

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

Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« 15 » июня 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка проектных решений малоэтажных зданий с возможностью
изменения объёмно-планировочных решений
тема

08.04.01 «Строительство»
код и наименование направления

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

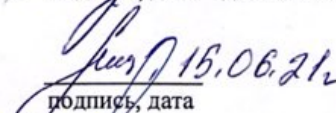
Научный руководитель


подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень


Е.М. Сергуничева
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Е.В. Логунова
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

директор ООО «Енисейстрой», к.т.н.
должность, ученая степень

Е.Г.Плясунов
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

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

Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« 15 » ноября 2019 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме _____ магистерской диссертации
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Студенту Логуновой Екатерине Владимировне
фамилия, имя, отчество

Группа СФ19-04М Направление (специальность) 08.04.01
номер код

Строительство
наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка проектных решений малоэтажных зданий с возможностью изменения объёмно-планировочных решений»

Утверждена приказом по университету № 19343/с от 12.11.2019 г.

Руководитель ВКР Е.М. Сергуничева, к.т.н., доцент кафедры ПЗиЭН ИСИ СФУ
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР одноэтажное здание на основе металлического каркаса со стеновым ограждением из сэндвич-панелей, производственно-складской комплекс, район строительства IV

Перечень разделов ВКР анализ современных трендов конструктивных и объёмно-планировочных решений быстровозводимых зданий, методология исследования, экспериментальные исследования, результаты экспериментального исследования, экономическая оценка предложенного решения

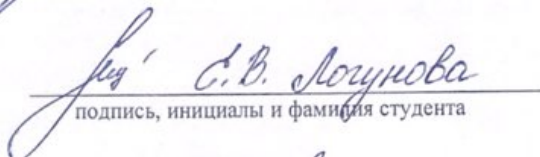
Перечень графического материала презентация «Разработка проектных решений малоэтажных зданий с возможностью изменения объёмно-планировочных решений»

Руководитель ВКР


подпись

Е.М. Сергуничева
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись, инициалы и фамилия студента

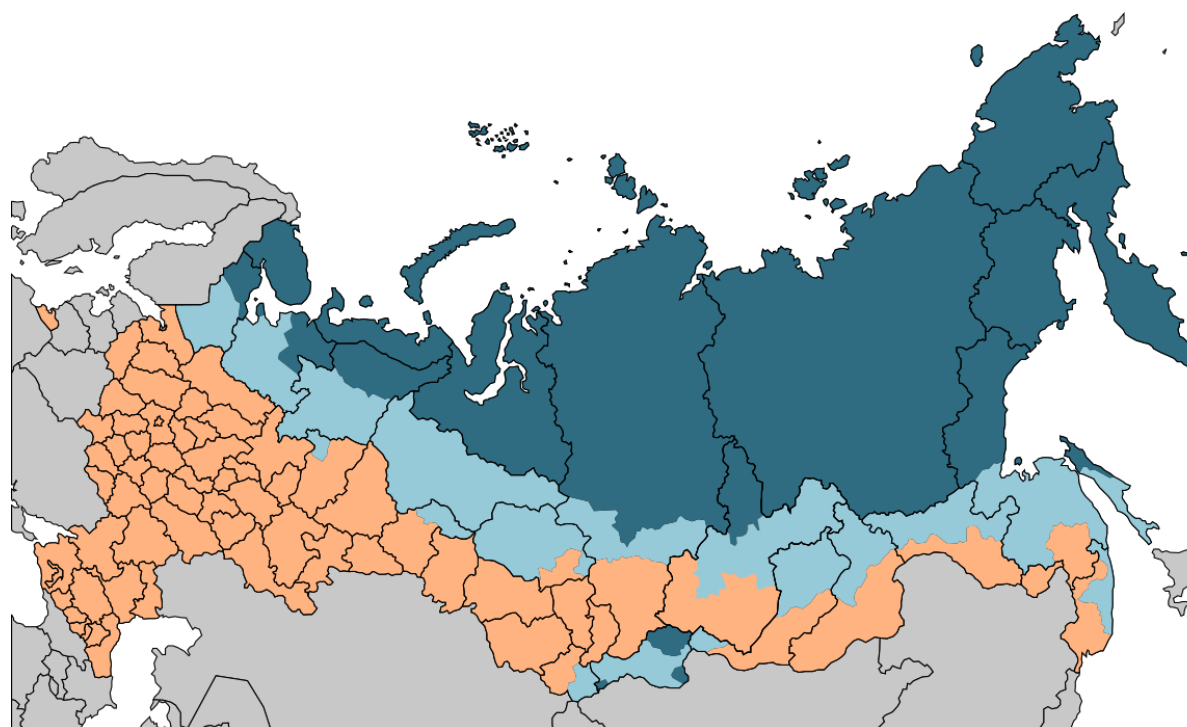
« 15 » ноября 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1 Анализ современных трендов конструктивных и объемно-планировочных решений быстровозводимых зданий.....	7
1.1 Виды быстровозводимых зданий и основные современные технологии их строительства.....	7
1.2 Современные методы создания ограждающих конструкций быстровозводимых зданий.....	19
1.3 Аналитика складских комплексов по г. Красноярску построенных из быстровозводимых зданий.....	31
Глава 2 Методология исследования.....	38
2.1 Определение базового конструктивного решения сэндвич панелей.....	38
2.2 Численное моделирование при помощи программного комплекса COMSOL Multiphysics.....	41
2.3 Методика определения расхода тепловой энергии на отопление...	45
Глава 3 Экспериментальные исследования.....	51
3.1 Выявление мест максимальных тепловых потерь БВЗ с помощью программного комплекса COMSOL Multiphysics.....	51
3.2 Выявление наиболее востребованных типоразмеров БВЗ.....	55
Глава 4 Результаты экспериментального исследования.....	57
Глава 5 Экономическая оценка предложенного решения.....	59
Заключение.....	61
Список использованных источников.....	62
Приложение А.....	68
Приложение Б.....	73

Введение

Вечномерзлые грунты занимают около 65% территории Российской Федерации, что составляет около 11 км². Наиболее широко вечная мерзлота распространена в Восточной Сибири, Забайкалье и на Дальнем Востоке (рис. 1).



■ Районы Крайнего Севера

■ Местности, приравненные к районам Крайнего Севера

Рисунок 1 – Районы Крайнего Севера

На данных территориях высока доля добывающих отраслей и предприятий, здесь сконцентрированы основные углеводородные запасы нашей страны. Здесь построены комбинаты, порты, проложены дороги, работают шахты и карьеры. В условиях многолетней мерзлоты вынуждены возводить поселки и целые города. Строительство на таких территориях является большой проблемой на протяжении уже многих лет.

Строительство в условиях Крайнего Севера осложняется экстремальными природными условиями.

Абсолютная минимальная температура воздуха в некоторых районах достигает -70 °С. Период отрицательных температур около 250 дней и более, начало периода приходится на конец сентября - начало октября, а окончание на середину апреля - начало июня. Расчетная температура воздуха (температура наиболее холодной пятидневки), определяющая требования к материалам, на значительной части территории ниже -40 °С, а в некоторых районах может опускаться до -45 °С.

Для зимнего периода характерно повышенные скорости ветра. Сочетание низких температур и большой скорости ветра существенно сказывается на условиях строительства. Так скорость ветра в 1 м/с понижает температуру воздуха на два градуса. Например, когда дует ветер со скоростью 18 м/с и температура близка к -40 °С, температура воздуха будет ощущаться человеком на уровне -80 °С [2].

Уникальность Северных районов Российской Федерации заключается в сезонной доступности транспорта. В связи с огромной удаленностью от мест производства строительных конструкций и материалов, отсутствием необходимого оборудования и техники процесс строительства значительно усложняется, т. к. почти все материалы и машины требуют длительной транспортировки к месту строительства.

Сказывается и нехватка специалистов в области производства монтажных работ. Недостаток квалификации работников оказывает влияние на качество монтажа и сроки выполнения работ.

Широкое распространение многолетней мерзлоты и ледников мощностью до 500 метров существенно усложняет процесс проектирования и строительства.

Существуют два основных принципа строительства в условиях Крайнего Севера с использованием вечномерзлых грунтов в качестве основания.

Первый принцип основан на сохранении вечномерзлого грунта в его первоначальном состоянии. Основная задача – не дать верхнему слою грунта изменить свои свойства под воздействием тепла от сооружения, как в процессе возведения, так и при дальнейшей его эксплуатации. Данный принцип применяется в тех случаях, когда сохранение верхнего слоя в его исходном состоянии экономически целесообразно. Таким способом преимущественно устраивают столбчатые или свайные фундаменты. Технология строительства заключается в организации мероприятий по уменьшению температуры грунтового основания до расчетных значений. Для этого используют искусственное охлаждение грунта с помощью специальных охлаждающих камер, подполье делают холодным и вентилируемым, а также предусматривают теплоизоляционные слои под всей конструкцией.

Проектирование основы зданий по второму принципу допускает оттаивание грунта. В этом случае грунт оттаивают перед возведением фундамента, либо проводят трудоемкие расчеты и допускают, что основание будет оттаивать во время эксплуатации здания. Постепенное оттаивание вечномерзлых грунтов возможно до тех пор, пока деформация оттаивающего основания не превысит предельно допустимых значений.

Строительство оснований по второму принципу подразумевает точный расчет глубины заложения подошвы фундамента. Необходимо провести комплексную оценку толщины сезонного промерзания грунта и уровня грунтовых вод.

Учитывая все неблагоприятные факторы и суровые условия, с которыми можно столкнуться во время строительства в районах Крайнего Севера, можно прийти к выводу, что наиболее оптимальной технологией строительства в таких условиях является возведение зданий из готовых блок-модулей (рис. 2).



Рисунок 2 – Здание из блок-модулей

Целью диссертационного исследования является повышение энергоэффективности потребления тепловой энергии в зданиях, позволяющих менять объёмно-планировочные решения.

Для решения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Провести анализ современных трендов конструктивных и объёмно-планировочных решений БВЗ;
2. Выявить наиболее востребованные типоразмеры БВЗ;
3. Выявить места максимальных тепловых потерь БВЗ;
4. Провести численный эксперимент и дать рекомендации по совершенствованию конструктивного решения стыков панелей;
5. Дать экономическую оценку предложенному решению.

Актуальность работы обусловлена тем, что вместе с повышением спроса на строительство зданий, имеющих возможность менять объёмно-планировочные решения, повышается потребность энерго- и ресурсосбережения.

Глава 1 Анализ современных трендов конструктивных и объемно-планировочных решений быстровозводимых зданий

1.1 Виды быстровозводимых зданий и основные современные технологии их строительства

Быстровозводимые здания – это каркасные или бескаркасные здания, конструктивные особенности которых дают возможность возводить их вне зависимости от климатических условий со сроками, значительно меньшими по сравнению с нормативной продолжительностью строительства.

В основном быстровозводимые здания строят с применением металлического каркаса, стены изготавливают либо при помощи несъемной опалубки, либо монтируют сэндвич-панели, зачастую так же используют технологию полистовой сборки.

В настоящее время проблема проектирования, строительства и эксплуатации быстровозводимых комплексов чрезвычайно актуальна для России и зарубежных стран также. Данной проблемой активно занимаются многочисленные учебные, научные и проектные учреждения Росстроя, Минобороны, МЧС и других федеральных и территориальных ведомств [3]. Быстровозводимое домостроение имеет пусть недолгую, но уже очень насыщенную историю написания множества статей, учебников, учебных пособий. Этой темой занималось много исследователей [2-33]. Значительный вклад в развитие быстровозводимых конструкций внесли такие ученые как Рыбаков В.А. [5, 9, 10], Жмарин Е.Н. [6, 10], Адам Ф.М. [30-32] и др.

Рассмотрим детально сферы применения быстровозводимых зданий. Они различаются по технологии строительства объектов и это:

Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). Универсальность таких объектов состоит в том, их можно надстроить или пристроить к уже существующему зданию. Такая технология используется для монтажа ангаров с

внутренними перегородками, в основе которых металлокаркас, покрытый стеновыми профильными листами. Конструкции подходят для возведения автомоек, станций технического обслуживания, гаражей, монтаж которых не требует закладки глубокого основания. Также ЛСТК часто применяют для строительства сельскохозяйственных хранилищ, коровников, свинарников, птичников.

Легкие металлические конструкции (ЛМК). Отличные эксплуатационные характеристики таких деталей позволяют эффективно использовать их в абсолютно любой климатической зоне, включая труднодоступную местность. Данная технология подойдет для возведения приборо- и машиностроительных предприятий, объектов деревообрабатывающей, легкой, мясной, молочной промышленности. Также с помощью ЛМК строят компрессорные, котельные, спортивные и торговые комплексы, разнообразные предприятия общепита, выставочные и рыночные павильоны.

Бескаркасное арочное возведение зданий. Для таких сооружений не нужно возводить опорные конструкции, а сборка арок выполняется непосредственно на стройплощадке. Крепление готовых панелей осуществляется при помощи закаточной машины без использования специальных соединительных элементов. Технология применяется для строительства производственных помещений разного назначения, логистических комплексов, авиационных ангаров, спортивных объектов, выставочных залов, социально-бытовых сооружений, мастерских, мансард. Также можно возводить административные здания, сельскохозяйственные фермы, ледовые дворцы, аквапарки, теннисные корты, крытые парковки для автомобилей и разного оборудования.

Возведение сооружений с использованием гофробалок. Такое строительство быстровозводимых зданий характеризуется низкой металлоемкостью и максимально короткими сроками сборки стальных конструкций. Гофробалки применяют для возведения складских комплексов,

большепролетных помещений производственных строений, разнообразных объектов торговли и спорта, административных помещений, автомоек, мансардных надстроек.

Монтаж объектов при помощи балок переменного сечения. При данной технологии строительства быстровозводимых сооружений значительно уменьшается нагрузка на основание и снижается стоимость сборочных работ. Зачастую балки переменного сечения используются для монтажа мостов, пристроек, односкатных объектов, внутренних межэтажных и кровельных перекрытий, площадок, навесов.

Виды быстровозводимых зданий:

Большое внимание исследователи уделили каркасно-щитовому строительству [15-19].

Каркасно-щитовой метод строительства является одним из типов быстровозводимых зданий и сооружений. Деревянные конструкции, а именно каркасно-щитовые уступают ЛСТК, однако если в регионе высокие цены на металл, или он отсутствует, то использует каркасно-щитовой метод в строительстве быстровозводимых зданий.

Суть каркасно-щитового строительства сводится к тому, что стены дома возводятся на заранее просчитанной «хребетно-реберной» конструкции. В традиционной европейской технологии фахверка в качестве несущего каркаса выступали деревянные балки, а в качестве стеновых наполнителей использовались самые разнообразные материалы минерального происхождения. Дом возводится из заранее изготовленных щитов, размеры которых просчитываются на стадии проектирования.

Установленный на фундамент щит снаружи обтягивается пергамином с целью гидро- и ветроизоляции.

Изнутри по пергамину прокладывают слой утеплителя (для этих целей чаще всего используется минеральная вата) толщиной 150 мм. Опять же изнутри на утеплитель кладут пароизоляционный материал, в качестве которого может выступать тот же самый пергамин.

По своим теплоизоляционным характеристикам такая стена соответствует полутора метрам традиционной кирпичной кладки. Более того, три перечисленных слоя, собственно, и являются готовой стеной дома. Какие материалы будут закрывать слой ветроизоляции снаружи и слой пароизоляции изнутри, зависит исключительно от выбранной внутренней и внешней отделки дома.

Традиционным основанием для отделки из облицовочного кирпича является цементно-стружечная плита (ЦСП), сайдинг или деревянная вагонка допускают другие варианты [15].

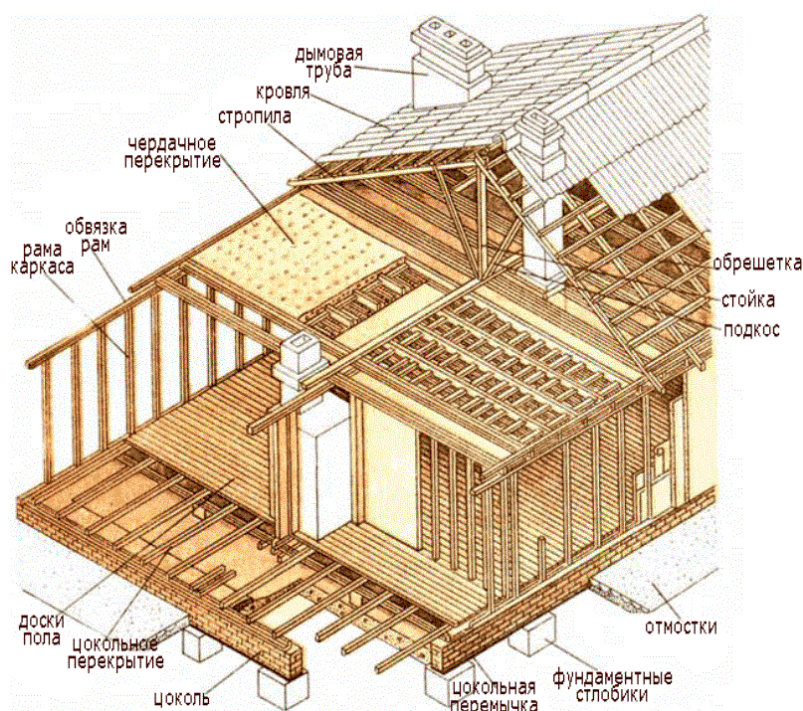


Рисунок 3 - Устройство каркасно-щитового здания

Каркасно-щитовые дома обычно сравнивают с бревенчатыми или брусовыми домами. Преимуществами каркасно-щитовых конструкций являются: быстрота возведения (от 4-6 недель благодаря автоматизации и

отточенности технологического процесса), лёгкость конструкций, простота монтажа, не требует усадки в отличие от бревенчатых и брусовых домов, высокие теплоизоляционные свойства каркасной конструкции, при относительно низкой толщине стен (25см) — эквивалент по теплотехнике — в брусом доме — 54 см; полнотелом кирпиче — 180 см; в пеноблоках — 80 см. По акустическим показателям каркасный дом за счёт защитных сред и утеплителей имеет показатели скорости распространения звука $c = 4,2 \cdot 10^{-3}$ м/с, тогда как у других методов $c = 4,9 \cdot 10^{-3}$ м/с. К недостаткам относят: каркасные дома менее экологичны, чем другие виды, по причине синтетических материалов утеплителя и затрудненный воздухообмен и обмен влагой. Соотношение цены-качества и скорости строительства намного лучше у каркасно-щитовых зданий в сравнении с бревенчатыми или брусовыми домами, что является одним из важных показателям при выборе конструкции и материалов в строительстве.

Блочно-модульные быстровозводимые здания [15-19, 30-33].

Главное отличие конструкций блочно-модульных зданий от рассмотренных конструкций состоит в том, что этот тип конструкций может с быстрой лёгкостью перемещаться и воздвигаться в разных местах. Блочно-модульные быстровозводимые здания могут производиться в перемещаемом или мобильном выполнении. Это универсальные конструкции, состоящие из прочного каркаса, ограждающих элементов и кровли. Самыми главными элементами быстровозводимых модульных зданий являются так называемые блок-модули конкретных размеров, которые позволяют выстраивать сооружения с необходимыми размерами. На строительную площадку готовый модульный блок доставляется в состоянии полной либо частичной сборки полностью подготовленных элементов конструкции. На самой площадке требуется только сооружения фундамента. Чаще всего это мелкозаглубленные или незаглубленные типы фундамента: ленточные, плитные или столбчатые. Модульные здания относятся к временным строениям, могут устанавливаться

без фундамента (преимущественно до трёх этажей), могут легко демонтироваться и перевозиться на другое место. Изготавливаются в различном исполнении для любых климатических условий, отвечают всем пожарным и санитарным требованиям, имеют систему отопления и вентиляции, сантехнику и электрооборудование [30-32]. Для изготовления модулей используют следующие виды материалов: металл (блок-контейнеры, бытовки, нестандартные конструкции); дерево (блоки из профилированного бруса, оцилиндрованного бревна или древесно-щитовых материалов); бетонные конструкции (армированные бетонные плиты или модульные конструкции из ячеистых бетонов).



Рисунок 4 - Блочно-модульное сооружение

Самое главное преимущество модульных зданий - это их мобильность, скорость развертывания. двухэтажное временное здание может быть собрано в течение нескольких дней, также преимуществом данного метода является: возможность установки в местах, где обычное строительство затруднено или невозможно, высокая степень заводской готовности, применение современных отделочных материалов, высокое качество исполнения, стойкость к сейсмическим и снеговым нагрузкам. Недостатками у Блочно-модульных

зданий являются: возможность ухудшения теплоизолирующих и прочностных свойств через несколько десятков лет эксплуатации, нежелательность сооружения быстровозводимые конструкции в регионах с повышенной влажностью, а также с очень низкими зимними температурами, сложность монтажа предполагает проведение работ только высокопрофессиональной бригадой.

Каркасно-тентовый метод пока ещё исследуется и имеет мало исследований в данной области [20-23].

Ещё одним из видов быстровозводимых зданий является каркасно-тентовый (каркасно-мембранный) метод. В отличие от ЛСТК и щитового-каркасного метода каркасно-тентовый метод используется для с/х зданий, бытовых складов и объектов досуга и отдыха. Конструкция всегда состоит из тентовой оболочки, представляющей собой однослойный или двухслойный тент, поддерживаемый в проектом положении легким металлическим каркасом из алюминиевых, стеклопластиковых или полиэтиленовых труб [20]. Подобные конструкции могут быть в исполнении различных форм, размеров и назначений. Но неизменно общим остается их структура построения и основная цель - быстрое обустройство пространства. Такие мобильные конструкции, как правило, очень удобны для транспортировки и просты в сборке. Тентовая ткань представляет собой основу из полиэстера, полиэфира, покрытую с двух сторон поливинилхлоридом и защитным лаком, прочный и эластичный материал, который сохраняет свои характеристики при температурах от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Монтаж тентовых оболочек сводится к установке каркаса и устройству по нему тентового покрытия. В каркасе такой оболочки могут быть быстроразъемные соединения, а в тканевой основе — специальные «застегивающиеся» устройства. В этом случае оболочку можно перевозить несколькими транспортабельными пакетами [21].

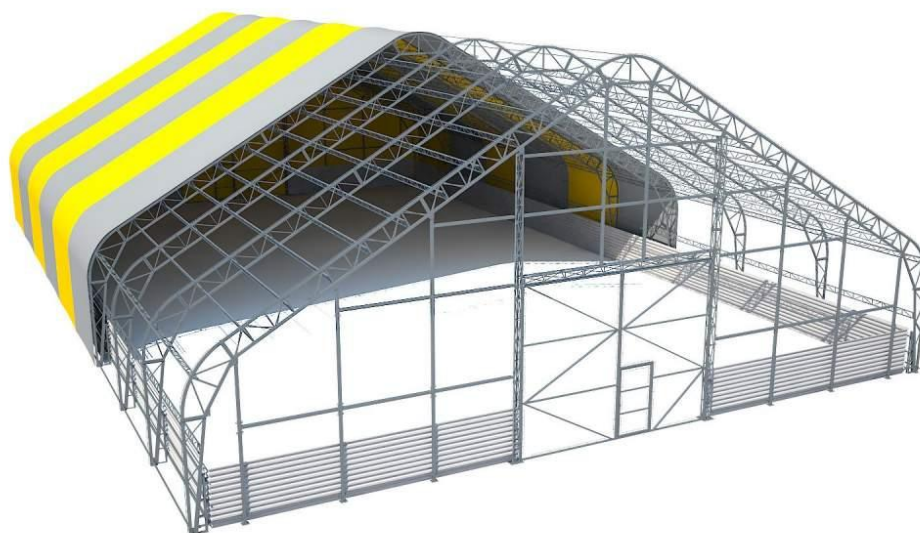


Рисунок 5 - Каркасно-тентовое сооружение

Каркасно-тентовый метод имеет множество преимуществ таких как: мобильность (возможность быстрого монтажа (2-3 дня), демонтажа и переноса на другое место), низкая металлоемкость (привлекательная цена по сравнению с капитальными конструкциями), светопрозрачность (в светлое время суток не требуется дополнительное освещение), простота сборки (минимальные затраты на технику, отсутствие сварки, болтовые соединения) и гибкость (возможность модификации существующих конструкций, увеличения площади и длины). К недостаткам же этого метода стоит отнести: малый срок службы (тент - 15 лет, каркас - 40 лет), постоянна подкачка воздуха, значительные теплопотери(термическое сопротивление $R_c = 0.0063 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/ \text{Вт}$), большие затраты на энергию (так для теннисного корта работающего 24 часа с размером 648 м² будет расходоваться на воздухоподувку 1 кВт, освещение 7 часов 0,6 кВт, отопление газовое 20 м³ за 6 месяцев), для натяжения гибких натяжных элементов каждому из них необходимо натяжное устройство типа талрепа, которое необходимо ручным способом натягивать, что замедляет общую сборку или разборку конструкции, элементы верхней периферийной обвязки каркаса выполнены жесткими из металлических труб или деревянных балок, или полимерных труб, что затрудняет очистку тентовой крыши от дождевой и талой воды, слабая защита от разрыва, в том числе вандализма (Разрывная

нагрузка (основа/уток) 280/280dan/5см) [22]. В итоге этот метод благодаря своим преимуществам лучше всегда подходит для строительства: промышленных зданий, складов, спортивных объектов, отдыха и сельского хозяйства.

Метод несъёмной опалубки также ещё исследуются и имеют мало исследований в данной области [24-29].

В последнее время становится популярен метод несъёмной опалубки при строительстве быстровозводимых зданий. По цене и стоимости обслуживания он выигрывает у предыдущих методов (стоимость 1 кв. метра около 130\$), однако метод также имеет свои преимущества и недостатки. Технология возведения строительных конструкций с применением несъёмной опалубки более 30 лет благополучно используется в США, Канаде и странах Европы. В России дома из несъёмной опалубки строятся уже около 10 лет, они прекрасно себя зарекомендовали. Основным преимуществом применения технологии несъёмной опалубки является возможность возведения многослойной конструкции с необходимой теплоизоляцией за один технологический цикл. То есть стена получается сразу «теплой» и не требуется дополнительных затрат на работы по утеплению, следовательно строительство получается более экономичным [24]. Несъёмная опалубка - это набор комплектующих, которые в сборе представляют собой единую опалубочную конструкцию. В некоторые модели опалубки можно помещать утеплитель, армированные сетки, арматуру, а затем заливать бетон. Благодаря объединению нескольких строительных процессов, несъёмная опалубка существенно ускоряет и упрощает все строительные процессы. Строительство конструкций с несъёмной опалубкой напоминает игру в детский конструктор. Разные части опалубки скрепляют при помощи специальных замковых конструкций, внутри закладывают строительную арматуру с рифлениями и заливают бетон. Как правило, при использовании несъёмной опалубки не требуется сложной строительной техники [25, 26].

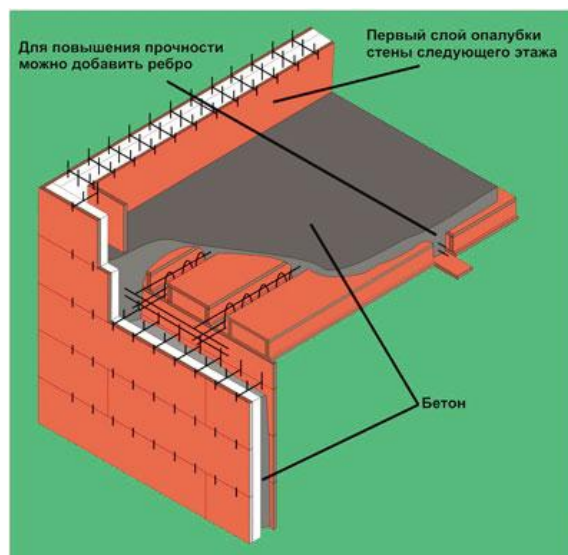


Рисунок 6 - Схема несъемной опалубки

Различают несколько принципиально разных видов несъемной опалубки: несъемная опалубка из керамзитобетона, несъемная опалубка из пенополистирола, деревобетонные панели или блоки, носящие название арболит, стекломгнезитовую несъемную опалубку, армированные панели, облицовочная несъемная опалубка «Техноблок». Эти виды различаются прежде всего материалами из которых состоит конструкция.

Преимуществами метода несъемной опалубки являются: простота монтажа, скорость возведения, малая цена (стоимость 1 кв. метра около 130\$), конструкции являются жесткими и несущими, прекрасная тепло- и звукоизоляция.

К недостаткам же относят: низкую шумоизоляцию, не доступность (в России этот материал не получил широкого распространения), требуется отделка, сезонные ограничения строительства (в летнее время необходимо увлажнение бетона водой).

При температуре ниже -5-ти градусов по Цельсию возникают проблемы с затвердеванием бетона), Высокая влажность (в домах из несъемной опалубки необходимо использовать принудительную вентиляцию), обязательное заземление/зануления дома (так как технология подразумевает использование

металлической арматуры, требуется устройство заземленного контура для защиты от атмосферных разрядов) [25].

Основные технологии строительства быстровозводимых зданий:

- *Технология из лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК).*

Технология ЛСТК позволяет в короткие сроки построить каркас здания из легкого оцинкованного профильного листа толщиной от 1.5 до 3 мм, широко распространена благодаря легкому процессу сборки, она применяется в строительстве промышленных и производственных помещений, складов.

К достоинствам относятся: небольшие сроки строительства; низкая стоимость строительства; хорошая звукоизоляция; возможность проложить коммуникации внутри стен; экологичность, применяются экологически чистые материалы; возможность построить дом вне зависимости от времени года [34].

К недостаткам относятся: пожароопасность, технологически-каркасный дом сложнее любого другого и подразумевает соответствующую квалификацию, наличие современного инструмента и грамотно составленный проект [34,35].

- *Технология из легких металлических конструкций (ЛМК).*

Технология ЛМК является разновидностью технологии ЛСТК, в которой используется рамная система несущего каркаса, она более прочная и состоит из колонн ферм. Вся конструкция каркаса, изготовлена из двутавровых профилей. Технология строительства зданий по технологии ЛМК применяется для промышленных зданий и складов, офисных и торговых центров, спортивных комплексов и сельскохозяйственных помещений [36].

- *Бескаркасная технология* – самый простой в возведении и экономичный вариант строительства ангаров, складов и зернохранилищ. Такие здания имеют легкие малозаглубленные фундаменты (столбчатый, ленточный или

комбинированный), а ограждающие конструкции возводятся из оцинкованной стали толщиной от 0,8 до 1,5 мм., с возможностью утепления конструкции как изнутри, так и снаружи.

Недостатком таких конструкций можно считать существующее ограниченное применение по причине невысокой надежности. При этом, срок строительства по бескаркасной технологии высок: за 4 недели возводится “под ключ” ангар площадью 1000 м².

Основными достоинствами являются: широкая область применения, возможность строительства в любых условиях, возможность монтажа над действующим производством.

- *Технология с использованием балок поперечного сечения.* Используется при постройке зданий с большим высотным пролетом (большие ангара, склады, рынки).

Недостатками у быстровозводимых зданий являются: возможность ухудшения теплоизоляционных прочностных свойств; нежелательность сооружения в регионах с повышенной влажностью, а так же с очень низкими зимними температурами.

В зданиях большой протяженности должны предусматриваться температурно-усадочные, осадочные или антисейсмические швы в зависимости от их объемно-планировочных решений и природно-климатических условий района строительства [37].

Широкое применение быстровозводимых конструкций в строительстве в России сдерживается отсутствием норм по их расчету и проектированию. Конечно, нужно отметить, что быстровозводимые конструкции ранее изучались и существуют некоторые методики расчета и нормы зарубежных стран, по которым проектируют и строят.

1.2 Современные методы создания ограждающих конструкций быстровозводимых зданий

В основном быстровозводимые здания состоят из:

- каркаса;
- металлоконструкций;
- систем внутреннего и наружного воздухообмена;
- дополнительного каркаса;
- облицовки стен и кровли.

Все варианты обшивки с типами зданий, можно разделить на «холодные» и «теплые».

Выбор того или иного варианта зависит прежде всего от необходимости или отсутствия постоянной мобильности, например у каркасно-тентового сооружения мобильность обеспечивается, прежде всего, применением в качестве ограждающих конструкций тентовых ПВХ-тканей как в «холодном», так и в «теплом» (двухслойное) исполнении.

Другие типы ограждающих конструкций (профилированный настил и сэндвич-панель) более целесообразны для полустационарных вариантов зданий и сооружений в случаях, когда здание не планируется перемещать минимум ближайшие 5 лет.

Рассмотрено восемь основных типов ограждающих конструкций (с учетом сочетания материалов) применяемых для обшивки быстровозводимых зданий и сооружений.

«Холодные» здания и сооружения:

- 1-й тип ограждающих конструкций – тентовая ПВХ-ткань.

Тентовая ПВХ-ткань — это материал, состоящий из тканой основы (высокопрочная синтетическая нить) с двухсторонним ПВХ-покрытием. Плотность – 450–1400 г/м². Материал тентовой ПВХ-ткани стоек к воздействию климатических факторов, биовредителей, водонепроницаем, устойчив к воздействию масел и жидкого топлива. Диапазон эксплуатационных температур от –55°С до +70°С. Может быть также не поддерживающим горение (специальные антипереновые добавки).

Сфера применения тентовых укрытий и быстровозводимых тентовых сооружений чрезвычайно широка, это и «тепляки» для строительства, и перекатные укрытия для бетонирования ВПП, ремонтные палатки для обслуживания техники в полевых условиях, склады временного хранения, быстровозводимые павильоны для торговли и выставок, легкие сельхоз сооружения, укрытия для тенниса и других видов спорта.

- 2-й тип ограждающих конструкций – профилированный лист («профнастил»).

Профнастил – тонколистовой материал из горячеоцинкованной стали. Может иметь дополнительное полимерное или лакокрасочное покрытие. Это современный, долговечный, прочный и доступный материал.

Толщина стали – 0,4–1,5 мм. Различают кровельный и стеновой профнастил. Кровельный профнастил отличается увеличенной высотой профиля (С44, Н57, Н60, Н75), за счет которого имеет хорошую несущую способность. Стеновой профнастил как правило тоньше и имеет малую высоту ребер жесткости (С18, С21, НС35).

Применение профнастила в качестве ограждающих конструкций для быстровозводимых конструкций прежде всего связано с «холодными» складами временного хранения, полустационарными ангарами и производственными цехами, навесами и пристройками, некоторыми типами сельскохозяйственных построек.

- 3-й тип ограждающих конструкций – Комбинированный №1 (профнастил + тент).

В некоторых случаях целесообразно применение комбинированных вариантов обшивки, сочетающих полезные характеристики и свойства применяемых материалов.

В данном случае положительным эффектом от применения профнастила на стенах будет, прежде всего, антивандальный эффект (особенно на неохраняемых площадках), который также полезен на площадках, которые отличаются большой посещаемостью (рынки, предприятия с активным производственным процессом).

Применение ПВХ-ткани на крыше позволяет отказаться от искусственного освещения, по крайней мере, в весенне-осенний период, так как ПВХ-ткань светопропускаемая (до 70 %). Такой вариант очень выгоден в ситуациях, когда быстровозводимое сооружение используется по большей части в дневное время.

Сфера применения такого варианта ограждающих конструкций пересекается со сферами каркасно-тентовых укрытий и быстровозводимых сооружений из профнастила (например, ангаров для малой авиации)

- 4-й тип ограждающих конструкций – Комбинированный №2 (тент + профнастил).

Также, как и в предыдущем случае, комбинированный вариант может быть полезен, однако эффективные свойства используемых материалов работают по-другому.

Тентовая ПВХ-ткань на стенах возможна в случаях применения конструкции на собственных, охраняемых территориях. В данном случае роль тента – освещенность внутреннего пространства быстровозводимого

сооружения. Кроме того, ПВХ-ткань на стенах служит дольше чем на крыше (нет вытягивание от снега, меньше воздействие ультрафиолета).

Профнастил на крыше в данном случае целесообразен как раз из-за прочностных характеристик и долговечности. Цикл до смены тента на стенах будет больше, чем на полностью тентовых конструкциях, но значительно меньше, чем на полностью обшитых профлистом.

Сфера применения такого варианта ограждающих конструкций также пересекается со сферами каркасно-тентовых укрытий и быстровозводимых сооружений из профнастила.

«Теплые» здания и сооружения:

- 5-й тип ограждающих конструкций – двухслойная, тентовая ПВХ-ткань.

Имеет все преимущества каркасно-тентового сооружения, за исключением светопропускаемости (эффект практически сводится к нулю). Однако за счет применения второго (внутреннего) слоя из облегченной ПВХ-ткани (менее 600 гр/м²) достигаются новые положительные свойства: теплоизоляция за счет воздушной прослойки, отвод конденсата, и создание «аккуратного» рабочего пространства внутри. При этом сохраняется главное достоинство быстровозводимых каркасно-тентовых конструкций – мобильность.

Данный тип ограждающей конструкции, как правило, используется в труднодоступных регионах, при освоении месторождений полезных ископаемых. Быстровозводимые ангары РММ, цеха, склады и укрытия в северном исполнении. Это связано с тем, что как правило нет необходимости или возможности строить капитальное сооружение (временность объекта, вечная мерзлота), но при этом необходимо надежное мобильное укрытие от климатических воздействий Севера – снег, ветер, температура.

Отдельно стоит отметить актуальность применения данного типа ограждающей конструкции при строительстве «теплых» быстровозводимых спортивных залов для школ и других образовательных учреждений (вузов, детских садов, гимназий).

- 6-й тип ограждающих конструкций – «профнастил» с утеплением.

Это наиболее экономичный из «теплых» вариантов быстровозводимых конструкций. В качестве внешнего слоя используется профнастил, что дает всему сооружению необходимую прочность и долговечность. А в качестве утеплителя используются вспененные материалы на фольгированной основе. Применение утеплителя придает зданию из профнастила небольшую, но в некоторых случаях, необходимую теплоизоляцию.

Сферы применения – ангары быстровозводимые здания, склады, цеха. В случаях когда необходимо небольшое утепление, но при этом крайне ограничен бюджет (например, быстрое наращивание производственных площадей).

- 7-й тип ограждающих конструкций – сэндвич-панель заводской готовности.

Сэндвич-панель – материал, имеющий многослойную структуру, состоящую из двух листов профнастила и слоя утеплителя между ними. В качестве утеплителя как правило выступают – минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан, стекловолокно. Детали сэндвич-панелей склеиваются между собой с помощью горячего или холодного прессования. В последнее время более широкое применение находят PIR и PUR панели.

Толщина сэндвич-панелей – 50–250 мм. Та или иная толщина сэндвич-панелей выбирается по типу здания и региону установки. В зависимости от исполнения выделяют кровельные и стеновые сэндвич-панели. Кровельная панель отличается увеличенной высотой профиля, за счет которого имеет

повышенную несущую способность. Стеновая панель как правило тоньше и имеет малую высоту ребер жесткости.

Применение сэндвич-панели обосновано в случаях, когда необходима высокая теплоизоляция, долговечность здания (15 и более лет), «относительная капитальность» быстровозводимого здания. Как правило это производственные корпуса, теплые склады, ремонтные базы для техники, круглогодичные спортивные сооружения.

- 8-й тип ограждающих конструкций – сэндвич-панель поэлементной сборки.

Помимо классического варианта (клееных сэндвич-панелей) существует и другая разновидность – сэндвич-панели поэлементной сборки. Основное отличие от классических панелей в том, что они собираются и монтируются непосредственно на монтаже быстровозводимого здания. Состоят из следующих комплектующих: самонесущего кассетного профиля (основа поэлементной сборки), утеплителя и, как правило, профнастила в качестве внешнего и внутреннего слоев.

При соблюдении технологии сборки, применение панелей поэлементной сборки обосновано за счет не меньшей надежности, но при этом чуть меньшей стоимости по сравнению с панелями заводской готовности. Сфера применения такого варианта ограждающих конструкций полностью идентична быстровозводимым зданиям из сэндвич панелей заводской готовности. Хорошо их применение в качестве теплых ангаров для техники, авиаангаров (в том числе вертолетов).

Существуют и другие типы материалов, которые возможно применить в качестве ограждающих конструкций для быстровозводимых зданий и сооружений. К ним, в частности, относятся – трапоулин, поликарбонат и другие современные материалы. В конечном счете во многом от выбора ограждающей

конструкции зависит конечная цена быстровозводимой конструкции, в независимости от назначения [38].

Кроме того, возможны дополнительные комбинации, например, стены – заводская сэндвич панель, крыша – панели поэлементной сборки. Позволяет избавиться от большого числа стыков на крыше.

Строительство современных быстровозводимых зданий в Красноярском крае осуществляется преимущественно с использованием сэндвич панелей с металлическим каркасом.

Из таких видов ограждающей конструкции быстровозводимых зданий, как профлист, тентовый ПВХ материал, сэндвич панели самым распространенным и наиболее приемлемым для климатических условий Красноярского края является сэндвич-панели.

Они представляют собой трехслойную конструкцию из двух металлических листов и находящегося между ними слоя-утеплителя. Подобные панели – не имеют аналогов для строительства быстровозводимых сооружений в северных районах страны.

Сэндвич панели изготавливают из листов оцинкованной стали, полость между листами заполняется плитой из базальтового волокна плотностью не менее 110 кг/м^3 .

Утеплителем в сэндвич-панелях, кроме базальтового волокна (минваты), может так же выступать пенополистирол, стекловата и пенополиуретан. Важной характеристикой является коэффициент теплопроводности утеплителя.

Специальным клеем на основе полиуретана обшивка надежно и прочно соединяется с утеплителем, гарантируя прочность и долгий срок службы конструкции. Панели крепятся к каркасу, в зависимости от его материала, либо при помощи самонарезающих болтов по металлу, дереву, или с использованием

специальных дюбелей (если каркас бетонный). Сэндвич-панели бывают стеновые и кровельные.

Стеновые сэндвич-панели, представляют собой маловесные трехслойные бескаркасные панели, выполненные из двух внешних профлистов и слоя утеплителя, имеющие в своей конструкции отличительную особенность в виде дополнительного защитного полимерного покрытия, обладающего высокой устойчивостью к коррозии.

Кровельные сэндвич-панели предназначены для устройства кровли зданий практически любого назначения - от производственных до коммерческих, построенных по каркасно-панельной схеме. От стеновых кровельные сэндвич-панели отличает наличие в конструкции высокого ребра и замка, призванных препятствовать проникновению влаги внутрь здания. Кровельные сэндвичи противостоят любым погодным условиям, снегу, дождю и ветру. Из них можно построить здание практически полностью, не прибегая к другим строительным материалам.

На срок службы трёхслойных сэндвич-панелей влияют следующие основные факторы:

Производство (оборудование)

Производство панелей осуществляется на автоматической, полуавтоматической линии, а также путём ручной сборки (стендовая сборка). Только автоматическая линия может обеспечить высокое качество панелей, гарантировать отличную адгезию облицовки с наполнителем, производить точные габаритные размеры панели и её замков. Это обеспечивает плотность и надежность стыков панелей, защищая наполнитель и помещение от различных внешних факторов, сохраняя все эксплуатационные свойства сэндвича. Равномерное распределение клея для надежного соединения облицовки и наполнителя исключают расслоение панелей, что в совокупности значительно увеличивает срок службы.

Сырьё (характеристика и качество)

Используемое сырьё должно быть от проверенных и известных поставщиков, а по параметрам соответствовать всем требованиям к несущей способности панелей. Как правило, крупные производители сотрудничают с надёжными поставщиками сырья, осуществляют входной контроль качества, а также гарантируют заявленные характеристики панелей (толщина стали, плотность наполнителя и проч.).

Монтаж

Сэндвич-панели достаточно давно присутствуют на российском рынке и являются популярным строительным материалом, в связи с этим не составит труда найти опытную монтажную организацию. Также необходимо использовать качественный крепёж (рекомендуемый производителями панелей) для надёжной фиксации материала, применять рекомендованные уплотнители и герметики для дополнительной гарантии эффективной и долгой эксплуатации.

Условие эксплуатации

Трёхслойные сэндвич-панели могут использоваться в различных условиях (разные среды, температуры, уровни влажности т.д.) и в различных назначениях. Толщина облицовки и её покрытие, толщина панели, наполнитель, тип замка, доборные элементы должны полностью отвечать всем вызовам условиям эксплуатации.

Для увеличенного срока службы панелей необходимо придерживаться проектной документации и/или рекомендаций специалистов компании-производителя для каждого объекта. При соблюдении всех условий срок службы трёхслойных сэндвич-панелей составляет не менее 35 лет, при этом существенно экономя на отсутствии лишних эксплуатационных затрат.

Для крепления трехслойных сэндвич-панелей к металлоконструкциям применяются самонарезающие шурупы Ø5,5xL с ЭПДМ-прокладками. Они

позволяют крепить сэндвич-панели к металлоконструкциям с толщиной полки до 12 мм без предварительного засверливания. Длина шурупов Ø5,5xL подбирается в зависимости от типа и толщины ТСП. Для крепления ТСП к бетонным конструкциям (марка бетона М300 и выше) используют крепеж - типа пружинных анкеров Ø4,8xL или Ø6,3xL.

Наполнитель сэндвич-панелей:

Минеральная вата (МВ)

В качестве теплоизоляционного слоя (утеплителя) в сэндвич-панелях используются минераловатные плиты на основе пород базальтовой группы на синтетическом связующем.

Основным свойством минеральной ваты, отличающим ее от других теплоизолирующих материалов, является ее негорючесть, а также высокие тепловые и звукоизоляционные характеристики, химическая и биологическая стойкость, экологичность. Из минераловатных плит нарезаются ламели с вертикальной ориентацией волокон, которые придают особые механические и прочностные характеристики ТСП.

Характеристики:

- Негорючий материал (НГ);
- Высокие теплотехнические и звукоизоляционные характеристики;
- Химическая и биологическая стойкость;
- Экологически безопасны.

Пенополистирол (ПП)

Пенополистирол – экологически чистый материал, обладающий низкой теплопроводностью и небольшим весом. Отличается высокой прочностью, химической стойкостью и долговечностью. Пенополистирол несет значительные нагрузки в течение длительного времени, не поддерживает

процесс горения без контакта с открытым пламенем, так как является самозатухающим материалом. Небольшой вес сэндвич-панелей с пенополистирольным наполнителем облегчает монтаж

Характеристики:

- Группа горючести (Г3);
- Высокие теплотехнические характеристики, низкая теплопроводность;
- Низкий вес;
- Экологически безопасны.

Пенополиизоцианурат (ППИ), Пенополиуретан (ППУ), – это вспененный полимерный материал, на микроуровне представляющий собой сеть закрытых ячеек, заполненных пентаном – газом с низкой теплопроводностью.

Основные характеристики:

- Группа горючести ППИ (Г1), ППУ (Г3);
- Легкий вес;
- Не гигроскопичны;
- Отсутствие реакции на воздействие химически агрессивных веществ или биологических факторов (плесень, грибок);
- Экологически безопасны;
- Великолепная адгезия сердечника к облицовкам;
- Максимально высокие теплотехнические характеристики;
- Хорошие звукоизоляционные характеристики.

Размеры стеновых сэндвич панелей [46] перечислены в таблице 1. Данные приведены для стеновых панелей с утеплителем минеральная вата, плотностью 110 кг/м³ и металлическими листами толщиной 0,5 - 0,7 мм.

Таблица 1 – Размеры стеновых сэндвич-панелей

Стандартная толщина панелей, мм	Ширина по облицовке, мм	Длина панелей, мм	Удельный вес сэндвич панели, кг/м ²		
			0,5 мм	0,6 мм	0,7 мм
50	1206 (ширина монтажная - 1190)	1800 - 13000	14,61	16,26	17,93
80			17,91	19,56	21,23
100			20,11	21,76	23,43
120			22,30	23,96	25,62
150			25,61	27,26	28,93
170			27,81	29,46	31,13
200			31,11	32,76	34,43

Производители оборудования сэндвич-панелей задают размеры сэндвич-панелей исходя из размеров сырья - металлического профилированного листа.

Производители же листа выбрали размер 1250 мм по ширине, исходя из стандартов транспортировки, а именно максимальной ширины кузова еврофуры (рисунок 7) — 2450мм.



Рисунок 7 – Транспортировка сэндвич-панелей

Размеры кровельных сэндвич панелей [46] перечислены в таблице 2. Данные приведены для кровельных панелей с утеплителем минеральная вата, плотностью 130 кг/м³ и металлическими листами толщиной 0,6 и 0,7 мм.

Таблица 2 – Размеры кровельных сэндвич-панелей

Стандартная толщина панелей, мм	Ширина по облицовке, мм	Длина панелей, мм	Удельный вес сэндвич панели, кг/м ²	
			0,6	0,7
50	1084 (ширина монтажная - 1000)	1800 - 13000	18,34	20,18
80			22,24	24,08
100			24,84	26,68
120			27,44	29,28
150			31,34	33,18
170			33,94	35,78
200			37,84	39,68

Важным показателем сэндвич-панели является её вес.

Здесь большое значение имеет толщина и масса утеплителя, который в большей мере определяет стоимость готовой продукции.

Наиболее тяжелым вариантом считается минеральная вата, имеющая большую плотность (110 кг/м³), самым легким – пенополистирол (25 кг/м³).

Область применения быстровозводимых зданий очень широка, это не только промышленные объекты, но и торговые, офисные и административные здания, складские помещения, автосервисы, общежития, спортивно-развлекательные комплексы, торговые центры и многое другое.

1.3 Аналитика складских комплексов по г. Красноярску построенных из быстровозводимых зданий

Склад – специальное строение, в котором созданы все условия для хранения сырья и его транспортировки.

Виды складов

По планировочным решениям:

- закрытые – отдельные помещения;
- полузакрытые – помещения с одной, двумя или тремя стенами;
- открытые – склады на открытых специализированных площадях.

Виды складских помещений по температурному режиму:

- сухие;
- холодильные;
- морозильные;
- неотапливаемые;
- отапливаемые;
- утепленные.

Далее складские помещения подразделяются по назначению в зависимости от вида деятельности:

- производственные – на производственных предприятиях;
- розничные – для розничной торговли;
- оптовые – для оптовой торговли;
- транзитно-перевалочные – для краткосрочного хранения;
- таможенные – для передержки товара перед таможенными проверками;
- резервные – хранение товара на случай чрезвычайной ситуации.

Классификация складов

Согласно разработанной компанией Knight Frank классификации, все складские помещения подразделяются на следующие классы: □ склады класса А – с делением на подклассы А+ и А; □ склады класса В – с делением на подклассы В+ и В; □ класс С; □ класс D.

Класс «D»

Самый «неприхотливый» класс обычно представляет собой подвальные и производственные помещения без отопления или ангары. Наличие системы безопасности, охраны и отопления – это дополнительные требования, которые необязательны для соблюдения в помещениях класса "D".

Класс «С»

К классу «С» относятся в основном производственные помещения или ангары. Данный класс имеет следующие общепринятые характеристики:

- высота потолков от 4 м;
- пол представляет собой «голый» асфальт или бетонную плитку.

При несоблюдении какой-либо характеристики, склад будет причисляться к предыдущему сегменту.

Класс «В»

- Эта категория относится к более высокому сегменту и характеризуется следующими параметрами, обязательными для соблюдения:
- грузовые лифты;
- потолки высотой от 6 м;
- исправная система отопления;
- удобный въезд и выезд для автомобилей;
- охранная система;
- телекоммуникационные системы;
- оборудованные дополнительные помещения (санузлы, серверные, душевые и т.д.);
- надежная система пожарной безопасности;
- платформа для погрузки и разгрузки товара.

Класс «В+»

Этот класс является подклассом категории «В» и отвечает всем требованиям предыдущего класса, при этом отличается от него следующими параметрами:

- первый этаж;
- бетонные непылящие полы с высокой степенью нагрузки;
- высота потолков - не менее 8 м;

- режим регулирования температуры;
- высокий уровень вентиляции;
- видеонаблюдение и сигнализация;
- ворота с автоматическим механизмом;
- наличие офиса при складе;
- волоконно-оптическая связь;
- территория с круглосуточной охраной;
- расположение рядом с центральными автомагистралями.

Склады класса «B» и «B+» отличаются от остальных еще и тем, что зачастую являются реконструированными зданиями.

Класс «A»

Данный класс относится к премиум сегменту и характеризуется повышенными требованиями к расположению и техническим составляющим. Класс "A" имеет все те же характеристики, что и предыдущий, при этом отличается от него наличием дополнительных параметров:

- материалы: сэндвич-панели и металлоконструкции;
- прямоугольная форма строения;
- высота потолков – от 10 м;
- парковка для грузовых крупногабаритных автомобилей.

Класс «A+»

Помещения этого рода отличаются новизной постройки и наличием современных инженерных решений, а также обязаны соответствовать всем перечисленным выше параметрам. Отличительными особенностями сегмента являются:

- высота потолков – не менее 13 м;
- возможность установки многоуровневых стеллажей;
- автономная электроподстанция и тепловой узел;
- контроль доступа работников;

- комфортный выезд к крупным магистралям города;
- опытная управляющая компания.

Общая площадь производственно-складских комплексов Красноярска на 2 квартал 2019 года составляет 1 013 744 м² [47].

Анализ рынка производился, разделив его на четыре направления:

- «Аэропорт» включает в себя площадки Октябрьского, железнодорожного районов, а так же часть центрального района (слева от ул.Шахтеров, ул. П.Подзолкова и кольца на Северном Шоссе). Таким образом включая п.Слонцы и пр.Котельникова.
- «Енисейский тракт» включает в себя Советский р-он и часть центрального р-на (справа от ул. П.Подзолкова и часть Северного шоссе – от кольца).
- «Канск» включает в себя Кировский и Ленинский р-оны города.
- «Дивногорск» включает в себя Свердловский р-он Красноярска.

Действующие производства и заводы, такие как РУСАЛ Красноярск, ЦветМет и т.п. не учитывались.

Рынок складских комплексов Красноярска на 59% (592 тыс. м²) представлен комплексами класса «С».

Далее следуют комплексы условно отнесенные к классу «D», которые требуют восстановления или капитального ремонта их доля составляет 19% или 185 тыс. м². Зачастую они сдаются значительно дешевле рынка или на первые 6-12 месяцев вообще бесплатно – за счет восстановления здания.

Комплексы класса «B» занимают 10% (103 тыс. м²). Обычно их строят компании под собственные нужды.

Комплексы класса «A» занимают 13% от общей площади (133,5 тыс. м²). В основном они специализируются на ответственном хранении.

Таблица 3 – Производственно-складские комплексы разной классности
Красноярска (распределение по районам города)

Направления	класс «А»		класс «В»		класс «С»		класс «D»	
	площадь, м ²	%	площадь, м ²	%	площадь, м ²	%	площадь, м ²	%
Аэропорт	15 000	10	45 328	31	87 882	59	0	0
Енисейский тракт	92 545	21	32 812	7	321 820	72	0	0
Канск	26 000	8	20 784	6	139 778	42	144 206	44
Дивногорск	0	0	4 156	5	42 637	49	40 796	47
В целом по городу	133 545	13	103 080	10	592 117	59	185 002	18

В настоящее время рынок производственно-складской недвижимости Красноярска развивается в двух направлениях:

1. Расширяются уже существующие успешные проекты складских и производственных комплексов, например «Терминал Северный», тогово-складской комплекс «Сапсан».

2. Строятся новые комплексы. В основном строительство ведется под собственные нужды. В том числе активно рассматриваются площадки площадью 3-5Га под строительство распределительных центров федеральных торговых сетей.

Общие тенденции рынка коммерческой недвижимости не обошли сектор складских и производственных помещений. Арендаторы стали более требовательными и стараются найти помещение максимально отвечающее их потребностям (высота потолков, наличие пандуса, кран-балки, системы пожаротушения и т.п.). Более того, предприниматели стали более рационально использовать все складское пространство. Не только площадь самого помещения (высоту потолков – используя систему стеллажей), но и всего комплекса (открытые площадки перед арендуемым зданием и т.п.)

В Красноярск приходят крупные торговые федеральные сети (Магнит, Лента, X5 ритейл Групп, Ашан, Икеа (отказалась от выделенного участка из за его большого размера), Ситилинк, Технопоинт и др.). Многие из них озвучивают проблему Красноярска в отсутствии качественных складских

комплексов. Частично она решается форматом размещения на территории магазина складских площадей (Лента, Технопоинт и Ситилинк).

Крупные компании нуждаются в собственных логистических центрах (строят или арендуют). В целом наблюдается тенденция к нехватке складских комплексов класса «А». Примерный дефицит площадей данного класса составляет около 100 000 - 150 000 м². Возможно активное развитие данного сегмента в следующие два-три года. К примеру в Новосибирске общая площадь складских комплексов класса «А» превышает 750 тыс.м² (против 133 000 м² в Красноярске). Конечно, там логистика включает Томскую, Кемеровскую область и Алтай.

Наблюдается интерес к покупке складских комплексов под собственные нужды (зачастую с дальнейшей их реконструкцией). Так как при строительстве комплекса с нуля на участке необходимо еще подвести электроэнергию и получить на нее необходимые лимиты. Тем более что стоимость складских комплексов сейчас более, чем привлекательная.

Анализ рынка производственно-складских помещений Красноярска показывает, что спрос на покупку складских и производственных помещений повысился, особенно это касается теплых складов. Скорее всего это связано с ростом ставок аренды на теплые склады.

При этом не столько инвесторы, сколько сами предприниматели стали интересоваться покупкой складских помещений. Зачастую это выходит дешевле, чем самостоятельно строить комплекс и подключать его к необходимым коммуникациям.

В связи с приходом на рынок Красноярска крупных федеральных торговых компаний планируется рост спроса на большие площади (от 33 000 м²) в качественных складских комплексах для организации распределительных центров. Отсутствие подобных логистических центров останавливает многих операторов от открытия своих магазинов в Красноярске.

Дефицит площадей в складских комплексах класса «А» составляет около 150 000 - 250 000 м². Нехватка качественных площадей может вызвать бурный

рост строительства складских комплексов данного класса в ближайшее время. В связи с чем, спрос на подходящие участки может повыситься.

Глава 2 Методология исследования

2.1 Определение базового конструктивного решения сэндвич-панелей

За основу был взят узел крепления сэндвич-панелей к металлической стойке (рисунок 8), характеристики и теплофизические свойства материалов которого представлены в таблице 4.

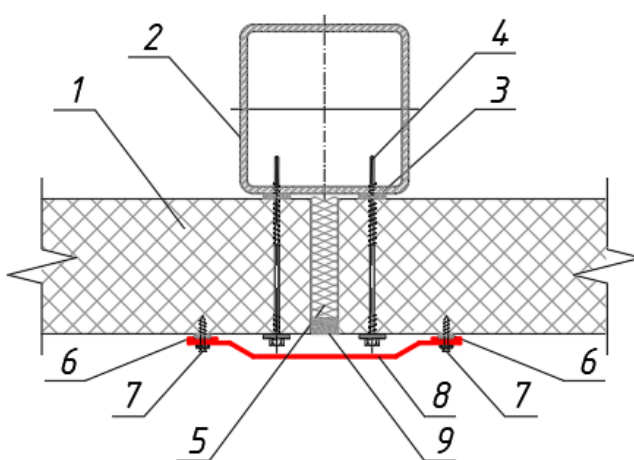


Рисунок 8 – Крепление сэндвич-панелей к металлической стойке: 1. Стеновая сэндвич панель (стальной лист – утеплитель – стальной лист); 2. Стеновая стойка (показана условно); 3. Уплотнительная лента ППЭ; 4. Самосверлящий шуруп; 5. Утеплитель; 6. Герметик силиконовый; 7. Самосверлящий шуруп; 8. Фасонный элемент; 9. Прокладка уплотняющая ППЭ.

Таблица 4 – Характеристики и теплофизические свойства материалов сэндвич панели

Наименование	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Плотность, кг/м ³
Стальной лист	5	58	7700
Минераловатный утеплитель	120/200	0,041	130
Самосверлящий шуруп	-	58	7700
Уплотнительная лента ППЭ	-	0,036	33
Герметик силиконовый	-	0.2	1350
Фасонный элемент	-	58	7700
Прокладка уплотняющая ППЭ	-	0,036	33

Был произведен теплотехнический расчет для города Красноярск на определение конкретного варианта для дальнейших расчетов, так как размеры сэндвич-панелей стандартные, который представлен в Приложении А.

Расчет производился в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
- СП 131.13330.2018 Строительная климатология.
- СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

Теплотехническими расчетами ограждающих конструкций определяют сопротивления теплопередаче, воздухопроницанию, паропроницанию и показатель теплоустойчивости.

Микроклимат зданий обеспечивается за счет:

- соответствующей толщины ограждающих конструкций;
- систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Методика теплотехнического расчета заключается в определении экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

Схема проектирования тепловой защиты зданий согласно СП 50.13330 представлена на рисунке 9. Выбор теплозащитных свойств ограждающих конструкций следует выполнять в приведенной ниже последовательности:

- выбирают наружные климатические параметры согласно СП 131.13330 и рассчитывают градусо-сутки отопительного периода;
- выбирают минимальные значения оптимальных параметров микроклимата внутри здания согласно назначению здания по ГОСТ 30494 и ГОСТ 12.1.005. Устанавливают условия эксплуатации ограждающих конструкций А или Б;
- разрабатывают объемно-планировочное решение здания, рассчитывают показатель компактности зданий и сравнивают его с нормируемым

значением. Если расчетное значение больше нормируемого, то рекомендуется изменить объемно-планировочное решение с целью достижения нормируемого значения;

- выбирают требования показателей "а" или "в".

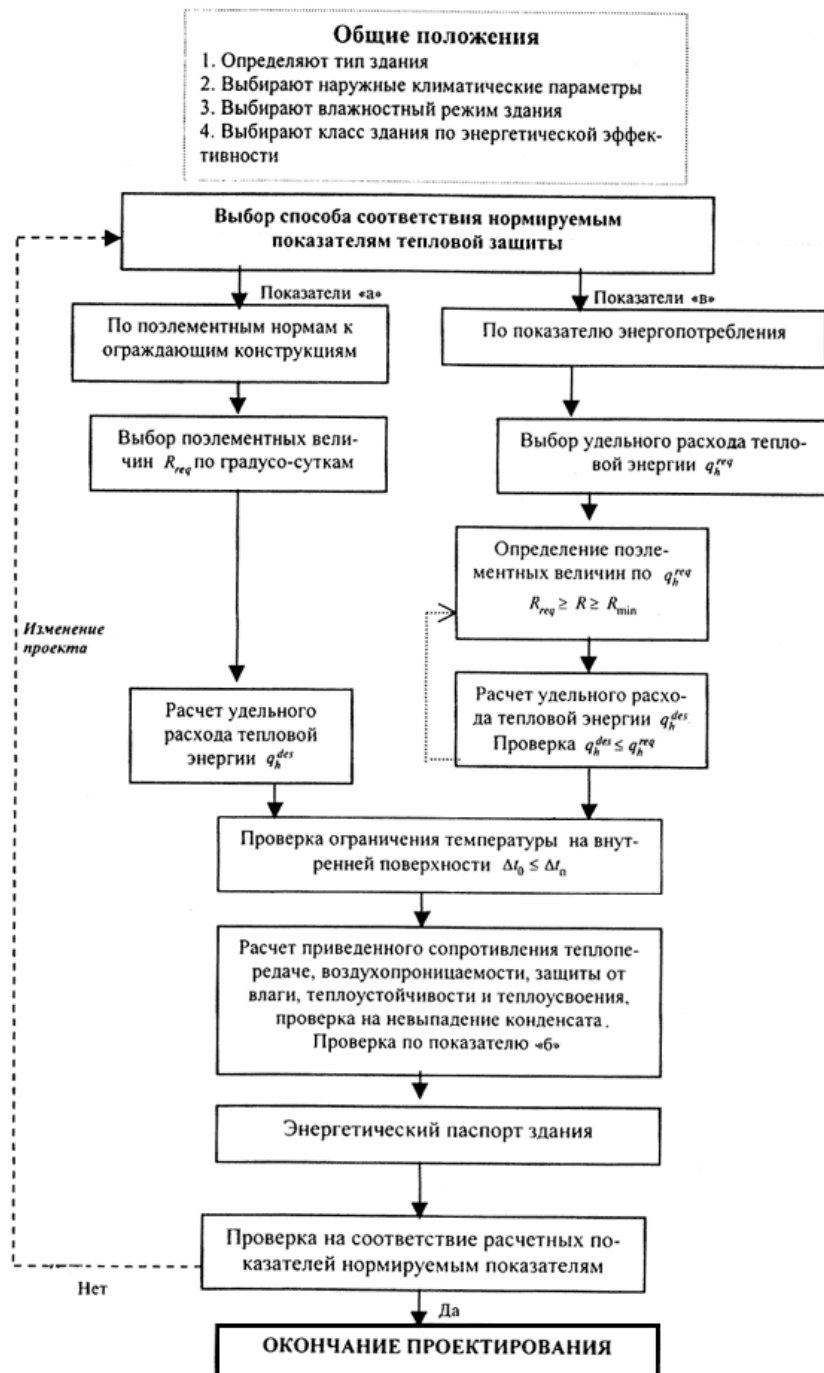


Рисунок 9 – Схема проектирования тепловой защиты зданий

По СП 50.13330 устанавливаются обязательные взаимно увязанные нормируемые показатели по тепловой защите здания, основанные на:

"а" - нормируемых значениях сопротивления теплопередаче для отдельных ограждающих конструкций тепловой защиты здания;

"б" - нормируемых величинах температурного перепада между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающей конструкции и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции выше температуры точки росы;

"в" - нормируемом удельном показателе расхода тепловой энергии на отопление, позволяющем варьировать величинами теплозащитных свойств ограждающих конструкций с учетом выбора систем поддержания нормируемых параметров микроклимата.

По результатам теплотехнического расчета был выявлен подходящий вариант ограждающей конструкции из сэндвич-панелей с толщиной утеплителя 120мм и толщиной стальных листов 5мм. Для сравнения эффективности была дополнительно взята панель с утеплителем толщиной 200мм.

2.2 Численное моделирование при помощи программного комплекса COMSOL Multiphysics

Программа COMSOL – математический пакет, предназначенный для численного решения задач различных областей физики. Пакет основан на методе конечных элементов, с помощью которого производятся все вычисления. Во время выхода версии 3.2 компания COMSOL переименовала пакет FEMLAB в COMSOL Multiphysics. Программа COMSOL Multiphysics – это мощное средство для решения сложных задач, сопровождаемых большими объемами вычислений. Возможность решать тот или иной класс задач реализована в виде специальных прикладных режимов, при загрузке которых автоматически выбирается нужная система уравнений, в которой необходимо только задать коэффициенты и граничные условия. В пакете COMSOL

Multiphysics доступны для решения классы задач электростатики, электродинамики, электромагнетизма, акустики, теплопереноса, теории упругости, гидродинамики, а также классические дифференциальные уравнения, такие как уравнение Шредингера, уравнение Гельмгольца, уравнение теплопроводности, волновое уравнение и другие. В вышеуказанных классах задач допускается решать стационарные, временные задачи, задачи на собственные значения, а также параметрические задачи. Часть программного пакета Comsol Multiphysics, реализующая возможность моделирования динамики температуры в НОК, состоит из семи основных модулей и блоков (рисунок 10):

1) Интерфейс программы обеспечивает управление работой всего программного продукта: управляет потоками данных, позволяет работать со всеми модулями и блоками и обеспечивает взаимосвязь между модулями и блоками.

2) Расчетный модуль обеспечивает проведение расчетов, основанных на методе конечных элементов.

3) Модуль вывода данных позволяет сохранять результаты проведенных численных расчетов в отдельные файлы с выбором необходимого формата хранения данных.

4) Модуль визуализации обеспечивает возможность просмотра результатов расчета как в 2D так и в 3D виде. Визуализация представляет собой распределение температуры в конкретный заданный момент времени. Также в модуле для визуализации имеется возможность представлять динамику распределения температуры в формате анимации.

5) Модуль ввода данных позволяет пользователю задавать начальные и граничные условия для модели, а также имеется возможность ввода параметров биологической ткани.

6) Модуль построения геометрии реализует возможность для построения моделируемого объекта, притом как в 2D и 3D виде. Для этого в программном пакете реализован графический редактор, который имеет широкий набор

примитивов, с помощью которых, можно выполнять построения на плоскости или в пространстве.

7) Блок для хранения готовых моделей обеспечивает возможность выбора уже готовых моделей из библиотеки. Пользователю достаточно выбрать готовую геометрию и готовые параметры для модели и запустить расчет. Также имеется возможность сохранения в библиотеку созданных пользователем моделей, для того чтобы другие пользователи могли загрузить уже готовую модель для решения своей конкретной задачи.

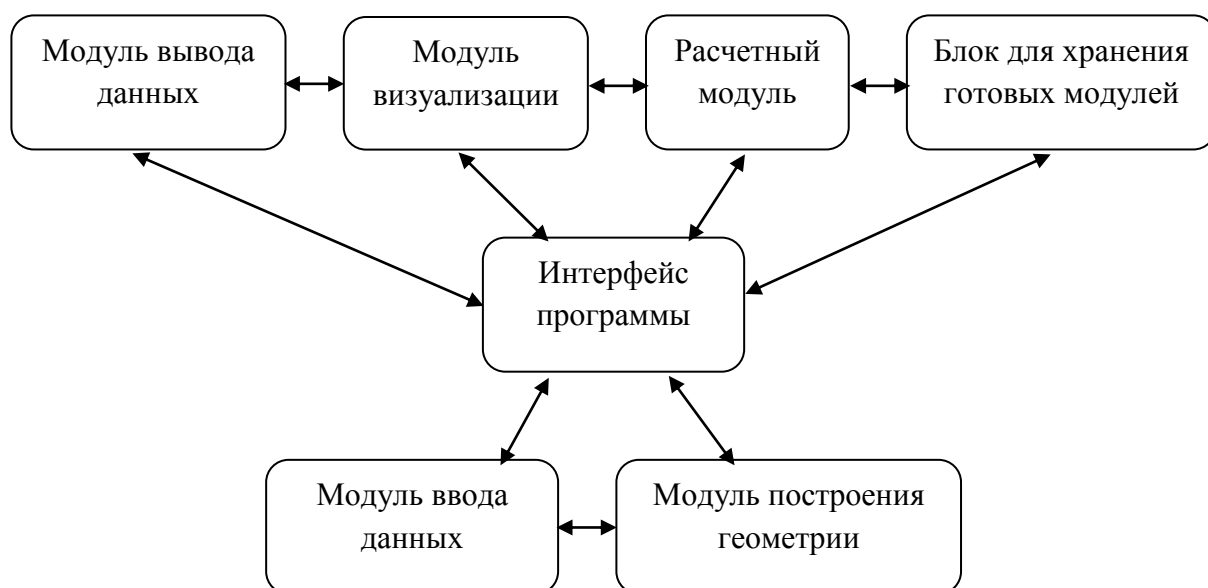


Рисунок 10 – Схема работы прикладного режима программного пакета COMSOL Multiphysics

Для того чтобы описать последовательность действий при проведении численного эксперимента была создана блок-схема (рисунок 11). На начальном этапе производится ввод всех необходимых параметров (геометрия объекта, начальные и граничные условия, параметры внешней среды, параметры различных областей конструкции). После ввода всех данных выполняется построение конечно-разностной сетки и затем программным комплексом производится численный расчет. После окончания расчета, выводятся результирующие данные эксперимента, которые пользователь может экспортировать в текстовый файл или файл с любым другим расширением. И на последнем этапе после вывода всех необходимых данных расчета и их

обработки возможна визуализация различных параметров, как с использованием встроенного модуля для визуализации, так и внешних программ.



Рисунок 11 – Блок схема численного эксперимента

Более подробно принцип работы ПК Comsol Multiphysics описан в [48-50].

2.3 Методика определения расхода тепловой энергии на отопление

1. Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, Вт/(м³·°С) следует определять по формуле:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})\nu\zeta](1 - \xi)\beta_h, \quad (1)$$

$k_{об}$ - удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°С), определяется в соответствии с приложением Ж;

$k_{вент}$ - удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³·°С);

$k_{быт}$ - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³·°С);

$k_{рад}$ - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°С);

ξ - коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

β_h - коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для:

многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;

зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$;

зданий с отапливаемыми подвалами или чердаками $\beta_h = 1,07$;

зданий с отапливаемыми подвалами и чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$.

ν - коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле $\nu = 0,7 + 0,000025$ (ГСОП -1000);

ζ - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения:

$\zeta = 1,0$ - в однотрубной системе с термостатами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой;

$\zeta = 0,95$ - в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;

$\zeta = 0,9$ - однотрубной системе с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе или в однотрубной системе без термостатов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,85$ - в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,7$ - в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;

$\zeta = 0,5$ - в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе - регулирование центральное в ЦТП или котельной.

2. Удельную вентиляционную характеристику здания, $k_{\text{вент}}$, Вт/(м³·°С), следует определять по формуле:

$$k_{\text{вент}} = 0,28c_n \beta_v \rho_v^{\text{вент}} (1 - k_{\text{эф}}), \quad (2)$$

c - удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

β_v - коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_v = 0,85$;

$\rho_v^{\text{вент}}$ - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³,

$$\rho_v^{\text{вент}} = 353/[273 + t_{\text{от}}] \quad (3)$$

$t_{от}$ - то же, что и в формуле (5.2), °С.

n_B - средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹, определяемая по (3);

$k_{эф}$ - коэффициент эффективности рекуператора.

3. Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период n_B , ч⁻¹, рассчитывается по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле:

$$n_B = \left[\frac{L_{вент} n_{вент}}{168} + \frac{G_{инф} n_{инф}}{168 \rho_{вент}} \right] / (\beta_v V_{от}), \quad (4)$$

$L_{вент}$ - количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, м³/ч;

$G_{инф}$ - количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч;

$n_{инф}$ - число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий с сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и (168-) для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции;

$V_{от}$ - отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³;

4. Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего в лестничную клетку жилого здания или в помещения общественного здания через неплотности заполнения проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне, следует определять по формуле:

$$G_{инф} = (A_{ок} / R_{и,ок}^{тр}) (\Delta \rho_{ок} / 10)^{2/3} + (A_{дв} / R_{и,дв}^{тр}) (\Delta \rho_{дв} / 10)^{1/2}, \quad (5)$$

$A_{ок}$ и $A_{дв}$ - соответственно суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей, м²;

$R_{и,ок}^{тр}$ и $R_{и,дв}^{тр}$ - соответственно требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей, $(м^2 \cdot ч)/кг$;

$\Delta p_{ок}$ и $\Delta p_{дв}$ - соответственно расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па, для окон и балконных дверей и входных наружных дверей;

5. Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания, $k_{быт}$, $Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$, следует определять по формуле

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} A_{ж}}{V_{от}(t_{в} - t_{от})}, \quad (6)$$

$q_{быт}$ - величина бытовых тепловыделений на $1 м^2$ площади жилых помещений ($A_{ж}$) или расчетной площади общественного здания ($A_{п}$), $Вт/м^2$, принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее $20 м^2$ общей площади на человека $17 Вт/м^2$;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир $45 м^2$ общей площади и более на человека $10 Вт/м^2$;

в) других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины между 17 и $10 Вт/м^2$;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей ($90 Вт/чел.$), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники ($10 Вт/м^2$) с учетом рабочих часов в неделю;

6. Удельную характеристику тепlopоступлений в здание от солнечной радиации, $k_{рад}$, $Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$, следует определять по формуле

$$k_{рад} = \frac{11,6 Q_{рад}^{год}}{V_{от} ГСОП}, \quad (7)$$

$Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$ - теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}}\tau_{2\text{ок}}(A_{\text{ок1}}I_1 + A_{\text{ок2}}I_2 + A_{\text{ок3}}I_3 + A_{\text{ок4}}I_4) + \tau_{1\text{фон}}\tau_{2\text{фон}}A_{\text{фон}}I_{\text{гор}}, (8)$$

$\tau_{1\text{ок}}$, $\tau_{1\text{фон}}$ - коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений соответственно окон и зенитных фонарей, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропускающих изделий; при отсутствии данных следует принимать по своду правил; мансардные окна с углом наклона заполнений к горизонту 45° и более следует считать как вертикальные окна, с углом наклона менее 45° - как зенитные фонари;

$\tau_{2\text{ок}}$, $\tau_{2\text{фон}}$ - коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным; при отсутствии данных следует принимать по своду правил;

$A_{\text{ок1}}$, $A_{\text{ок2}}$, $A_{\text{ок3}}$, $A_{\text{ок4}}$ - площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям, м^2 ;

$A_{\text{фон}}$ - площадь светопроемов зенитных фонарей здания, м^2 ;

I_1 , I_2 , I_3 , I_4 - средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, определяется по методике свода правил;

$I_{\text{гор}}$ - средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, определяется по своду правил.

7. Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q , $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ или, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ следует определять по формулам:

$$q = 0,024\text{ГСОП}q_{\text{от}}^{\text{p}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (9)$$

$$q = 0,024\text{ГСОП}q_{\text{от}}^{\text{p}}h, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (9a)$$

h - средняя высота этажа здания, м, равная $V_{\text{от}}/A_{\text{от}}$;

$A_{\text{от}}$ - сумма площадей этажей здания, измеренных в пределах внутренних поверхностей наружных стен, м^2 , за исключением технических этажей и гаражей.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024\text{ГСОП}V_{\text{от}}q_{\text{от}}^{\text{p}}. \quad (10)$$

8. Общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{\text{общ}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год, следует определять по формуле

$$Q_{\text{общ}}^{\text{год}} = 0,024\text{ГСОП}V_{\text{от}}(k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}), \quad (11)$$

0,024 - коэффициент перевода единиц измерения из Вт в кВт·ч.

Поток теплоты через внутреннюю поверхность узла определяется по формуле, Вт:

$$Q_{\text{в}} = \alpha_{\text{в}}S_{\text{в}}(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}^{\text{cp}}), \quad (12)$$

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$\tau_{\text{в}}^{\text{cp}}$ – осредненная по площади температура внутренней поверхности узла ограждающей конструкции, °С;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности узла конструкции, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°С}$);

$S_{\text{в}}$ – площадь внутренней поверхности узла ограждающей конструкции, м^2 .

Глава 3 Экспериментальные исследования

3.1. Выявление максимальных тепловых потерь с помощью программного комплекса COMSOL Multiphysics

Для расчетов в программном комплексе COMSOL Multiphysics были заданы расчетные граничные условия, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные граничные условия

Наименование показателя	Ед. изм.	Расчетная температура внутреннего воздуха	Наружная поверхность	
			Средняя температура воздуха отопительного периода	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки
Температура	°С	20	-6,5	-37
Коэффициент теплоотдачи	Вт/м ² ·°С	8,7	23	23

Численные расчеты проводились по линиям L120 и L200. Были выявлены точки минимальных температур, находящиеся в центре стыка сэндвич-панелей.

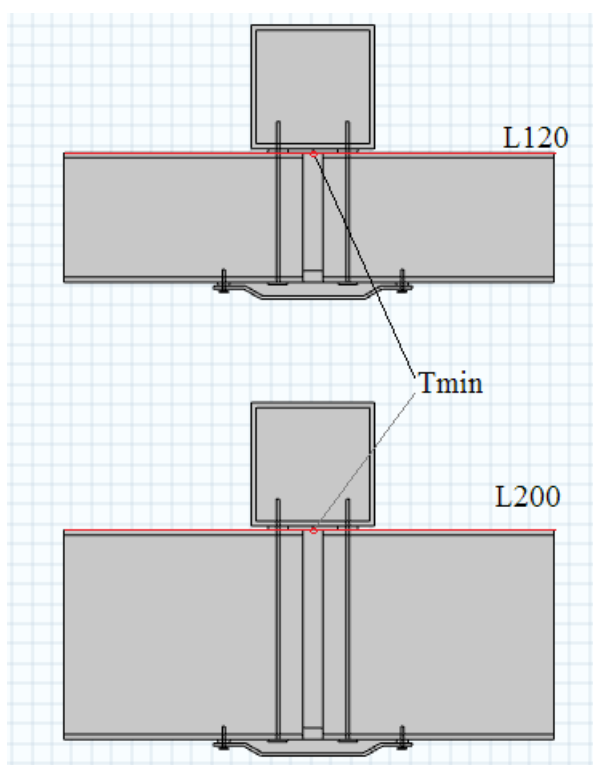


Рисунок 12 – определения участка численных расчетов и выявленные точки минимальных температур.

Распределение температуры по линиям L120 и L200 со стальными крепежами при температуре наружного воздуха равной средней температуре отопительного периода минус $6,5^{\circ}\text{C}$ и с полиамидными крепежами с температурой наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки минус 37°C представлено на рисунке 13 и 14 соответственно.

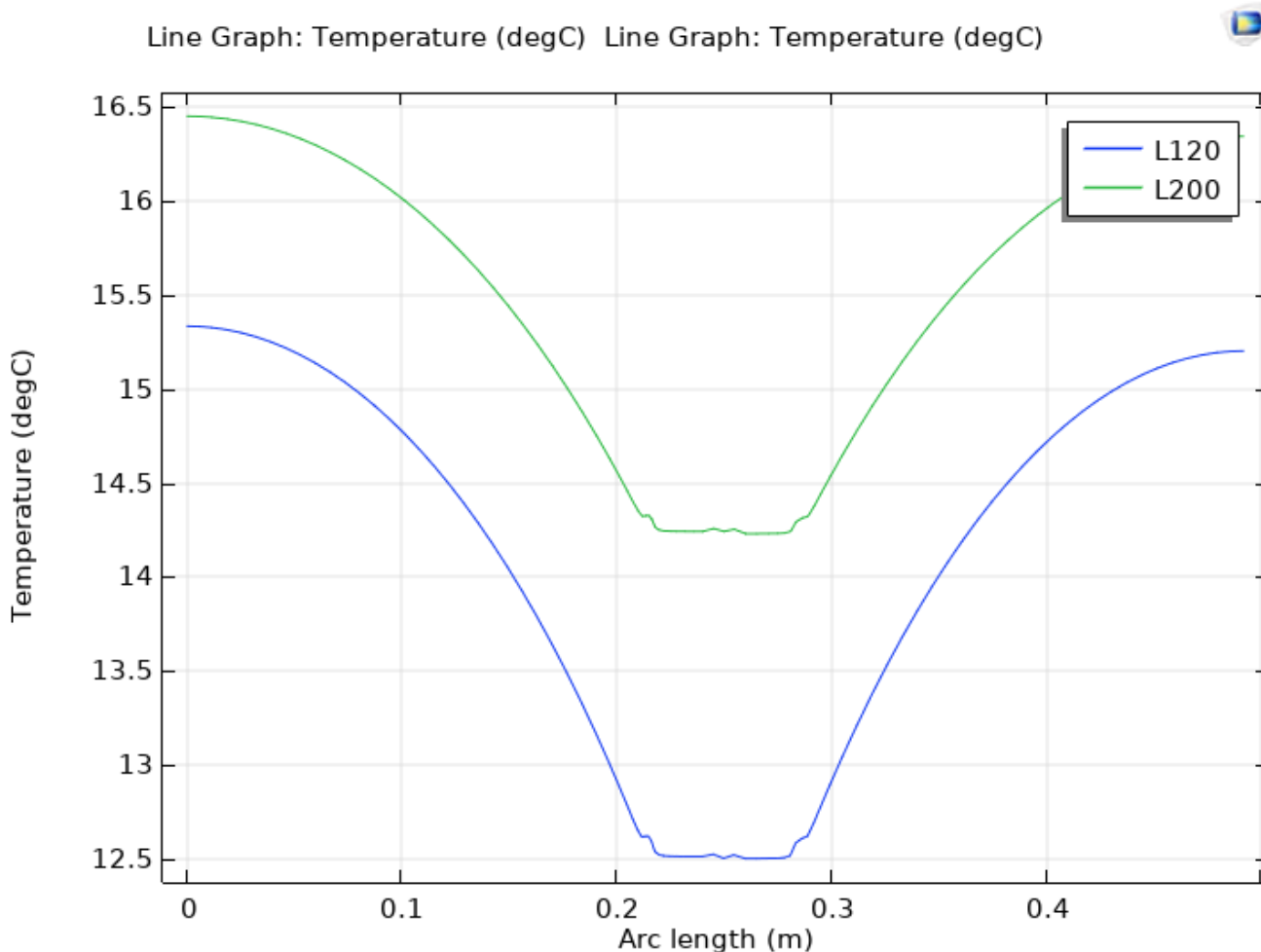


Рисунок 13 – Распределение температуры по линиям L120 и L200 со стальными крепежами при температуре наружного воздуха равной средней температуре отопительного периода минус $6,5^{\circ}\text{C}$.

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, согласно [43], не должен превышать 7 градусов. Соответственно, температура на поверхности ограждающей конструкции должна быть не менее 15°C . На рисунке 13 видно, что минимальная температура по линиям L120 и L200 равна $\sim 12,5^{\circ}\text{C}$ и $\sim 14,25^{\circ}\text{C}$ соответственно, что ниже нормы.

Line Graph: Temperature (degC) Line Graph: Temperature (degC)

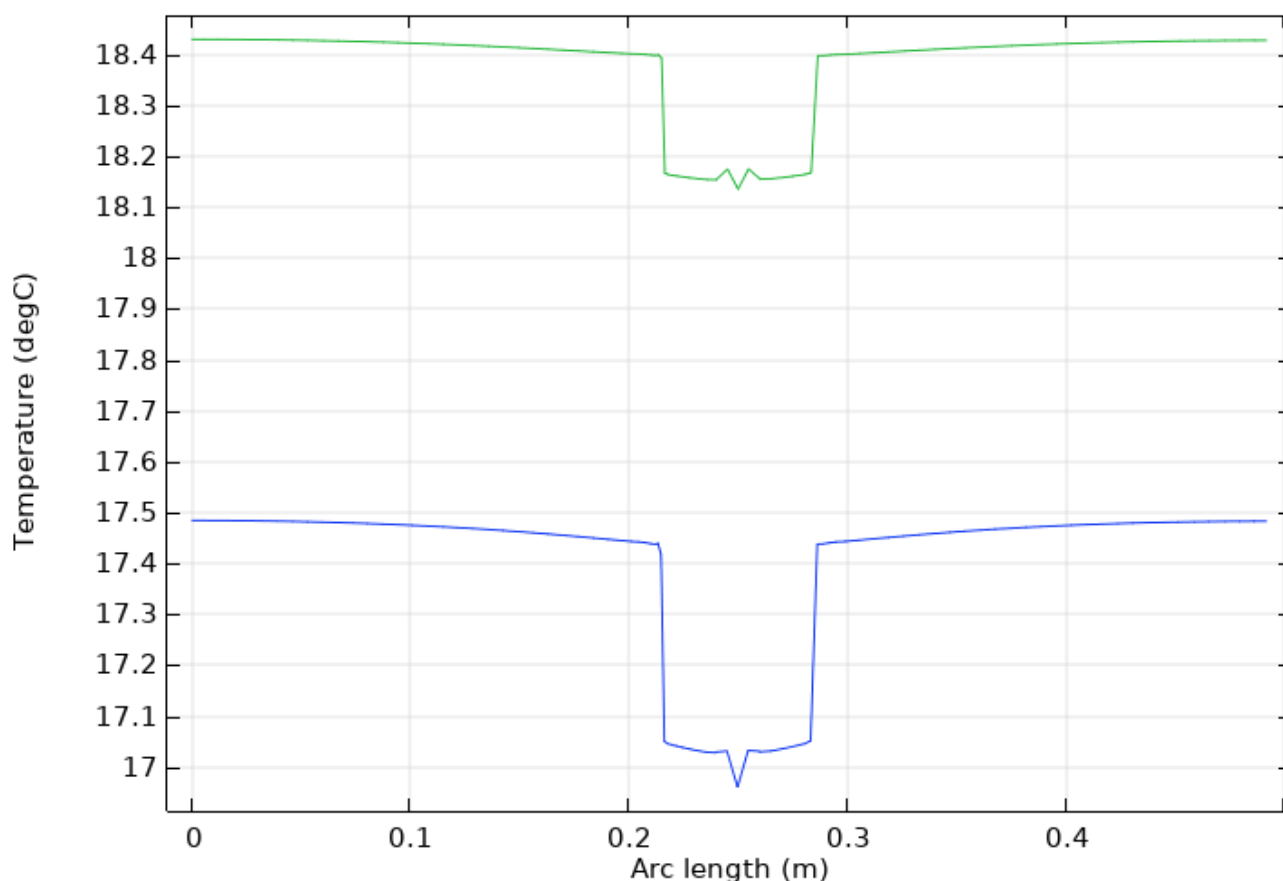


Рисунок 14 – Распределение температуры по линиям L120 и L200 с полиамидными крепежами с температурой наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки минус 37°C.

Заменяв стальные крепежи на полиамидные и усилив перепад наружного и внутреннего воздуха, по рисунку 14 видим, что минимальная температура на поверхности ограждающей конструкции стала ~16,9°C и ~18,1°C для L120 и L200 соответственно.

Плотность, направление теплового потока и изотермы температур в стыке панелей толщиной 120 и 200 мм со стальными и с полиамидными анкерами показаны на рисунке 15 и 16 соответственно.

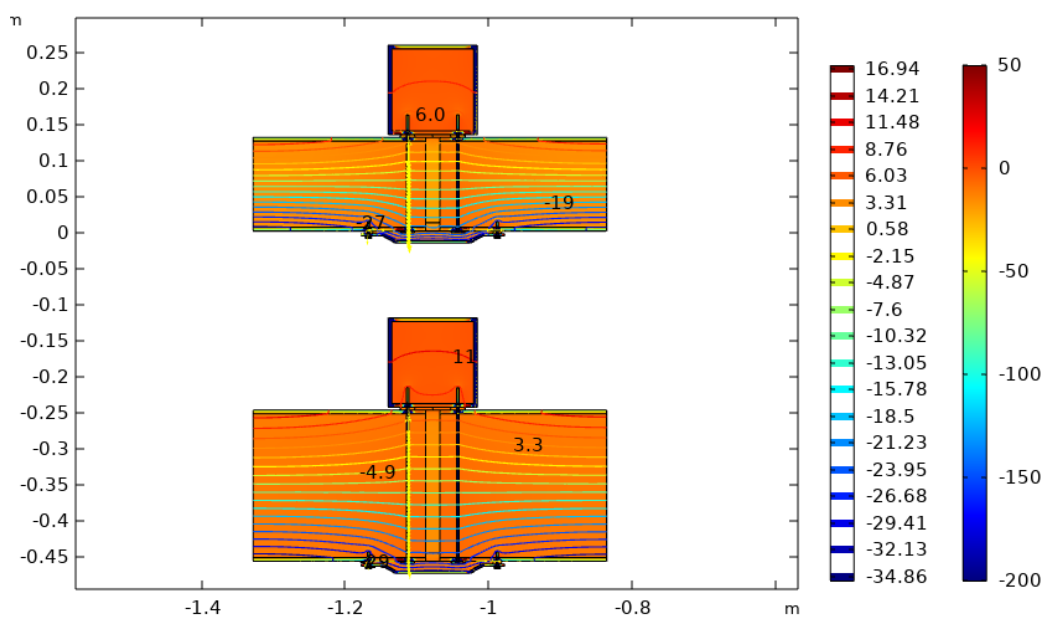


Рисунок 15 – Плотность, направление теплового потока и изотермы температур в стыке панелей толщиной 120 и 200 мм со стальными анкерами.

По рисунку 15 видно, что тепловой поток плотно сконцентрирован на стальных стержнях, здесь он показан желтыми стрелочками. При замене стержней на полиамидные, тепловой поток стал более равномерным вдоль всего выделенного участка (рис. 16), здесь тепловой поток показан красными стрелочками.

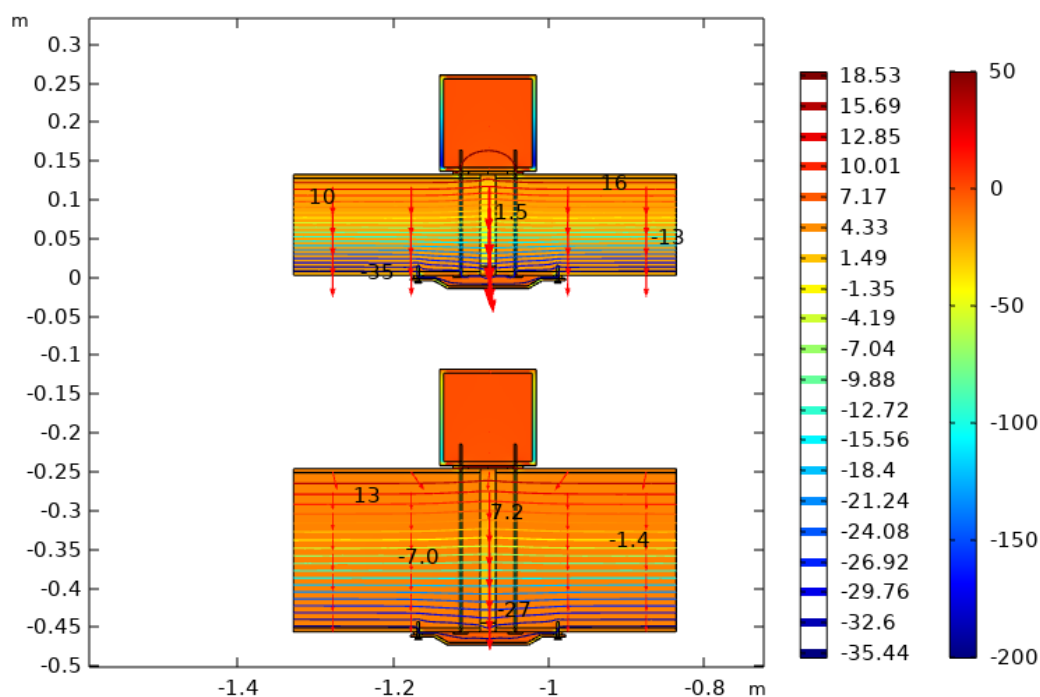


Рисунок 16 – Плотность, направление теплового потока и изотермы температур в стыке панелей толщиной 120 и 200 мм с полиамидными анкерами.

3.2. Выявление наиболее востребованных типоразмеров БВЗ

Для нахождения габаритов необходимо произвести замеры на уже построенных и функционируемых зданиях. В городе Красноярск наиболее распространенным типом быстровозводимого здания являются склады из сэндвич-панелей, расположенные на улицах: Северное шоссе, Рейдовая, Норильская и Калинина. Расположение быстровозводимых зданий на карте представлено на рисунке 12.

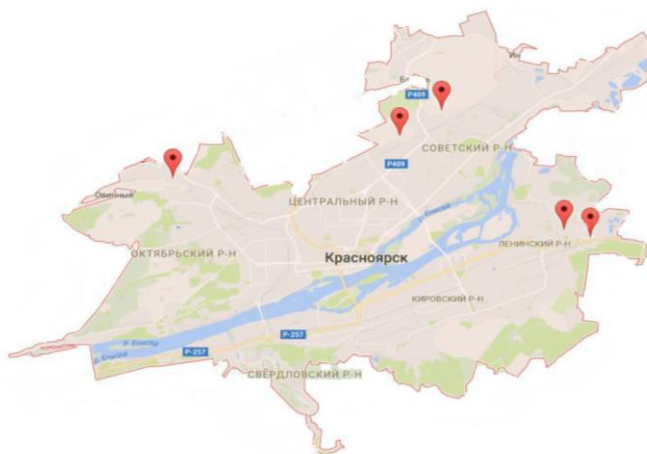


Рисунок 12 – Расположение быстровозводимых зданий на карте города Красноярска

Так как наибольшая концентрация быстровозводимых зданий наблюдается на ул. Северное шоссе, было решено провести замеры геометрических размеров именно в этом районе. Измеренные здания, а так же результаты представлены на рисунке 13 и таблице 5 соответственно.



Рисунок 13 – Измеренные склады на карте города Красноярска

Таблица 5 – Определение среднего геометрического размера быстровозводимых зданий на территории города Красноярска

№ склада	Геометрические размеры, м	Площадь, м ²
1	18x54	972
2	20x52	1040
3	20x52	1040
4	20x52	1040
5	16x40	640
6	20x40	800
7	20x60	1200
8	16x40	640
9	20x44	880
10	10x60	600
11		572
12	16x40	640
13	10x26	260
14	10x35	350
15	16x36	536
16	22x36	792
17		976
18	10x32	320
19	24x42	1008
20	16x42	672
21	16x90	1440

Исходя из замеров, наиболее востребованными типоразмерами быстровозводимых зданий являются $S=640\text{м}^2$ и $S=1040\text{м}^2$.

С учетом того, что концепция быстровозводимых зданий подразумевает возможность изменения функционального назначения, наиболее универсальным является здания $S=1040\text{м}^2$ с размерами в осях 26x40м.

Анализ рынка производственно-складских помещений Красноярска показывал, что спрос на покупку складских и производственных помещений повысился, особенно это касается теплых складов. Скорее всего, это связано с ростом ставок аренды на теплые склады.

В связи с приходом на рынок Красноярска крупных федеральных торговых компаний планируется рост спроса на большие площади (от 33 000 м²) в качественных складских комплексах для организации распределительных

центров. Отсутствие подобных логистических центров останавливает многих операторов от открытия своих магазинов в Красноярске.

Дефицит площадей в складских комплексах класса «А» составляет около 150 000 - 250 000 м². Нехватка качественных площадей может вызвать бурный рост строительства складских комплексов данного класса в ближайшее время. В связи с чем, спрос на подходящие участки может повыситься.

Было принято, для расчета эффективности представленного решения взять помещение площадью 33000 м², так как эта площадь будет пользоваться спросом в дальнейшем, согласно анализу.

Глава 4 Результаты экспериментального исследования

В таблицу 6 сведены все результаты численного эксперимента: средняя интегральная температура по всему участку, минимальная температура в середине стыка панелей, плотность теплового потока по средней интегральной температуре, средняя плотность теплового потока в зоне крепления анкеров, тепловой поток вдали от крепления анкеров и температура вдали от крепления анкеров.

Таблица 6 – результаты численного расчета

Наименование показателя	Температура наружного воздуха							
	минус 6,5 °С				минус 37 °С			
Тип крепления	со стальными креплениями		с полиамидными креплениями		со стальными креплениями		с полиамидными креплениями	
Толщина панели, мм	120	200	120	200	120	200	120	200
Средняя (интегральная) температура, °С	13,9	15,2	15,8	17	9,3	11,9	17,1	18,1
Минимальная температура, °С	12,5	14,3	15,1	16,6	5,5	9,0	17,0	18,1
Плотность теплового потока по средней (интегральной) температуре, Вт/м ²	53,1	41,8	36,5	26,1	93,1	70,5	25,2	16,5
Средняя плотность теплового потока в зоне анкеров крепления, Вт/м ²	27,9	21,9	19,2	13,7	48,9	37,0	13,2	8,7
Тепловой поток вдали от крепления, Вт/м ²	8,6	5,3	8,6	5,3	18,5	11,3	18,5	11,3
Температура вдали от крепления, Вт/м ²	19,0	19,4	19,0	19,4	17,9	18,7	17,9	18,7

Видно, что при замене стальных креплений на полиамидные, тепловой поток вдали от крепления, по сплошному участку стены не меняется, что подтверждает факт максимальных тепловых потерь в зоне влияния крепежей. При замене крепежей, средняя плотность теплового потока на участках L120 и L200 уменьшилась на 8,7 Вт/м² и на 8,2 Вт/м² соответственно, и минимальная температура увеличилась на 2,6 °С и 2,3 °С соответственно.

Для расчета эффективности, был посчитан поток теплоты через внутреннюю поверхность узла. В таблице 7 представлены результаты расчета эффективности внедрения предложенного решения с полиамидными крепежами.

Таблица 7 – результаты расчета энергоэффективности при температуре наружного воздуха минус 6,5 °С

Показатель	-6,5°С (на отопительный период)			
	Панель 120мм		Панель 200мм	
	со стальным крепежом	с полиамидным крепежом	со стальным крепежом	с полиамидным крепежом
Поток теплоты через внутреннюю поверхность узла, Вт	12,43	9,52	10,44	7,67
Годовая экономия расхода тепловой энергии на отопление, кВт·ч/год	736 000		697 000	
Годовая экономия затрат на отопление, млн. руб./год	2,224		2,126	
Годовая экономия затрат на отопление на 1 м ² , руб·м ² /год	~68		~64	

Годовая экономия расхода тепловой энергии на отопление для стенового ограждения толщиной 120мм и 200мм составила 736 000 кВт·ч и 697 000 кВт·ч соответственно.

Для определения экономии в денежном эквиваленте был принят тариф на отопление 3,05 руб за 1 кВт·ч, согласно [51].

Годовая экономия затрат на отопление для стенового ограждения толщиной 120мм и 200мм составила 2,224 млн. руб. и 2,126 млн. руб. соответственно и на 1 м² 68руб. и 64 руб. соответственно.

Глава 5 Экономическая оценка предложенного решения

Для расчёта экономической эффективности был посчитан расход затрат на отопление с учетом инфляции на 15 лет. Результаты расчетов для варианта стенового ограждения с утеплителем толщиной 120мм и 200мм представлены в таблице 8 и 9 соответственно.

Таблица 8 – расчёт экономической эффективности в долгосрочном периоде для стенового ограждения с толщиной утеплителя 120мм

Года	Со стальными креплениями				С полиамидными креплениями			
	Стоимость материала, руб.	Затраты на отопление, млн. руб.	Процент инфляции, %	Суммарная стоимость, млн. руб.	Стоимость материала, руб.	Затраты на отопление, млн. руб.	Процент инфляции, %	Суммарная стоимость, млн. руб.
2020	34 689,60	28,706	3	28,741	96085,44	21,987	3	22,083
2021		29,567	4	58,309		22,647	4	44,730
2022		30,750	4	89,059		23,529	4	68,283
2023		31,980	4	121,040		24,495	4	92,778
2024		33,259	4	154,299		25,474	4	118,253
2025		34,590	4	188,890		26,655	4	144,747
2026		35,973	4	224,863		27,553	4	172,301
2027		37,412	4	262,276		28,655	4	200,956
2028		38,909	4	301,185		29,802	4	230,758
2029		40,465	4	341,651		30,994	4	261,752
2030		42,084	4	383,735		32,233	4	293,986
2031		43,767	4	427,503		33,523	4	327,509
2032		45,518	4	473,021		34,864	4	362,374
2033		47,338	4	520,360		36,258	4	398,632
2034		49,232	4	569,592		37,709	4	436,341

Таблица 9 – расчёт экономической эффективности в долгосрочном периоде для стенового ограждения с толщиной утеплителя 200мм

Года	Со стальными креплениями				С полиамидными креплениями			
	Стоимость материала, руб.	Затраты на отопление, млн. руб.	Процент инфляции, %	Суммарная стоимость, млн. руб.	Стоимость материала, руб.	Затраты на отопление, млн. руб.	Процент инфляции, %	Суммарная стоимость, млн. руб.
2020	62 346,24	24,101	3	24,163	169 741,44	17,720	3	17,890
2021		24,824	4	48,987		18,252	4	36,142
2022		25,817	4	74,804		18,982	4	55,124
2023		26,849	4	101,654		19,741	4	74,866
2024		27,923	4	129,578		20,531	4	95,397
2025		29,040	4	158,618		21,352	4	116,749
2026		30,202	4	188,821		22,206	4	138,956
2027		31,410	4	220,231		23,094	4	162,050
2028		32,666	4	252,898		24,018	4	186,069
2029		33,973	4	286,872		24,979	4	211,048
2030		35,332	4	322,204		25,978	4	237,027
2031		36,745	4	358,950		27,017	4	264,044
2032		38,215	4	397,166		28,098	4	292,142
2033		39,744	4	436,910		29,222	4	321,365
2034		41,334	4	478,244		30,391	4	351,756

Результаты расчетов экономической эффективности показали, что затраты на материал окупятся уже в первый год, а экономия затрат на отопление за 15 лет у счетом инфляции для здания 33000 м² с толщиной стенового ограждения 120мм и 200мм составит 23% и 26% соответственно.

Заключение

В результате проделанной работы были сформулированы следующие выводы:

1. Стальные крепежи являются основными конструктивными элементами, которые дают повышенные тепловые потери наружных ограждающих конструкций здания: средняя плотность теплового потока в зоне анкеров крепления в среднем выше на 332% чем на сплошном участке стенового ограждения вдали от крепления;
2. Установлено расположение точки минимальной температуры на внутренней поверхности в середине стыка панелей: для стальных крепежей толщиной стенового ограждения 120мм и 200мм – 12,5°C и 14,3°C соответственно, что ниже нормы, и для полиамидных крепежей толщиной стенового ограждения 120мм и 200мм – 15,1°C и 16,6°C соответственно, что является нормой;
3. Замена стальных крепежей на полиамидные даёт снижение среднего потока тепла через стеновую ограждающую конструкцию толщиной 120мм и 200мм на 32% и 37% соответственно, и способствует равномерности плотности теплового потока;
4. Эффект снижения расхода тепловой энергии на отопление уменьшается с увеличением толщины утеплителя панели: экономия расхода тепловой энергии на отопление для стеновой ограждающей конструкции толщиной 120мм выше на 6% экономии расхода тепловой энергии на отопление для стеновой ограждающей конструкции толщиной 200мм;
5. В результате внедрения мероприятия по замене стальных креплений на полиамидные удалось получить экономию расхода тепловой энергии и затраты на отопление для ограждающей конструкции 120мм и 200мм на 23% и 26% соответственно.

Список использованных источников

- 1 Опалихина А. А Модульное строительство в условиях Крайнего Севера // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ – Томск. 2018г. – С. 78-82.
- 2 Лабазов Р.Р. Вероятностный анализ эффективности систем сейсмоизоляции в конструкциях сейсмозащиты быстровозводимых зданий для сейсмически опасных районов. Диссертация на соискание учен. степ. к.т.н. 7 с.
- 3 Ромашко В. М. Сборно-разборные, быстровозводимые, здания-модули // Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/4880/1/s231_111.pdf (дата обращения: 27.03.2015).
- 4 Чечина Н. Н. Развитие каркасного малоэтажного жилого домостроения// Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/7670/1/s035-048.pdf> (дата обращения: 27.03.2015).
- 5 Альхименко А. И., Ватин Н. И., Рыбаков В. А. Инновационные технологии ЛСТК. Теория и практика. // Технология легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) – Россия. 2008. С. 4-6.
- 6 Ватин Н. И., Белоусова А. Г., Жмарин Е. Н. Термопанели — ограждающие конструкции нового века // Информационно-аналитический журнал «ИНФСТРОЙ», №3(27), 2006, С. 39-41.
- 7 Асаул А.Н., Казаков Ю. Н., Быков В. Л., Князев И. П., Ерофеев. Теория и практика использования быстровозводимых зданий – Россия. 2004. С. 19-24.

- 8 Исаева Е.И. Быстровозводимые здания // Журнал СтройПРОФиль, 2009. №3(73). С. 11-14.
- 9 Рыбаков В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. Издательство СПб ГПУ, 2011.
- 10 Жмарин Е.Н., Рыбаков В.А. ЛСТК – инструмент для реализации программы «Доступное и комфортное жилье» // СтройПРОФиль. 2007. №7(61). С. 118-119.
- 11 Moen C., Schafer B. W. Experiments on cold-formed steel columns with holes. *Thin-Walled Structures*, 46. - 2008. - P. 1164-1182.
- 12 Moen C., Igusa T., Schafer B. W. Prediction of residual stresses and strains in cold-formed steel members. *Thin-Walled Structures*, 46. - 2008. - P. 1274-1289.
- 13 Sposito T., Turner J. Bracing of cold-formed steel structures: A design guide. Prepared under contract to American Society of Civil Engineers-Structural Engineering Institute (ASCESEI), 2005. P. 149.
- 14 Cheng Y., B. W. Schafer. Distortional buckling of cold-formed steel members in bending. American Iron and Steel Institute Baltimore, Maryland. – 2005. P. 213.
- 15 Ларионов И. И. Каркасно-щитовое строительство // Журнал Каталог Проектов, 2004. № 2 (23). С. 1-5.
- 16 Oide, K. "Joining and fixing structure for ceiling boards and paneling". US Patent 4,057,947. Retrieved March 13, 2007.
- 17 Anderson, LeRoy Oscar. "Wood – Frame House Construction". U. S. Department of Agriculture. Retrieved March 14, 2007.
- 18 Sherwood, G.; Moody, R.C. "Light-Frame Wall and Floor Systems". United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products. Retrieved March 13, 2007.
- 19 Никитин Г.П., Соколов Б.С. Новая каркасно-панельная несущая система для строительства новых и реконструкции существующих жилых домов

- // Материалы вторых академических чтений РААСН. Орел, 2003. С. 101-107.
- 20 Ким А. Ю., Доль Д.В. Быстровозводимое арочно-мембранное сооружение // Высшее профессиональное заочное образование на железнодорожном транспорте: настоящее и будущее:- М.: Изд-во РГОТУПС, 2001. С. 258 - 260.
- 21 Кусаинов А.А., Байтурсунов Д.М., Инкарбеков Н.О. Мобильные металлотентовые сооружения многоцелевого назначения / Алматы, 2006. С. 356.
- 22 Скопенко В.А. Тентовая архитектура: вчера, сегодня, завтра // Академический вестник Урал-Н ИИ проект РААСН. 2010. № 1. С. 30-36.
- 23 Шалимов В.Н., Попов Е.В., Шалимова К.В. Управление формообразованием поверхностей тентовых тканевых конструкций // Приволжский научный журнал. 2011. № 2. С. – 20-26.
- 24 Пархоменко О.И. Системы несъемной опалубки в гражданском строительстве. Дисс. на соискание степени магистра техники и технологии. С.5.
- 25 Вильман Ю.А. Технология строительных процессов и возведение зданий. Современные прогрессивные методы. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. С.14.
- 26 Фетисова М.А. Строительство с использованием несъемной опалубки нового поколения из пенополистирола // Молодой ученый. 2012. №5. С. 70-71.
- 27 Orr, J. J., Darby, A. P., Ibell, T. J., Evernden, M. C., Otlet, M., 2011. Concrete structures using fabric formwork. The Structural Engineer, 89 (8), Pp. 20-26.
- 28 Orr JJ, Darby AP, Ibell TJ, et al (2011) Concrete structures using fabric formwork. The Structural Engineer 89(8). Pp. 20-26.
- 29 Kostova K, Ibell T, Darby AP and Evernden M (2012) Advanced composite reinforcement for fabric formed structural elements. In Second International

- Conference on Flexible Formwork (Orr JJ, Darby AP, Evernden M and Ibell T. (eds). University of Bath, Bath, UK.
- 30 Адам Ф. М. Полносборное строительство модульных быстровозводимых малоэтажных зданий // Материалы научно-практической конференции «Постсоветское градостроительство». / Госстрой Росси ГУП НИИГрадостроительства. СПб, 2001. - С. 119-121.
- 31 Адам Ф.М. Особенности монтажа быстровозводимых зданий // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2001. № 2. С. 12-16.
- 32 Ф.М. Адам. Анализ состояния проблем строительства малоэтажных зданий // Сборник материалов научно-практической конференции «Строительные конструкции 21 века». М., 2000. С. 130.
- 33 Казаков Ю.Н. Новые зарубежные строительные технологии. СПб., 2007. С. 176.
- 34 Каркасные технологии плюсы и минусы [Электронный ресурс] /makeself – Режим доступа: http://makeself.ru/stroj/karkas/karkas_minus.html.
- 35 А.Н. Мушинский , С.С. Зимин Строительство быстровозводимых зданий и сооружений//Строительство уникальных зданий и сооружений – 2015.
- 36 Технологии строительства быстровозводимых зданий [Электронный ресурс] / завод металлических конструкций– Режим доступа: <http://zokl.ru/>.
- 37 СП 56.13330.2011 Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001.
- 38 Типы ограждающих конструкций [Электронный ресурс]/Инжконтех – Режим доступа: <https://engcontech.ru/pages/10-tipy-ograzhdayuschih-konstruktsiy>.
- 39 Приказ Минэкономразвития России № 61 от 17.02.2010 г. “Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности”.

- 40 Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ.
- 41 Саммарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность: Монография / О.Д.Саммарин.-Москва: АСВ, 2009-296с.
- 42 Энергосбережение. Мероприятия по энергосбережению [Электронный ресурс]/ – Режим доступа:<http://zeleneet.com/energoberezhenie-meropriyatiya-po-energoberezheniyu-chast-2/978/>.
- 43 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
- 44 Энергосберегающие технологии в России и за рубежом [Электронный ресурс]/ – Режим доступа:https://stroi.mos.ru/builder_science/energoberegauachie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom?from=cl.
- 45 Клетченко Е.В. Применение современных инженерных решений для повышения энергоэффективности систем отопления и вентиляции в гражданских зданиях:08.04.01/Клетченко Евгений Викторович.-Санкт-Петербург, 2016. 116 с.
- 46 Размеры сэндвич панелей [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://paneli-s.ru/sendvich-paneli/tehnicheskie-karakteristiki-sendvich-panelej/razmeryi-sendvich-panelej>.
- 47 Анализ рынка производственно-складских комплексов Красноярска за II квартал 2019 года [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: www.knkras.ru.
- 48 Красников, Г. Е. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Г. Е. Красников, О. В. Нагорнов, Н. В. Старостин. - Москва: НИЯУ "МИФИ", 2012.

- 49 Потапов, Л. А. Comsol Multiphysics: Моделирование электромеханических устройств [Текст]+[Электронный ресурс]: учебное пособие/ Л.А.Потапов, И.Ю. Бутарев. – Брянск: БГТУ, 2011. – 112 с.
- 50 Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете FEMLAB: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008.–216 с.
- 51 Тарифы [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: https://krsk-sbit.ru/home_tatif.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчет произведен в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

СП 131.13330.2018 Строительная климатология.

СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий

Исходные данные:

Район строительства: Красноярск

Относительная влажность воздуха: $\phi_v=50\%$

Тип здания или помещения: Административные и бытовые

Вид ограждающей конструкции: Наружные стены

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_v=20^\circ\text{C}$

Расчет:

Согласно таблицы 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания $t_{int}=20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\phi_{int}=50\%$ влажностный режим помещения устанавливается, как сухой.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче R_o^{TP} исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче(п. 5.2) СП 50.13330.2012) согласно формуле:

$$R_o^{mp}=a \cdot ГСОП+b$$

где a и b - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида- наружные стены и типа здания - административные и бытовые $a=0.0003; b=1.2$

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ по формуле (5.2) СП 50.13330.2012

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

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

$$t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$$

$t_{\text{от}}$ -средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2018 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°C для типа здания - административные и бытовые

$$t_{\text{ов}}=-6.5^{\circ}\text{C}$$

$z_{\text{от}}$ -продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2018 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°C для типа здания - административные и бытовые

$$z_{\text{от}}=235 \text{ сут.}$$

Тогда

$$\text{ГСОП}=(20-(-6.5))235=6227.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$$

По формуле в таблице 3 СП 50.13330.2012 определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{\text{о}}^{\text{тп}}$ ($\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$).

$$R_{\text{о}}^{\text{норм}}=0.0003\cdot 6227.5+1.2=3.07\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Поскольку населенный пункт Красноярск относится к зоне влажности - сухой, при этом влажностный режим помещения - сухой, то в соответствии с таблицей 2 СП50.13330.2012 теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации А.

1.Сталь стержневая арматурная (ГОСТ 10884, ГОСТ 5781), толщина $\delta_1=0.005\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{A1}=58\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$

2.Плиты минераловатные ГОСТ 9573($\rho=150\text{ кг}/\text{м.куб}$), толщина $\delta_2=0.12\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{A2}=0.041\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$

3.Сталь стержневая арматурная (ГОСТ 10884, ГОСТ 5781), толщина $\delta_3=0.005\text{м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{A3}=58\text{Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$

Условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл}}$, ($\text{м}^2\text{°С}/\text{Вт}$) определим по формуле Е.6 СП 50.13330.2012:

$$R_0^{\text{усл}}=1/\alpha_{\text{int}}+\delta_n/\lambda_n+1/\alpha_{\text{ext}}$$

где α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$, принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

$$\alpha_{\text{int}}=8.7\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$$

α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012

$\alpha_{\text{ext}}=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ -согласно п.1 таблицы 6 СП 50.13330.2012 для наружных стен.

$$R_0^{\text{усл}}=1/8.7+0.005/58+0.12/0.041+0.005/58+1/23$$

$$R_0^{\text{учл}}=3.82\text{м}^2\text{°C/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$, ($\text{м}^2\text{°C/Вт}$) определим по формуле 11 СП 23-101-2004:

$$R_0^{\text{пр}}=R_0^{\text{учл}} \cdot r$$

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

$$r=0.85$$

Тогда

$$R_0^{\text{пр}}=3.82 \cdot 0.85=3.25\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Вывод: величина приведённого сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ больше требуемого $R_0^{\text{норм}}$ ($3.25 > 3.07$) следовательно представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

Приложение Б

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА СТЕНОВОЕ ОГРАЖДЕНИЕ ДЛЯ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ

Е.В. Логунова¹, П.Ю. Веде²

Научный руководитель Р.А. Назиров¹
доктор технических наук, профессор

¹*Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт*

Быстровозводимые здания строятся с применением металлического каркаса, стены изготавливают либо при помощи несъемной опалубки, либо монтируют сэндвич-панели. Сэндвич-панели относят к материалам, снижение энергетических затрат и повышение индустриальности строительного производства которых предполагает использование материалов, сочетающих теплоэффективные свойства с возможностью быстрого монтажа конструкций [1, 2].

В процессе эксплуатации панелей с минераловатным утеплителем на внутреннем листе панели выпадает конденсат, либо, при нарушении герметизаций влага проникает в толщу утеплителя, и как следствие начинает промерзать [3, 4].

Для дальнейших расчетов, согласно [5, 6], была определена расчетная температура внутреннего воздуха исходя из норм температуры склада в соответствие с типами хранящегося товара. Так как концепция быстровозводимого здания заключается в возможности изменения объемно-планировочных решений в короткие сроки, расчет проводится по двум температурным показателям. За основу для расчетов была принята температура внутренней поверхности минимальная 5°C и максимальная 20°C.

Расчетные граничные условия для двух вариантов температуры внутренней поверхности представлены в таблице 1.

Характеристики материалов представлены в таблице 2.

Таблица 1

Расчетные граничные условия

Наименование показателя	Ед. изм.	Расчетная температура внутреннего воздуха		Наружная поверхность
		Внутренняя поверхность (Вариант 1)	Внутренняя поверхность (Вариант 2)	
Коэффициент теплоотдачи	Вт/м ² ·°C	8,7	8,7	23
Коэффициент влагоотдачи	с/м	8,80E-08	8,80E-08	2,50E-07
Парциальное давление водяного пара	Па	1139	426	150
Температура	°C	20	5	-16

¹ © Логунова Е.В., 2021

² © Веде П.Ю., 2021

Таблица 2

Характеристики и теплофизические свойства материалов сэндвич панели

Наименование	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Плотность, кг/м ³
Стальной лист	5	58	7700
Минераловатный утеплитель	120/200	0,041	130
Стальной лист	5	58	7700

В ходе численного моделирования получены температурные поля с изотермами в стыках панелей и зоны активных фазовых переходов при температуре внутреннего воздуха 5 °С. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

Наименование показателя	Ед. изм.	20 °С		5 °С	
		Плита h=200мм	Плита h=120мм	Плита h=200мм	Плита h=120мм
Средний тепловой поток	Вт/м ²	63,0	83,7	36,7	48,8
Относительная влажность	[-]	0,63	0,69	0,57	0,61
Максимальная относительная влажность	[-]	0,76	0,87	0,64	0,72
Средняя теплопроводность утеплителя	Вт/м·°С	0,033	0,033	0,032	0,032
Минимальная температура	°С	13	10,75	0,9	-0,4

Величины средних значений и экстремальные значения температуры и влажности определяли по линиям L1 и L2.

Температурное поле с изотермами в стыках панелей при температуре внутреннего воздуха 5°С показано на рисунке 4. Минимальная температура в стыке панелей толщиной 200мм 0,95°С. Минимальная температура в стыке панелей толщиной 120мм -0,4°С. За счет отрицательной температуры, на внутренней поверхности панелей будет образовываться конденсат, что способствует распространению коррозии и постепенному разрушению.

Изменение температуры показано на рисунке 1.

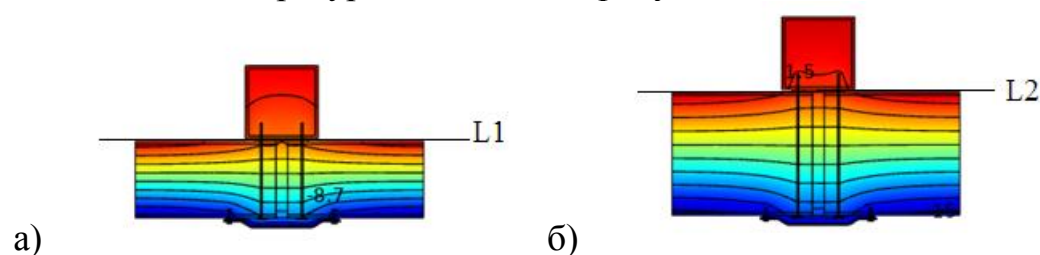


Рисунок 1. Температурное поле с изотермами в стыках панелей при температуре внутреннего воздуха 5°С: а) сэндвич-панель толщиной 120мм; б) сэндвич-панель толщиной 200мм.

Зона активных фазовых переходов при температуре 50С для сэндвич-панелей толщиной 120мм и 200мм показана на рисунке 2.

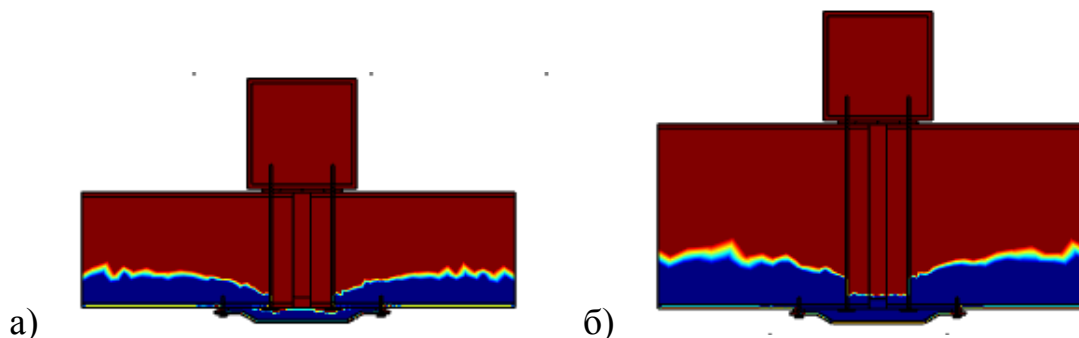


Рисунок 2. Зона активных фазовых переходов (переувлажнения) при температуре внутреннего воздуха 5⁰С: а) сэндвич-панель толщиной 120мм; б) сэндвич-панель толщиной 200мм.

Благодаря расчетам с исходными начальными данными, выявлено, что в процессе эксплуатации таких панелей на внутреннем листе трехслойной панели будет выпадать конденсат, либо, при нарушении герметизаций влага будет проникать в толщу утеплителя, и как следствие начнет промерзать.

Список использованных источников

1. Гагарин В.Г. Теплозащита и энергетическая эффективность в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // III Международный конгресс. Энергоэффективность XXI век. – СПб, 2011, с. 187-191.
2. Румянцев Б.М. Теплопроводность высокопористых материалов / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова // Вестник МГСУ, № 3, 2012, с. 108-114.
3. Соков В.Н. Комплексный парогидротеплоизоляционный материал / В.Н. Соков, А.Э. Бегляров, А.А. Солнцев, А.А. Журавлёва, А.С. Журбин // Интернет-вестник ВолгГАСУ, № 2, 2014. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru>. Дата обращения – 2015.05.10.
4. Трескова Н.В. Современные стеновые материалы и изделия / Н.В. Трескова, А.С. Пушкин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 11(178), 2013, с. 32-35.
5. СП 60.13330.2016 «ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА».
6. СНиП 31-04-2001 «Складские здания».

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

Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия

« 15 » июня 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка проектных решений малоэтажных зданий с возможностью
изменения объёмно-планировочных решений
тема

08.04.01 «Строительство»
код и наименование направления

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

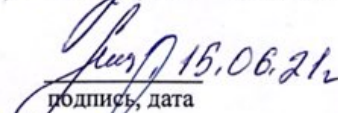
Научный руководитель


подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень


Е.М. Сергуничева
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Е.В. Логунова
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

директор ООО «Енисейстрой», к.т.н.
должность, ученая степень

Е.Г.Плясунов
инициалы, фамилия

Красноярск 2021