовать природные растительные мотивы при прорисовке форм строений (к примеру, деревянный воздушный навес у входа в отель Wood City) и в ландшафтном дизайне.

Инициаторами Wood City выступили городская администрация Хельсинки, строительная компания SRV и лесопромышленная компания Stora Enso. Вскоре после того как в Финляндии была существенно упрощена процедура получения разрешения на строительство жилых зданий из древесины до 8 этажей (2011 год), они учредили архитектурный конкурс для желающих принять участие в проекте. Победителем в 2012 году стало архитектурное бюро Anttinen Oiva Arkkitehdit (архитекторы Ves Tuomas Oiva и Anna Selina Anttinen). Активное участие в проектировании (вместе с инициаторами SRV и Stora Enso) также принимал муниципальный застройщик АТТ (Helsinki municipal housing developer АТТ), которому Wood City и принадлежит.

Интерьер делового центра, Wood City, проект, визуализация. Изначально предполагалось, что строительство начнется уже в 2013-2014 г и завершиться через 2 года. Однако подготовительные работы затянулись, а власти выдали разрешение на строительство 8-этажного деревянного офисного здания и 3-этажного паркинга Wood City лишь в конце лета 2015 года. Строительные работы по возведению первого жилого здания начались в январе 2017 году. Согласно текущим планам, Wood City может быть построен к концу 2019 года.

Жилые здания Wood City будут строить по каркасно-модульной технологии, отель - каркасной. Компания Stora Enso, производитель продуктов (в том числе инновационных) на основе древесины для строительства и оформления интерьеров, поставит для этого готовые к монтажу элементы (то есть заранее изготовленные в заводских помещениях) из массива, CLT- (Cross-

Laminated Timber/перекрестно-склеенные панели) и LVL- (Laminated Veneer Lumber/клееные слоистые деревоматериалы) древесины. Из массива будут изготовлены жилые модули. Каркас и несущие конструкции - из конструктивных CLT и LVL.

Впервые в практике строительства многоэтажных деревянных зданий в Финляндии будет применена техника быстрого возведения без специальной защиты от атмосферных воздействий. Такой способ строительства широко применяется в Европе и предполагает точное планирование работ и быстрое возведение каркаса из материалов, пребывающих в равновесии по влажности с окружающей средой, с последующим быстрым монтажом крыши. Сразу после завершения строительства возможны и отделочные работы. Высокие темпы работ (примерно, неделя на этаж) позволят сократить расходы и снизить стоимость реализации проекта, который все же дороже, чем выполняемые с традиционными материалами для многоэтажного строительства.

Окрестности территории квартала Wood City во время проведения гонок Tall Ships Races в 2013 году. Более высокая стоимость реализации проекта не должна восприниматься как необходимая плата за применение дерева. Проект дороже, так как он инновационный. Требуется разработки и внедрения технологий, альтернативы которых в традиционном многоэтажном строительстве давно оптимизированы по расходам. С другой стороны, Wood City - строения нового поколения, удовлетворяющие более высоким требованиям по комфорту и энергоэффективности. А древесина, как материал с лучшими, чем у прочих материалов для массового строительства теплоизоляционными показателями, даже позволит сократить расходы относительно возможных при применении обычных стройматериалов для возведения многоэтажек.

Wood City в Хельсинки - первый проект застройки деревянными многоэтажными домами целого, пусть и небольшого, квартала. Пока многоэтажное деревянное домостроение пробивается в индустрии отдельными деревянными небоскребами, и прорывы эти удачные. А раз так, то следующий

шаг - локальные массовые застройки, такие как Wood City, позволяющие не только пробовать дерево, но и снижать стоимость строительства за счет масштабов и логистики.

Есть планы реализации таких проектов и в России. Администрация Москвы поддержал идею возведения в столице жилого эко-квартала, пилотного для России. Сейчас идет работа над визуализацией экспериментального квартала из дерева в Москве, а также оценивается возможность строительства завода по производству CLT.

2.2 Отечественный опыт

В России CLT-панели используют в основном при загородном строительстве. Это связано с нормативами, которые ограничивают область применения деревянных конструкций. Сейчас ведется работа по совершенствованию нормативно-правовой базы деревянного домостроения в России, уже в ближайшее время ожидается публикация переработанного ГОСТ Р 56706–2015 «Плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев. Технические условия», что позволит расширить область применения деревянного домостроения в России.

Строительство деревянного жилья в России в 2021 году побило рекорд. По итогам 2021 года объемы строительства деревянного жилья в России достигли рекордных 10,8 млн кв. м, при этом доля введенных жилых домов с деревянными стенами в общем объеме жилищного строительства составила 11,67%.

В апреле Segezha Group получила разрешение на строительство первых в России многоквартирных многоэтажных домов из CLT-конструкций собственного заводского производства. Речь идет о двух четырехэтажных домах. Их общая площадь — 3,5 тыс. кв. м, высота зданий — 15 м.



Рисунок 2.2.1 – Дом из CLT-панелей в г. Сокол, Россия.

Первые такие дома появятся в городе Сокол Вологодской области. Об этом «РБК-Недвижимости» сообщили в Segezha Group (входит в АФК «Система»), которая занимается реализации данного проекта.

В каждом доме будет по 32 одно- и двухкомнатных квартиры площадью от 48 до 65 кв. м. Как уточнили в Segezha Group, половина квартир достанется очередникам АО «Сокольский ДОК» и АО «Сокольский ЦБК». Оставшаяся часть будет передана сотрудникам компании по льготной цене с возможным привлечением ипотеки.



Рисунок 2.2.2 – Дом из CLT-панелей в г. Сокол, Россия.

Сейчас ведется активное строительство домов. Ввести в эксплуатацию их планируют в октябре. Территорию с домом благоустроят: оборудуют детскую и спортивные площадки, парковочное пространство, места отдыха для жителей.

3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 COMSOL Multiphysics – численное моделирование тепло-технических характеристик

COMSOL Multiphysics — это программное обеспечение для расчетов и моделирования огромного количества инженерных и научных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных методом конечных элементов. Для проведения численного исследования не требуется глубокого знания математической физики и понимания метода конечных элементов. Данная возможность обеспечивается встроенными физическими моделями. В пакете COMSOL Multiphysics выполняется автоматическая трансформация начальных параметров в коэффициенты математических уравнений. Взаимодействие оператора с физическим и математическим языком организовано через графический интерфейс пользователя (Рисунок 3.1.1). Кроме этого, разработчиками предоставлена возможность работы посредством языка скриптов COMSOL Script или с помощью широко известного кода MATLAB.

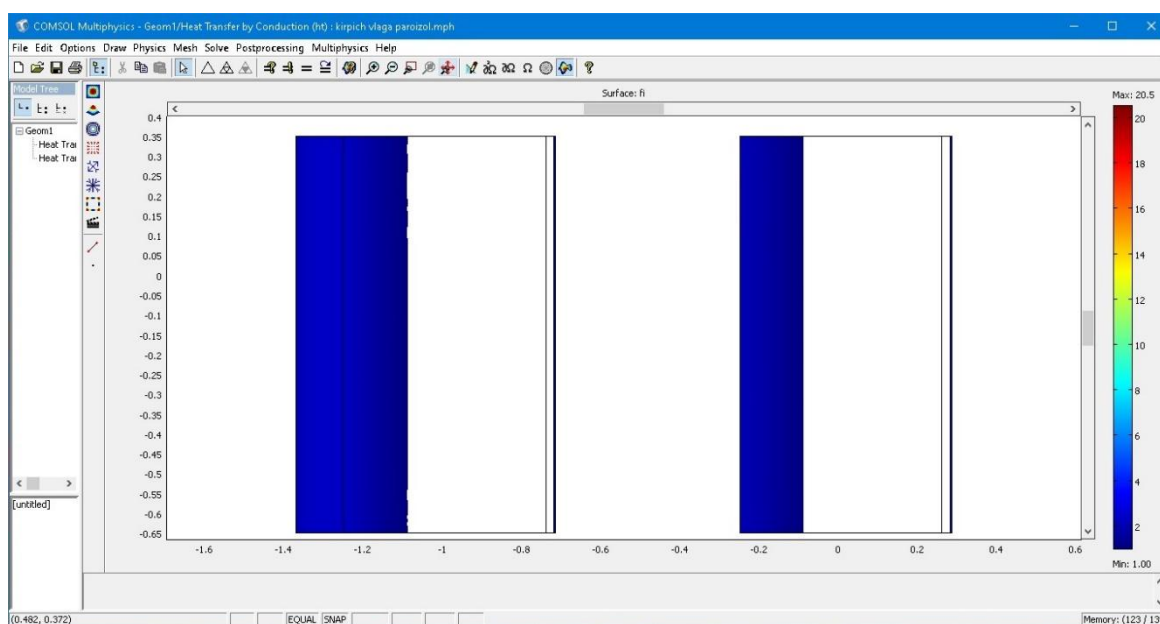


Рисунок 3.1.1 – Графический интерфейс пакета COMSOL MULTIPHYSICS

Метод конечных элементов, используемый в пакете COMSOL является численным методом решения задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформированного твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики. Данный метод основан на приближении дискретной моделью непрерывной функции, эта модель построена на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами.

Работа в пакете COMSOL Multiphysics поделена на несколько этапов:

- 1) Построение геометрии модели: одномерная, двумерная или трёхмерная модели.
- 2) Выбор физической модели.
- 3) Выбор решения стационарной или нестационарной задачи.
- 4) Задание физических характеристик материалов.
- 5) Внесение начальных условий.
- 6) Установка граничных условий.
- 7) Визуализация и анализ результатов.

При численном расчете теплотехнических характеристик наружной ограждающей конструкции, как и написано в пункте 4 показанном выше, задаётся геометрия исследуемой модели. На следующем этапе, задаются начальные и граничные условия согласно Таблице 1.3.1 и табл. 6 [СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23.02.-2003 : введ. 1.01.2012. – Москва : ООО «Аналитик», 2012. – 96с]:

$$\alpha_{в} = 8.7, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C});$$

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

где $\alpha_{в}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции, Вт/ м² °С;

$\alpha_{н}$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности наружной ограждающей конструкции, Вт/м² °С.

Параметры внутренней и наружной среды представлены в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1 – Параметры для наружной и внутренней среды используемые в расчётах

№	Параметры	Величина параметров
1	Температура наружного воздуха, t_{ext} , °С	-37
2	Температура внутреннего воздуха жилых помещений, t_{int} , °С	+21
3	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стенового ограждения, α_{ext} , Вт/(м ² °С)	23
4	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стенового ограждения, α_{int} , Вт/(м ² °С)	8.7
5	Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха	1256
6	Парциальное давление водяного пара наружного воздуха	160

После выполнения численного расчета в программном комплексе «COMSOL MULTIPHYSICS» вычислим сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R , $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для этого рассчитаем потери теплоты через квадратный метр наружной поверхности q , $\text{Вт}/\text{м}^2$. Значения t_{int} и t_{ext} взяты из таблицы 3.1.1. Выражение для R имеет следующий вид: $R=(t_{\text{int}}-t_{\text{ext}})/q= \Delta t/q$.

Для решения задачи распределения полей парциальных давлений в различных вариантах исследуемых в диссертационной работе наружных ограждающих конструкций, использовались значения тепло-влажностных параметров из Таблицы 1.3.1 и граничные условия из Таблицы 3.1.1.

3.2 Программный комплекс Гранд смета

Гранд-Смета — программный комплекс для составления и проверки сметных расчётов, а также составления актов выполненных работ по различным формам справок, составление всех видов сметной документации для определения стоимости строительства. Разработчик — группа компаний «ГРАНД».

В составе комплекса находятся различные базы, разработанные на основе утверждённых Госстроем России и другими структурами норм и ценников.

Программный комплекс Гранд смета позволяет выполнять следующее:

1. Локальные сметные расчеты (сметы) — создание смет базисным, базисно-индексным, ресурсным, ресурсно-индексным, базисно-компенсационным методом. Возможность сочетания методов расчета в одном документе и сравнение итогов.

2. Выполнять автоматическое формирование смет на основе актов выполненных работ.

3. Объектные сметные расчеты (сметы), с возможностью автоматического создания на основе локальных расчетов, составленных в программе. С автоматическим распределением затрат по главам и синхронизацией данных при их изменении. Расчет показателя единичной стоимости.

4. Автоматическое создание сводной ресурсной ведомости по выбранным актам выполненных работ. Формирование ведомости ресурсов на остаток выполненных работ.

5. Возможность использования внешних макросов для изменения каких-либо данных или параметров одновременно в нескольких сметах.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

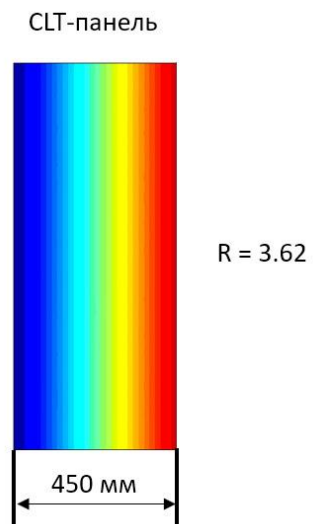
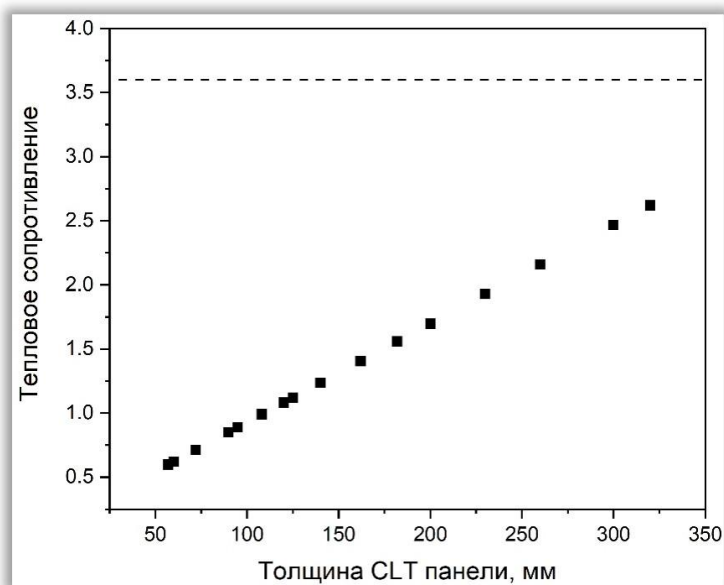
4.1 Температурные характеристики

Была рассмотрена наружная ограждающая конструкция, состоящая исключительно из CLT-панели, без использования утеплителя. Такая конструкция не соответствует нормам по сопротивлению теплопередаче для климатических условий города Красноярска.

На рисунке 4.1.1 (а) представлена зависимость теплового сопротивления наружной ограждающей конструкции от толщины коммерчески доступных CLT-панелей. Штриховой линией показан уровень теплового сопротивления равный $3.6 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Для того чтобы нормы по тепловому сопротивлению выполнялись, толщина панели должна быть 450 мм, смотрите Рисунок 4.1.1 (б). Такие панели у нас не выпускаются, поэтому рассмотрим варианты ограждающих конструкций с утеплителем. В качестве утеплителя был выбран материал белорусского производства Белтермо. Он отличается высокими изоляционными показателями, коэффициент теплопроводности $0,038-0,044$. Плиты выпускаются толщиной от 20 до 160 мм.

Исследована зависимость теплового сопротивления ограждающей конструкции, имеющей два слоя: утеплитель Белтермо (смотрите пункт 1.4) и 3-х слойная CLT-панель, Рисунок 4.1.2. Толщина утеплителя варьировалась от 40 до 160 мм. При этом толщина доступных на рынке 3-х слойных CLT-панелей варьируется от 57 до 120 мм. Согласно полученным данным, при толщине утеплителя более 120 мм, можно использовать CLT-панель любой толщины.



(а)

(б)

Рисунок 4.1.1 – Зависимость теплового сопротивления от толщины CLT-панели (а), Распределение температурных полей в гипотетической clt-панели толщиной 450 мм (б).

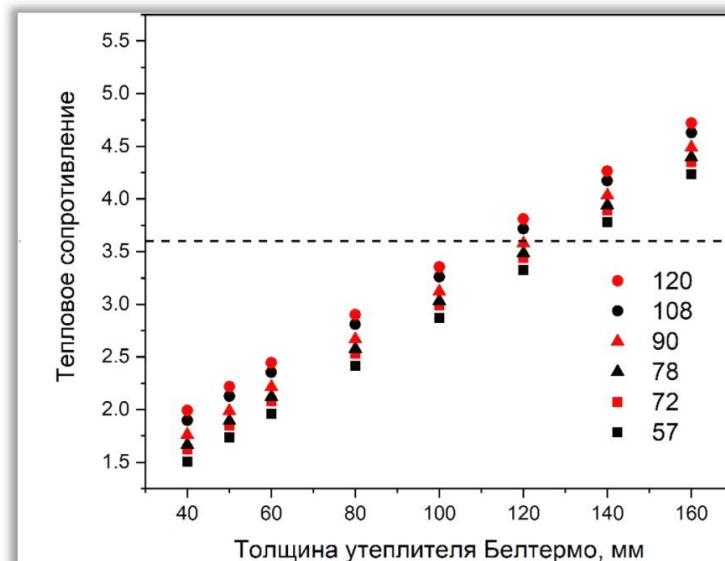


Рисунок 4.1.2 – Зависимость теплового сопротивления от толщины утеплителя Белтермо для доступных на рынке 3-х слойных CLT-панелей. Толщина CLT-панелей выбиралась равной: 57, 72, 78, 90, 108 и 120 мм.

На рисунке 4.1.3 показаны варианты стеновой конструкции, выбранные из данных, полученных на рисунке 4.1.2. Вариант №1 утеплитель Белтермо

140 мм и CLT-панель 57 мм, Вариант №2 утеплитель Белтермо 120 мм и CLT-панель 108 мм.

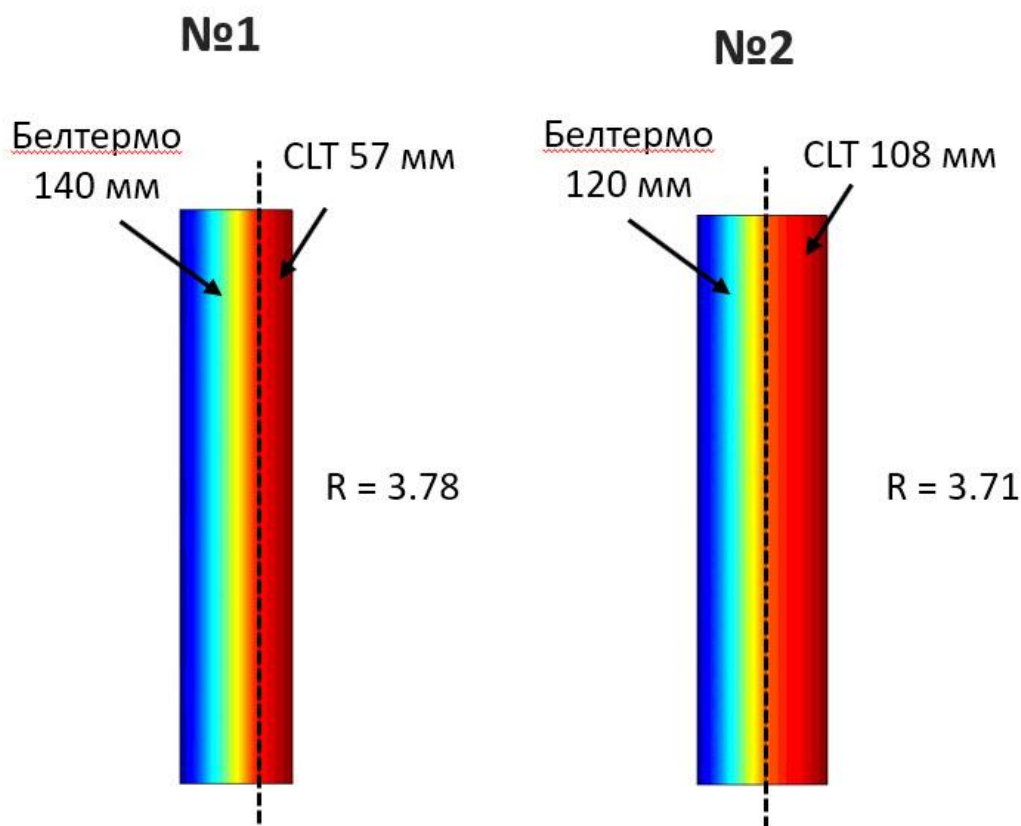


Рисунок 4.1.3 – Варианты наружных ограждающих конструкций с применением 3-х слойных CLT-панелей. Вариант №1 утеплитель Белтермо 140 мм и CLT-панель 57 мм, Вариант №2 утеплитель Белтермо 120 мм и CLT-панель 108 мм.

Исследована зависимость теплового сопротивления наружной ограждающей конструкции из 5-х слойных CLT-панелей с внешним утеплителем Белтермо. Толщина CLT панелей варьировалась от 125 до 200 мм. Из полученных результатов следует что при использовании пятислойных CLT панелей толщина утеплителя Белтермо не может быть меньше 100 мм, см Рисунок 4.1.4.

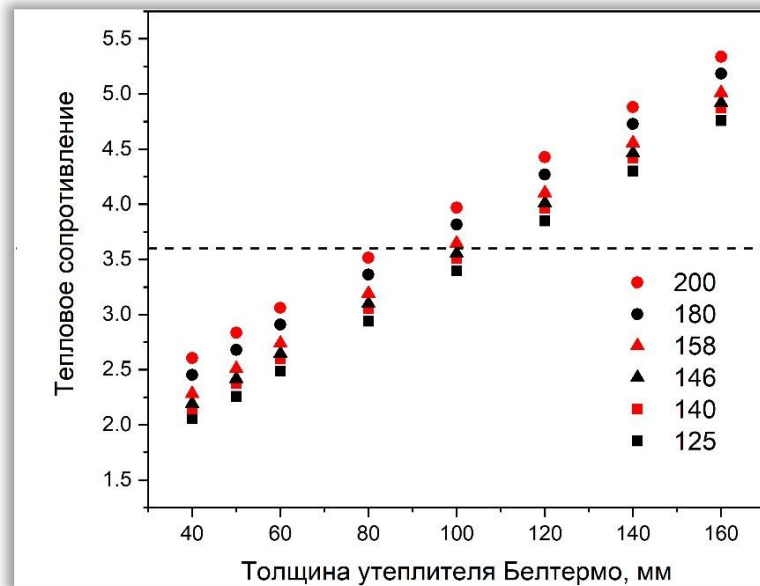


Рисунок 4.1.4 – Зависимость теплового сопротивления от толщины утеплителя Белтермо для доступных на рынке 5-х слойных CLT-панелей. Толщина CLT-панелей выбиралась равной: 125, 140, 146, 158, 180 и 200 мм.

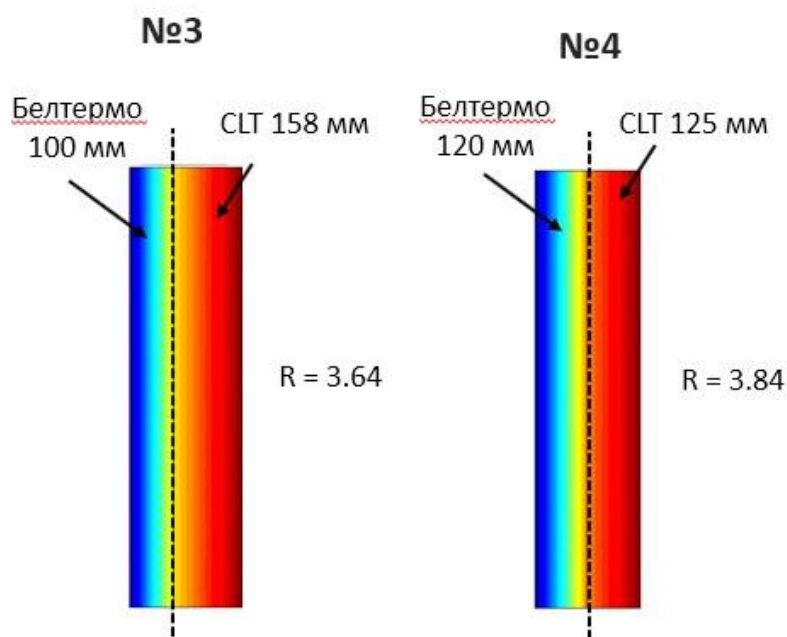


Рисунок 4.1.5 – Варианты наружных ограждающих конструкций с применением 5-ти слойных CLT-панелей. Вариант №3 утеплитель Белтермо 100 мм и CLT-панель 158 мм, Вариант №4 утеплитель Белтермо 120 мм и CLT-панель 125 мм.

На рисунке 4.1.5 показаны конструкция №3: утеплитель Белтермо 100 мм и CLT-панель 158 мм и конструкция №4 утеплитель Белтермо 120 мм и CLT-панель 125 мм. Из полученных результатов следует что при использовании пятислойных CLT панелей толщина утеплителя Белтермо не может быть меньше 100 мм.

4.2 Влажностные характеристики

Выполнены температура-влажностные расчёты 4-х выбранных конструкций утеплитель/CLT-панель. Результаты показаны на Рисунках 4.2.1 и 4.2.2. Согласно температурно-влажностным расчётам, наибольшей устойчивостью к влагонакоплению обладает конструкция №3 100 мм утеплитель Белтермо и 158 мм CLT-панель.

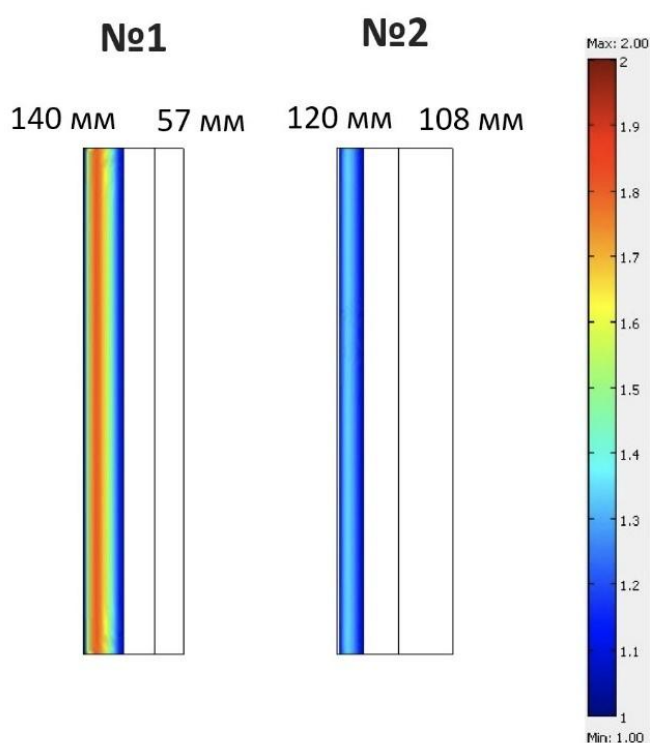


Рисунок 4.2.1. – Распределение потенциальной возможности накопления влаги в конструкции из утеплителя Белтермо толщиной 140 мм и CLT-панели 57 мм (слева) и из утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 108 мм (слева).

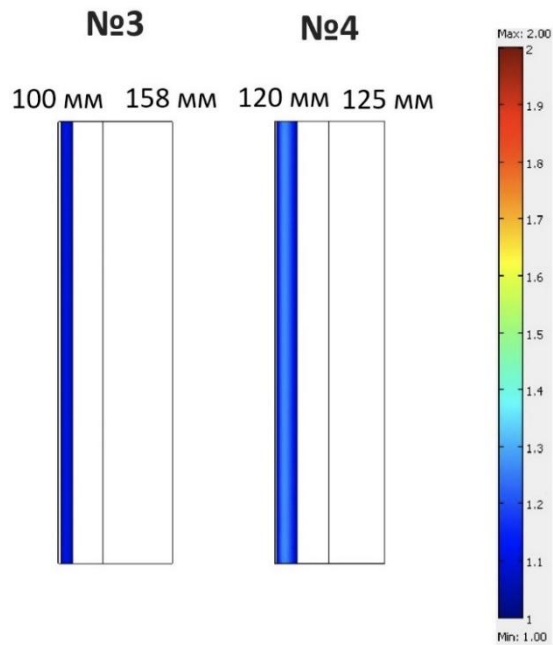


Рисунок 4.2.2. – Распределение потенциальной возможности накопления влаги в конструкции из утеплителя Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панели 158 мм (слева) и из утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 125 мм (слева).

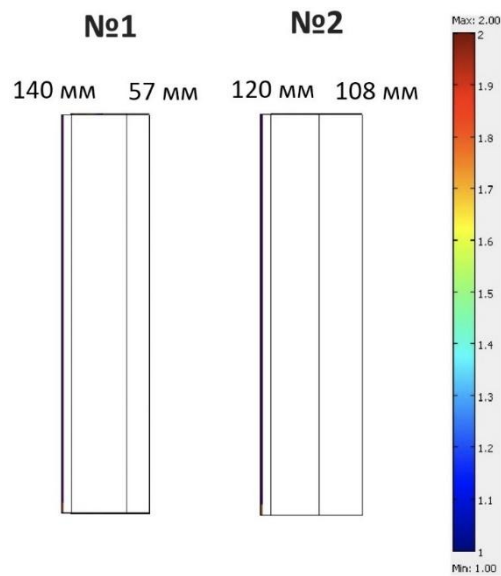


Рисунок 4.2.3. – Распределение потенциальной возможности накопления влаги в конструкции из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 140 мм и CLT-панели 57 мм (слева) и из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 108 мм (слева).

Применение ветровлагозащитной мембраны позволяет свести к минимуму вероятность накопления влаги во всех конструкциях, см. Рисунки 4.2.3 и 4.2.4, следовательно, для строительства возможно применение любого из 4 представленных вариантов.

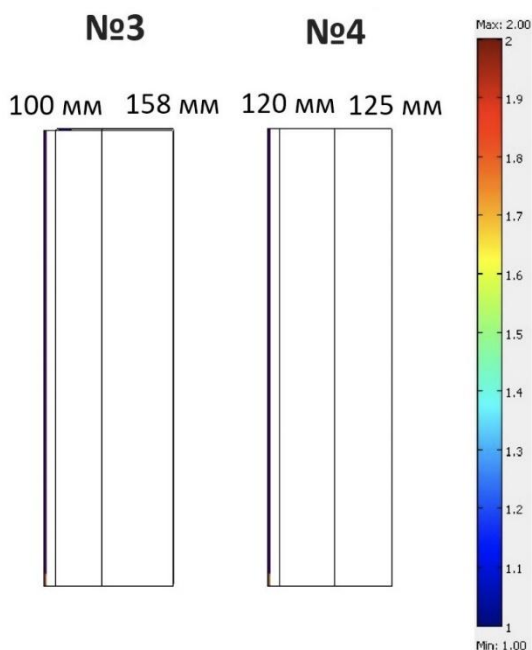


Рисунок 4.2.4 – Распределение потенциальной возможности накопления влаги в конструкции из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панели 158 мм (слева) и из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 108 мм (слева).

4.3 Расчёты углового соединения наружной ограждающей конструкции

Был выполнен температурно-влажностный расчёт узлов из предложенных вариантов наружных ограждающих конструкций. Согласно СП 50 [5], температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции должен быть не больше 4-х градусов для наружных стен. Полученные численно температур-

ные показатели представлены на Рисунках 4.3.1 и 4.3.2. Как видно из этих рисунков, ни одна из предложенных конструкций не удовлетворяет этому условию.

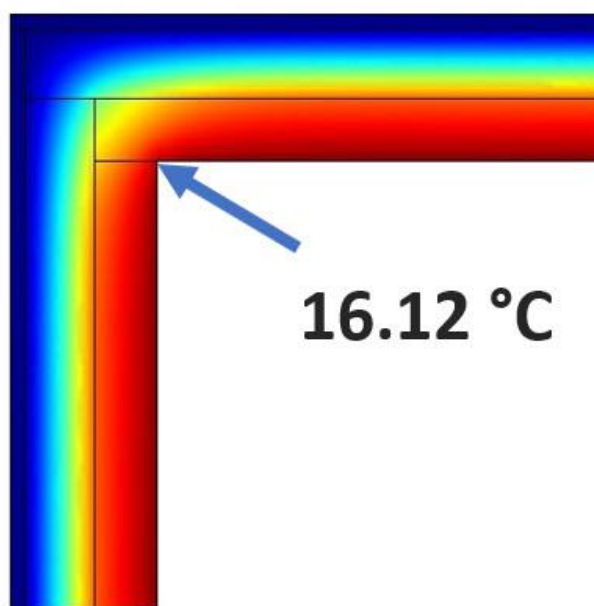
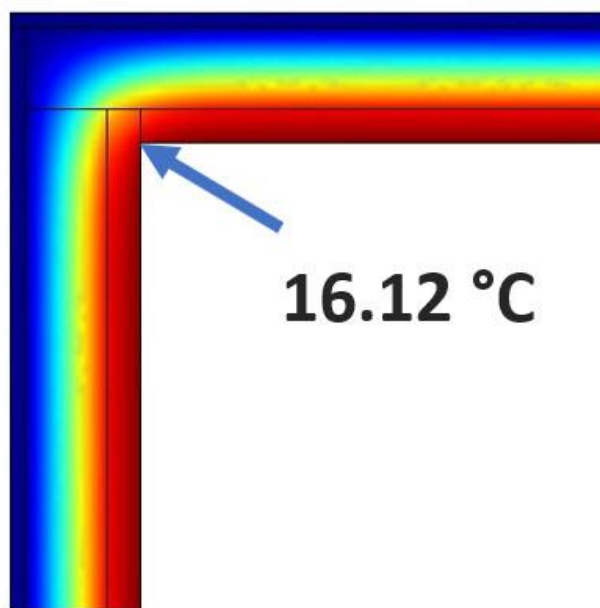


Рисунок 4.3.1 – Распределение температурных полей в узле наружной ограждающей конструкции. Сверху – из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 140 мм и CLT-панели 57 мм (слева). Снизу – из вет-

ровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 108 мм.

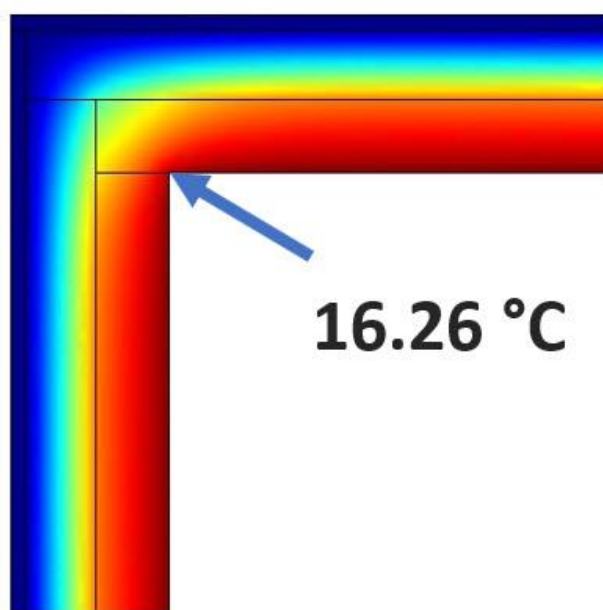
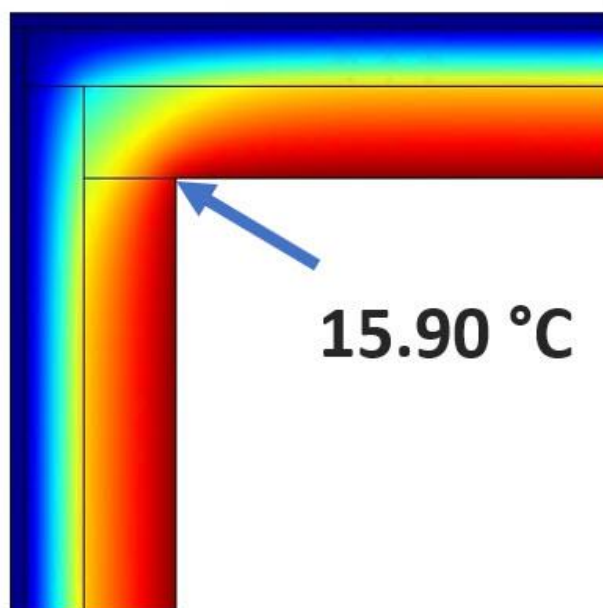


Рисунок 4.3.2 – Распределение температурных полей в узле наружной ограждающей конструкции. Сверху – из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панели 158 мм. Снизу – из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панели 108 мм.

Была выполнена серия расчётов по подбору конфигурации утеплитель Белтермо/толщина CLT-панели в результате которой была получена конструкция в которой температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не превысила 4-ре градуса, см. Рисунок 4.3.3.

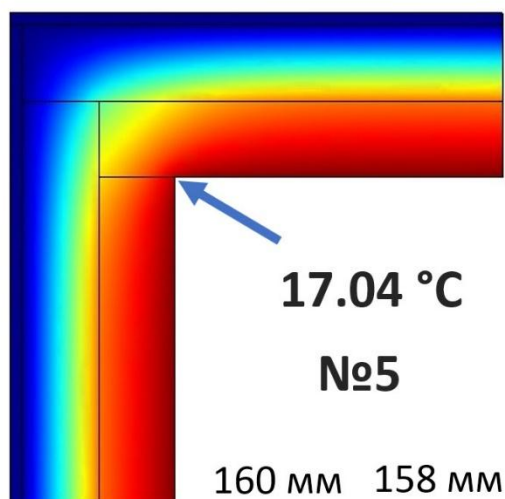


Рисунок 4.3.3 – Распределение температурных полей в узле наружной ограждающей конструкции из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 160 мм и CLT-панели 158 мм.

4.4 Выводы по главе 4

На основе выполнения теплотехнического расчёта в пакете COMSOL Multiphysics были предложены варианты наружных ограждающих конструкций их утеплителя Белтермо и CLT-панелей. Температурно-влажностные расчёты показали, что наибольшей устойчивостью к влагонакоплению обладает конструкция №3 утеплитель Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панель толщиной 158 мм. Применение ветровлагозащитной мембраны позволяет свести к минимуму вероятность накопления влаги во всех вариантах изученных конструкциях.

При расчёте угловых элементов наружных ограждающих конструкций из утеплителя Белтермо и CLT-панелей, было установлено, что варианты удов-

летворяющие критерию теплового сопротивления для города Красноярска, а именно: №1 ветровлагозащитная мембрана, утеплитель Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панель 158 мм, №2 ветровлагозащитная мембрана, утеплитель Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панель 108 мм, №3 ветровлагозащитная мембрана, утеплитель Белтермо толщиной 100 мм и CLT-панель 158 мм, №4 ветровлагозащитная мембрана, утеплитель Белтермо толщиной 120 мм и CLT-панель 108 мм, не удовлетворяют в угловых элементах нормам по температурному перепаду между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Предложен конструктив из ветровлагозащитной мембраны, утеплителя Белтермо толщиной 160 мм и CLT-панели 158 мм, который удовлетворяет нормативу по тепловому сопротивлению внешней ограждающей конструкции, влагонакоплению и перепаду температур в угловом элементе.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Расчет тепловых потерь ограждающих конструкций

Расчет тепловых потерь определяем для узла стены многоэтажного жилого дома (рис.5.1).



Рисунок 5.1 – Многоэтажный жилой дом.

Теплотехнические характеристики здания, необходимые для расчёта удельной теплозащитной характеристики здания представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Параметры для наружной и внутренней среды используемые в расчётах

Параметр	Итого
Отапливаемый объем $V_{от}$, m^3	18179,30
Сумма площадей этажей здания $A_{от}$, m^2	5009,80
Площадь жилых помещений $A_{жил}$, m^2	4351,20
Расчетное количество жителей $m_{жил}$, чел.	233
Высота здания от пола 1-го этажа до обреза вытяжной шахты, м	-
Общая площадь наружных ограждающих конструкций $A_n^{сум}$, m^2 , из них:	3030,50
-фасадов здания $A_{фас.}$, m^2	2265,60
Площадь стен $A_{ст.}$, m^2 в т.ч.:	
-стены жилой части $A_{ст.жил.}$, m^2	
Площадь окон $A_{ок.}$, m^2 в т.ч.:	752,60

- окна жилой части $A_{ок.жил.}, м^2$	744,80
- окна в местах общего пользования $A_{о.общ.}, м^2$	7,80
Площадь входных дверей $A_{дв.}, м^2$	12,30
Площадь чердачного перекрытия $A_{черд.}, м^2$	1259,30
Площадь перекрытия над проездом $A_{пер.пр.}, м^2$	-
Площадь перекрытия жилого помещения под балконом $A_{пер.балк.}, м^2$	-
Площадь пола по грунту $A_{пол.гр.}, м^2$, в т.ч.:	1259,30

Для расчета взяты три основных типа конструкции с разными материалами, используемые для строительства многоэтажных жилых домов в г. Красноярске – железобетон, кирпич и CLT-панели.

Расчет выполнен для климатических условий в г. Красноярске, Красноярского края. Расчетные параметры наружного климата и внутренней среды в помещении предоставлены в таблице 5.2.

Локальный сметный расчет и расчет тепловых потерь рассчитывается на $1 м^2$.

Таблица 5.2 – Параметры для наружной и внутренней среды используемые в расчётах

Параметры	Значение параметров	Источник
1. Расчетная температура наружного воздуха, $t_n, °C$, с обеспеченностью 0,92	-37	СП 131.13330.2020
2. Расчетная температура внутреннего воздуха, $t_v, °C$: - жилая комната	+21	Табл. 3 ГОСТ 30494-2011; СП 50.13330.2012
3. Относительная влажность воздуха $\varphi_{int}, \%$: -для жилой комнаты -для наружного воздуха	55% 86%	п. 5.7. СП 50.13330.2012;
4. Температура точки росы $t_p, °C$: -для жилой комнаты	11,62	Прил. Р, СП 23-101-2004
5. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, $\alpha_n, Вт/(м^2 \cdot °C)$ стенового ограждения	23	Табл. 6 СП 50.13330.2012
6. Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $\alpha_v, Вт/(м^2 \cdot °C)$ стенового ограждения	8,7	Табл. 4 СП 50.13330.2012
7. Продолжительность отопительного периода, $z_{от}, сут$	235	СП 131.13330.2018

(со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°C)		
8. Средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, $t_{от}$, °C	-6,5	СП 131.13330.2018
9. Влажностный режим эксплуатации помещений: -для жилой комнаты	нормальный	Табл.1 СП 50.13330.2012
10. Зона влажности	сухая	Прил. В СП 50.13330.2012

- теплотехнические показатели используемых материалов ограждающей конструкции (таб. 5.3, 5.4, 5.5);

- граничные условия:

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, α_n , Вт/(м²·°C) стенового ограждения – 23;

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, α_v , Вт/(м²·°C) стенового ограждения – 8,7;

Коэффициент теплоотдачи воздушной прослойки, $\alpha_{в}$, Вт/(м²·°C) стенового ограждения – 12.

Расчет ограждающих конструкций

Расчет конструкции наружной стены (Вариант 1)

Конструкция стены – трехслойные железобетонные панели.

Схема части стеновой конструкции представлен на рисунке 5.2, состав стеновой конструкции представлен в таблице 5.3.

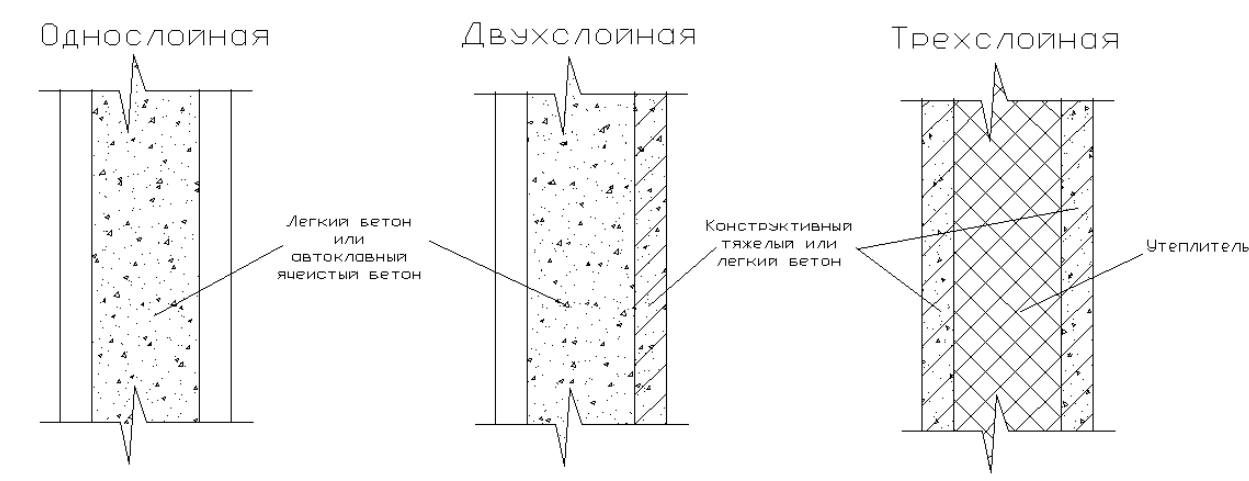


Рисунок 5.2 - Конструкция стены (вариант 1)

Таблица 5.3. Теплотехнические характеристики стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность, Вт/(м ² °С)		Толщина слоя, м.	Источник
	λ _А ,	λ _Б ,		
1. Утеплитель – пенополистирол, γ=34 кг/м ³	0,03	0,031	0,1	СП 50.13330.2012 Приложение Т
2. Железобетон, γ=2500 кг/м ³	0,76	0,93	0,3	СП 50.13330.2012 Приложение Т

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} * m_p * R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} \quad (1)$$

где $R_0^{\text{тр}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м² * °С/Вт, определяемое по формуле 2;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете по формуле (1) принимается равным 0,63 – для стен согласно СП 50.13330.2012 п. 5.2.

Отсюда $R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}}$.

$$R_0^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где a , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012.

ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, для конкретного пункта, определяемый по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ - средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2018 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°C ;

$t_{\text{в}}$ - расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Градусо-сутки отопительного периода по формуле (3):

$$\text{ГСОП} = (21 - (-6,5)) \cdot 235 = 6454 [^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}];$$

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по табл. 5.2 по формуле (2):

$$R_0^{\text{тп}} = 0,00035 \cdot 6454 + 1,4 = 3,66 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле (1):

$$R_{\text{ст.жил.}}^{\text{норм}} = 3,66 * 0,63 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} - \text{стены жилых комнат}$$

Нормируемые температурные перепады $\Delta t^{\text{н}}$ между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций:

Жилой части: стен – 4,0 °С.

Условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания, $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, которое определяется по формуле

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} \cdot r = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_S + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) \cdot r, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$, принимаемый согласно таблице 4, СП 50.13330.2012;

$\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$, принимаемый согласно таблице 6, СП 50.13330.2012;

$\sum R_S$ - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$, определяемое по формуле

$$R_S = \frac{\delta_S}{\lambda_S}, \quad (5)$$

δ_S - толщина слоя, м;

λ_S - расчетная теплопроводность материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$, в случае отсутствия данных принимается по приложению Т, СП 50.13330.2012.

Сопротивление теплопередаче принятой конструкции составит по формуле (4):

Для условий эксплуатации А:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,3}{0,76} + \frac{1}{23} = 3,89 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт};$$

Для условий эксплуатации Б:

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,3}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,71 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт};$$

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_B и температурой внутренней поверхности t_0 ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_B - t_H}{R_0^{усл} \alpha_B}, \quad (6)$$

где α_B – то же, что и в формуле (4);

t_B – то же, что в формуле (3);

t_H – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

$R_0^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (4).

Температурный перепад вычисляется по формуле (6):

$$\Delta t = \frac{(21 - (-37))}{3,89 \cdot 8,7} = 1,71^\circ\text{C} < \Delta t^H = 4,0^\circ\text{C};$$

Температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$t_0 = t_B - \Delta t, \quad (7)$$

где t_B – то же, что в формуле (3);

Δt – температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_B и температурой внутренней поверхности t_0 ограждающей конструкции, определяемый по формуле (6).

$$t_0 = 21 - 1,71 = 19,29^\circ\text{C} > t_p = 11,62^\circ\text{C};$$

1. Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции выше нормируемого значения по формуле (4)

$$R_0^{пр} = 3,89 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} \geq R_0^{\text{норм}} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

2. Температура внутренней поверхности конструкции имеет значение не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха определяем по формуле (7):

$$t_0 = 19,29^{\circ}\text{C} > t_p = 11,62^{\circ}\text{C};$$

3. Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности не выше нормируемого.

- при условии: $\Delta t = 1,71^{\circ}\text{C} < \Delta t^H = 4,0^{\circ}\text{C};$

Расчет конструкции наружной стены (Вариант 2)

Конструкция стены – кладка из кирпича с применением отделки из штукатурки. Схема части стеновой конструкции представлен на рисунке 5.3, состав стеновой конструкции представлен в таблице 5.4.

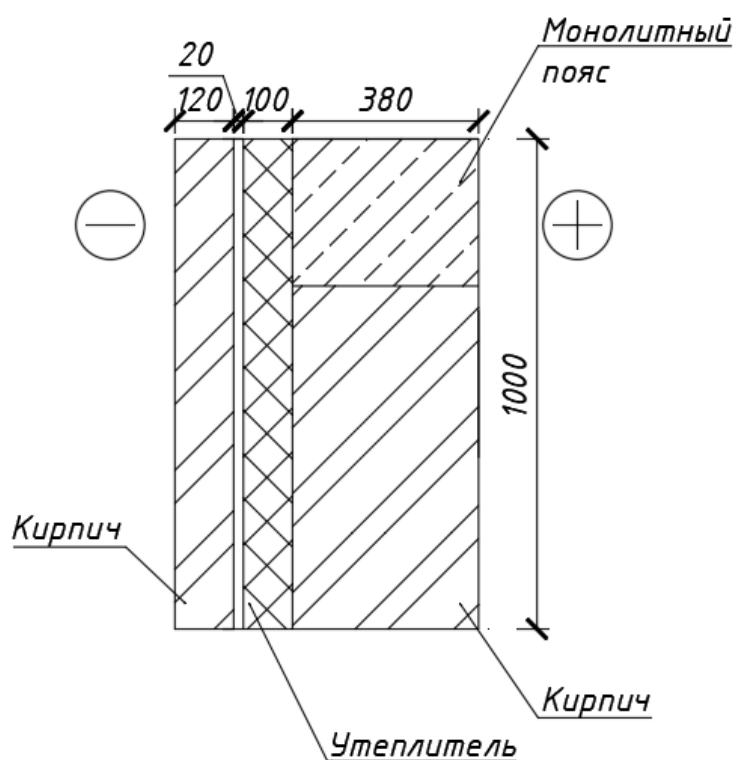


Рисунок 5.3 - Конструкция стены (вариант 2)

Таблица 5.4. Теплотехнические характеристики стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность, Вт/(м ² °С)		Толщина слоя, м.	Источник
	λ _А ,	λ _Б ,		
1. Утеплитель – пенополистирол, γ=34 кг/м ³	0,03	0,031	0,1	СП 50.13330.2012 Приложение Т
2. Кирпичная стена, γ=1800 кг/м ³	0,7	0,81	0,38	СП 50.13330.2012 Приложение Т
3. Кирпич фасадный, γ=1600 кг/м ³	0,58	0,7	0,12	СП 50.13330.2012 Приложение Т

Градусо-сутки отопительного периода (3):

$$ГСОП = (21 - (-6,5)) \cdot 235 = 6454 [^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}];$$

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по табл. 3 [20]:

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 6454 + 1,4 = 3,66 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_{\text{ст.жил.}}^{\text{НОРМ}} = 3,66 \cdot 0,63 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} - \text{стены жилых комнат}$$

Сопротивление теплопередаче принятой конструкции составит по формуле (4):

Для условий эксплуатации А:

$$R_0^{\text{УСЛ}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{0,12}{0,58} + \frac{1}{23} = 4,24 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Для условий эксплуатации Б:

$$R_0^{\text{УСЛ}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{1}{23} = 4,02 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха $t_{в}$ и температурой внутренней поверхности t_0 ограждающей конструкции по формуле (6):

$$\Delta t = \frac{(21 - (-37))}{4,24 \cdot 8,7} = 1,57^{\circ}\text{C} < \Delta t^{\text{Н}} = 4,0^{\circ}\text{C};$$

Температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции по формуле (7):

$$t_0 = 21 - 1,57 = 19,43^{\circ}\text{C} > t_p = 11,62^{\circ}\text{C};$$

1. Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции выше нормируемого значения определяется по формуле (4):

$$R_o^{\text{пр}} = 4,24 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} \geq R_o^{\text{норм}} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

2. Температура внутренней поверхности конструкции имеет значение не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха определяется по формуле (7):

$$t_0 = 19,43^{\circ}\text{C} > t_p = 11,62^{\circ}\text{C};$$

3. Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности не выше нормируемого.

- при условии: $\Delta t = 1,57^{\circ}\text{C} < \Delta t^{\text{н}} = 4,0^{\circ}\text{C};$

Расчет конструкции наружной стены (Вариант 3)

Конструкция стены – стена из clt-панели 158 мм с утеплителем 160 мм. Схема части стеновой конструкции представлен на рисунке 5.4, состав стеновой конструкции представлен в таблице 5.5.

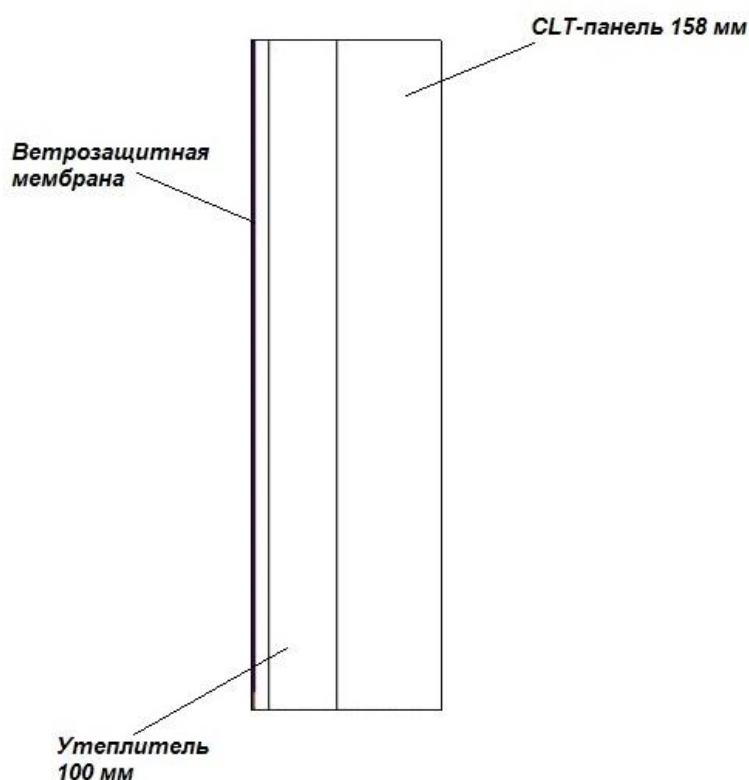


Рисунок 5.4 - Конструкция стены (вариант 3)

Таблица 5.5. Теплотехнические характеристики стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность, Вт/(м ² °С)		Толщина слоя, м.	Источник
	λ_A ,	λ_B ,		
1. Ветрозащитная мембрана, $\gamma=600$ кг/м ³	0,17	0,17	0,001	СП 50.13330.2012 Приложение Т
1. Утеплитель – Белтермо, $\gamma=180$ кг/м ³	0,038	0,042	0,16	Спецификация
2. CLT-панель 158мм, $\gamma=500$ кг/м ³	0,13	0,13	0,158	Спецификация CLT-панелей

Градусо-сутки отопительного периода (3):

$$ГСОП = (21 - (-6,5)) \cdot 235 = 6454 [^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}];$$

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по табл. 5.2:

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 6454 + 1,4 = 3,66 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_0^{\text{НОРМ}}_{\text{ст.жил.}} = 3,66 * 0,63 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} - \text{стены жилых комнат}$$

Сопротивление теплопередаче принятой конструкции составит (4):

Для условий эксплуатации А:

$$R_0^{\text{УСЛ}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,16}{0,038} + \frac{0,158}{0,13} + \frac{1}{23} = 5,59 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Для условий эксплуатации Б:

$$R_0^{\text{УСЛ}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,16}{0,042} + \frac{0,158}{0,13} + \frac{1}{23} = 5,18 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_v и температурой внутренней поверхности t_0 ограждающей конструкции (6):

$$\Delta t = \frac{(21 - (-37))}{5,59 \cdot 8,7} = 1,19^\circ\text{C} < \Delta t^{\text{Н}} = 4,0^\circ\text{C}; - \text{выполняет требования!}$$

Температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции (7):

$$t_0 = 21 - 1,19 = 19,81^\circ\text{C} > t_p = 11,62^\circ\text{C};$$

1. Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции выше нормируемого значения (4):

$$R_0^{\text{ПР}} = 5,59 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_0^{\text{НОРМ}} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}; - \text{выполняет требования}$$

2. Температура внутренней поверхности конструкции имеет значение не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха (7):

$$t_0 = 19,81^\circ\text{C} > t_p = 11,62^\circ\text{C};$$

3. Расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности не выше нормируемого.

$$- \text{при условии: } \Delta t = 1,19^\circ\text{C} < \Delta t^{\text{Н}} = 4,0^\circ\text{C}; - \text{выполняет требования}$$

Вывод по результатам расчета

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции выше нормируемого значения лучше у конструкции из clt-панелей, чем у конструкции из железобетонных плит и кирпича. Все рассмотренные конструкции соответствуют требованиям СП 50.13331.2012 «Тепловая защита зданий». Конструкция из clt-панелей удовлетворяет требованиям по следующим параметрам: 1) температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_v и температурой внутренней поверхности t_0 ограждающей конструкции, 2) приведенное сопротивление теплопередаче конструкции выше нормируемого значения, 3) расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности не выше нормируемого.

Расчёт теплотерь здания через ограждающие конструкции за отопительный период

Для определения суммарных теплотерь конструкции №1 за отопительный период, Q , кВт*ч/м² с одного квадратного метра, воспользуемся формулой:

$$Q = A * (t_v - t_{от}) * z_{от.пер.} * 24/R_0^{пп} \quad (8)$$

где A – площадь ограждающей конструкции;

24 – количество часов в сутках;

t_v – то же, что и в формуле 3;

$t_{от}$ – то же, что и в формуле 3;

$z_{от.пер.}$ – то же, что и в формуле 3;

$R_0^{пп}$ - условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания, м² °С/Вт, рассчитывается по формуле (4).

$$Q_1 = 1 * (21 - (-6,5)) * 235 * \frac{24}{3,89} = 39,871 \text{ кВт*ч/м}^2$$

Переводим теплопотери 1 м^2 стены в Гкал/год ($1\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,00086$ Гкал).

$$Q_1 = 0,034\text{ Гкал}$$

Для определения суммарных теплопотерь конструкции №2 за отопительный период, Q , кВт*ч/м² с одного квадратного метра, воспользуемся формулой (8):

$$Q_2 = 1 * (21 - (-6,5)) * 235 * \frac{24}{4,24} = 36,580\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$$

Переводим теплопотери 1 м^2 стены в Гкал/год ($1\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,00086$ Гкал/час).

$$Q_2 = 0,031\text{ Гкал}$$

Для определения суммарных теплопотерь конструкции №3 за отопительный период, Q , кВт*ч/м² с одного квадратного метра, воспользуемся формулой (8):

$$Q_3 = 1 * (21 - (-6,5)) * 235 * \frac{24}{5,59} = 27,746\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$$

Переводим теплопотери 1 м^2 стены в Гкал/год ($1\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,00086$ Гкал).

$$Q_3 = 0,024\text{ Гкал}$$

Расчёт затрат на отопление за расчетный период

Затраты на компенсацию тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции здания определяем по формуле

$$З = Q \cdot T_{\text{от}}, \tag{9}$$

где Q - суммарные теплопотери конструкции, Гкал с одного квадратного метра;

$T_{от}$ - тариф на тепловую энергию, руб/Гкал.

Тарифы на тепловую энергию принят по 1689,05 руб./Гкал.

Для конструкции №1 по формуле 9:

$$z = 0,034 \cdot 1689,05 = 57,43 \text{ руб.}$$

Для для конструкции №2 по формуле 9:

$$z = 0,031 \cdot 1689,05 = 52,36 \text{ руб.}$$

Для конструкции №3 по формуле 9:

$$z = 0,024 \cdot 1689,05 = 40,54 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов по теплопотерям сведем в таблицу 5.6.

Таблица 5.6. Теплопотери и затраты на отопление за расчетный период

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Суммарные теплопотери с одного квадратного метра за отопительный период, кВт*ч/м ²	39,871	36,580	27,746
Общие теплопотери здания за отопительный период, Гкал	0,034	0,031	0,024
Затраты на отопление, руб	57,43	52,36	40,54

5.1 Расчёт показателей эффективности проекта

В среднем по регионам РФ, тарифы на тепловую энергию увеличиваются на 9% ежегодно. Примем данную величину роста, и полученные значения приведем в таблице 5.1.1. Начальная величина на 2 полугодие 2021г. – 1689,05 руб./Гкал.

Таблица 5.1.1. Рост цен на тарифы на тепловую энергию в г. Красноярске

Год	Величина тарифа	Год	Величина тарифа	Год	Величина тарифа	Год	Величина тарифа
1	1689,05	21	9466,13	41	53052,08	61	297325,65
2	1841,06	22	10318,08	42	57826,77	62	324084,96
3	2006,76	23	11246,71	43	63031,18	63	353252,61
4	2187,37	24	12258,91	44	68703,98	64	385045,34
5	2384,23	25	13362,22	45	74887,34	65	419699,42
6	2598,81	26	14564,81	46	81627,20	66	457472,37
7	2832,71	27	15875,65	47	88973,65	67	498644,89
8	3087,65	28	17304,46	48	96981,28	68	543522,93
9	3365,54	29	18861,86	49	105709,59	69	592439,99
10	3668,44	30	20559,42	50	115223,46	70	645759,59
11	3998,60	31	22409,77	51	125593,57	71	703877,95
12	4358,47	32	24426,65	52	136896,99	72	767226,97
13	4750,73	33	26625,05	53	149217,72	73	836277,39
14	5178,30	34	29021,31	54	162647,31	74	911542,36
15	5644,34	35	31633,22	55	177285,57	75	993581,17
16	6152,33	36	34480,21	56	193241,27	76	1083003,48
17	6706,05	37	37583,43	57	210632,99	77	1180473,79
18	7309,59	38	40965,94	58	229589,96	78	1286716,43
19	7967,45	39	44652,88	59	250253,05	79	1402520,91
20	8684,52	40	48671,63	60	272775,83	80	1528747,79

Расчет локальной сметы выполнен базисно-индексным методом (Приложение А), прайс-листы приложены в приложении Б.

Основными показателями эффективности инвестиционного проекта являются следующие показатели:

1. Чистый дисконтированный доход (NPV) - позволяет классифицировать варианты и принимать решения на основе сравнения инвестиционных

затрат с доходами от объекта инвестирования, приведенной к текущей стоимости.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется по формуле:

$$NPV = \sum_1^n \frac{P_t}{(1+d)^t} - I_0, \quad (10)$$

где P_t – объем денежных средств в периоде t ;

d – норма дисконта;

n – продолжительность периода действия проекта, годы;

I_0 – первоначальные инвестиционные затраты.

2. Срок окупаемости (PP) - это продолжительность времени, необходимого для возмещения начальных инвестиционных затрат из частых денежных поступлений.

Формула расчета срока окупаемости:

$$PP = \frac{I_0}{P}, \quad (11)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции;

P – чистый годовой поток денежных средств от реализации ИП.

3. Индекс доходности затрат (ИД) – отношение суммы денежных притоков к сумме денежных оттоков.

Определение индекса доходности дисконтированных инвестиций по формуле

$$\text{ИДД} = 1 + \frac{\text{ЧДД}}{K}, \quad (12)$$

K – сумма дисконтированных инвестиций.

При рассмотрении данного расчета следует учитывать, что сэкономленные в последующие годы денежные средства должны быть рассчитаны исходя из фактической стоимости денег через n лет, т. е. будущие денежные потоки должны быть дисконтированы.

Примем норму дисконта 15%. Одной из составляющих является ключевой ставка ЦБ РФ равная 9,5 %. Другой – ставка на риск инвестиционной идеи, примем 5,5 %.

Для конструкции стены из железобетона:

$$NPV_1 = 4,64$$

$$ИДД_1 = 1 + \frac{4,64}{6647,03} = 1,0007$$

Для конструкции стены из кирпича:

$$NPV_2 = 3,94$$

$$ИДД_2 = 1 + \frac{3,94}{7367,08} = 1,0005$$

Для конструкции стены из CLT-панелей:

$$NPV_3 = 1,93$$

$$ИДД_3 = 1 + \frac{1,93}{10621,38} = 1,0001$$

Срок окупаемости наступает, когда дисконтированное сальдо суммарного потока имеет положительное значение. Соответственно по графикам на рисунках 5.1.1-5.1.3 можно увидеть, что все варианты конструкций стен имеют окупаемость свыше 40 лет.

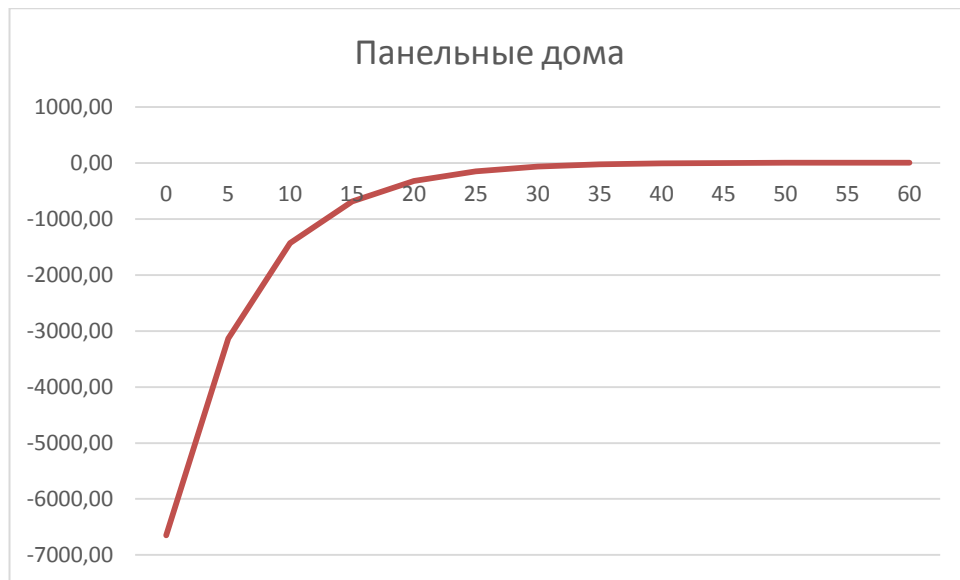


Рисунок 5.1.1 - Срок окупаемости для стены из железобетона

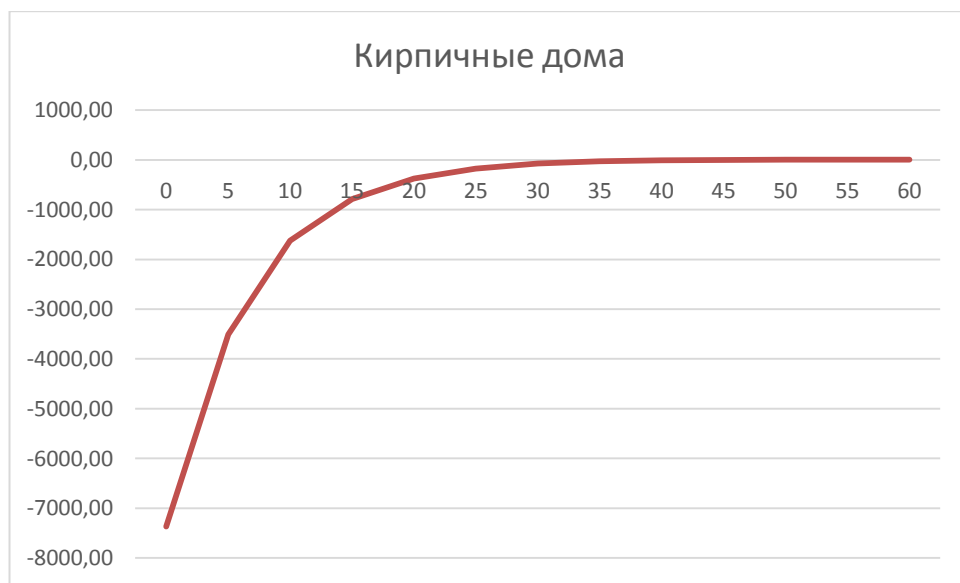


Рисунок 5.1.2 – Срок окупаемости для стены из кирпича



Рисунок 5.1.3 – Срок окупаемости для стены из clt-панелей

5.2 Выводы по Главе 5

Таблица 5.2.1. Результаты расчетов

Показатель	Вариант 1 –железобетон	Вариант 2 - кирпич	Вариант 3 – clt-панель
Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3,89	4,24	5,59
Стоимость, руб/ м^2	6647,03	7367,08	10621,38
Чистый дисконтированный доход за 60 лет	4,64	3,94	1,93
Срок окупаемости, лет	45	50	55
Долговечность, год	100	100	100

По таблице с результатами расчетов (таб. 5.2.1) можно увидеть, что самый дорогой вариант – это стена из clt-панелей:

- стоимость 1м^2 стены в 2 раза выше, чем у стены из железобетона и в 1,5 раза выше, чем у стены из кирпича;
- сопротивление теплопередачи всех вариантов ограждающих конструкций удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012;

- с точки зрения окупаемости и стоимости 1 м^2 - самой привлекательной является стена из железобетона 45 лет. Стены же из кирпича и clt-панелей имеют срок окупаемости более 45 лет.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что на данном этапе применение clt-панелей для строительства многоквартирных домов является дорогостоящим и экономически невыгодным. Следует разработать варианты удешевления данного материала для возможности внедрения его в массовом объеме на территории России и Красноярска в частности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была произведена сравнительная оценка использования многослойных клееных деревянных панелей и наиболее популярных материалов для возведения наружных ограждающих конструкций многоэтажных жилых домов по показателям теплопотерь и затрат на отопления конструкций с их применением.

По полученным результатам видно, что рассмотренные CLT-панели являются материалом с высокими первоначальными вложениями на строительство, однако имеют средние затраты на эксплуатацию зданий, построенных из них.

Срок службы многоэтажных жилых домов из CLT-панелей соизмерим с жилыми домами из классических строительных материалов. Использование пароизоляции позволяет исключить выпадение конденсата в наружной ограждающей конструкции из CLT-панелей и сохранять теплозащитные характеристики на протяжении всего срока службы.

В результате диссертационного исследования были сделаны следующие выводы:

- Проанализированы современные деревянные строительные материалы для наружных ограждающих конструкций жилых зданий
- Проведён расчёт теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций из многослойных клееных деревянных панелей
- Предложены варианты наружных ограждающих конструкций из CLT-плит с утеплением и пароизоляцией, которые отвечают, как критериям по тепловому сопротивлению в условиях города Красноярска, так влажностным критериям
- Проведена экономическая оценка предложенных решений. На данный момент стоимость строительства наружных ограждающих конструкций из CLT-панелей является самой дорогостоящей из рас-

смотренных вариантов. Затраты, на строительство ограждающей конструкции из таких панелей составляет 10621,38 рублей за м².

За счёт того, что CLT-панели являются новинкой на рынке строительных материалов, их стоимость в настоящее время высока. Это связано с затратами на закупку оригинального оборудования для их производства. Процесс производства ещё не поставлен на поток. В дальнейшем издержки на производство снизятся, что в свою очередь отразится на стоимости CLT-панелей. Следует отметить, что сроки строительства многоэтажных домов из CLT-панелей намного меньше, чем из любого другого материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» «СНиП П-25-80 Деревянные конструкции»- Справочная правовая система
- 2) СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций» Правила проектирования - Справочная правовая система
- 3) СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций» Правила проектирования - Справочная правовая система
- 4) Бойтемирова И.Н., Давыдова Е.А. CLT-панели – эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий, Вестник научных конференций. — 2016. — № 12-1(16). — С. 18–21.
- 5) СП 50.13130.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. — М.: Министерство регионального развития Российской Федерации. 2012. — 100 с.
- 6) СП 131.13130.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. — М.: Минрегион России. 2011. — 99 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 1

(локальная смета)

на конструкцию стены из панелей

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 6,647 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 0,636 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 2,34 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на текущих (прогнозных) ценах по состоянию на I квартал 2022 г.

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.					Т/з осн. раб. на ед.	Т/з осн. раб. Всего	Общая масса оборудования, т
					Всего	В том числе			Оборудование	Всего	В том числе					
						Осн.З/п	Эк.Маш	З/пМех			Осн.З/п	Эк.Маш	З/пМех			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Раздел 1. Новый раздел																
1	ФЕР07-05-022-04 Приказ Минстроя России от 09.02.2021 №51/пр.	Установка в бескаркасно-панельных зданиях (с разрезкой на этаж) панелей стеновых наружных площадью: свыше 6 до 15 м2 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25 НР (114,77 руб.): 116% от ФОТ СП (79,15 руб.): 80% от ФОТ	100 шт	0,001002 0,1002 / 100	31577,14	3224,2	2982,74	464,98		31,64	3,23	2,99	0,47	343	0,34	
2	ФССЦ-04.1.02.05-0006 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Смеси бетонные тяжелого бетона (БСТ), класс В15 (М200) ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25	м3	0,007786	592,76					4,62						
3	ФССЦ-05.1.04.08-0019 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Панели стеновые наружные, марки Нс29сн (3590x2780x250 мм) (бетон В15, объем 1,85 м3, расход арматуры 104,765 кг) ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25	шт	0,1002 1/9,98	5642,82					565,41						

ГРАНД-Смета, версия 2022.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	ФЕР26-01-037-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Изоляция изделиями из волокнистых и зернистых материалов на битуме холодных поверхностей: стен и колонн прямоугольных ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25 НР (520,83 руб.): 97% от ФОТ СП (295,32 руб.): 55% от ФОТ	м3	0,1 1*0,1	589,58	192,78	71,14	8		58,96	19,28	7,11	0,8	20,04	2	
5	ФССЦ-12.2.05.05-0016 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Плиты из минеральной ваты легкие для теплоизоляции ненагружаемых конструкций в системе утепления ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25	м3	0,097	556					53,93						
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах										714,56	22,51	10,1	1,27		2,34	
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25)										5636,96	601,92	90,9	33,96		2,34	
Накладные расходы										635,6						
Сметная прибыль										374,47						
Итого по разделу 1 Новый раздел										6647,03					2,34	
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:																
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах										714,56	22,51	10,1	1,27		2,34	
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=9; ЗПМ=26,74; МАТ=7,25)										5636,96	601,92	90,9	33,96		2,34	
Накладные расходы										635,6						
В том числе, справочно:																
97% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										520,83						
116% ФОТ (от 98,94) (Поз. 1-3)										114,77						
Сметная прибыль										374,47						
В том числе, справочно:																
55% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										295,32						
80% ФОТ (от 98,94) (Поз. 1-3)										79,15						
ВСЕГО по смете										6647,03					2,34	

Составил: _____ магистрант Башкова Н.С.
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ кандидат экономических наук Хиревич С.А.
(должность, подпись, расшифровка)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 2
(локальная смета)

на конструкцию стены из кирпича
(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 7,367 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 1,114 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 4,27 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на текущих (прогнозных) ценах по состоянию на I квартал 2022 г.

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.				Т/з осн. раб. на ед.	Т/з осн. раб. Всего	Общая масса оборудования, т	
					Всего	В том числе			Оборудование	Всего	В том числе					
						Осн.З/п	Эк.Маш	З/пМех			Осн.З/п	Эк.Маш				З/пМех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Раздел 1. Новый раздел																
1	ФЕР08-02-001-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Кладка стен кирпичных наружных: простых при высоте этажа до 4 м ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28 НР (482,1 руб.): 110% от ФОТ СП (302,41 руб.): 69% от ФОТ	м3	0,38 1*0,38	73,89	37,73	34,56	5,4		28,08	14,34	13,13	2,05	4,54	1,73	
2	ФССЦ-06.1.01.05-0001 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Кирпич керамический лицевой профильный, размер 250x120x65 мм, марка 75 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28	1000 шт	0,1444	2420					349,45						
3	ФССЦ-04.3.01.12-0001 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Раствор кладочный, цементно-известковый, М10 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28	м3	0,0912	486					44,32						

ГРАНД-Смета, версия 2022.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	ФЕР26-01-037-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Изоляция изделиями из волокнистых и зернистых материалов на битуме холодных поверхностей: стен и колонн прямоугольных <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28 НР (520,83 руб.): 97% от ФОТ СП (295,32 руб.): 55% от ФОТ	м3	0,1 1*0,1	589,58	192,78	71,14	8		58,96	19,28	7,11	0,8	20,04	2	
5	ФССЦ-12.2.05.05-0016 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Плиты из минеральной ваты легкие для теплоизоляции ненагружаемых конструкций в системе утепления <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28	м3	0,097	556					53,93						
6	ФЕР08-02-001-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Кладка стен кирпичных наружных: простых при высоте этажа до 4 м <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28 НР (152,36 руб.): 110% от ФОТ СП (95,57 руб.): 69% от ФОТ	м3	0,12 1*0,12	73,89	37,73	34,56	5,4		8,87	4,53	4,15	0,65	4,54	0,54	
7	ФССЦ-06.1.01.07-0001 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Кирпич клинкерный, размер 250x120x65 мм, марка 200 <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28	1000 шт	0,0456	2059,09					93,89						
8	ФССЦ-04.3.01.12-0001 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Раствор кладочный, цементно-известковый, М10 <i>ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно):</i> 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28	м3	0,0288	486					14						
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах										651,5	38,15	24,39	3,5		4,27	
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28)										5518,49	1020,13	210,73	93,59		4,27	
Накладные расходы										1155,29						
Сметная прибыль										693,3						
Итого по разделу 1 Новый раздел										7367,08					4,27	
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:																
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах										651,5	38,15	24,39	3,5		4,27	

ГРАНД-Смета, версия 2022.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,64; ЗПМ=26,74; МАТ=7,28)										5518,49	1020,13	210,73	93,59			4,27	
Накладные расходы										1155,29							
В том числе, справочно:																	
97% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										520,83							
110% ФОТ (от 576,78) (Поз. 1-3, 6-8)										634,46							
Сметная прибыль										693,3							
В том числе, справочно:																	
55% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										295,32							
69% ФОТ (от 576,78) (Поз. 1-3, 6-8)										397,98							
Итого по смете:																	
Конструкции из кирпича и блоков										5344,23						2,27	
Теплоизоляционные работы										2022,85						2	
Итого										7367,08						4,27	
В том числе:																	
Материалы										4287,63							
Машины и механизмы										210,73							
ФОТ										1113,72							
Накладные расходы										1155,29							
Сметная прибыль										693,3							
ВСЕГО по смете										7367,08						4,27	

Составил: _____ магистрант Башкова Н.С.
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ кандидат экономических наук Хиревич С.А.
(должность, подпись, расшифровка)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 3
(локальная смета)

на конструкцию стены из CLT-панели
(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 10,621 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 0,573 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 2,13 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на текущих (прогнозных) ценах по состоянию на I квартал 2022 г.

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.				Т/з осн. раб. на ед.	Т/з осн. раб. Всего	Общая масса оборудования, т	
					Всего	В том числе			Оборудование	Всего	В том числе					
						Осн.З/п	Эк.Маш	З/пМех			Осн.З/п	Эк.Маш				З/пМех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Раздел 1. Новый раздел																
1	ФЕР07-05-022-04 Приказ Минстроя России от 09.02.2021 №51/пр.	Установка в бескаркасно-панельных зданиях (с разрезкой на этаж) панелей стеновых наружных площадью: свыше 6 до 15 м2 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34 НР (42,19 руб.): 116% от ФОТ СП (29,1 руб.): 80% от ФОТ	100 шт	0,00037 <i>(1/27) / 100</i>	31577,14	3224,2	2982,74	464,98		11,68	1,19	1,1	0,17	343	0,13	
2	Промстройлес	CLT-плита 158 мм 3x9=27м2 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34	м2	1	1183,92					1183,92						
4	ФЕР26-01-037-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Изоляция изделиями из волокнистых и зернистых материалов на битуме холодных поверхностей: стен и колонн прямоугольных ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34 НР (520,83 руб.): 97% от ФОТ СП (295,32 руб.): 55% от ФОТ	м3	0,1 <i>1*0,1</i>	589,58	192,78	71,14	8		58,96	19,28	7,11	0,8	20,04	2	

ГРАНД-Смета, версия 2022.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	Маркет Сайдинг	Белтермо ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ(справочно): 1 Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34	м3	0,1 1*0,1	158,31					15,83						
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах										1270,39	20,47	8,21	0,97		2,13	
Итого прямые затраты по разделу с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34)										9733,94	547,37	72,41	25,94		2,13	
Накладные расходы										563,02						
Сметная прибыль										324,42						
Итого по разделу 1 Новый раздел										10621,38					2,13	
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:																
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах										1270,39	20,47	8,21	0,97		2,13	
Итого прямые затраты по смете с учетом индексов, в текущих ценах (Индекс 1 квартала 2022 года ОЗП=26,74; ЭМ=8,82; ЗПМ=26,74; МАТ=7,34)										9733,94	547,37	72,41	25,94		2,13	
Накладные расходы										563,02						
В том числе, справочно:																
97% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										520,83						
116% ФОТ (от 36,37) (Поз. 1-2)										42,19						
Сметная прибыль										324,42						
В том числе, справочно:																
55% ФОТ (от 536,94) (Поз. 4-5)										295,32						
80% ФОТ (от 36,37) (Поз. 1-2)										29,1						
ВСЕГО по смете										10621,38					2,13	

Составил: _____ магистрант Башкова Н.С.
(должность, подпись, расшифровка)

Проверил: _____ кандидат экономических наук Хиревич С.А.
(должность, подпись, расшифровка)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ветро-влажгоизоляционная плита Белтермо Flex, прямая (2400x600x100мм) от производителя Белтермо по цене 1 162.00 р



☆☆☆☆☆ 0 отзывов / Написать отзыв

Производитель **Белтермо**

Код товара: 10574-37



Характеристики

Вес 1 кв.м. 4 кг

Плотность (кг м3) 50

Тип товара Изоляционная плита

Утеплитель

Длина 2400 мм

Ширина 600 мм

Толщина 100 мм

[смотреть все](#)

1 162.00 р/м²

1



 В КОРЗИНУ

 БЫСТРЫЙ ЗАКАЗ





8 (800) 775-83-84

Заявка на расчет

О компании

ПРОЕКТЫ ▾

Контакты

УСЛУГИ

Презентация CLT2021

ПРОДУКЦИЯ

ГАЛЕРЕЯ ▾



№	Слой	Толщина	Конфигурация ламели, мм							Категория С	Категория В	Категория А
										(две не лицевые стороны, требуется зашивка)	(одна лицевая сторона, вторая не лицевая)	(две лицевые стороны)
Стены, перегородки и плиты перекрытия										Цена руб./м ²	Цена руб./м ²	Цена руб./м ²
1	3s	60	20	20	20	-	-	-	-	3927	4356	4796
1	3s	80	20	40	20	-	-	-	-	5120	5680	6250
3	3s	100-106	43	20	43	-	-	-	-	6303	6996	7700
4	3s	120-129	43	43	43	-	-	-	-	7667	8514	9372
5	5s	100	20	20	20	20	20	-	-	6534	7260	7986
6	5s	120-123	20	20	43	20	20	-	-	7821	8690	9559
7	5s	140-146	43	20	20	20	43	-	-	8690	9240	10164
8	5s	160-169	43	20	43	20	43	-	-	10043	11154	12276
9	5s	206-215	43	43	43	43	43	-	-	12771	14190	15609
10	7s	226-232	43	20	43	20	43	20	43	13783	15312	16852
11	7s	280-301	43	43	43	43	43	43	43	17886	19866	21857
12	126	CLT термо (утеплитель Белтермо или PIR)							По запросу		По запросу	По запросу
13	206	CLT термо (утеплитель Белтермо или PIR)							По запросу		По запросу	По запросу
14	286	CLT термо (утеплитель Белтермо или PIR)							По запросу		По запросу	По запросу


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

Инженерно-строительный институт
институт

Проектирования зданий и экспертизы недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Многослойные клееные деревянные панели для строительства
многоквартирных домов

тема

Строительство


08.04.01

код и наименование направления

08.04.01.04 Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

 20.06.22 к.ф.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

А.С. Орешонков
инициалы, фамилия

Выпускник

 20.06.22
подпись, дата

Н.С. Башкова
инициалы, фамилия

Рецензент

_____ К.Т.Н А.Ф. Рожков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2022