


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

Инженерно-строительный институт

Кафедра проектирования зданий и экспертизы недвижимости

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Р.А. Назиров  
подпись инициалы, фамилия

« 26 » 06 2017 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Проектные решения на основе применения современных строительных  
материалов столовых вахтовых поселков

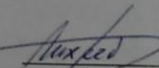
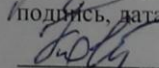
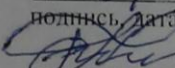
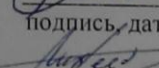
тема

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель		доцент, канд. техн. наук	<u>Д.А. Михеев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник			<u>О.Я. Кольмна</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент		профессор, д-р техн. наук	<u>А.В. Прошкин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер		доцент, канд. техн. наук	<u>Д.А. Михеев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Литературный обзор.....	9
1.1 Гигиенические требования к микроклимату предприятий общественного питания.....	9
1.2 Особенности климата Крайнего Севера и требования к материалам	12
1.3 Общая характеристика строительных материалов используемых для возведения столовых вахтовых поселков.....	17
1.4 Цементно-минеральные плиты AQUAPANEL.....	28
1.5 Материалы с изменяющимся фазовым составом.....	36
Заключение по первой главе.....	43
2 Объекты и методы исследований.....	44
2.1 Объекты исследований.....	45
2.2 Методы исследований.....	48
3 Результаты расчетов.....	60
3.1 Теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью металлических анкерных соединений с учетом климатических условий.....	60
3.2 Разработка мероприятий по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления.....	70
3.3 Теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью комбинированных анкерных соединений с учетом климатических условий.....	74
Заключение по 3 главе.....	79
4 Расчет экономической эффективности от использования комбинированных анкерных креплений.....	80
Заключение по 4 главе.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	88
-------------------------------------	----

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях экономического кризиса одной из важнейших задач является создание благоприятных условий для развития нефтегазодобывающей отрасли. Поскольку развитие данной отрасли позволит обеспечить устойчивое развитие и экономическую стабильность страны. Правительство Российской Федерации утвердило стратегию социально-экономического развития Сибири до 2020 года. В которой основным стратегическим направлением социально-экономического развития Сибири является освоение нефтегазовых месторождений. Значительные запасы нефти и газа сосредоточены в районах Крайнего Севера. При освоении нефтегазовых месторождений возникает необходимость использования вахтовой формы организации труда рабочих. Поскольку данная форма организации труда имеет ряд преимуществ по сравнению со всеми остальными формами при организации труда работников нефтегазовых производств.

На сегодняшний момент крупнейшие месторождения углеводородов сконцентрированы в основном в районах Крайнего Севера. Данные районы относятся к группе климатических зон с суровым климатом. Поэтому организм рабочих, прибывших на работу на месторождения по добычи углеводородов, испытывает нагрузки, обусловленные отрицательным влиянием природно-климатических, производственных, психофизических, социально-бытовых факторов.

Одним из основных неблагоприятных факторов, воздействующих на организм человека в районах Крайнего Севера, является природно-климатический. Основная часть нефтегазовых месторождений расположена на заболоченной территории тайги. Климат северного региона можно охарактеризовать как резко континентальный. Для данного региона характерен длительный и суровый зимний период с устойчивым снежным

покровом. Средняя температура в зимний период колеблется в пределах от минус 35 °С до минус 40 °С. Январь является самым холодным месяцем в данный период. Для весеннего и осеннего периодов характерны сильные ветры и резкие перепады температуры. Летний период сравнительно теплый и непродолжительный. В течение суток в данном регионе наблюдаются перепады температуры, колебания атмосферного давления, недостаток кислорода воздуха, повышенная напряженность электрического поля. В связи с особенностями организации производства в нефтегазовой отрасли происходит загрязнение воздушной среды мест по добыче углеводородов в первую очередь пылью, поскольку данные производства связаны с бурением, сернистым газом, формальдегидом, окислами азота, фенолом и его производными. Помимо отрицательного влияния природно-климатических факторов на организм работников нефтегазовой промышленности неблагоприятное воздействие оказывают и производственные факторы, обусловленные спецификой данной отрасли. К производственным факторам относятся: физические перегрузки, шум, вибрация. Данные факторы оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, что в свою очередь приводит к снижению иммунитета, нарушению обмена веществ и ухудшению здоровья работников.

Воздействие психофизических факторов выражается в эмоциональных перегрузках, которые обусловлены в первую очередь спецификой нефтегазовой отрасли. Поскольку процессы освоения, бурения, строительства нефтяных и газовых скважин связаны с высокой взрыво- и пожароопасностью.

Социально-бытовые факторы связаны, прежде всего, с образом жизни работников газонефтяной отрасли. Наибольшее число факторов риска относится к сфере образа жизни рабочего, его привычек, поведения. Отрицательным фактором, распространенным среди всех рабочих, является нарушение режима и качества питания.

Решить проблему неблагоприятного воздействия природно-климатических, производственных, психофизических, социально-бытовых факторов на организм рабочих вахтовых поселков возможно за счет строительства вахтовых поселков со стационарными пунктами питания. Стационарные пункты питания позволят организовать процесс приема пищи и скорректировать рационы питания рабочих, с учетом особенностей процесса акклиматизации за счет введения в рационы питания сбалансированных по основным пищевым веществам продуктов питания. Поскольку вахтовые поселки при месторождениях углеводородов находятся в труднодоступных и мало освоенных районах, поэтому капитальное строительство в таких местах затруднено и нецелесообразно. Оптимальным вариантом при строительстве вахтовых поселков является использование быстровозводимых модульных конструкций. Основное достоинство данных конструкций заключается в возможности подбора планировочных решений и наполнения в соответствии с особенностями дальнейшей эксплуатации. Быстровозводимые модульные конструкции могут быть использованы не только при строительстве административных и хозяйственно-бытовых зданий для работников вахтовых поселков, но при строительстве столовых с полным производственным циклом. В процессе возведения столовых используются модульные помещения, которые состоят из таких мобильных блоков, как обеденный зал, производственные и административно-бытовые помещения, санузел. Исследования, связанные с изучением опыта использования различных строительных материалов для проектирования и создания мобильного жилища в условиях Севера позволят выявить перспективную тенденцию его развития – целесообразность формирования в специфических условиях освоения мобильных поселений, объединяющих и сочетающих в своей структуре элементы жилья и обслуживания. Микроклимат на предприятиях общественного питания отличается повышенной влажностью и температурой, поэтому исследования направленные на изучение теплофизических свойств существующих

проектных решений на основе применения современных строительных материалов в условиях Крайнего Севера являются актуальными.

Цель диссертационной работы – разработать проектные решения узлов крепления стеновых панелей с использованием современных строительных материалов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- анализ существующих проектных решений и оценка возможности использования их при возведении столовых для работников вахтовых поселков с учетом нормативно-технической документации регламентирующей технологическое проектирование организаций общественного питания;
- провести теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью металлических анкерных соединений с учетом климатических условий;
- разработка мероприятий по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления;
- провести теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью комбинированных анкерных соединений с учетом климатических условий;
- рассчитать экономическую эффективность от использования комбинированных анкерных креплений.

Научная новизна работы:

1. Проведены численные расчеты и анализ типовых узлов сопряжений конструкций для быстровозводимых зданий из трехслойных металлических панелей для строительства в Арктической зоне Красноярского края и эксплуатируемых в условиях повышенной влажности внутри помещения.
2. Установлено, что крепление трехслойных стеновых панелей к стальной колонне при пониженных температурных условиях эксплуатации, является более предпочтительней, чем к железобетонной с позиции снижения

влагонакопления и конденсации пара в узлах сопряжения и крепления стеновых панелей.

3. С целью исключения негативного влияния высокой теплопроводности стального анкера предложено применение комбинированного анкера состоящего из стали и полимерного материала-полиамида.

4. Предложен способ расчета тепловых потерь и экономической оценки применения теплопроводного сквозного линейного элемента крепления с учетом теплоизоляционных свойств окружающего материала.

Основные положения, выносимые на защиту:

- теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью металлических анкерных соединений с учетом климатических условий;
- мероприятия по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления;
- теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью комбинированных анкерных соединений с учетом климатических условий;
- экономическая эффективность от использования комбинированных анкерных креплений.



## 1 Литературный обзор

### 1.1 Гигиенические требования к микроклимату предприятий общественного питания

Параметры микроклимата на рабочих местах помещений предприятий общественного питания должны соответствовать требованиям СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», СП 2.3.6.1079-01 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья». Данные санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения [39, 40].

Оптимальные параметры микроклимата для производственных помещений в холодный период года:

- Обеденные залы; раздаточные; буфеты; цехи: доготовочный, холодный, рыбный, обработки зелени; моечные столовой посуды, кладовые овощей, солений, полуфабрикатов, инвентаря, тары – температура воздуха 19-21 °С (диапазон ниже оптимальных величин: 17,0-18,9°С, диапазон выше оптимальных величин 21,1-23,0°С), оптимальная относительная влажность

воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с;

- Цехи: мясной, птице-гольевой, овощной, горячий, кондитерский, моечные кухонной посуды, тары – температура воздуха 17-19°C (диапазон ниже оптимальных величин: 15,0-16,9°C, диапазон выше оптимальных величин 19,1-22,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с;

- Административные помещения – температура воздуха 22-24 °C (диапазон ниже оптимальных величин: 20,0-21,9°C, диапазон выше оптимальных величин 24,1-25,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,1 м/с;

- Сервизные, бельевые, гардеробные – температура воздуха 21-23 °C (диапазон ниже оптимальных величин: 19,0-20,9°C, диапазон выше оптимальных величин 23,1-24,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 0,1 %, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

- Оптимальные параметры микроклимата для производственных помещений в теплый период года:

- Обеденные залы; раздаточные; буфеты; цехи: доготовочный, холодный, рыбный, обработки зелени; моечные столовой посуды, кладовые овощей, солений, полуфабрикатов, инвентаря, тары – температура воздуха 20-22 °C (диапазон ниже оптимальных величин: 18,0-19,9°C, диапазон выше оптимальных величин 21,1-27,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с;

- Цехи: мясной, птице-гольевой, овощной, горячий, кондитерский, моечные кухонной посуды, тары – температура воздуха 18-22°C (диапазон ниже оптимальных величин: 16,0-18,9°C, диапазон выше оптимальных

величин 21,1-27,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с;

- Административные помещения – температура воздуха 22-26 °С (диапазон ниже оптимальных величин: 21,0-22,9°C, диапазон выше оптимальных величин 25,1-28,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 15-75 %, скорость движения воздуха 0,1 м/с;

- Сервизные, бельевые, гардеробные – температура воздуха 21-25 °С (диапазон ниже оптимальных величин: 20,0-21,9°C, диапазон выше оптимальных величин 24,1-28,0°C), оптимальная относительная влажность воздуха 60-40 %, допустимая относительная влажность воздуха 0,1 %, скорость движения воздуха 0,1 м/с [39, 40].

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать во всех группах помещений на предприятиях общественного питания (в помещениях для посетителей, производственных помещениях, помещениях для приема и хранения продуктов, служебно-бытовых помещениях и технических помещениях.) Поддерживать микроклиматические условия на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы, в помещениях для посетителей позволит установка вентиляционных систем и правильный выбор строительных материалов для возведения предприятий общественного питания. Поскольку строительные материалы является основополагающим фактором, который позволяет регулировать микроклимат

на предприятии общественного питания. Правильный выбор строительных материалов позволит не только поддерживать микроклиматические условия на предприятиях общественного питания в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, но и повысить энергоэффективность всей конструкции здания [39, 40].

## **1.2 Особенности климата Крайнего Севера и требования к материалам**

В Красноярском крае к районам Крайнего севера относятся: Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ, Эвенкийского автономного округа, Северо-Енисейский район, Туруханский район, г. Норильск и подчиненные его администрации, населенные пункты. На территории Красноярского края значительные запасы нефти и газа сосредоточены в районах Крайнего Севера. Поэтому при выборе строительных материалов для возведения столовых вахтовых поселков в первую очередь необходимо учесть природно-климатические условия района строительства. Основная климатическая особенность Крайнего Севера – длительный сезон с отрицательными среднесуточными температурами. Климат северных районов Красноярского края резко континентальный. Смягчающее влияние Северного Ледовитого океана невелико, так как свободной от льда вода бывает очень короткий период – с июня по октябрь. Годовая амплитуда (разница температур июля и января) колеблется от 40-41 до 53°C (Тура), несколько меньше она на островах и побережье минус 31°C. Особую суровость климату придает сочетание низких температур с сильными ветрами [11], приводящее к дополнительным механическим нагрузкам на конструкции и ужесточающее требования к материалам. Зимние ветры сопровождаются снегопадами, приводя к оледенению и налипанию снега на конструкции и сооружения. Следует отметить влажность атмосферы воздуха районов Крайнего Севера, что сказывается на

коррозионной стойкости материалов. Международный Стандарт ISO [7] выделяет пять категорий атмосфер, которые по-разному воздействуют на коррозионные характеристики металлических материалов. Все зоны Крайнего Севера относятся к пятой категории – самой «жесткой». Наблюдается явная зависимость стойкости сталей к коррозии от удаленности от морского побережья [8 – 10].

Работоспособность конструкционных материалов может сильно варьироваться в зависимости от температуры окружающей среды: так, некоторые металлические сплавы становятся хрупкими при пониженной температуре [11, 12] и происходит разрушение конструкций, хотя при нормальной температуре оно не наблюдается.

Отмеченные факторы должны учитываться при выборе компонентов для конструирования сэндвич-панелей. С учетом климата Крайнего Севера к материалам предъявляются следующие требования [13]:

- работоспособность и сохранение характеристик прочности и пластичности при температурах от минус 60 до минус 75 °С;
- работоспособность при колебаниях температур от минусовых до плюсовых (от минус 70 до 50 °С);
- стойкость к влаге и к воздействию тумана;
- технологичность, состоящая в возможности сварки, хорошей механической обрабатываемости и окрашиваемости;
- повышенные прочность, пластичность, износостойкость, антиадгезионность материалов при взаимодействии со снегом и льдом;
- сохранение свойств в условиях термоциклирования с переходом через точки росы и замерзания.

Требования к авиационным материалам схожи с требованиями для условий Крайнего Севера. Воздушное судно эксплуатируется при жестком термоциклировании: отрицательные температуры при полете на большой высоте и положительные – при приземлении. Для авиационной техники остро стоит вопрос коррозионной стойкости и ее защищенности, материалы

салона по горючести и токсичности должны соответствовать требованиям санитарных норм. Очевидно, что материалы и приемы конструирования в авиации могут быть использованы для арктических устройств.

Наиболее распространенным конструкционным материалом является сталь, сочетающая высокие физико-механические свойства и низкую стоимость. Однако стальные элементы имеют большой вес, а экономичные марки сталей склонны к хладноломкости, поэтому разумно использовать другие сплавы, в частности алюминиевые, хорошо зарекомендовавшие себя в авиации.

Композитная обшивка, которая может эксплуатироваться в условиях Крайнего Севера, должна включать как минимум два слоя, один из которых должен исполнять конструкционные функции, неся часть нагрузки наряду с силовым каркасом. Второй слой – функциональный, обеспечивающий условия микроклимата внутри конструкции. В случае обшивки спасательных и транспортных средств необходимо учитывать дополнительные требования, что повлечет за собой увеличение числа слоев. Во-первых, требование по заметности, т.е. внешний слой, должен быть покрыт слоем лакокрасочного покрытия (ЛКП), обеспечивающим визуальное и радиолокационное обнаружение средства на значительных расстояниях. Для обеспечения вибрационного и акустического комфорта необходимо применение вибропоглощающих материалов, гасящих вибрации в салоне от внешних воздействий и внутренних механизмов. Важными элементами рассматриваемых СП являются теплозащитные материалы, препятствующие снижению температуры внутри конструкций, а также антиобледенительные, противокоррозионные, огнестойкие покрытия.

Для снижения веса конструкции целесообразно использовать алюминиевые сплавы или композиционные материалы на их основе. Алюминий обладает ГЦК-решеткой, что исключает возможность хладноломкости, при этом по коррозионной стойкости алюминиевые сплавы превосходят низколегированные стали [15], они технологичны при сварке и

других способах обработки. По этим причинам алюминиевые сплавы применяются не только в авиационной, но и в морской технике [16, 17]. Наиболее востребованы сплавы, содержащие магний (АМгЗ, АМг5, АМгб), системы Al – Mg – Si (АДЗЗ) и их международные аналоги 5083, 5086, 5454, 6061.

В ВИАМе разработана линейка алюминиевых сплавов, отличающихся повышенной прочностью и высокой коррозионной стойкостью [18].

Сплавы обладают высокими характеристиками коррозионной стойкости, что обеспечивается подбором легирующих элементов и разработанными режимами деформации, термической обработки [19 – 22]. Они могут быть использованы для арктических объектов ввиду высоких удельных характеристик и хорошей коррозионной стойкости, что подтверждено натурными испытаниями [23].

В качестве конструкционной компоненты сэндвич-панелей перспективна замена монолитных металлических слоев на композиционные материалы с металлической основой. Такие СП обладают дополнительными достоинствами: высокой трещиностойкостью, пониженной плотностью, высокой прочностью.

Типичным композитом такого типа является СИАЛ (стеклопластик и алюминий) – слоистый материал, состоящий из тонких листов алюминиевых сплавов и прослоек стеклопластика из клеевых препрегов. Материал разработан в ВИАМе, его зарубежный аналог – GLARE, который использует листовую дуралюмин 2024ТЗ [24].

Данные композиционные материалы обладают повышенной в несколько раз трещиностойкостью в сравнении с монолитными алюминиевыми листами, а удельный вес понижен на 10%.

В образцах СИАЛов размерами 220x220 мм не обнаружено расслоений после трех лет натурной экспозиции в условиях Москвы и Геленджика [25].

Для эксплуатации в условиях Крайнего Севера большое значение имеет применение покрытий с высокими гидрофобными свойствами: таковыми могут быть фторполимеры [26, 27], в частности разработан [28, 29]

радиационно-химический метод синтеза жидких теломеров тетрафторэтилена в органических растворителях. Гидрофобные покрытия уменьшают налипание снега и образование ледяной корки на конструкциях [30].

Теплоизоляционные материалы, входящие в состав сэндвич-панелей, должны не только обеспечить сохранение тепла внутри конструкции при температуре окружающего воздуха минус 50 °С, но и быть стойкими к биологическому воздействию грибков; при тепловом воздействии они не должны выделять отравляющих веществ. Таковыми могут быть материалы из волокнистой керамики на основе диоксида кремния и оксида алюминия ВТИ-25, разработанные в ВИАМе. Альтернативой керамическим теплозащитным материалам при невысоких эксплуатационных затратах могут быть теплоизоляционные материалы на основе пенополиимида [31, 32], они обладают низким удельным весом и малым коэффициентом теплопроводности.

С точки зрения повышения весовой эффективности пенополимер более предпочтителен, однако в случае воздействия на конструкцию высоких температур он непригоден.

Снижения шума и вибрации в сэндвич-панелях можно достичь, применяя материалы с высокими демпфирующими свойствами – вибропоглощающие материалы (ВПМ). Наиболее эффективными из них являются термоэластопласты и резины, обладающие способностью к диссипации механической энергии, в силу особенностей молекулярного и надмолекулярного строения. В ВИАМе разработан материал ВТП-1В на основе термопластичного полиуретана, который перерабатывается литьем под давлением и обладает высокими демпфирующими характеристиками в сравнении с резинами.

Огнестойкость можно улучшить, нанеся на внешнюю сторону сэндвич-панелей покрытие с термостойкостью до 1000 – 1200 °С. Такое покрытие



создано на основе кремнийорганической эмали, разработанной для защиты теплозащитных плит из асбопластика на кремнийорганическом связующем.

Для огнестойких конструкций сэндвич-панелей оптимальным комплексом свойств обладают керамические теплоизоляционные материалы (высокотемпературного применения, которыми являются маты из кварцевых, стеклянных, базальтовых, кремнеземных, муллитовых волокон. Их теплоизоляция работает в температурном диапазоне от минус 60 до 1200 °С, а в случае возгораний выдерживает многократные нагревы и охлаждения, не выделяя отравляющих веществ, и обладает стойкостью к биологическому воздействию грибков. В качестве термостойкого волокна за рубежом используют термостойкое стекло, в России – базальтовые, стеклянные и муллитокремнеземные волокна [35].

### **1.3 Общая характеристика строительных материалов используемых для возведения столовых вахтовых поселков**

В настоящее время производители современных строительных материалов предполагает для возведения столовых вахтовых поселков использовать материалы, сочетающие теплоэффективные свойства с возможностью быстрого монтажа конструкций непосредственно на строительной площадке [1-10]. К данному виду материалов относятся трехслойные сэндвич-панели. Использование сэндвич-панелей позволяет возвести предприятия общественного питания в любой природно-климатической зоне в кратчайшие сроки при минимальных затратах. Трехслойные сэндвич-панели (ТСП) – это конструкция, состоящая из внешних облицовок, выполняющих роль наружных и внутренних облицовок панелей в зданиях или сооружениях, выполненных из горячеоцинкованного и окрашенного стального листа и сердцевины (утеплителя), все компоненты панели соединены между собой двухкомпонентным клеем [1-10].

Трехслойные сэндвич-панели являются элементами полной заводской готовности и не требуют дополнительной отделки. Чаще всего здания, в строительстве которых применяются сэндвич-панели, располагаются в зонах сухой и нормальной влажности. Несущая способность панелей зависит от толщины теплоизоляционного слоя, толщины металлических обшивок, типа их профилирования и ширины площадки опирания [1-10].

По типу изоляционного материала панели делятся на марки MW, SP, XPS, PU, PIR: MW – плиты минераловатные; SP – пенополистирол вспененный; XPS – пенополистиролэкструдированный; PU – пенополиуретан; PIR – пенополиизоцианурат [1-10].

Характеристика материала теплоизоляционного слоя трехслойных сэндвич-панелей [1-10]:

- Объемно-ориентированные, ламелированные плиты минераловатные (MW),  $\rho=100-130 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda =0,046-0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  (при  $25^\circ\text{C}$ );
- Плиты вспененного, экструдированного пенополистирола (SP, XPS),  $\rho=$  от  $20 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda$  не более  $0,03 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  (при  $25^\circ\text{C}$ );
- Плиты из заливочного пенополиуретана (PU),  $\rho=30-40\text{кг/м}^3$ ,  $\lambda$  не более  $0,03 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  (при  $25^\circ\text{C}$ );
- Плиты из пенополиизоцианурата (PIR),  $\rho=30-40\text{кг/м}^3$ ,  $\lambda$  не более не более  $0,24 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  (при  $25^\circ\text{C}$ ).

Как наружные, так и внутренние поверхности панелей покрыты тонколистовой сталью различного профиля, имеют антикоррозийное покрытие, покраску. Покрытие характеризуется высокой износостойкостью и атмосферостойкостью [12-17]. Особое внимание уделяют разработке и совершенствованию систем стыковочных узлов, надежной герметичности стыков, вопросам ползучести, ветрозащиты, адгезии клеев при контакте «утеплитель – металлическая поверхность», набору эластичных температуростойких мастик [20-23, 25-27, 30-32, 34-38].

Теплотехнические характеристики сэндвич-панелей зависят от толщины утеплителя, приведенное сопротивление теплопередаче при следующей толщине теплоизоляционного материала 80 мм составляет 1,98 м<sup>2</sup>-°C/Вт, а при 100 мм – 2,43 м<sup>2</sup>-°C/Вт, 120 мм – 2,92 м<sup>2</sup>-°C/Вт, 150 мм – 3,61 м<sup>2</sup>-°C/Вт, 200 мм – 4,76 м<sup>2</sup>-°C/Вт, 250 мм – 5,91 м<sup>2</sup>-°C/Вт, 300 мм – 7,06 м<sup>2</sup>-°C/Вт [25-27, 43-47, 49-50].

Качество трехслойных сэндвич-панелей регламентируют следующие нормативно-технические документы: ГОСТ 21562-76 «Панели металлические с утеплителем из пенопластов» (переиздан в 1990 г.); ГОСТ 23486-79 Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана (переиздан в 1986 г.); с октября 2014 г. действует ГОСТ 32603-2012 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты» [1-3].

В качестве теплоизоляционного слоя (утеплителя) в панелях используют минераловатные плиты на основе пород базальтовой группы на синтетическом связующем, выполненные из склеенных ламелей. Применяемые в панелях минераловатные плиты должны относиться к группе негорючих материалов [1].

Физико-механические характеристики образцов минераловатных плит [1]:

- Номинальная плотность, не менее 105 кг/м<sup>3</sup> для стены, кровли и 130 кг/м<sup>3</sup> для кровли;
- Нормативный предел прочности на сжатие материала сердцевины, не менее 0,06 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 0,07 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;
- Нормативный предел прочности на растяжение (разрыв слоев) материала сердцевины, не менее 0,1 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 0,12 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;
- Нормативный предел прочности на сдвиг (срез) материала сердцевины не менее 0,06 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 0,067 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;
- Модуль упругости материала сердцевины при растяжении, не менее 5,2 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 5,4 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;

- Модуль упругости материала сердцевины при сжатии, не менее 5,6 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 6 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;
- Модуль сдвига материала сердцевины, не менее 2,5 Н/мм<sup>2</sup> для стены, кровли и 2,6 Н/мм<sup>2</sup> для кровли;
- Теплопроводность при (25±1°C), не более 0,046 Вт/ (м·К) для стены, кровли и 0,048 Вт/ (м·К) для кровли;
- Теплопроводность при (10±1°C), не более 0,048 Вт/ (м·К) для стены, кровли и 0,050 Вт/ (м·К) для кровли;
- Влажность, не более 1 % по массе для стены, кровли;
- Содержание органических веществ, не более 4,5 % по массе для стены, кровли;

Существующими нормативами допускается применение пенополистирола – материала водостойкого, негигроскопичного, имеющего низкое водопоглощение и теплопроводность, но горючего [2]. Материал сохраняет стабильность структуры, свойств и геометрических размеров в интервале температур от -180 до +80°C.

Характеристики пенополистирола по ГОСТ 15588-86 [2]:

- Плотность – не менее 15,1 кг/м<sup>3</sup>;
- Прочность при сжатии (10%-ная деформация) – от 0,1 кПа;
- Предел прочности при изгибе – не менее 0,18 кПа;
- Теплопроводность при 25°C – не более 0,03 Вт/(м·К);
- Время самостоятельного горения – не более 4 с;
- Влажность – не более 12%;
- Водопоглощение за 24 ч по объему – не более 2%.

За рубежом большой популярностью пользуются плиты из жесткого пенополиизоцианурата (PIR). Данный теплоизоляционный материал может применяться во всех климатических районах при температуре окружающей среды от -65 до +110°C.

Характеристики плит теплоизоляционные PIR:

- Плотность – 30-40 кг/м<sup>3</sup>;

- Теплопроводность при  $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$  – не более  $0,024 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;
- Теплопроводность при условиях эксплуатации А/Б – не более  $0,025/0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;
- Прочность на сжатие при 10% деформации – 120 кПа;
- Водопоглощение по объему за 24 ч – 2%;
- Температура эксплуатации – от  $-65$  до  $+110^{\circ}\text{C}$ ;
- Группа горючести – Г2-Г3.

В качестве облицовки используется окрашенный горячеоцинкованный стальной лист с высококачественным декоративным защитным полимерным покрытием. Полимерное покрытие обладает высоким сопротивлением к истиранию, устойчиво к взаимодействию с кислотными средами и красящими веществами, а также к ультрафиолетовому излучению [2].

Виды и характеристика полимерных покрытий:

- Полиэстер (PE) – относительно недорогой материал, который подходит для любой климатической зоны. Толщина покрытия 25 мкм. Теплостойкость порядка  $+120^{\circ}\text{C}$ . Покрытие может быть как матовым, так и глянцевым. Применение данного покрытия оправданно в случаях небольших эксплуатационных нагрузок.
- Пурал (Pural) – покрытие на основе полиуретана. Обладает шелковисто-матовой поверхностью. Рекомендуются как для внутренних, так и для внешних поверхностей ограждающих конструкций. Материал имеет хорошую химическую устойчивость, выдерживает высокие температурные перепады. При толщине покрытия 50 мкм имеет хорошие антикоррозионные свойства. Пластичность покрытия гарантируется даже при низких температурах.
- Поливинилдифторид (PVDF) – композитный материал, состоящий на 80% из поливинилдифторида и на 20% из акрила. Сохраняет свои свойства в интервале температур от  $-60$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Устойчив к УФ-излучению, обладает высокой стойкостью к агрессивным средам и механическим воздействиям.

Покрытие может быть использовано в случае особых эксплуатационных требований. Имеет повышенные прочностные и антикоррозийные свойства.

- Пластизоль (PVC200) – покрытие благодаря толщине, равной 200 мкм, является стойким к механическим повреждениям. Рекомендуется использовать в условиях повышенной загрязненности окружающей среды.

### 1.3.1 Токсическое действие пенополистирола на организм человека

При производстве трехслойных сэндвич-панелей пенополистирол используется в качестве изоляционного материала.

Пенополистирол – это газонаполненный пенопласт на основе полистирола. В современных производствах вспенивание полистирола осуществляется в основном за счёт использования высококипящих жидкостей (изопентан, метилхлорид и др.), которые вводят при полимеризации стирола, в полистирольный «бисер». При нагревании например в горячей воде, бисер вспенивается, образуя предвспененные гранулы, которые после сушки и вылёживания спекаются в объёмные блоки при температурах 140-170°C и давлениях 150-200 кгс/см<sup>2</sup>. Блоки затем режут на нужные размеры. В промышленности используется также экструзионный пенополистирол с непрерывным методом получения [28].

Полистирол – продукт полимеризации стирола (винилбензола), твердое, упругое, бесцветное вещество. Это жесткий, аморфный полимер с невысокой механической прочностью при растяжении и изгибе. Полистирол имеет низкую плотность, термическую стойкость, обладает отличными диэлектрическими свойствами и весьма низкой прочностью при ударе. Он легко деформируется при относительно невысоких температурах (80°C) [28].

Стирол (винилбензол, фенилэтилен) – это непредельный, ароматический углеводород ( $C_6H_5CH=CH_2$ ), бесцветная жидкость со специфическим запахом, температура кипения 145,2°C, плотностью 0,906 г/см [28].

Стирол-мономер используется в производстве полистирола, АБС-пластиков, бута-диен-стирольных каучуков, термоэластопластов, сополимеров с акрилонитрилом, винилхлоридом; сополимеры с дивинилбензолом - сырье для ионообменных смол; реакционноспособный растворитель полиэфирных смол, модификатор алкидных смол [28]

Из полистирола получают пластические массы, которые широко применяют в электротехнической промышленности, для изготовления предметов бытового назначения (посуда, статуэтки, детские игрушки и т. д.), линз, облицовочных плиток и несъемной опалубки (термоблоков) для строительства и т.д. [28, 29].

Пенопласт легкий теплоизоляционный материал, на 98 % состоит из воздуха используется при производстве трехслойных сэндвич-панелей и в качестве утеплителя наружных и внутренних ограждающих конструкций. [28, 29].

Утеплители из вспененных пластмасс, при температуре 25°C имеют коэффициент теплопроводности 0,035–0,048 Вт/(м·°C). На рынке также представлены вспененные пластмассы с теплопроводностью 0,020 Вт/(м·°C) и 0,018 Вт/(м·°C). Вспененные пластмассы обладают водопоглощающей способностью. Водопоглощение гранулированного пенополистирола, изготовленный беспрессовым методом составляет 350% по массе [28, 29].

Плиты беспрессового пенополистирола в условиях эксплуатации с поврежденным гидроизоляционным ковром достигают влажности до 900%. При таком такой влажности не может быть обеспечено нормируемое значение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала [28, 29].

В течение часа организм человек выделяет около 100 г влаги. Если это предприятие общественного питания, то к этому количеству необходимо добавить влагу, появляющуюся в результате осуществления технологических процессов приготовления продуктов питания, в результате которых влажность увеличивается многократно. Поэтому для создания комфортного и

здорового микроклимата на предприятии общественного питания наружные стены должны «дышать», что означает – обладать хорошей паропроницаемостью. Однако паропроницаемость абсолютно всех вспененных утеплительных материалов, применяемых в строительстве на порядок меньше, чем минераловатных и стекловолоконных утеплителей. Например, коэффициент паропропускания пенополиуретана и пенополистирола равен приблизительно 0,05 мг/мчПа, в то время как у минераловатных изделий – 0,4–0,6 мг/мчПа. Поэтому, как показывают результаты исследований, проведенные франкфуртским Институтом строительной физики и ганноверским Институтом строительной техники, применение в качестве утеплителя пенополистирольных плит уменьшает диффузию водяного пара через наружные стены в среднем на 55–57% [28, 29].

Технический университет в Хельсинки проводил мониторинг параметров микроклимата в Санкт-петербургских домах, утепленных пенополистиролом. В этих домах старые, традиционные окна советского изготовления были заменены новыми, современными со стеклопакетами и вентиляционными клапанами, была восстановлена вентиляция, установлена система управления температурой теплоносителя. Однако в первую же зиму относительная влажность воздуха в 70% квартир достигла 80% при температуре воздуха 18°C, а такие условия являются весьма благоприятными для развития грибков [28, 29].

Долговечность теплоизоляционных материалов является предметом изучения свойств многих теплоизоляционных материалов, в том числе и пенополистирола. В НИИ Строительной Физики (Москва) в лаборатории профессора А. И. Ананьева были проведены исследования покрытия подземного торгового комплекса на Манежной площади в Москве. В результате вскрытия покрытия выявлено разрушение пенополистирольных плит, на которых в процессе эксплуатации образовались значительные раковины и трещины. В результате деструкционных процессов толщина



некоторых плит уменьшилась на 80–14 мм, при этом плотность пенополистирола в зоне самой тонкой части увеличилась более чем в четыре раза – до 120 кг/м<sup>3</sup>. В зоне максимальной деструкции пенополистирольных плит приведенное сопротивление теплопередаче теплоизоляционного слоя покрытия снизилось более чем в 8 раз по сравнению проектным значением (2,7 м<sup>2</sup>·°C/Вт) и в процессе эксплуатации стало составлять 0,32 м<sup>2</sup>·°C/Вт. В результате проведенных исследований выявлено, что причиной деструкции пенополистирольных плит являются нарушения технологии производства работ при проектировании и отсутствие учета ряда физических и химических особенностей пенополистирола. Данная лаборатория проводила еще дополнительные исследования беспрессового пенополистирола, находящегося в условиях эксплуатации наружных ограждающих конструкций зданий. В результате исследования выявлено увеличение (0,047–0,05 Вт/(м·°C)) теплопроводности утеплителя [28].

Полученные результаты в НИИ Строительной Физики (Москва) подтверждаются исследованиями, проведенные Нижегородским государственным архитектурно-строительным университетом. По данным Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета выявлено, что величина приведенного значения сопротивления теплопередаче наружных стен, утепленных беспрессовым пенополистиролом, уменьшилась в среднем на 49–59% [28].

Заведующий лабораторией российского НИИ строительной физики, доктор технических наук Александр Ананьев и председатель правления Российского общества инженеров строительства (РОИС), доктор технических наук Олег Лобов зафиксировали случаи, когда за семь-десять лет эксплуатации конструкций втрое снизилась способность пенополистирола держать тепло. Прежде всего, это связано с процессом естественного разрушения пенополистирола. Также пенополистирол разрушается под действием летучих углеводородных соединений (они появляются, когда фасад красят или покрывают гидроизоляцией) [28].

В результате проведенных исследований ВНИИстройполимер выявлено, что в процессе эксплуатации более эффективен экструзионный пенополистирол, долговечность которого составляет 50 лет при условии применения в земляном полотне (подстилка дорожному покрытию) и утепления подвальных помещений. Результаты проведенных исследований подтверждают данные полученные Белорусским национальным техническим университетом. В качестве объектов исследования были выбраны сооружения построенные в 1976 г. сооружения в которых качестве теплоизоляционного материала ограждающих конструкциях был использован экструзионный пенополистирол. На основании проведенных исследований выявлено, что взятый для исследования утеплитель находится в превосходном состоянии. На Западе экструзионный пенополистирол применяется в качестве утеплителя в основном под дорожным полотном автомагистралей или искусственных водоемов, т.е. расположенного в земле там, где не подвергается воздействию водяного пара [28].

Строительные материалы, получаемые на основе полистирола, является не безопасными для окружающей среды, поскольку выделяют вредные вещества. Данный факт обусловлен тем, что процесс полимеризации полистирола происходит только на 97–98%. Под влиянием факторов внешней среды (света, кислорода, озона, воды, механических и ионизирующих воздействий, тепла) происходит разрушение полистирола, и процесс полимеризации становится обратимым. В результате данного процесса происходит проникновение свободного стирола в помещения [28].

Стирол вызывает раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей, головную боль, расстройство центральной и вегетативной нервной системы. Предельно допустимая концентрация - 5 мг/м<sup>33</sup> (линейная концепция) и 0,002 мг/м (предельная концепция) [28].

Стирол отрицательно воздействует на кровь человека, вызывая лейкоз, отрицательно действует на печень, может вызвать токсический гепатит [28, 29].

Токсичность полистерола и пенополистерола обусловлена тем, что при эксплуатации данные полимеры подвержены процессу деполимеризации. И в условиях эксплуатации находится в термодинамическом равновесии со своим высокотоксичным мономером – стиролом:  $PC_n = PC_{n-1} + C$  [28, 29].

Термодинамическое равновесие полистирола под воздействием факторов окружающей среды может сдвигаться вправо, что в свою очередь приводит к выделению стирола в окружающую среду. Концентрация стирола в полистироле напрямую зависит от температуры, поскольку при повышении температуры происходит увеличение концентрации стирола. Выявлено, что при температуре 25°C концентрация стирола в полистироле составляет 10,6 Кмоль/м<sup>3</sup>, что превышает ПДК [28, 29].

Белорусскими учеными проведены исследования, в результате которых выявлено, что при комнатной температуре образцы систем утепления с тонкослойными штукатурками и теплоизоляцией из пенополистирола отечественного производства выделяют стирол и превышение ПДК составляет в 3,7–10,1 раза, при 80 °C установлено 169-кратное превышение [28, 29].

Кроме того, стирол обладает ещё одним опаснейшим свойством – высоким коэффициентом кумулятивности (накапливаемости), то есть ярко выраженной способностью накапливаться (концентрироваться) в организме человека. В доказательство приведём таблицу коэффициентов кумулятивности ряда вредных веществ выделяющихся из полимерных строительных материалов [28, 29].

Коэффициенты кумулятивности ряда вредных веществ:

Оксид углерода	0,1195
Диоксид азота	0,1760
Фенол	0,2815
Формальдегид	0,5750
Бензол	0,6330

Таким образом, даже при содержании стирола в воздухе помещений на уровне ПДК ( $0,002 \text{ мг/м}^3$ ) он будет оказывать сильное токсическое действие на организм человека за счёт кумуляции (накопления) [28, 29].

Пенопласт подвергается выветриванию, при котором в малых концентрациях возникают газосодержащие смеси. Воздействие на организм человека данных смесей приводит к развитию алиментарно-зависимых заболеваний [28, 29].

Член-корреспондент Российской академии наук Борис Гусев и его коллеги обнаружили, что за период эксплуатации разлагается до 10–15% пенополистирола, притом разложившаяся часть – на 65% стирол. Стирол обладает повышенными кумулятивными свойствами, накапливается в печени, и практически не выводится из организма человека. Поэтому необходимо уменьшить ПДК стирола в жилых помещениях в 600 раз или вообще запретить использовать утеплитель из пенополистерола в жилых и общественных зданиях [28, 29].

На основании выше сказанного можно сделать вывод, что для создания комфортного и здорового микроклимата на предприятии общественного питания наружные стены должны быть изготовлены из минераловатных и стекловолоконных утеплителей.

#### **1.4 Цементно-минеральные плиты AQUAPANEL**

Аквапанель - это цементная плита используется во внутренней и в наружной отделке. Аквапанель – влагостойкий строительный материал на основе портландцемента и легкого минерального заполнителя, поверхности плиты (тыльная и лицевая) армированы стеклосеткой [18, 19].

Во внутреннем применении аквапанель (цементная плита) универсальная используется в качестве основания под плитку для отделки

стен, криволинейных перегородок и арок, подвесных потолков, дверных и оконных откосов, шахт инженерных коммуникаций, обшивки печей, каминов и подоконников и др., для стен высотой до 2750 мм и весом плитки до 25 кг/м<sup>2</sup> [18, 19].

В наружных конструкциях применение аквапанелей (цементных плит) разнообразно. В частности [18, 19]:

1. В зданиях на стальном и деревянном каркасе как основа для нанесения финишного покрытия совместно с ОСП, которое является силовой обшивкой.
2. Применяется для небольших участков, например, для обшивки балок или систем воздуховода, вертикальных поясов, подшивки свесов крыш, элементов кондиционирования или в аналогичных областях. Соответствующее финишное покрытие для нанесения поверх аквапанелей подбирается в зависимости от условий эксплуатации (например, декоративная штукатурка) [18, 19].

Аквапанель предоставляет все преимущества технологии «сухого» строительства. Края плиты имеют квадратную форму; торцевые кромки дополнительно армированы стекловолокном (технология EasyEdgeR). Тонкая и чрезвычайно легкая плита обеспечивает надежную основу под финишную отделку в конструкциях фасадов и интерьеров. Материал просто монтировать. Плита негорючая: группа горючести НГ [18, 19].

Цементно-минеральные плиты AQUAPANEL имеет ряд преимуществ по сравнению с другими строительными материалами [18, 19]:

- Экологически чистый не горючий материал. Все материалы экологически чистые, сертифицированные. Трудно возгораемый класс 90 % составляющих компонентов имеет класс пожаро-безопасности НГ (не горючий);
- Водонепроницаемый материал, 100 % водонепроницаемость;
- Паропроницаемый материал. Устойчив к образованию конденсата, 100 % не накапливает конденсат, предотвращает образование плесневого грибка;

- Высоко морозостойкий материал, морозоустойчивость более 75 циклов;
- Шумоизоляция до 85 дБ;
- Сейсмоустойчивость к нагрузкам (по шкале Рихтора) до 9-ти баллов;
- Срок эксплуатации до 150 лет;
- Не имеет посторонних запахов;
- Энергосбережение. Технология ECOSE Nobasil (не содержит фенолоформальдегидных и акриловых смол).

Аквапанели бывают следующих видов: цементная плита наружная, цементная плита внутренняя, цементная плита универсальная [18, 19].

Цементная плита наружная (аквапанель) – долговечный и прочный строительный материал [18, 19].

Аквапанель наружная имеет прямоугольную форму и состоит из сердечника на основе портландцемента и легкого минерального заполнителя. Поверхности плиты (тыльная и лицевая) армированы стеклосеткой. Торцевые кромки плиты дополнительно армированы стекловолокном (технология EasyEdge). Плита гнется с радиусом кривизны от 1 м, что позволяет применять материал на криволинейных поверхностях [18, 19].

Материал предоставляет все преимущества технологии «сухого строительства», его прочность сравнима с параметрами кирпичей и блоков [18, 19].

Аквапанель наружная обеспечивает прочную основу, которая выдерживает экстремальные погодные условия [18, 19].

Характеристики наружной аквапанели [18, 19]:

- Абсолютная влагостойкость – материал не разбухает и не крошится;
- Устойчивость к грибку и плесени;
- Прочность, аналогичная кирпичу и бетону с сопоставимыми физическими параметрами;
- Стойкость к агрессивному химическому воздействию;
- Ударопрочность и устойчивость к деформациям;

- Высокие пожарно-технические характеристики, группа горючести НГ;
- Состав плиты: портландцемент;
- Технология EasyEdge – специальные противоударные края с обеих сторон плиты;
- Морозостойкость;
- Простая обработка плиты – требуется только надломить и надрезать;
- Простой и быстрый монтаж, не требуется применение специального инструмента;
- Исключение трудоемких процессов обработки поверхностей;
- Возможность создания криволинейных поверхностей (с радиусом сгиба до 1 м) и куполообразных форм (выпуклых и вогнутых);
- Экологически чистый материал без вредных примесей.

Технические характеристики наружной аквапанели [18, 19]:

Ширина (мм)	900 / 1200
Длина (мм)	1200 / 2400 / 900 / 2000 / 2400 / 2500 / 2800 / 3000
Толщина (мм)	12,5
Мин. радиус изгиба для плиты шириной 900/1200 мм (м)	3
Мин. радиус изгиба для полос из плит шириной 300 мм (м)	1
Масса 1 м <sup>2</sup> плиты (кг/м <sup>2</sup> )	Около 16
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	1100–1200
Предел прочности при изгибе (МПа)	≥ 10,0
Морозостойкость (циклы)	≥ 75
Показатель кислотности (pH)	12
Модуль упругости (МПа)	Не менее 4000
Теплопроводность (Вт/(мК))	0,35
Тепловое расширение (10 <sup>-6</sup> /К) при интервале	

температур	
–50... +20 °С	9,33
–50... +20 °С	9,33
+20... +40 °С	7,67
+20... +80 °С	3,37
Сопротивление паропроницанию (μ)	66
Изменение длины от сухого до насыщения водой (%)	0,2
Прочность сцепления плит с базовым штукатурным слоем (МПа)	≥ 0,75
Группа горючести	НГ
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Бк)	Не более 370

Наружная аквапанель применяется в строительных конструкциях при возведении наружных стен зданий [18, 19]:

- в каркасно-панельном деревянном домостроении;
- в зданиях на стальном каркасе;
- в монолитно-каркасном домостроении;
- в навесных вентилируемых фасадах.

Цементная плита внутренняя (аквапанель) – прочный и долговечный строительный материал, используемый в качестве основания под любую финишную отделку внутри помещения [18, 19].

Аквапанель внутренняя имеет прямоугольную форму и состоит из сердечника на основе портландцемента и легкого минерального заполнителя. Поверхности плиты (тыльная и лицевая) армированы стеклосеткой. Торцевые кромки дополнительно армированы стекловолокном (технология EasyEdge). Благодаря армирующей стеклосетке Аквапанель внутренняя может гнуться в сухом виде без предварительного увлажнения с радиусом кривизны от 1 м, что позволяет применять материал на криволинейных поверхностях [18, 19].



Плита абсолютно влагостойкая и устойчива к появлению плесени и грибка [18, 19].

Характеристика внутренней аквапанели [18, 19]:

- Абсолютная влагостойкость без разбухания и крошения;
- Устойчивость к грибку и плесени;
- Прочность, аналогичная кирпичу и бетону с сопоставимыми физическими параметрами;
- Стойкость к агрессивному химическому воздействию;
- Ударопрочность и устойчивость к деформациям;
- Не требуется дополнительной герметизации поверхности;
- Негорючий материал;
- Технология EasyEdge – специальные противоударные края с обеих сторон плиты;
- Для облицовки керамической плиткой (30x60 см) достаточно одного слоя обшивки;
- Технологичность в обработке;
- Простой и быстрый монтаж, не требуется применения специального инструмента;
- Исключаются трудоемкие процессы обработки поверхностей;
- Возможность создания криволинейных поверхностей (с радиусом сгиба до 1 м) и куполообразных форм (выпуклых и вогнутых);
- При производстве цементной плиты аквапанель внутренняя используются экологически чистые материалы без вредных примесей.

Технические характеристики внутренней аквапанели [18, 19]:

Ширина (мм)	900 / 1200
Длина (мм)	1200 / 2400 / 900 / 2000 /2400 /2500 / 2800 / 3000
Толщина (мм)	12,5
Мин. радиус изгиба (м) для плиты шириной 3	

900 мм

Мин. радиус изгиба (м) для полос из плит шириной 300 мм	1
Масса 1 м <sup>2</sup> плиты (кг/м <sup>2</sup> )	Около 15
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Около 1050
Предел прочности при изгибе (МПа)	≥ 6,9
Показатель кислотности (рН)	12
Модуль упругости (МПа)	Не менее 2500
Теплопроводность (Вт/(м·К))	0,27
Сопrotивление паропроницанию (μ)	50
Изменение длины от сухого до насыщения водой (%)	0,2
Группа горючести	НГ

Аквапанель внутренняя используется при устройстве [18, 19]:

- зон вокруг бассейнов в частном и общественном секторах;
- отделке кухонь и зон, где производится ежедневная влажная уборка;
- ванных комнат и душевых;
- автомобильных моек;
- прачечных;
- гаражей, подвалов и других неотапливаемых помещений.

Цементная плита универсальная (аквапанель) – прочный и долговечный универсальный строительный материал, предназначенный для использования в качестве основания под любую финишную отделку стен и потолков, особенно в помещениях с высокой влажностью [18, 19].

Материал применяется в качестве основания под штукатурку и керамическую плитку. Плиты аквапанель универсальная служат надежной защитой от атмосферных воздействий [18, 19].

Аквапанель цементная плита имеет прямоугольную форму и состоит из сердечника на основе портландцемента и легкого минерального заполнителя, поверхности которой армированы стеклосеткой. Торцевые кромки плиты

дополнительно армированы стекловолокном – технология EasyEdge. Благодаря армирующей стеклосетке, плита может гнуться в сухом виде, без предварительного увлажнения, с радиусом кривизны от 1 м., что позволяет применять материал для создания криволинейных поверхностей [18, 19].

Характеристика аквапанелей универсальных [18, 19]:

- Абсолютная влагостойкость, без разбухания и крошения;
- Устойчивость к поражению грибком и плесенью;
- Универсальность материала – один продукт для внутреннего и наружного применения;
- Фасады: надежная защита от атмосферных воздействий;
- Фасады: основание под штукатурку и керамическую плитку;
- Простой и быстрый монтаж, не требуется применение специального инструмента;
- Исключение трудоемких процессов обработки поверхностей;
- Долговечность;
- Не требуется дополнительной герметизации поверхности;
- Негорючий материал;
- Технология EasyEdge – специальные противоударные края с обеих сторон плиты;
- Впечатляющий дизайн: криволинейные поверхности и любая финишная отделка;
- Экологически чистый материал без вредных примесей.

Области применения аквапанелей универсальных [18, 19]:

#### 1. Интерьеры:

- Обшивка стен и потолков в подвалах и на цокольных этажах (в технических помещениях)
- Потолки в неотапливаемых помещениях
- Подвесные потолки
- Мокрые зоны под облицовку плиткой
- Выравнивание и облицовка стен под любую финишную отделку

- Отделка подиума для ванной и раковины
- «Влагостойкие» потолки, сохраняющие геометрию при аварийных протечках

- Обшивка каминов и печей

## 2. Фасады:

- Обшивка наружных стен
- Обшивка парапетов, свесов крыш
- Обшивка дымоходов
- Обшивка балконов
- Каркасные стены
- Отделка оконных откосов

### **1.5 Материалы с изменяющимся фазовым составом**

В настоящее время одной из перспективных возможностей повышения энергоэффективности зданий и сооружений является использование тепловой массы. Данное явление позволяет аккумулировать тепло в материале с высокой теплоемкостью (например, бетона и кирпича) и использовать данное накопленное тепло при более низких температурах в течение суток. Использование данной технологии позволяет стабилизировать температуру в помещении. Сохранять тепло позволяет сам материал, из которого построено здание в частности, как внешние ограждающие конструкции, так и внутренние. В зависимости от местоположения ограждающих конструкций, можно выделить два вида тепловой массы [33]:

- внешние тепловые массы (прямому воздействию окружающей среды (изменениям температуры) подвержены наружные ограждающие конструкции стены и крыши);
- внутренние тепловые массы (внутренние ограждающие конструкции).

Тепловая масса влияет на внутреннюю температуру окружающей среды за счет снижения пиковой нагрузки на отопление и/или охлаждение, путем перемещения тепловой волны между внутренней и наружной температурой. Данное явление можно охарактеризовать по следующим параметрам:

- коэффициент затухания – это внутренняя стабилизация температуры материала, за счет медленного излучения тепла посредством теплопроводности и конвекции, и сокращение внутреннего перепада температур;
- задержка во времени при равных внешних и внутренних температурах: задержка по времени между внешней максимальной или минимальной температурой и внутренней максимальной или минимальной температурой соответственно.

Использование тепловой массы здания влияет не только на интенсивность теплового потока, но и его изменения во времени. Резистивная тепловая изоляция немедленно реагирует на перепады температур, держит в заданных пределах интенсивность потока тепла, теплоемкость материалов зависит от их физических свойств [33].

Параметры, влияющие на производительность тепловой массы

Количество теплоты, передаваемое в окружающую среду и производительность тепловой массы, зависит от различных факторов и условий. Для получения оптимальной производительности очень важно понять, какие параметры влияют на эффективность тепловой массы, а также существующие отношения между ними [33].

Одним из перспективных направлений применения тепловой массы являются использование в строительстве материалов с изменяющимся фазовым составом [33].

С доисторических времен в качестве строительных материалов для возведения зданий и сооружений использовали камень или кирпич. Данные традиционные строительные материалы имеют ряд недостатков, таких как:

высокая стоимость, избыточная масса и нежелательные отклонения температуры во время и после длительных периодов высокой и низкой температуры окружающей среды. Для решения проблемы связанной с перепадами температуру окружающей среды начали, изучение другой системы аккумулирования тепла только после Второй Мировой войны, на основе концепции скрытого хранения теплоты в зданиях за счет использования материалов с изменяющимся фазовым составом [33].

Когда тепло подается к объекту, его температура увеличивается. Если это материала с изменяющимся фазовым составом, то первоначально происходит поглощение теплоты от объекта до преобразования материала с изменяющимся фазовым составом из твердого состояния в жидкое. В отличие от традиционного строительных материалов, такого как кирпичная кладка, горные породы или вода, материалы с изменяющимся фазовым составом и могут хранить гораздо больше тепла на единицу объема, и аккумулирование тепла и его восстановление происходит изотермически, данные процессы делают их идеальными для отопления помещений и охлаждения. Поэтому эти материалы используется для хранения и высвобождения энергии в сочетании с низким уровнем температурного диапазона: передача тепловой энергии происходит, когда материалы переходят из твердого состояния в жидкое, или наоборот, с температурой плавления, которая колеблется между 20 и 32°C, в зависимости от материала [33].

Для того, чтобы выбрать лучшие материалы с изменяющимся фазовым составом для использования в строительных конструкциях, необходимо определить его влияние с учетом запаздывания и уменьшения коэффициента по сравнению с внешней температурой [33].

Разницу можно увидеть по изменению температуры внутренней поверхности стены. В то время как для стеновых материалов с постоянными теплофизическими свойствами изменение температуры внутренней поверхности линейные и зависят от температуры наружного воздуха, т. к.

передача тепла и граничные условия описываются линейным уравнением, использование материала с изменяющимся фазовым составом предполагает нелинейное изменение температуры внутренней поверхности. Поскольку уравнение описывающее передачу тепла зависит от теплоемкости материала с изменяющимся фазовым составом, которая меняется с температурой [33].

Для успешного применения материалов с изменяющимся фазовым составом в конструкциях здания, необходимо учитывать два наиболее важных параметра: значение теплоты плавления и температуры плавления. Теплота плавления определяется как количество тепловой энергии, которое должно быть поглощено для 1 моля вещества или которое позволило изменить состояние материала из твердого в жидкое или наоборот. Температура, при которой это происходит, называется температурой плавления. Так что при увеличении теплоты плавления, теплоемкость стены увеличивается, и ее внутренняя температура поверхности остается при комфортной температуре весь день. Температура плавления является ключевым фактором и должна быть в диапазоне комфортной температуры. Для данного здания с учетом климатических условий, если температура плавления слишком высокая, количество солнечной энергии поглощённой материалом с изменяющимся фазовым составом окажется слишком незначительной, в дневное время, а если температура плавления слишком низкая, то трудно поддерживать в помещении температуру воздуха на комфортном уровне в течение ночи [33].

Точное значение температуры плавления должны быть выбраны в соответствии с природно-климатическими условиями и микроклиматом внутри здания. Много исследований было проведено по определению идеального сочетания температуры в различных типах зданий, и все согласны, что идеальная температура плавления должна быть несколько выше, чем средняя температура комфорта, около 22-25 °C [33].

Различные материалы с изменяющимся фазовым составом исследованы и апробированы. Материалы с изменяющимся фазовым составом могут быть разделены на три группы [33]:

1. Неорганические материалы с изменяющимся фазовым составом. К неорганическим материалам относятся соли, гидраты. Они имеют отличные свойства, такие как высокая скрытая теплота, на единицу массы и объема, высокой теплопроводностью, негорючие, недорогие и легкодоступные.

Их основные недостатки, особенно соли, гидраты и металлы, являются стойкими к расслоению, охлаждению, коррозии, несовместимы с некоторыми компонентами строительных материалов, которые должны входить в их состав, с целью обеспечения заданных структурно-механических показателей строительных материалов.

2. Органические материалы с изменяющимся фазовым составом. К данной группе относятся парафины и непарафины. Их теплоаккумулирующая способность ниже, чем у неорганических соединений, но они являются химически стабильными. Основными недостатками данных соединений является переохладение и сегрегация, но при этом они с различными строительными материалами. Хотя первоначальная стоимость органических материалов превышает неорганические материалы. Их основными недостатками являются горючесть и дымообразование, изменение объема при переходе и низкая теплопроводность. Кроме того, некоторые из них реагируют с продуктами гидратации в бетоне.

3. Эвтектические. Они представляют собой смеси неорганических и органических материалов для получения желаемой точки плавления. Смесь имеет более низкую точку плавления, чем отдельные материалы.

Существуют три наиболее перспективных методов ведения материалов с изменяющимся фазовым составом в строительные материалы: прямое включение, погружение и инкапсуляция [33]:

1. Прямое включение. Данный метод заключается в добавлении жидких или порошкообразных материалов с изменяющимся фазовым составом в



строительные материалы, такие как гипс и бетон в процессе производства; это самый экономичный способ, поскольку не требует дополнительного технологического оборудования.

2. Погружение. Этот метод состоит в пропитки пористых строительных материалов в горячими расплавленными материалами с изменяющимся фазовым составом, так что материалы с изменяющимся фазовым составом впитывается в поры под действием капиллярных сил; когда материал снимается и охлаждается, материалы с изменяющимся фазовым составом остается в порах. Большое преимущество этого метода заключается в том, что обычные строительные материалы могут быть преобразованы в материалы с изменяющимся фазовым составом в любом месте и в любое время.

3. Инкапсуляция. В качестве альтернативы материалов с изменяющимся фазовым составом могут быть заявлены до начала работы. Существуют два основных метода: макро- и микроинкапсулирование.

В макроинкапсуляции методом упаковывающем материалы с изменяющимся фазовым составом в мешки, панелей или другие контейнеры, которые могут служить непосредственно в качестве теплообменников или они могут быть вовлечены в создание продуктов. Недостатком данного способа является то, что эти пакеты должны быть защищены от разрушения и требуют гораздо больше трудоемкости, чтобы быть интегрированы в конструкцию здания, что делает установку более дорогой [33].

В микроинкапсуляции мелкие, шаровидные или палочковидные частицы заключены в тонкий высокий молекулярный вес полимерной пленки, совместимые со строительными материалами. Поэтому он легко наносится и имеет хорошую теплоотдачу за счет увеличенной площади теплообмена; он не нуждается в защите от разрушения, но может влиять на механическую прочность структуры [33].

На основании выше сказанного можно сделать вывод, что многочисленные исследования и тесты показали, что применение материалов

с изменяющимся фазовым составом имеет большое значение и энергетические преимущества в любое время года: использование стен, полов и потолков с материалами с изменяющимся фазовым составом смены отопления и пиковая нагрузка охлаждения. Снижает в помещении колебания температуры, улучшает тепловой комфорт [33].

Впрочем, многое еще нужно сделать, чтобы научиться применять эти понятия в надежный и практичный способ: эти материалы, как уже упоминалось выше, имеют недостатки, которые не позволяют их практического использования, такие, как химическая нестабильность, расслоение, коррозия, огнестойкость и так далее.

## Заключение по 1 главе

В первой главе диссертационного исследования проведен анализ существующих строительных материалов и рассмотрена возможность использования их при возведении столовых для работников вахтовых поселков с учетом нормативно-технической документации регламентирующей технологическое проектирование организаций общественного питания

В настоящее время производители современных строительных материалов предполагает для возведения столовых вахтовых поселков используют материалы, сочетающие теплоэффективные свойства с возможностью быстрого монтажа конструкций непосредственно на строительной площадке. К данному виду материалов относятся трехслойные сэндвич-панели. Трехслойные сэндвич-панели являются элементами полной заводской готовности и не требуют дополнительной отделки. Чаще всего здания, в строительстве которых применяются сэндвич-панели, располагаются в зонах сухой и нормальной влажности. По типу изоляционного материала панели делятся на марки MW, SP, XPS, PU, PIR: MW – плиты минераловатные; SP – пенополистирол вспененный; XPS – пенополистирол экструдированный; PU – пенополиуретан; PIR – пенополиизоцианурат. Для создания комфортного и здорового микроклимата на предприятии общественного питания наружные стены должны быть изготовлены из минераловатных и стекловолоконных утеплителей. Использование аквапанелей в климатических условиях Крайнего Севера не допустимо, поскольку сочетание аквапанелей и минераловатного утеплителя позволяет получить паропроницаемую ограждающую конструкцию. Наиболее оптимальным вариантом внешней ограждающей конструкции для столовой вахтового поселка может стать сэндвич-панель состоящая из следующих элементов: металл – минераловатный утеплитель – металл.

## 2 Объекты и методы исследований

Вахтовые посёлки строятся при месторождениях полезных ископаемых, когда не может быть обеспечено ежедневное возвращение работников к месту их постоянного проживания. Вахтовый посёлок представляет собой населённый пункт, состоящий из зданий и сооружений, предназначенных для проживания работников, занятых в работе по добыче полезных ископаемых с организацией труда вахтовым методом. Месторождения горючих полезных ископаемых Красноярского края представлены на рисунке 2.1.

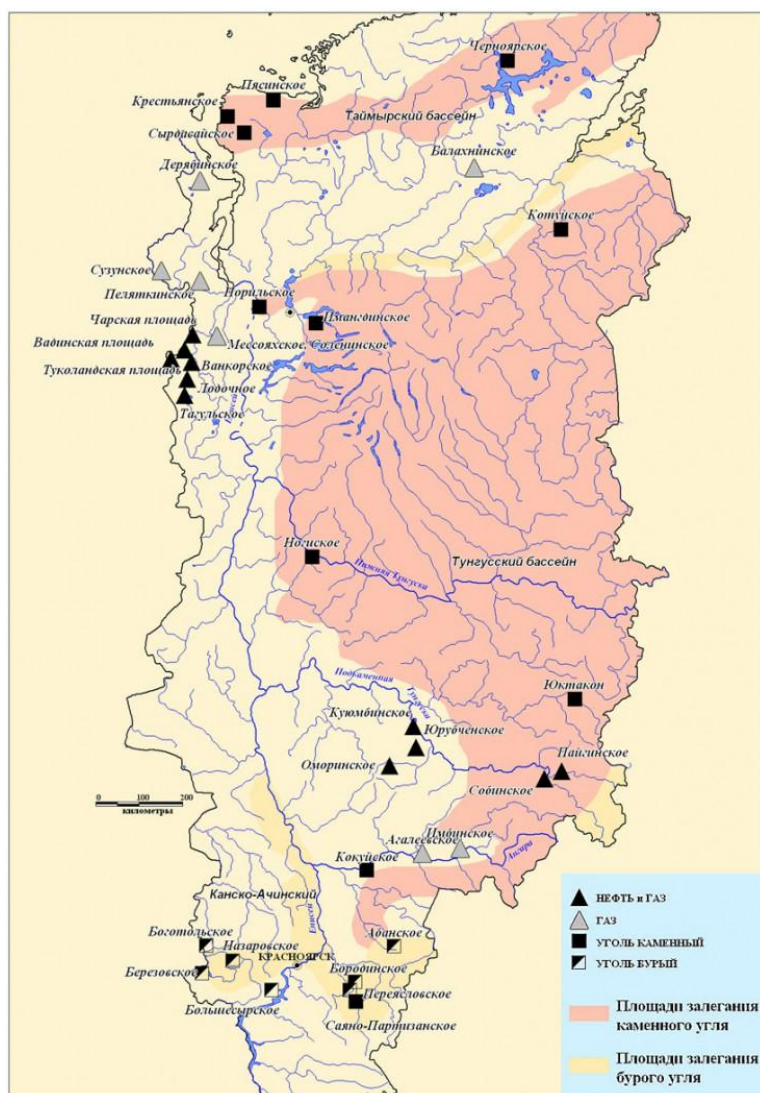


Рисунок 2.1 – Месторождения горючих полезных ископаемых Красноярского края

В настоящее время наиболее интенсивно развивающейся отраслью экономики является нефтегазовая отрасль. Самым северным районом залегания нефти и газа в Красноярском крае является район г. Игарки, поэтому в качестве предполагаемого района строительства столовой вахтового поселка был выбран район г. Игарки. В районе г. Игарки находятся следующие месторождения нефти и газа: Тагульское, Лодочное, Ванкорское, Туколандская площадь, Вадинская площадь, Чарская площадь. Температура воздуха наиболее холодных суток в районе г. Игарки составляет минус 52 °С, а наиболее холодной пятидневки – минус 49 °С.

Для достижения цели работы и решения поставленных задач определены объекты и методы исследования.

## **2.1 Объекты исследований**

В качестве объектов исследования на различных этапах работы выступали:

- узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к двутавровой колонне;
- узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к железобетонной колонне;
- наружный угловой узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к двутавровой колонне;
- узел крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к двутавровой колонне;
- узел крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к железобетонной колонне;
- наружный угловой узел крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к двутавровой колонне.

Узлы креплений были взяты из альбома технических решений одного из крупнейших производителей трехслойных сэндвич-панелей в России на основе базальтового волокна группа компаний «Маяк». Данный альбом содержит информацию о трехслойных конструкционных сэндвич-панелях, материалы и рабочие чертежи для проектирования конструкций из сэндвич-панелей. Трехслойные панели выпускаются согласно ТУ 5284-001-63280288-2010. Сэндвич-панели производства группы компаний «Маяк» представляют собой трехслойную конструкцию, состоящую из двух листов металла, между которыми расположена теплоизоляционная прослойка. Металл крепится к утеплителю с помощью двухкомпонентного клея. Габаритные размеры сэндвич-панелей (мм): длина – 1500-13400; ширина – 1000, 1190, толщина – 250. Для анализа были выбраны сэндвич-панели максимальной толщиной 250 мм. Комплексная схема организации работы представлена на рисунке 2.1.

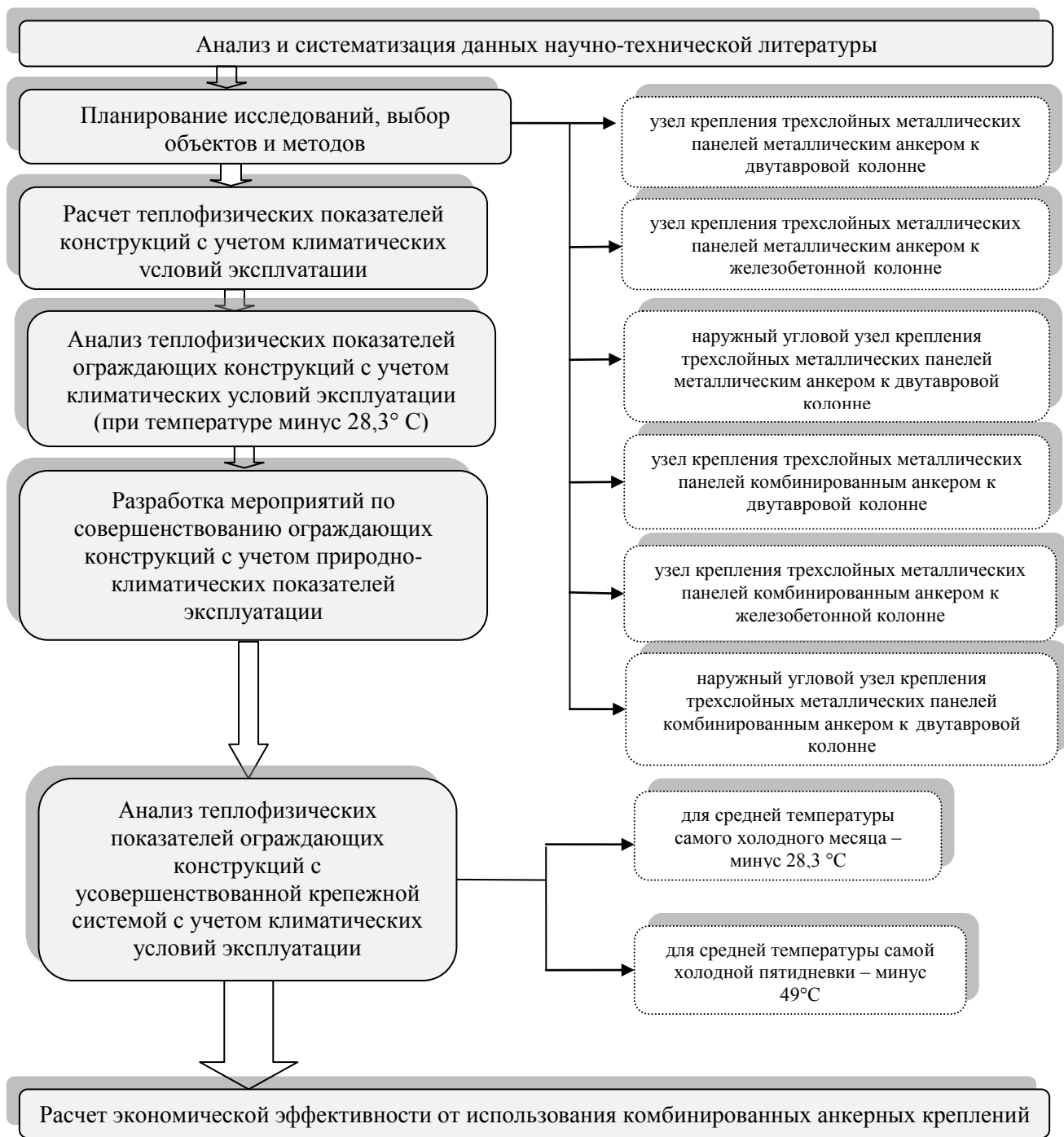


Рисунок 2.1 – Комплексная схема организации работы

## 2.2 Методы исследований

В работе при выполнении исследований использовались стандартные общепринятые методики по изучению теплофизических показателей ограждающих конструкций.

Парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре, °С от минус 40 до плюс 45 °С, определяется по формуле [41]:

$$E = 1.84 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(\frac{-5330}{273.15 + t}\right), \quad (2.1)$$

где  $t$  – температура, °С.

Температура точки росы определяется по формуле:

$$T_p = \frac{b \cdot f(T, Rh)}{a - f(T, Rh)}, \quad (2.2)$$

$$f(T, Rh) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{Rh}{100}\right), \quad (2.3)$$

где  $a = 17,27$ ;

$b = 237,7$ ;

$T$  – температура внутри помещения в течение года, °С;

$RH$  – относительная влажность, %;

$Ln$  – натуральный логарифм.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции [41]

Расчет основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент. Удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через



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

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания  $R_0^{np}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, следует определять по формуле:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{усл}} + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (2.4)$$

где  $R_0^{усл}$  – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C$ /Вт;

$l_j$  – протяженность линейной неоднородности  $j$ -го вида, приходящаяся на 1 м фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м/ $m^2$ ;

$\psi_j$  – удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $j$ -го вида, Вт/( $m \cdot ^\circ C$ );

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

$\chi_k$  – удельные потери теплоты через точечную неоднородность  $k$ -го вида, Вт/ $^\circ C$ ;

$a_i$  – площадь плоского элемента конструкции  $i$ -го вида, приходящаяся на 1  $m^2$  фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м/ $m^2$ ;

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, \quad (2.5)$$

где  $a_i$  – площадь  $i$ -той части фрагмента, м;

$U_i$ - коэффициент теплопередачи однородной  $i$ -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент  $i$ -го вида), Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

$$U_i = \frac{1}{R_{0,j}^{усл}} , \quad (2.6)$$

Коэффициент теплотехнической однородности,  $r$ , вспомогательная величина, характеризующая эффективность утепления конструкции, определяется по формуле:

$$r = \frac{R_0^{пр}}{R_0^{усл}} , \quad (2.7)$$

Величина  $R_0^{усл}$  определяется осреднением по площади значений условных сопротивлений теплопередаче всех частей фрагмента теплозащитной оболочки здания:

$$R_0^{усл} = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{R_{0,j}^{усл}}} = \frac{1}{\sum a_i U_i} , \quad (2.8)$$

где  $R_{0,j}^{усл}$  – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания  $i$ -го вида, м<sup>2</sup>·°C/Вт, которое определяется либо экспериментально либо расчетом по формуле:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_{н}} , \quad (2.8)$$

где  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый согласно таблице 4 СП 50.13330.2012;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый согласно таблице 6 СП 50.13330.2012;

$R_s$  – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт, определяемое для неветилируемых воздушных прослоек по таблице Е.1 СП 50.13330.2012, для материальных слоев по формуле:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (2.9)$$

$\delta_s$  – толщина слоя, м;

$\lambda_s$  – теплопроводность материала слоя, Вт/(м·°C), принимаемая по результатам испытаний в аккредитованной лаборатории; при отсутствии таких данных оно оценивается по приложению С (СП 50.13330.2012).

Удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность определяются по результатам расчета двумерного температурного поля узла конструкций при температуре внутреннего воздуха  $t_b$  и температуре наружного воздуха  $t_n$ :

$$\psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_b - t_n}, \quad (2.10)$$

где  $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °C;

$\Delta Q_j^L$  – дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность  $j$ -го вида, приходящиеся на 1 пог.м, Вт/м, определяемые по формуле :

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_{j,1} - Q_{j,2}, \quad (2.11)$$

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

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

$$Q_{j,1} = \frac{t_B - t_H}{R_{0,j,1} \cdot 1M} S_{j,1}, Q_{j,2} = \frac{t_B - t_H}{R_{0,j,2} \cdot 1M} S_{j,2}, \quad (2.12)$$

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

При этом величина  $S_{j,1} + S_{j,2}$  равна площади расчетной области при расчете температурного поля.

$\psi_j$  – удельные линейные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность  $j$ -го вида, Вт/(м·°C).

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

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H}, \quad (2.13)$$

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

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \bar{Q}_k, \quad (2.14)$$

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

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

Результатом расчета температурного поля узла конструкции является распределение температур в сечении узла, в том числе по внутренней и наружной поверхностям.

Поток теплоты через внутреннюю поверхность узла определяется по формуле:

$$Q_{\text{в}} = \alpha_{\text{в}} S_{\text{в}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}^{\text{ср}}) , \quad (2.15)$$

Поток теплоты через наружную поверхность узла определяется по формуле:

$$Q_{\text{н}} = \alpha_{\text{н}} S_{\text{н}} (t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\text{ср}}) , \quad (2.16)$$

$t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{н}}$  – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С;

$\tau_{\text{в}}^{\text{ср}}$ ,  $\tau_{\text{н}}^{\text{ср}}$  – осредненные по площади температуры внутренней и наружной поверхностей узла ограждающей конструкции соответственно, °С;

$\alpha_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей узла конструкции соответственно, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$S_{\text{в}}$ ,  $S_{\text{н}}$  – площади внутренней и наружной поверхностей узла ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>.

#### Защита от переувлажнения ограждающих конструкций [41]

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса (осуществляемому по механизму паропрооницаемости).

Сопротивление паропрооницанию  $R_{\text{п}}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения, определяемой в соответствии с п. 8.5 СП

50.13330.2012) должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

а) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{n1}^{TP}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$R_{n1}^{TP} = \frac{(e_B - E)R_{п.н}}{E - e_H}, \quad (2.17)$$

б) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{n2}^{TP}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$R_{n2}^{TP} = \frac{0,0024z_0(e_B - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta W + \eta}, \quad (2.18)$$

где  $e_B$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности воздуха в помещении, определяемое по формуле:

$$R_{n2}^{TP} = (\varphi_B / 100) E_B, \quad (2.18)$$

где  $E_B$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения  $t_B$ ;

$\varphi_B$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %;

$R_{п.н}$  – сопротивление паропроницанию, (м·ч·Па)/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения;

$e_H$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, определяемое по СП 131.13330;

$z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами

наружного воздуха по СП 131.13330;

$E_0$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления согласно формуле 2.1;

$\rho_w$  – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м<sup>3</sup>;

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

$\Delta w$  – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, % по массе, за период влагонакопления  $Z_0$ , принимаемое по таблице 10 СП 50.13330.2012.

#### Уравнение теплопроводности

Основным законом, регулирующим теплопередачу, является первый закон термодинамики (или закон сохранения энергии). Однако, внутреннюю энергию (U) довольно неудобно измерять количество и использовать в моделировании. Основной закон обычно описывает распределение температуры (T). Для жидкости уравнение теплопроводности имеет следующий вид:

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \cdot T \right) = -(\nabla \cdot \mathbf{q}) + \tau : S - \frac{T}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \Big|_p \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \cdot \rho \right) + Q, \quad (2.19)$$

где  $\rho$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>);

$C_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении (Дж/(кг·К));

T – абсолютная температура (К);

U – вектор скорости (м/с);

Q – тепловой поток за счет теплопроводности (Вт/м<sup>2</sup>);

p – давление (Па);

$\tau$  – вязкий тензор напряжений (Па);

$S$  – тензор деформации скорости (1/с):

$$S = \frac{1}{2}(\nabla_{\mathbf{u}} + (\nabla_{\mathbf{u}})^T)$$

$Q$  не содержит источников тепловой энергии в отличие от объемной плотности теплового потока (Вт/м<sup>3</sup>)

Для вывода уравнения 2.19, были использованы ряд термодинамических соотношений. Уравнения также предполагают, что масса всегда сохраняется, что означает, что плотность и скорость должны быть связанными между собой:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

Общий режим применения теплоотдачи основывается на законе теплопроводности Фурье, который гласит, что  $q$  теплового потока пропорциональна градиенту температуры:

$$q_i = -k \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.20)$$

где  $k$  – теплопроводность (Вт/(м·К)). В твердом состоянии, теплопроводность может быть различной в разных направлениях. То  $k$  становится тензором.

$$k = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix}$$

кондуктивного теплового потока определяется

$$q_i = - \sum_j k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j}$$

Второе слагаемое в правой части уравнения 2.19 представляет собой нагрев вязкой жидкости. Аналогичный срок вытекает из внутреннего



вязкостного демпфирования твердого тела. “:” – это сокращение операции, а может в этом случае быть записан в следующей форме:

$$a : b = \sum_n \sum_m a_{nm} b_{nm} \quad (2.21)$$

Третье слагаемое представляет собой произведение давления и отвечает за нагрев жидкости при адиабатическом сжатии и некоторых термоакустических эффектах. Вообще это незначительно для низких потоков число Маха. Подобный термин может быть включен в счет термоупругого эффекта в твердых телах. Вводя уравнение 2.20 в уравнение 2.19, порядок условий следующий пренебречь вязкостью и рабочим давлением, тогда уравнения теплопроводности приобретает следующий вид:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q - \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T \quad (2.22)$$

Это уравнение определяет режим передачи тепла для температуры (T), когда конвективный теплообмен является активной, возможно обеспечить скорость (u) как математическое выражение независимых переменных или рассчитать в среде COMSOL Multiphysics с использованием импульс-перенос приложений, таких как несжимаемые уравнения Навье-Стокса или слабо сжимаемой жидкости. Если скорость установлена на ноль, можно получить уравнение, регулирующие чисто кондуктивный перенос тепла в твердом теле:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q$$

Уравнение теплопроводности можно разделить на два основных типа граничных условий: заданная температура и заданный тепловой поток. Типа Дирихле и устанавливает температуру на границе:

$$T = T_0 \quad \text{on } \partial\Omega$$

а второй определяет внутренний тепловой поток

$$-n \cdot q = q_0 \quad \text{on } \partial\Omega$$

где:  $Q$  – итоговый вектор теплового потока ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ),

$$q = -k\nabla T + \rho C_p u T$$

$N$  – это вектор нормали границы;

$q_0$  – внутренний тепловой поток ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), нормальная к границе.

Необходимо обратить внимание, что при конвективной передаче тепла, тепловой поток является активным, граничное условие смешанным, или Робин типа, граничное условие, а не только крайнее условие Неймана. Специальный случай  $q_0 = 0$  называется тепловой изоляции. Другим особым случаем является  $q_0 = -\rho C_p u T$ , что эквивалентно  $-n \cdot (-k\nabla T) = 0$ , который известен как конвективный поток. Это, как правило, соответствующее условие на границе оттока в модели с конвекцией. Если скорости равны нулю, тепловая изоляция и конвективный поток являются равноценными условиями. Внутренний тепловой поток ( $q_0$ ) обычно представляет собой сумму вкладов от различных процессов теплообмена. Можно разделить тепловой поток по граничным условиям следующим образом:

$$-n \cdot q = q_0 + q_r + q_s + h(T_{\text{inf}} - T) \quad \text{on } \partial\Omega \quad (2.23)$$

где  $q_r$  – входящего излучения;

$q_s$  – материал из очень тонкой оболочки при контакте с границей.

Последний член представляет собой произведение коэффициента теплопередачи ( $h$ ) и разница между поверхностной температурой ( $T$ ) и исходной температурой ( $T_{\text{inf}}$ ). Он может быть использован для моделирования тонкой оболочки с низкой теплопроводностью или, чаще

всего используют для, конвективного охлаждения поверхности подвергаемой воздействию протекающей жидкости с исходной температурой  $T_{inf}$ .

Рассмотренные методики были использованы в работе при проведении исследований.

### 3 Результаты расчетов

#### 3.1 Теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью металлических анкерных соединений с учетом климатических условий

Для проведения предварительных теплотехнических расчетов были выбраны следующие ограждающие конструкции: узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к двутавровой колонне (стык стеновых панелей на двутавровой колонне); узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к железобетонной колонне (стык стеновых панелей на железобетонной колонне); наружный угловой узел крепления трехслойных металлических панелей металлическим анкером к двутавровой колонне (наружный угловой стык). Теплофизические свойства материалов входящих в состав рассматриваемых конструкций представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Теплофизические свойства материалов

Материалы	Плотность, кг/м <sup>3</sup> [42]	Теплопроводность, Вт/(м·°С) [42]	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па) [42]
Полистирол	30-35	0,046	0,05
Минеральная вата	25-50	0,045	0,37
Металл	7850	58	0
Пена монтажная		0,035	0,021
Герметик		0,17	0,001
Железобетон	2500	1,69	0,03

Теплотехнические расчеты проводились с помощью пакета программ COMSOL-3.5 при граничных условиях третьего рода. Сопротивления тепло- и влагообмену приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Сопротивления тепло- и влагообмену

Сопротивление теплообмену у поверхности, м <sup>2</sup> К/Вт		Сопротивление влагообмену у поверхности, мг/(м <sup>2</sup> ·ч· Па)	
наружной	внутренней	наружной	внутренней
0,0925 (0,0435)*	0,115	11,1 10 <sup>-3</sup>	3,7 10 <sup>-3</sup>

В соответствии с СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» в районе г. Игарки температура наружного воздуха самого холодного месяца (январь) составляет минус 28,3 °С, а самого теплого (июль) 15,4 °С. Парциальное давление водяного пара для района г. Игарки в январе месяце составляет 70 Па, а в июле 12000 Па. Оптимальные параметры микроклимата предприятий общественного питания для холодного и теплого периодов года регламентирует СП 2.3.6.1079-01 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья». В соответствии с данными санитарно-эпидемиологическими правилами средняя температура воздуха внутри помещений предприятия общественного питания равняется 22 °С, а относительная влажность воздуха 75 %.

Парциальное давление насыщенного водяного пара внутри помещений предприятий общественного питания при температуре 22<sup>0</sup>С рассчитали по формуле 2.1. Расчет парциального давление насыщенного водяного пара внутри помещений предприятий общественного питания представлен ниже:

$$E = 1.84 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(\frac{-5330}{273.15+22}\right) = 1,982 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

Расчетное парциальное давление водяного пара внутри помещений предприятий общественного питания при относительной влажности воздуха 75% и температуре 22<sup>0</sup>С составляет 1982 Па. Климатические параметры в течение года внутренних помещений предприятий общественного питания и внешней среды для района строительства г. Игарки представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Климатические параметры

Показатели	Внутри помещения в течение года	Внешней среды [42]	
		январь	июль
Температура, °С	22	-28,3	15,4
Парциальное давление водяного пара, Па	1982	70	1200

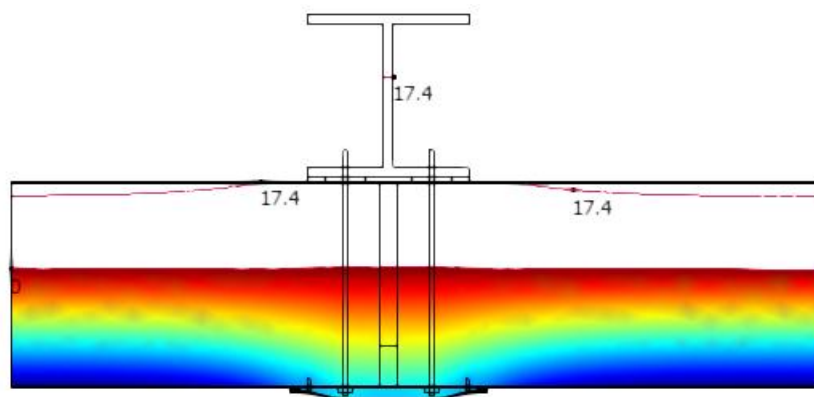
Температуру точки росы определяли по формулам 2.2, 2.3. Расчет температуры точки росы на внутренней поверхности представлен ниже:

$$f(T, Rh) = \frac{17,27 \cdot 22}{237,7 + 22} + \ln\left(\frac{75}{100}\right) = 1,173;$$

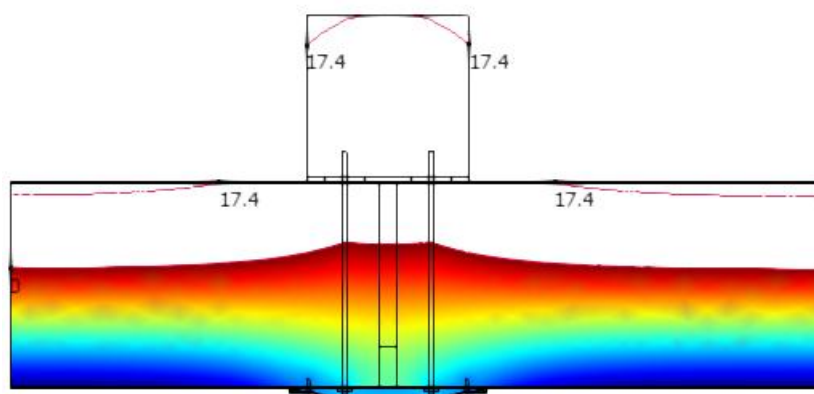
$$T_p = \frac{237,7 \cdot 1,173}{17,27 - 1,173} = 17,4^\circ\text{C}.$$

Температура точки росы на внутренней поверхности составляет 17,4°С.

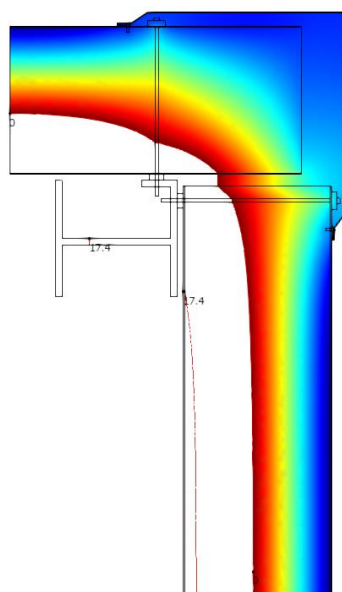
Расчеты проведены для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (700 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки. Изучено распределение температуры по рассматриваемым сечениям с учетом влияния анкеров крепления (по сечению, проходящему вдоль анкеров, т.е. с учетом высокой теплопроводности стали), результаты представлены на рисунке 3.1. На рисунке видно, что стыки стеновых панелей на двутавровой и железобетонной колоннах в зонах крепления анкеров имеют температура ниже 17,4 °С. Данный факт свидетельствует о большой вероятности выпадения конденсата в этих зонах, что не соответствует требованиям нормативной документации (СП 50.13330.2012, СНиП 41-01-2003, ГОСТ 30494-2011, СанПин 2.2.4.548-96). На рисунке наружного углового стыка изотермы 17,4 и 0 °С. В стыке ниже 17,4 °С, выявлено появление конденсата, что обусловлено влиянием анкерных креплений, поскольку более высокие температуры приближаются к внешней поверхности. Минимальная температура в углу внутри помещения составляет 4,96 °С.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне



в) наружный угловой стык

Рисунок 3.1 – Результаты расчета температурного поля по сечению анкеров для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

В результате проведенных исследований выявлено, что на температуру поверхности стены вблизи крепления оказывает влияние материал, из которого изготовлена колонна. Минимальная температура выявлена вблизи крепления стеновой панели к железобетонной колонне. Влияние материала крепления на температуру поверхности стены вблизи крепления представлено на рисунке 3.2.

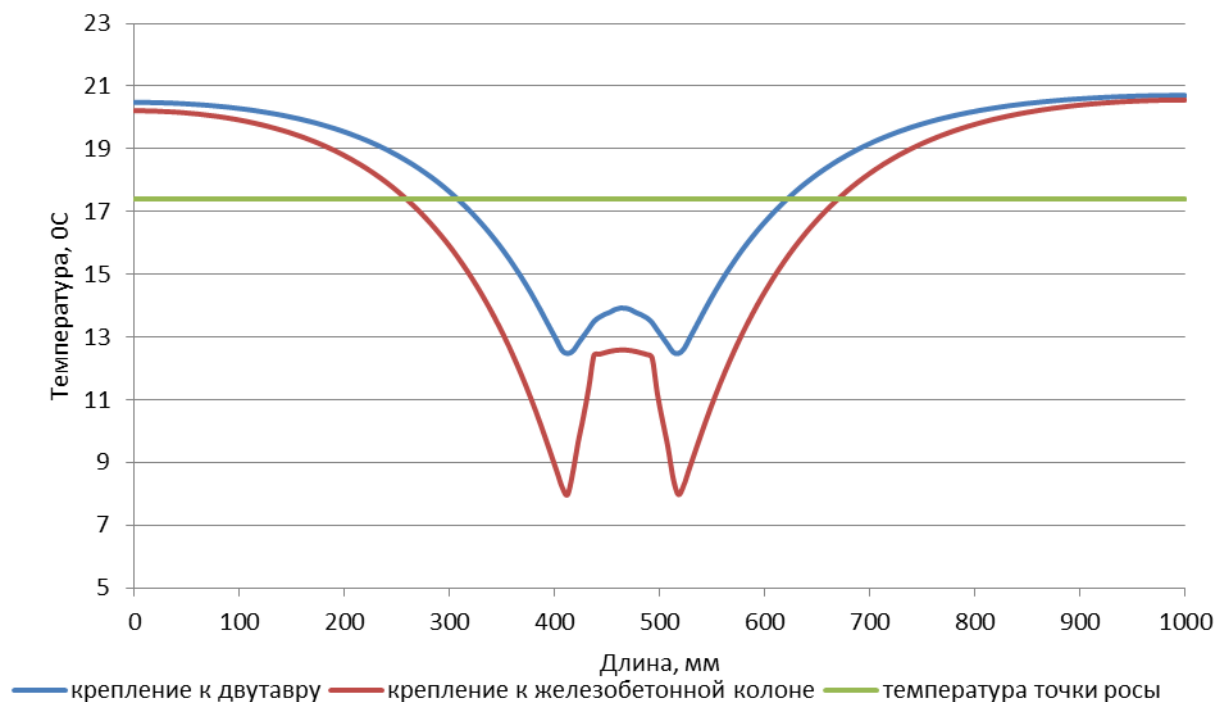
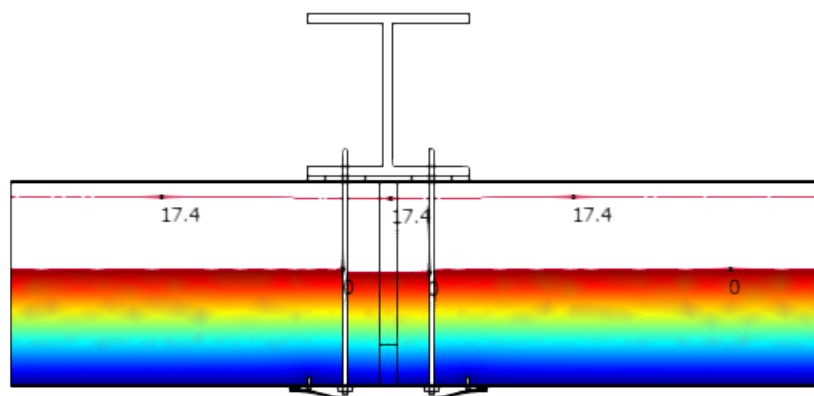


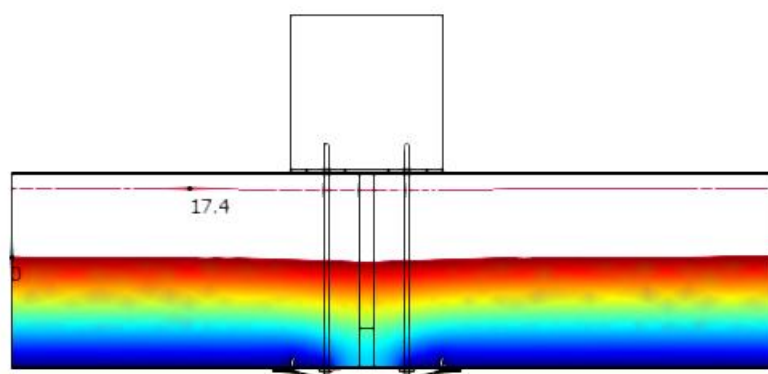
Рисунок 3.2 – Влияние материала крепления на температуру поверхности стены вблизи крепления

Проведены расчеты температуры вдали от анкерных креплений (рисунок 3.3). На рисунке видно, что вдали от места крепления роса не выпадает, за исключением наружного углового стыка, где температура в зонах крепления анкеров ниже точки росы.

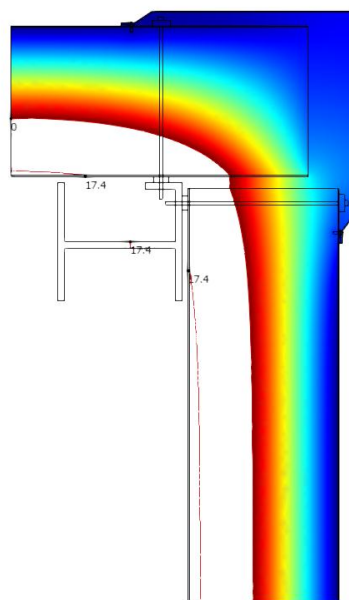




а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



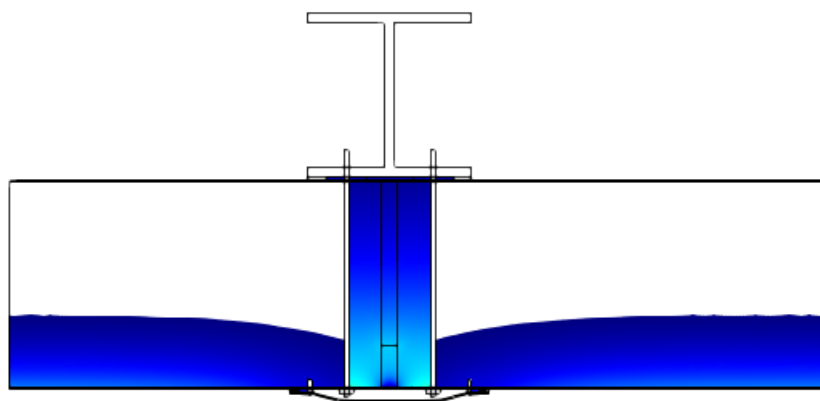
б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне



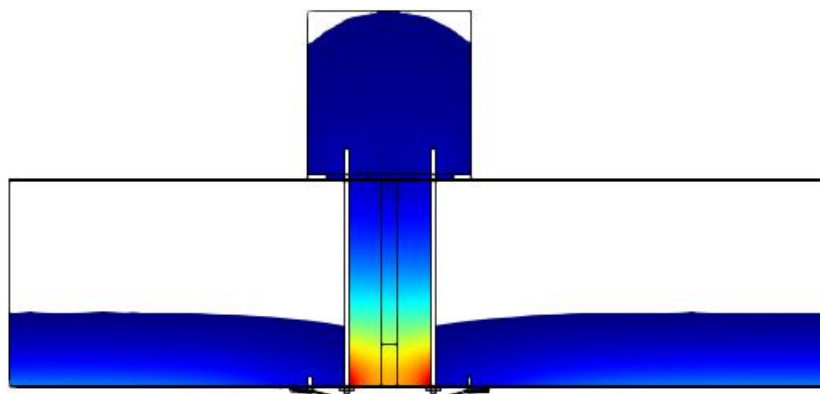
в) наружный угловой стык

Рисунок 3.3 – Результаты расчета температурного поля вдали от анкеров для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

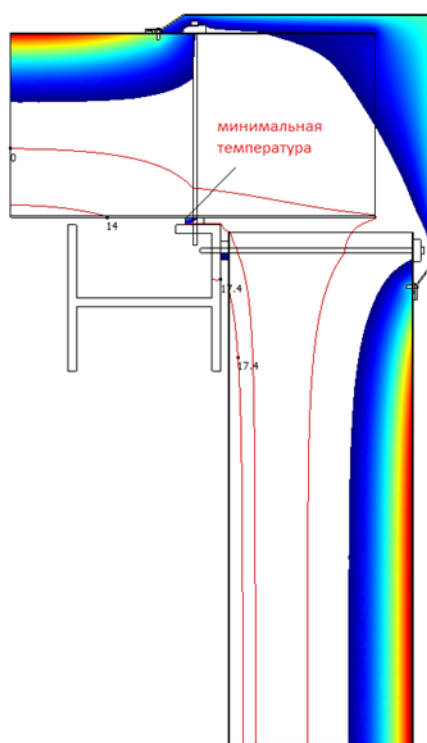
Проведен расчет влажностного состояния рассматриваемых ограждающих конструкций (рисунок 3.4). На рисунке представлено распределение переувлажнения материалов  $e/E > 1$  по сечению анкеров, то есть с учетом их высокой теплопроводности. На рисунке видно, что стыки стеновых панелей на двутавровой и железобетонной колоннах в зонах крепления анкеров переувлажнены, при этом наибольшее переувлажнение наблюдается в стыке стеновой панели на железобетонной колонне. Поскольку в данном стыке температура более низкая, что обусловлено более низкой теплопроводностью железобетона, в результате чего подача тепла к стыку затруднена. В расчете паропроницаемость металла принималась равной нулю. В угловом сопряжении имеется большая вероятность выпадения конденсата, поскольку температура ниже температуры точки росы  $17,4^{\circ}\text{C}$ . На рисунке показаны изотермы  $0^{\circ}\text{C}$  и  $17,4^{\circ}\text{C}$ . Минимальная температура плюс  $3^{\circ}\text{C}$  с внутренней стороны наблюдается на контакте анкера крепления с прокладкой и стальным листом трехслойной стеновой панели.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне

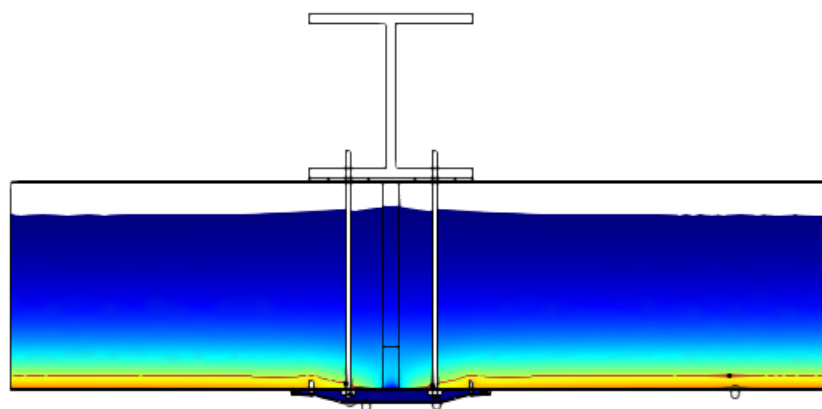


в) наружный угловой стык

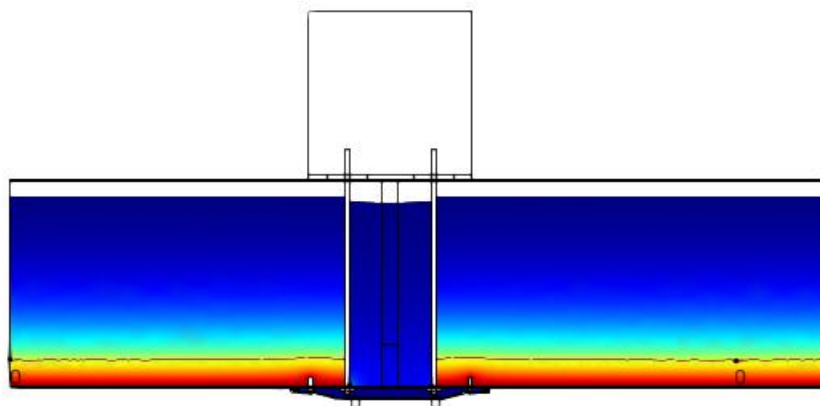
Рисунок 3.4 – Распределение влажности  $e/E > 1$  по сечению анкерных креплений (с учетом теплопроводности) для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

На рисунке 3.5 показано распределение влажности  $e/E > 1$  вдали от сечения анкеров, то есть без учета их высокой теплопроводности и нулевой паропроницаемости. На рисунке видно, что в стыках стеновых панелей на двутавровой и железобетонной колоннах влажность распределена

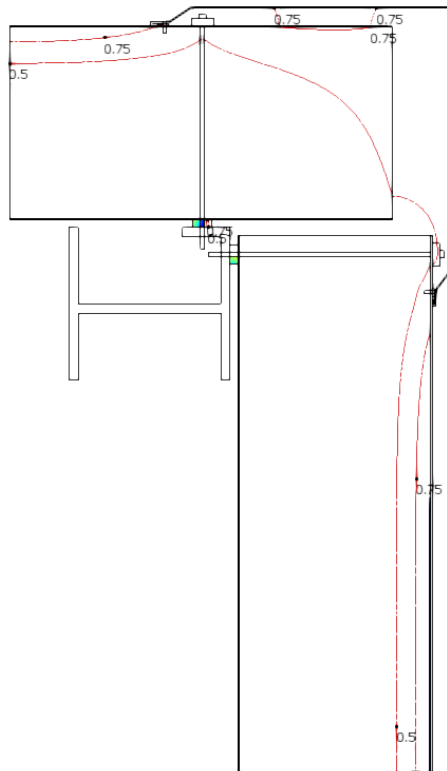
равномерно, но площадь распределения влаги достаточно большая, данный факт обусловлен тем, что в расчетном сечении анкерные крепления прогревают зону теплоизоляции. В результате расчета распределения влажности  $e/E > 1$  вдали от сечения анкеров в наружном угловом стыке выявлено, что сверхсорбционного увлажнения материалов не наблюдается в виду прямого контакта теплоизоляционного слоя панелей с сухим воздухом, находящимся в области фасонного элемента.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне



в) наружный угловой стык

Рисунок 3.5 – Распределение влажности  $e/E > 1$  вдали от сечения анкеров (без учета теплопроводности) для среднемесячной температуры (минус 28,3 17,4°C) и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что конструкции стыков не отвечают требованиям, поскольку в зонах крепления анкеров имеют температура ниже 17,4 °С, при этом температура точки росы на внутренней поверхности составляет 17,4°C. Расчет паропроницаемости рассматриваемых ограждающих конструкций показал, что стыки в зонах крепления анкеров переувлажнены, при этом наибольшее переувлажнение наблюдается в стеновой панели на железобетонной колонне. Поэтому рассмотренные конструкции не могут быть использованы при строительстве столовой для вахтового поселка в районе г. Игарки. Для данного района строительства необходимо разработать новые конструктивные варианты с дополнительным утеплением зон крепления.

### **3.2 Разработка мероприятий по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления**

Для крепления сэндвич-панелей к каркасу используют исключительно металлические крепежные элементы (самонарезающие винты, заклепки, анкеры), в результате проведенных теплотехнических расчетов конструкций стыков стеновых панелей на двутавровой и железобетонных колоннах в зоне крепления анкерных соединений была выявлена проблема, связанная с негативным влиянием высокой теплопроводности стального анкерного крепления на общую теплопроводность и влажностное состояние рассматриваемых ограждающих конструкций. Для решения проблемы негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления на теплофизические свойства конструкций, был проведен анализ существующих анкерных креплений изготовленных из альтернативных материалов с более низкой теплопроводностью с аналогичным применением. Рассмотрены крепежные элементы, используемые для крепления навесных вентилируемых фасадов. В качестве крепежных элементов в навесных фасадах используют не только металлические крепежные элементы (самонарезающие винты, заклепки, анкеры), но и крепежные элементы, изготовленные из полимерных материалов которые обладают по сравнению с металлическими крепежными элементами более низкой теплопроводностью. В навесных вентилируемых фасадах используют следующие крепежи из полимерных материалов: дюбели фасадные изготовленные из полиамида (РА6) с температуростойкостью от минус 40 °С до 100 °С и дюбели крепления теплоизоляции из полипропилена температура применения которых находится в диапазоне от минус 60 °С до 60 °С.

По предварительным расчетам установлено, что для предотвращения возникновения внутри помещений предприятия общественного питания в

районе строительства г. Игарки температуры равной 17,4 °С, которая соответствует точке росы на внутренней поверхности стеной панели. Необходимо утепление только мест входа анкеров в двутавровую и железобетонную колонны и при этом теплопроводность анкеров должна быть не 58, а 10 Вт(м °С). Для достижения данной теплопроводности анкерное крепление должно иметь терморазрыв именно по анкеру. Терморазрыв по анкеру можно получить за счет модификации крепежного анкерного соединения и предложить следующие мероприятия по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления:

1. Использовать в качестве крепления сэндвич-панелей к каркасу комбинированный анкер состоящего из стали и полимерного материала.

В качестве перспективного полимерного материала могут быть использованы различные марки полиамида с нижним пределом рабочей температурой не выше минус 60 °С. Составная часть комбинированного анкерного крепления из полиамида будет находиться с внешней стороны наружной ограждающей конструкции, поскольку теплопроводность полиамида 12 (ПА 12) составляет 0,28 Вт/м °С, а стали 58 Вт/м °С (таблица 3.4). Использование данной конструкции позволит снизить теплопроводность анкерного соединения, поскольку контакт стального стержня с холодным воздухом внешней среды будет исключен.

Таблица 3.4 – Теплофизические свойства полиамида

Наименование материала	Предел рабочих температур		Теплопроводность, Вт/м °С
	верхний	нижний	
ПА 6	80-105	-20	0,214
ПА 6 блочный	60	-60	0,29
ПА 6НС	80-100	-40	0,29
ПА 610	80-100	-40	0,19

Окончание таблицы 3.4

Наименование материала	Предел рабочих температур		Теплопроводность, Вт/м °С
	верхний	нижний	
ПА 6	80-105	-20	0,214
ПА 610 НС	80-100	-40	0,19
ПА 66	80-100	-30	0,87-0,88
ПА 66НС	100-110	-50	0,88
ПА 66/6	90-110	-	0,87
ПА 12	70-80	-60	0,28
ПА 12НС	90	-60	0,27

Использование комбинированных анкеров для крепления стеновых панелей к каркасу зданий и сооружений осложняется отсутствием нормативных документов и стандартов, регламентирующих методы оценки прочности анкеров и анкерных узлов при действии на них продольных и поперечных относительно их оси усилий, повышенный уровень ответственности данных конструктивных элементов. Оценка несущей способности анкерных креплений усложняется отсутствием стандартной методики проведения испытаний анкеров и нормирования расчетных величин вертикальных и горизонтальных нагрузок на анкер и соответствующих им перемещений, а также методов расчета анкерных узлов [24].

В настоящее время единственным документом, регламентирующим использование анкерного крепежа в строительстве, является техническое свидетельство на анкера, утверждаемое Росстроем РФ на основе технической оценки пригодности продукции для применения в строительстве, выдаваемой ФГУ ФЦС (Федеральный центр технической оценки продукции в строительстве). Методика испытаний и оценки эксплуатационных характеристик анкерного крепежа, используемые при составлении



технического свидетельства, базируется на основных положениях и рекомендациях ETAG (норматив европейского технического свидетельства), выдаваемого EOTA (Европейской организацией технических допусков). Указания этих документов по ряду позиций в части методики испытаний анкерного крепежа, установки в стеновые материалы и требований непосредственно к стеновым материалам не соответствуют положениям отечественных нормативных и рекомендательных документов [48].

Принцип работы терморазрыва системе «стена – прокладка – кронштейн» в зависимости от теплоизолирующих свойств материала прокладки не исследован. Поэтому проведен анализ изменения теплофизических свойств конструкций. Для крепления сэндвич-панелей к каркасу создан комбинированный анкер, состоящий из полиамида и стали, которая врезается в колонну (рисунок 3.6). Соединение составных элементов анкера производится, осуществляется за счет муфтового соединения.

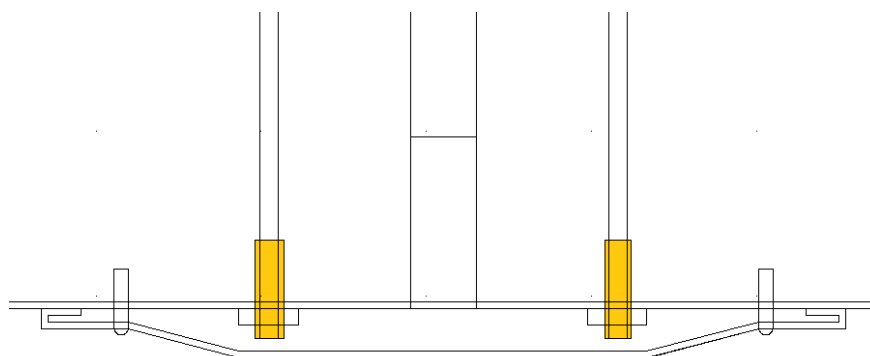
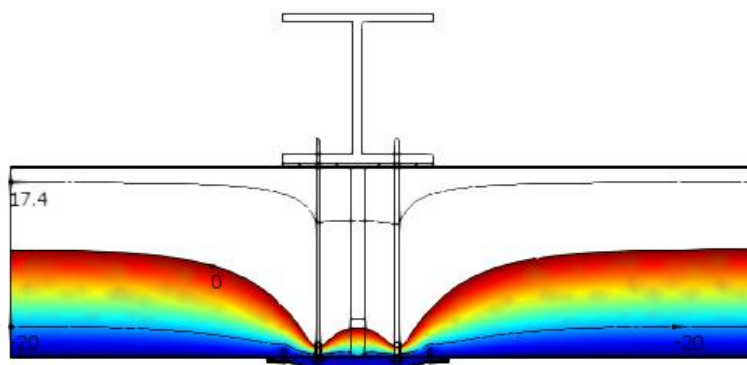


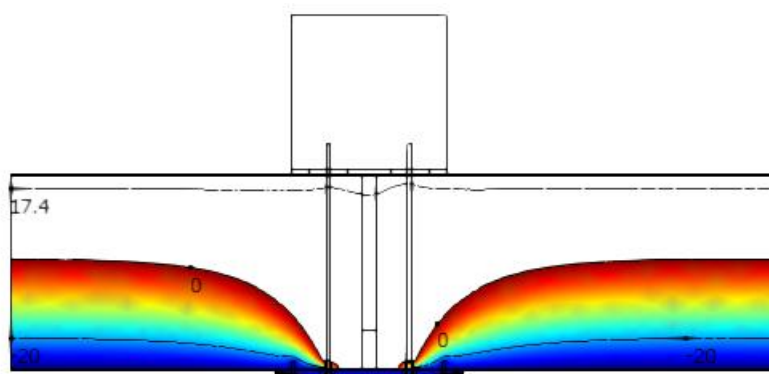
Рисунок 3.6 – Конструкция комбинированного анкера (желтым цветом выделена часть анкерного соединения из полиамида)

### 3.3 Теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью комбинированных анкерных соединений с учетом климатических условий

Исследовано распределение температуры (с учетом влияния анкеров крепления) в зонах крепления комбинированных анкеров к стеновым панелям на двутавровой и железобетонной колоннах (рисунок 3.7). Расчеты проведены для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки. На рисунке видно, что внутренняя поверхность стеновых панелей на двутавровой и железобетонной колоннах в зонах крепления комбинированных анкеров имеют температура выше 17,4 °С.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне

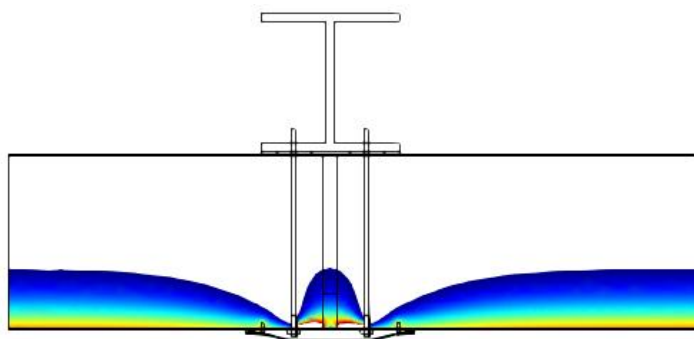


б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне

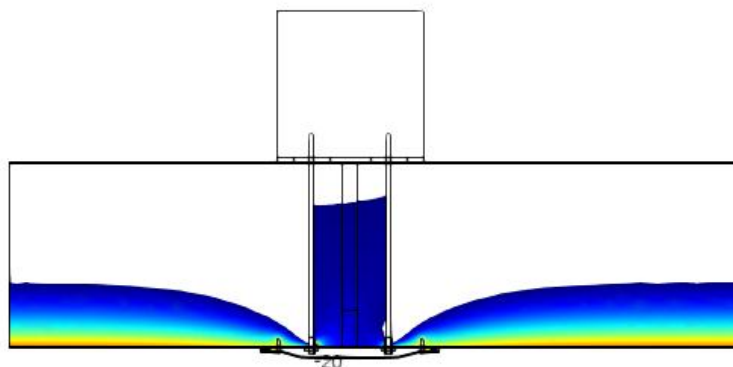
Рисунок 3.7 – Результаты расчета температурного поля по сечению комбинированных анкеров для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С)

и парциального давления (70 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

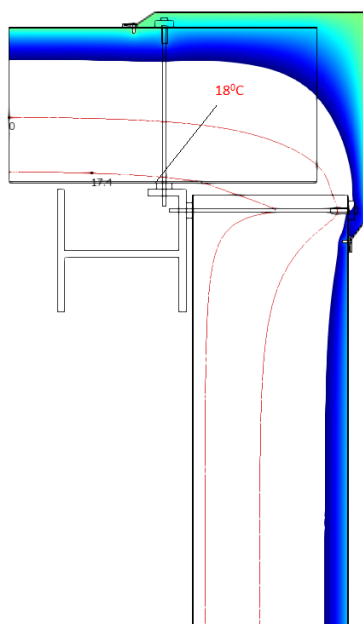
При оценке влажностного состояния рассматриваемых ограждающих конструкций соединённых комбинированными анкерными креплениями (с учетом теплопроводности) выявлено, снижение паропроницаемости  $e/E > 1$  материала (рисунок 3.8). На рисунке видно, что стыки стеновых панелей на двутавровой и железобетонной колоннах в зонах крепления комбинированных анкеров не переувлажнены. В расчете паропроницаемость металла принималась равной нулю.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне

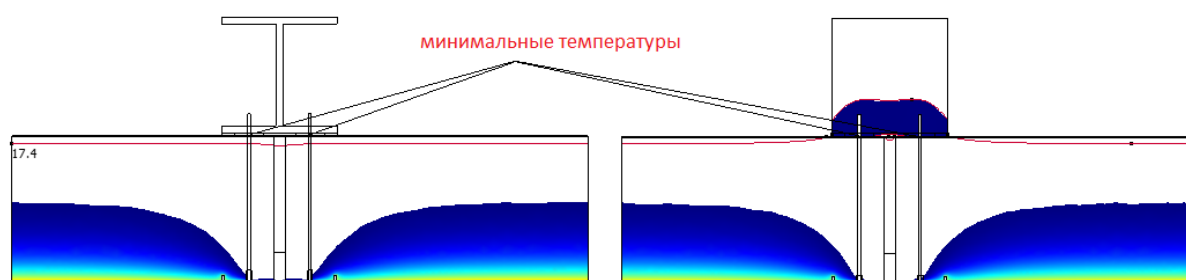


в) наружный угловой стык

Рисунок 3.8 – Распределение влажности  $e/E > 1$  по сечению комбинированных анкерных креплений (с учетом теплопроводности) для среднемесячной температуры (минус 28,3 °С) и парциального давления (700 Па) самого холодного месяца (январь) в районе строительства г. Игарки

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведение дополнительных исследований с целью определения коэффициентов теплотехнической однородности стеновых ограждений из сэндвич-панелей для корректной оценки общих теплопотерь здания. Поэтому проведены расчеты для средней температуры самой холодной пятидневки – минус 49 °С. Исследовано распределение влажности  $e/E > 1$  по сечению комбинированных анкеров, то есть с учетом их высокой теплопроводности и нулевой паропроницаемости (рисунок 3.9). На рисунке видно, что распределение свехсорбционной влажности ( $e/E > 1$ ) по продольному сечению при расчетной температуре и парциальному давлению для самой холодной пятидневки в узле крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к двутавровой колонне изотерма не выходит на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции (при значении точки росы минус 17,4°С), соблюдается перепад поверхности/внутренний воздух и

сверхсорбционного увлажнения материалов не наблюдается. Минимальные температуры наблюдаются на контакте анкерного винта с металлической обшивкой панели со стороны утепленного стыка панелей. В узле крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к двутавровой железобетонной колонне выявлен переход изотермы на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции в результате, которого наблюдается сверхсорбционное увлажнение материалов, что является недопустимым для ограждающей конструкции в рассматриваемых климатических условиях. Значения температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах контакта панелей и колонн (вдоль линии L) представлены на рисунке 3.10 и в таблице 3.5.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне      б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне

Рисунок 3.10 – Распределение сверхсорбционной влажности ( $e/E > 1$ ) по продольному сечению при расчетной температуре и парциальном давлении для самой холодной пятидневки

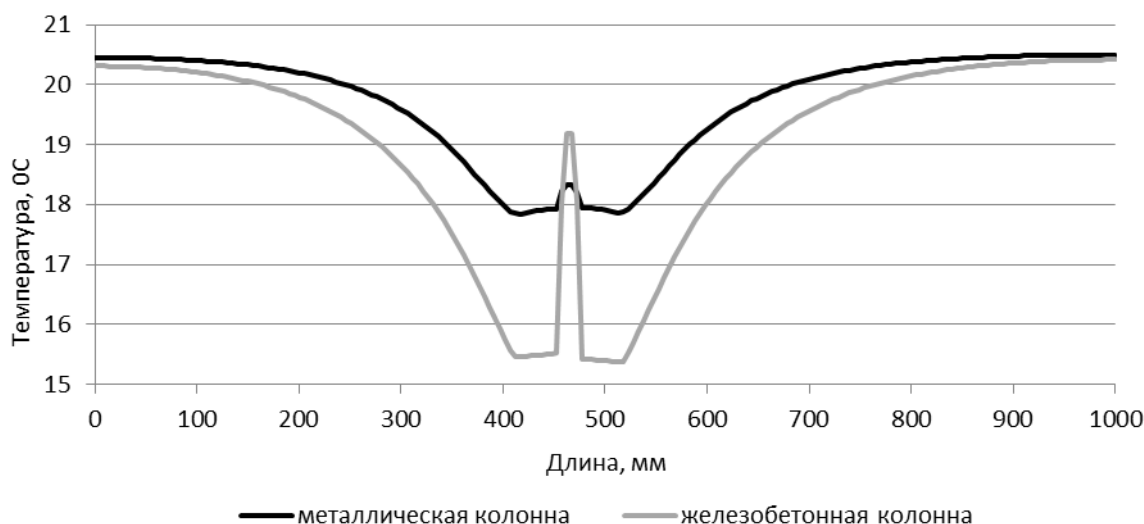


Рисунок 3.11 – Значение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах контакта панелей и колонн (вдоль линии L) при расчетной температуре и парциальному давлению для самой холодной пятидневки

Таблица 3.5 – Значение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах контакта панелей и колонн (вдоль линии L) при расчетной температуре и парциальному давлению для самой холодной пятидневки

Температура, °C	В расчетном сечении		
	металлическая двутавровая колонна	железобетонная колонна	расчет по уравнению
На внутренней поверхности стены вдали от узла крепления	20,45	20,41	20,54
Минимальная температура в узле крепления	17,92	15,52	

На основании полученных данных выявлено, что использование железобетонной колонны для строительства столовой в районе г. Игарки даже с комбинированным анкерным креплением нецелесообразно по теплофизическим показателям. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что создание терморазрывов по анкеру и создание комбинированного анкерного соединения (из полимерного материала и металла) позволяет получить крепежное анкерное соединение с более низкой

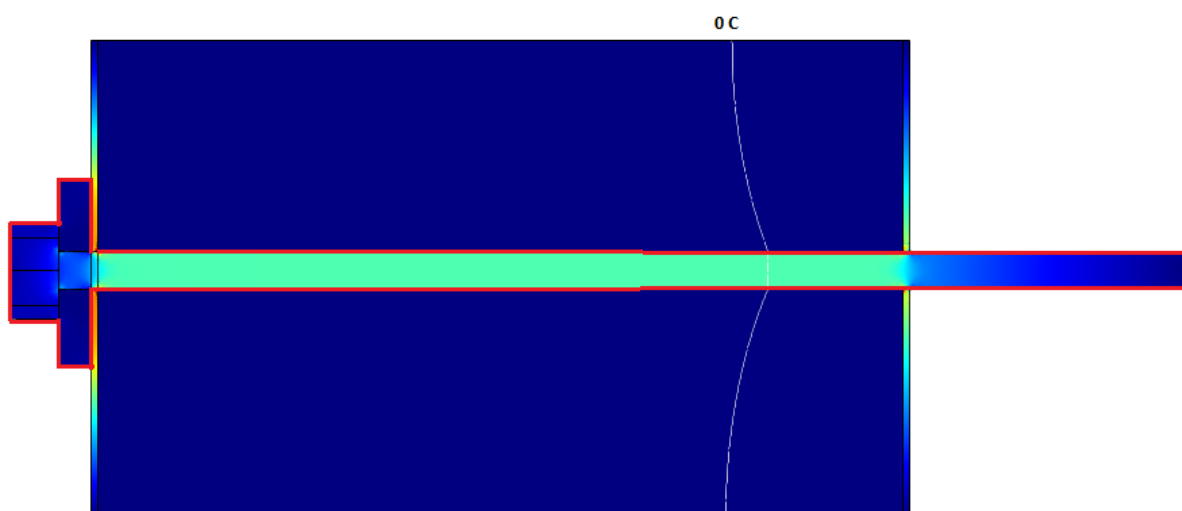
теплопроводность. Что позволяет улучшить теплофизические показатели конструкций за счет снижения теплопроводности и сорбционной способности ограждающих конструкций.

### **Заключение по 3 главе**

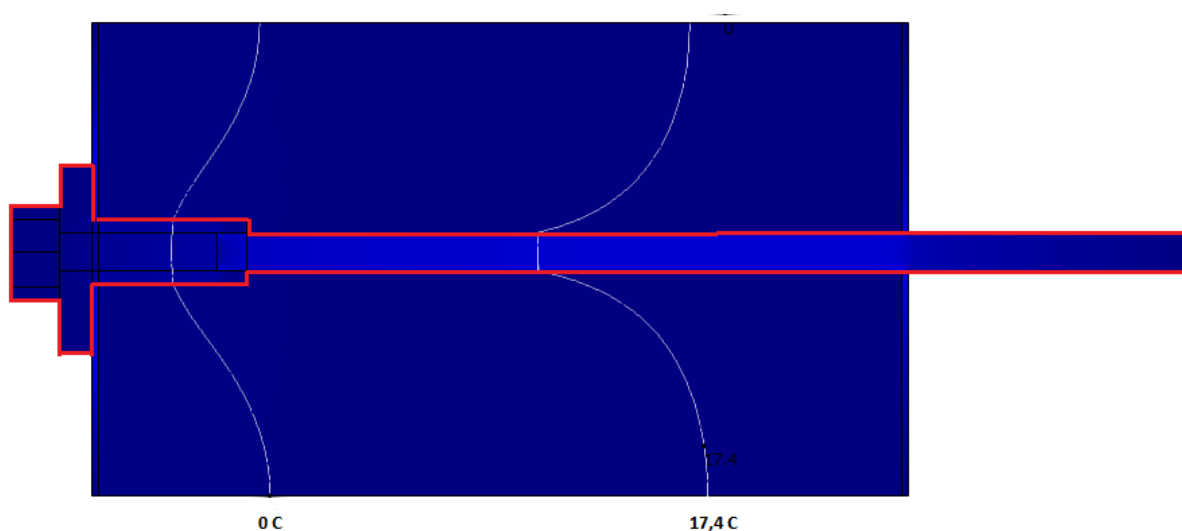
На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что при строительстве столовой вахтового поселка не могут быть использованы металлические крепежные элементы, данный факт подтверждается расчетами, поскольку конструкции стыков в зонах крепления анкеров имеют температура ниже 17,4 °С (температура точки росы) и в данных зонах будет образовываться конденсат, что не отвечает требованиям нормативно-технической документации. Расчет паропроницаемости рассматриваемых ограждающих конструкций показал, что стыки в зонах крепления анкеров переувлажнены, при этом наибольшее переувлажнение наблюдается в стеновой панели на железобетонной колонне. В качестве альтернативы металлическому анкерному соединению, была предложена конструкция комбинированного анкерного соединения состоявшего из полиамида и металла. Теплофизические расчеты подтвердили целесообразность использования комбинированного анкерного крепления при соединении трехслойных металлических панелей в районе г. Игарки при строительстве столовой вахтового поселка. При использовании данного соединения внутренняя поверхность стеновой панели на двутавровой колонне в зоне крепления комбинированных анкеров имеет температуру выше 17,4 °С. Переувлажнения внешней ограждаемой конструкции не наблюдается.

#### 4 Расчет экономической эффективности от использования комбинированных анкерных креплений

С целью получения корректной экономической эффективности от использования комбинированных анкерных креплений проведен расчет эффективности винта, крепления стеновых панелей производился с учетом его расположения в конструкции в теплоизоляционном слое по расчетным сечениям, обведенным красными линиями (рисунок 4.1).



а) металлическое анкерное крепление



б) комбинированное анкерное крепление (полиамид-сталь)

Рисунок 4.1 – Крепления стеновых панелей с учетом расположения анкерного крепления

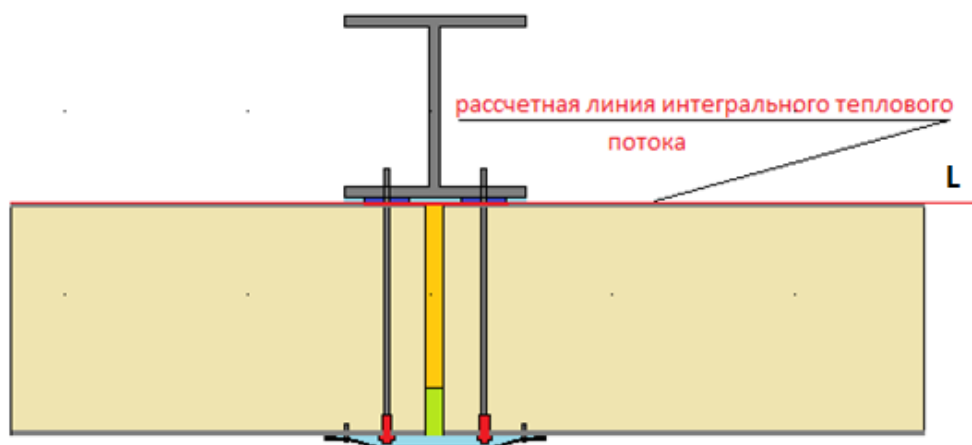


Проведен расчет теплофизических показателей узлов крепления трехслойных металлических панелей с обычным и комбинированным анкером к металлической и железобетонной колонне, результаты представлены в таблице 4.1.

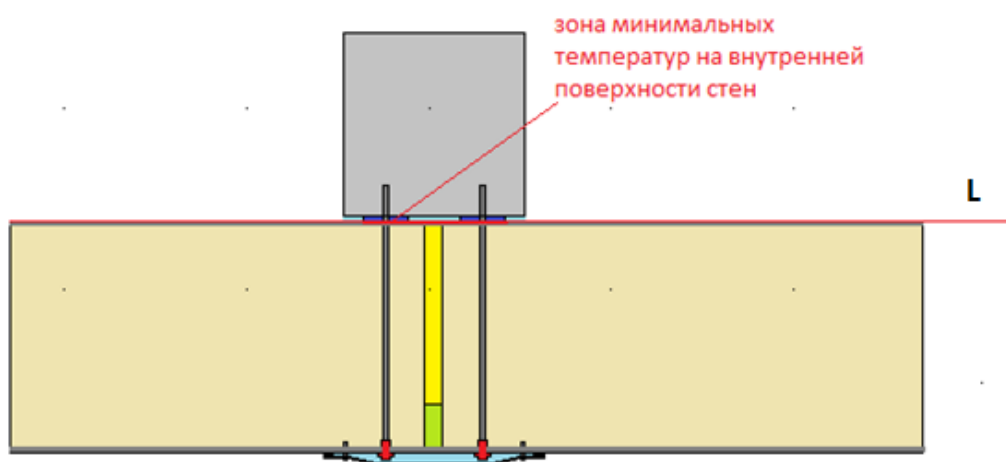
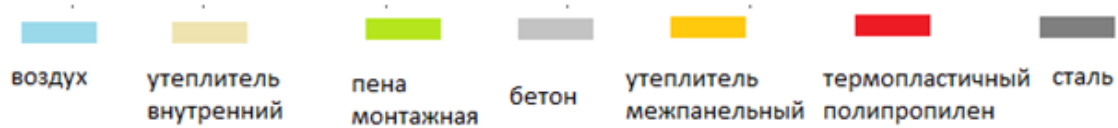
Таблица 4.1 – Расчетные теплофизические показатели узлов крепления трехслойных металлических панелей с обычным и комбинированным анкером к металлической и железобетонной колонне

Наименование показателей	Вдали от анкеров	В расчетном сечении				Эффективность, %	
		металлический анкер		комбинированный анкер			
	без крепления	металлическая двутавровая колонна	железобетонная колонна	металлическая двутавровая колонна	железобетонная колонна	металлическая двутавровая колонна	железобетонная колонна
Тепловой поток, Вт/м <sup>2</sup>	8,99	25,63	24,09	9,67	10,77	-62,3	-55,3
Минимальная температура, °С	20,97	11,75	7,82	19,45	17,75	65,5	148

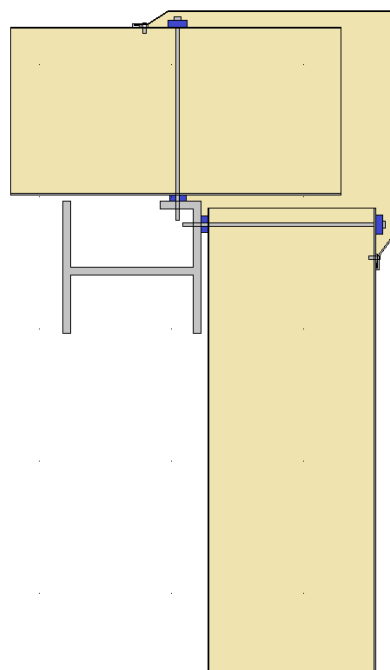
В результате анализа полученных данных выявлено, что узел крепления влияет на тепловую однородность ограждения. Тепловой поток, рассчитанный вдоль сечения металлического анкерного крепления в изучаемом фрагменте конструкции по сравнению с сечением вдали от анкерного крепления, увеличивается более чем в 2 раза: с 8,99 до 25,63 и 24,09 Вт/м<sup>2</sup> при этом минимальные значения температур на внутренней стороне (со стороны помещения) уменьшаются на 9 и 12<sup>0</sup>С соответственно для двутавровой и железобетонной колонн и становятся ниже температуры точки росы 17,4<sup>0</sup>С (рисунок 4.2). Последнее обстоятельство может являться причиной активного выпадения конденсата на внутренней поверхности стены в локальной зоне крепления панелей.



а) стык стеновых панелей на двутавровой колонне



б) стык стеновых панелей на железобетонной колонне



в) наружный угловой стык

Рисунок 4.2 – Теплофизические показатели узлов крепления трехслойных металлических панелей комбинированным анкером к двутавровой и железобетонной колоннам

В соответствии с данными представленными на сайте городской центра начисления коммунальных платежей тариф на тепловую энергию составляет 1197,50 руб/Гкал.

Расчет экономической эффективности от замены традиционно анкерного крепления на комбинированное крепление проводился по формуле:

$$\mathcal{E} = TP_{ТЭ} \cdot \frac{(Q'_{БК} - Q'_{КБ}) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31}{Q}, \quad (4.1)$$

где  $TP_{ТЭ}$  – тариф на тепловую энергию, руб/гкал;

$Q'_{БК}$  – интегральный тепловой поток через базовый вариант конструкции винта, Вт;

$Q'_{KB}$  – интегральный тепловой поток через комбинированный вариант конструкции винта, Вт;

$Q$  – количество тепла, Дж;

$$\Delta = 1197,5 \cdot \frac{(13,5 - 2,11) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31}{4,1868 \cdot 10^9} = 8,726 \text{ руб} \text{ (экономия тепла от замены одного анкера на январь месяц)}$$

Экономия тепла от замены одного анкерного крепежного соединения представлены в таблице 4.2 и на рисунке 4.3.

Таблица 4.2 – Экономия тепла от замены одного анкерного крепежного соединения

Месяц отопительного периода	Продолжительность, сут	Интегральный тепловой поток через сечение винта, Вт		Экономия тепла от замены, руб
		стального	комбинированного	
Сентябрь	30	4,61	0,72	2,98
Октябрь	31	7,76	1,21	5,02
Ноябрь	30	11,27	1,76	7,05
Декабрь	31	12,72	1,99	8,22
Январь	31	13,5	2,11	8,73
Февраль	28	13,07	2,04	7,63
Март	31	10,9	1,7	7,05
Апрель	30	8,89	1,39	5,56
Май	31	6,41	1	4,07
Год	273	89,13	13,92	56,31

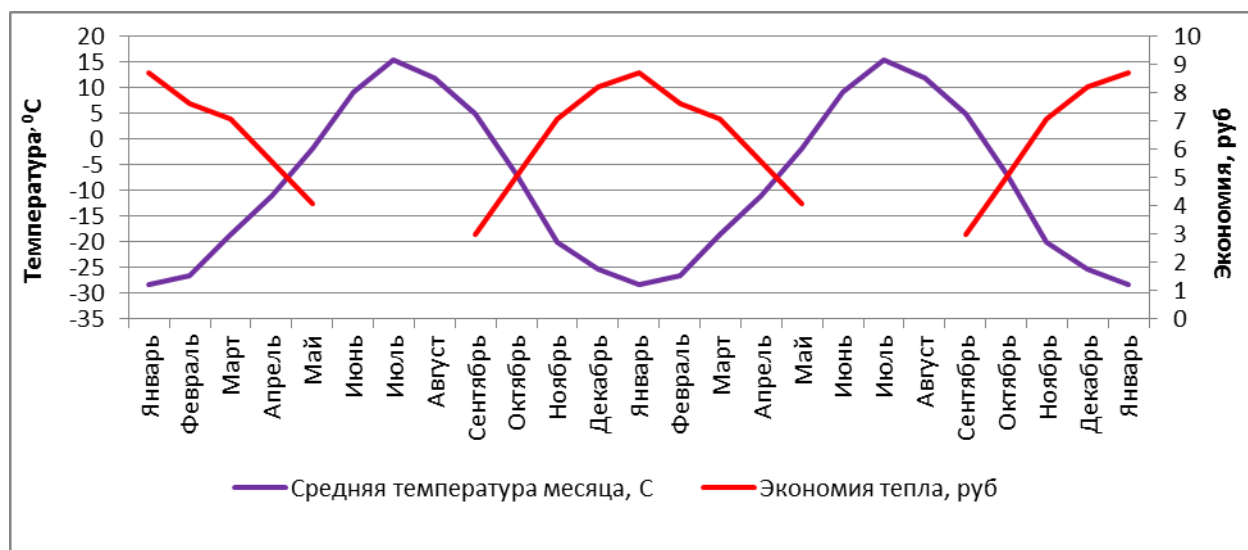


Рисунок 4.3 – Экономия тепла от замены одного анкерного крепежного соединения

Экономическая эффективность от замены одного традиционного анкерного крепления на одно комбинированное крепление за январь месяц составляет 8,726 рублей (69,8 руб. на 1 одну панель), за год 56,31 рублей (450,48 руб. на 1 одну панель).

Проведен расчет экономического эффекта по снижению расхода тепла через исследуемый фрагмент стенового ограждения.

Потери тепловой энергии определены по формуле:

$$\Delta Q = (Q_{\text{БУ}} - Q_{\text{У}}) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31, \quad (4.2)$$

где  $Q_{\text{БУ}}$  – тепловой поток через узел крепления металлической панели к двутавровой колонне с помощью металлического анкера, Вт/м<sup>2</sup> (таблица 4.1).

где  $Q_{\text{У}}$  – тепловой поток через узел крепления металлической панели к двутавровой колонне с помощью комбинированного анкера, Вт/м<sup>2</sup> (таблица 4.1).

$$\Delta Q = (25,63 - 9,67) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31 = 4,275 \cdot 10^7 \text{ Дж/м}^2$$

$$\Delta Q = (13,5 - 2,11) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31 = 3,051 \cdot 10^7 \text{ Дж/м}^2$$

$$S = \frac{4,275 \cdot 10^7}{4,1868 \cdot 10^9} = 0,010211 \text{ Гкал/м}^2$$

$$\Xi = 0,010211 \cdot 1197,5 = 12,228 \text{ руб./м}^2$$

Экономический эффект от снижения потерь тепла через исследуемый фрагмент стенового ограждения составляет 12,228 рублей (за январь месяц)

#### **Заключение по 4 главе**

На основании проведенных расчетов выявлена экономическая эффективность от замены одного традиционного анкерного крепления на комбинированное крепление, которая составляет 8,726 рублей (69,8 руб. на 1 м<sup>2</sup>), за год 56,31 рублей (450,48 руб. на 1 м<sup>2</sup>). Экономический эффект от снижения потерь тепла через исследуемый фрагмент стенового ограждения составляет 12,228 рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена поиску проектных решения на основе применения современных строительных материалов столовых вахтовых поселков. В соответствии с поставленной целью в работе были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ существующих строительных материалов и оценка возможности использования их при возведении столовых для работников вахтовых поселков с учетом нормативно-технической документации регламентирующей технологическое проектирование организаций общественного питания. Для строительства столовых вахтовых поселков были выбраны металлические трехслойные панели с утеплителем из минеральной ваты.

2. Проведены теплотехнические расчеты наиболее опасных узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью металлических анкерных соединений с учетом микроклимата предприятий общественного питания и климатических условий района строительства. На основании проведенных расчетов выявлено, что конструкции стыков не отвечают требованиям нормативно-технической документации, поскольку в зонах крепления анкеров имеют температура ниже  $17,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом температура точки росы на внутренней поверхности составляет  $17,4^{\circ}\text{C}$ . Расчет паропроницаемости рассматриваемых ограждающих конструкций показал, что стыки в зонах крепления анкеров переувлажнены, при этом наибольшее переувлажнение наблюдается в стеновой панели на железобетонной колонне. Поэтому рассмотренные конструкции не могут быть использованы при строительстве столовой для вахтового поселка в районе г. Игарки.

3. Разработаны мероприятия по снижению негативного влияния высокой теплопроводности стального анкерного крепления. Для повышения теплофизических свойств ограждающей конструкции предложено

использовать комбинированный анкер. Составными элементами анкерного крепления являются сталь и полиамид. Стальная часть выполняет функцию крепежа.

4. Проведены теплотехнические расчеты узлов крепления трехслойных металлических панелей с помощью комбинированных анкерных соединений с учетом климатических условий. Теплофизические расчеты подтвердили целесообразность использования комбинированного анкерного крепления при соединении металлических трехслойных панелей в районе г. Игарки при строительстве столовой вахтового поселка. При использовании данного соединения внутренняя поверхность стеновой панели на двутавровой колонне в зоне крепления комбинированных анкеров имеет температуру выше 17,4 °С. Переувлажнения внешней ограждаемой конструкции не наблюдается. Установлено, что крепление трехслойных стеновых панелей к стальной колонне при пониженных температурных условиях эксплуатации, является более предпочтительней, чем к железобетонной с позиции снижения влагонакопления и конденсации пара в узлах сопряжения и крепления стеновых панелей.

5. Проведен расчёт экономической эффективности от использования комбинированных анкерных креплений. Выявлена экономическая эффективность от замены традиционного анкерного крепления на комбинированное крепление, которая составляет 8,726 рублей (69,8 руб. на 1 м<sup>2</sup>), за год 56,31 рублей (450,48 руб. на 1 м<sup>2</sup>). Экономический эффект от снижения потерь тепла через исследуемый фрагмент стенового ограждения составляет 12,228 рублей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 32603-2012 Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия. Введ. 2014-10-01. – М.: Стандартиформ, 2015. – 55 с.
2. ГОСТ 23486-1979 Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана. Технические условия. Введ. 1980-01-01. – М: Издательство стандартов, 1979. – 22 с.
3. ГОСТ 21562-76 Панели металлические с утеплителем из пенопласта. Введ. 1977-01-01. – М: Издательство стандартов, 1987. – 11 с.
4. Аристов, Д.И. Сэндвич-панели в современных строительных системах / Д.И. Аристов, К.В. Матьков, Ю.В. Глотова // Кровельные и изоляционные материалы– 2015. – № 6. – С. 18-22.
5. Белоусов, Н.М. Актуальность применения сэндвич-панелей / Н.М. Белоусов, А.Н. Актуганов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2016. – № 5. – С. 10-12.
6. Береговая, Ю.А. О применении сэндвич-панелей на рынке быстрого строительства / Ю.А. Береговая // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2016. – С. 2510-2513.
7. Бурцева, М.А. Сэндвич-панели на основе пенополиизоцианурата и минеральной ваты // М.А. Бурцева, Е.А. Медникова // Материалы 5-ой международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и практики XXI». – 2017. – С. 51-54.
8. Гребнев, П. А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 : защищена 23.11.2016 / П. А. Гребнев ; науч. рук. Д. В. Монич; Нижегород. гос. архитектурно-строит. ун-т. - Москва, 2016. - 20 с.



9. Гагарин, В.Г. Теплозащита и энергетическая эффективность в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин // III Международный конгресс. Энергоэффективность XXI века. – СПб, 2011, С. 187-191.
10. Гареева, А.Ф. Использование сэндвич-панелей / А.Ф. Гареева // Материалы Международной интернет-конференции Проблемы сохранения и преобразования агроландшафтов, посвященной 225-летию со дня рождения С.Т. Аксакова. – 2016. – С. 218-220.
11. Громова, Л.Е. Гигиенические основы охраны здоровья нефтяников вахтовых форм труда в условиях Крайнего Севера: автореферат дис. ... доктора медицинских наук: 14.00.07, 14.00.25 / Громова Л.Е.; [Место защиты: С.-Петерб. гос. мед.акад. им. И.И. Мечникова].- Санкт-Петербург, 2009.- 48 с.: ил.
12. Голушкова, О.В. Сэндвич-панели как альтернатива классическим строительным материалам и оценка их конкурентоспособности // О.В. Голушкова, С.Л. Комарова, Д.Д. Янович // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 3. – С. 127-134.
13. Жуков, А.Д. Системы изоляции строительных конструкций / АД. Жуков, А.М. Орлова, ТА. Наумова, И.Ю. Талалина, А.А. Майорова// Научное обозрение – № 7 – 2015 – С. 213-217.
14. Жуков, А.Д. Изделия двойной плотности в изоляционной оболочке зданий / АД. Жуков, Т.В. Смирнова, П.К. Гудков //Промышленное и гражданское строительство – 2013. – №3. – . 21-23.
15. Жуков, А.Д. Локальная аналитическая оптимизация технологических процессов /АД. Жуков, А.В. Чугунков// Вестник МГСУ – 2011.–№ 1-2 – С. 273-278.
16. Жуков, А.Д. Экологические аспекты формирования изоляционной оболочки зданий /АД. Жуков, А.М. Орлова, ТА. Наумова, Т.П. Никушкина, А.А. Майорова// Научное обозрение – 2015. – № 7 – С. 209-212.
17. Копылов, И. А. PUR и PIR - новые для России теплоизоляционные

материалы / И. А. Копылов // Кровельные и изоляционные материалы – 2016 – № 4. – С.14-17.

18. Ильичев, И.А. Аквапанели в строительстве/ Ильичев И.А., Архипенко А.А. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова /Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2016. – С. 2668-2671.

19. Игитханян, С.К. Несъемная опалубка из аквапанелей КНАУФ / С.К. Игитханян Копылов А.А.// Символ науки. – 2016. – № 4-3 (16). – С. 75-77.

20. Качество, проверенное климатом: сэндвич-панели завода «Армакс» // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 8. – С. 13.

21. Использование быстровозводимых блочно-модульных конструкций при строительстве столовых вахтовых поселков / О.М. Евтухова, О.Я. Кольман, Е.О. Никулина, Е.М. Сергуничева//Технология и продукты здорового питания: сб. матр. науч.-практ. конф./ Министерство сельского хозяйства РФ; ФГБОУ ВО "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова". – Саратов. 2015. – С. 111-114.

22. Касенов, А.Е. Проблемы при эксплуатации сэндвич-панелей // А.Е. Касенов, М.Р. Закиров, И.В. Кулешов // Сборник материалов XVII Международной молодежной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки молодых ученых»; под общей редакцией С.С. Чернова. – 2017. – С. 13-18.

23. Концепция создания слоистых многофункциональных композиционных материалов для эксплуатации в арктических условиях / Д. К. Рябов [и др.] // Материаловедение – 2015. – № 12. – С.41-48.

24. Киселев, Д.А. Прочность и деформативность анкерного крепежа при действии статической и динамической нагрузок: дис. ... канд. техн. наук. – Москва. – 2010. – 158 с.

25. Кольман, О.Я. Проектные решения столовых вахтовых поселков на основе применения современных строительных материалов / О.Я. Кольман,

- Г.В. Иванова // Современная наука и инновации. – 2016. – № 2 (14). – С. 128-132.
26. Лунина, Д.С. Новые технологии в строительстве/ Д.С. Лунина, Л.В. Ковалева, Д.Н. Афанасьев // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2015. – № 1. – С. 179-182.
27. Мальцев В. Сэндвич-панели как возможные источники опасности для здоровья/ В. Мальцев // Вопросы безопасности и охраны труда – 2012. – № 3. – С. 55-59.
28. Мальцев В.В. Пенополистирол - оружие геноцида [Электронный ресурс] /В.В. Мальцев, В.Г. Николаев// Каталог статей. – Режим доступа: [http://homeland.3dn.ru/publ/stroitelnye\\_materialy/stroitelnye\\_materialy/penopolistirolo\\_oruzhie\\_genocida/14-1-0-6](http://homeland.3dn.ru/publ/stroitelnye_materialy/stroitelnye_materialy/penopolistirolo_oruzhie_genocida/14-1-0-6)
29. Муляр, С.Н. Применение экструдированных пенополистиролов в сэндвич-панелях // Строительные материалы. – 2000. – № 11. – С. 23.
30. Ограждающие конструкции – сэндвич панели // А.А. Солдатов [и др] // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 1 (57). – С. 165-167.
31. Осипович, Л.М. Преимущество пенополиизоцианурата для изготовления сэндвич-панелей / Л.М. Осипович, В.Е. Долженко // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2016. – Т. 19. – № 2 (62). – С. 74-84.
32. Осипович Л.М. Практическое использование дифференциального метода при оценке качества сэндвич – панелей / Л.М. Осипович, В.Е. Долженко// Сборник научных трудов 3-й международной молодежной научно-практической конференции «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование» в 2 томах. – 2016. – С. 126-129.
33. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве / Ф. Рёсснер [и др] // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета – 2012. – С. 64 -70.

34. Применение новых эффективных материалов в стеновых сэндвич панелях / А.П. Минина [и др] // Сборник трудов научной школы-семинара молодых ученых и студентов с международным участием «Современные проблемы механики, энергоэффективность сооружений и ресурсосберегающие технологии». – 2015. – С. 269-272.
35. Поздняков, И.С. Применение пенополиуретанов в сэндвич-панелях / И.С. Поздняков, О.А. Игнатова // Сборник Международной научно-технической конференции «Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении», Новосибирский государственный аграрный университет. – 2017. – С. 146-151.
36. Румянцев, Б.М. Теплопроводность высокопористых материалов / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова// Вестник МГСУ – 2012. – № 3. – С. 108-114.
37. Румянцев, Б.М. Энергетическая эффективность и методология создания теплоизоляционных материалов /Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова//Интернет-вестник ВолгГАСУ – №3(23) – 2014, - С. 3.
38. Рахматуллин, Т.Р. Преимущества сэндвич-панелей / Т.Р. Рахматуллин, В.М. Латыпов // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» ; редколлегия: Д. А. Виноградов ответственный редактор. Уфа, 2011. С. 51-52.
39. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – Взамен "Санитарных норм микроклимата производственных помещений", утвержденных Минздравом СССР от 31.03.86., N 4088-86; введ. 01.10.1996. – Москва: Минздрав России, 2001. – 12 с.
40. СП 2.3.6.1079-01 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья с изм. и допол. от 01.10.1996 г. – Введ. 01.02.2002. – Москва: Минздрав России, 2016. – 64 с.

41. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – Взамен СП 23-101-2000; введ. 01.06.2004. – Москва: ФГУП ЦПП, 2004. – 140 с.
42. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. – Взамен СП 23-01-99 введ. 01.01.2013. – Москва: Минрегион России, 2012. – 113 с.
43. Симашев, Ф. Преимущества возведения промышленных зданий из PIR и PUR сэндвич-панелей [Текст] / Ф. Симашев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века – 2017. – № 1/2.—С. 25-28.
44. Соков В.Н. Комплексный парогидро теплоизоляционный материал / В.Н. Соков, А.Э. Бегляров, А.А. Солнцев, А.А. Журавлёва, А.С. Журбин //Интернет-вестник ВолгГАСУ – 2014. – № 2 – Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
45. Сагин, П. Теплоизоляция из пенополиуретана - инновационный утеплитель или химически опасный материал? / Петр Сагин // Кровельные и изоляционные материалы. – 2014. – № 4. – С.18-19.
46. Трескова, Н.В. Современные стеновые материалы и изделия /Н.В. Трескова, А.С. Пушкин// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века – 2013. – № 11(178) – С. 32-35.
47. Тюленев, М.Д. Технология сэндвич-панелей с минераловатным утеплителем / М.Д. Тюленев, М.А. Бурцева, Е.А. Медникова // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 10 (11). – С. 162-164.
48. Хведченя, О.В. Навесные облицовки фасадов здания с кладкой из автоклавных газобетонных блоков: дисс. ... магистра техники и технологии строительства: 270800 / Хведченя Ольга Владимировна. – Санкт-Петербург, 2013. – 52 с. Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3208.pdf/view>
49. Харук, В.Д. Сэндвич - панели для строительства в Сибири // В.Д. Харук // сборник материалов VIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая", Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; ответ. ред. О.В. Тайлаков. – 2016. – С. 646.

50. Lepeshkin, I. Sandwich foamed aluminum panels. prospects of application /  
Lepeshkin I. // Известия Московского государственного технического  
университета МАМИ. – 2010. – № 1. – С. 136-147.