

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  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Повышение энергоэффективности  
производственных зданий  
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	_____	<u>доцент, к.т.н.</u>	<u>Е.М.Сергуничева</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Т.А. Безрукова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____		_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2021

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

Инженерно-строительный институт  
институт

Кафедра проектирования зданий и экспертизы недвижимости  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Р.А. Назиров  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
в форме \_\_\_\_\_ **магистерской диссертации** \_\_\_\_\_  
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Студенту Безруковой Татьяне Александровне

фамилия, имя, отчество

Группа СФ19-04М Направление (специальность) 08.04.01 Строительство

номер

код и наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Повышение энергоэффективности  
Производственных зданий»

Утверждена приказом по университету № 19343/с от 12.11.2019 г

Руководитель ВКР Е.М. Сергуничева, доцент кафедры ПЗиЭН, ИСИ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР нормативно-правовые документы по вопросам  
энергосбережения и энергоэффективности на территории РФ, официальные материалы  
статистических органов, учебники и справочники, журнальные статьи и научные доклады  
и отчеты, материалы конференций и семинаров, справочные данные сети Internet,  
материалы научно-исследовательской практики

Перечень разделов ВКР:

- Введение
- Глава 1. Состояние вопроса, цели и задачи исследования;
- Глава 2. Методы исследования;
- Глава 3. Результаты численного исследования;
- Глава 4. Экономическая оценка и рекомендации к применению;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Приложения.

Перечень графического материала:

5-20 слайдов презентационного материала, дающие полное отображение о ходе и  
итогах исследования.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

подпись

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

подпись, инициалы и фамилия студента

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Повышение энергоэффективности производственных зданий» содержит 92 страниц текстового документа, 41 использованных источника.

### Аннотация

В данной курсовой работе рассматриваются основные способы, повышения энергоэффективности промышленных зданий. Приводится сравнительный анализ примеров повышения энергоэффективности зданий такого типа, существующих на современном рынке России и зарубежный опыт.

В результате проведенного исследования подводится вывод о целесообразности и трудоемкости повышения энергоэффективности таких зданий.

### Ключевые слова

Энергоэффективность промышленных зданий, реконструкция промышленных зданий, анализ реконструированных зданий, исторические промышленные здания, реконструкция, сэндвич панель, тепловой поток.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Глава 1. Реконструкция производственных зданий .....	8
1.1 Перспективы реконструкции производственных зданий.....	8
1.2. Современные стеновые материалы .....	11
<b>1.4 Основные нормы и требования.....</b>	<b>51</b>
1.5 Сэндвич-панели в условиях Сибири .....	52
Выводы.....	53
2 Глава 2. Методы исследования .....	54
2.1 Теплообмен в воздушной прослойке крепления сэндвич панелей.....	54
2.2 Математическая модель .....	55
2.3 Условия однозначности.....	56
<b>2.3.1 Геометрические условия, описывающие форму и размеры тела, в котором протекает процесс .....</b>	<b>56</b>
Выводы по 2-й главе: .....	58
3 Глава 3. Результаты численного исследования.....	60
3.1 Температурные характеристики.....	60
3.4 Сравнительный анализ .....	66
Выводы по 3-й главе .....	67
4 Глава 4. Экономическая эффективность применения ограждающих конструкций из сэндвич панелей.....	68
4.1 Краткая характеристика, описание, теплотехнический расчет ограждающих конструкций из сэндвич панелей 100 мм .....	68
Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм.....	68
Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу 50x50 мм .....	69
Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте .....	70
<b>4.2.1. Перечень утвержденных сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов, принятых для составления сметной документации на строительство ..</b>	<b>71</b>
4.2.2. Обоснование особенностей определения сметной стоимости строительства объекта капитального строительства, характерные для него. ....	71

<b>4.2.3. Порядок определения сметной стоимости строительных работ ...</b>	<b>71</b>
4.3 Экономическая эффективность .....	14
Выводы .....	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	92

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность: С введением Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Постановления правительства РФ №18 «Правила установления требований энергетической эффективности для зданий» появилась большая необходимость в реконструкции производственных зданий.

Ограждающие конструкции производственных зданий, построенные в советский период времени, не соответствуют современным нормам энергетической эффективности, а также здания имеют большой износ и требуют реконструкции.

Применение энергосберегающих методов, технологий и материалов при новом строительстве и реконструкции можно считать одним из приоритетных направлений современного развития строительной индустрии. Наиболее эффективной мерой по снижению потерь тепловой энергии в промышленных зданиях является улучшение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций.

Цель:

Разработка методики технико-экономической оценки применения наружных ограждающих конструкций производственных зданий, подлежащих капитальным ремонтам и реконструкции.

Задачи:

1. На основе опыта реконструкции и капитального ремонта, определить основные тенденции применения ограждающих конструкций промышленных зданий.
2. Провести численное исследование технических решений ограждающих конструкций.
3. Провести экономическую оценку вариантов технических решений.
4. Разработать предложение по технико-экономической оценке ограждающих конструкций

## **1 Глава 1. Реконструкция производственных зданий**

### **1.1 Перспективы реконструкции производственных зданий**

Самая распространённая причина реконструкции производственных зданий – естественный износ, физический или моральный. Под воздействием факторов окружающей среды фасад здания постепенно разрушается. Это приводит не только к потере первоначального облика: разрушается теплоизоляция, приходят в негодность ограждающие конструкции.

Моральный износ – проблема, актуальная для тысяч производственных зданий по всей стране. Технологии производства, а также применяемое оборудование при производстве, устаревают, возникает необходимость менять. Устаревает не только здание, но технология. Чаще всего требуется не только замена отдельного оборудования, а полное перевооружение производства. Проблема в том, что без полной или частичной реконструкции здания это зачастую невозможно выполнить. Новое оборудование требует расширение проемов, усиление фундаментов и т.д.

Многие промышленные здания находятся в эксплуатации уже более 40 лет при минимальном обслуживании. Руководство заводов неохотно вкладывает средства в поддержание зданий. Рано или поздно это приводит к тому, что ограждающие конструкции зданий приходят в негодное состояние.

Можно выделить и другие причины, не связанные с негативными изменениями:

- расширение производственной базы;
- масштабное перевооружение или перепрофилирование производства.

Своевременная реконструкция производственных здания позволит предприятиям увеличить объёмы производства, повысить конкурентоспособность, зачастую и снизить стоимость производимой продукции, а значит – более уверенно чувствовать себя на рынке.

Реконструкция производственных зданий и сооружений, как правило, связана с расширением производства, модернизацией технологических процессов, установкой нового, более современного оборудования и т. п. Для выполнения этих работ требуется замена или усиление конструкций в максимально короткие сроки по возможности без остановки производства при минимальных затратах времени, материалов и труда.

К типичным задачам, возникающим при реконструкции производственных предприятий, относятся: увеличение пролетов путем удаления промежуточных опор, увеличение высоты цехов, высоты и пролета помещений, несущей способности перекрытий в связи с ростом технологических нагрузок и т. п.

При выполнении работ, связанных с реконструкцией производственных предприятий, необходимо учитывать стесненные условия их проведения, насыщенность действующим технологическим



оборудованием, инженерными сетями и коммуникациями, повышенную взрыво- и пожароопасность.

Стесненность работ при реконструкции требует применения малогабаритных погрузчиков с навесным сменным оборудованием, малых экскаваторов, гидравлических установок для подъема конструкций, оборудования для вдавливания свай, разрушения стен и фундаментов, установок для сверления отверстий в железобетонных конструкциях и т. п.

Одно из основных требований при реконструкции производственных предприятий — максимальное использование существующих конструкций, пригодных по своим прочностным и деформативным характеристикам к новым условиям эксплуатации. При этом следует стремиться к максимальному снижению дополнительных нагрузок на основание, фундаменты и существующие несущие конструкции, применению конструкции покрытия из легких сплавов, легкобетонных элементов, эффективных утеплителей и т. п.

При реконструкции производственных предприятий должны решаться не только технологические вопросы:

- социально-экономические вопросы, связанные с совершенствованием труда рабочих и служащих, созданием оптимальных условий для высокопроизводительного производства;

- следует избегать постройки дополнительных производственных зданий вспомогательного назначения и инженерных сооружений;

- обеспечить увеличение производственной мощности за счет устранения диспропорций в технологических звеньях;

- внедрение малоотходной и безотходной технологии, гибких производств;

- сокращение числа рабочих мест, снижение материалоемкости производства и себестоимости продукции, повышение фондоотдачи и т.п.

- должны быть учтены экологические требования, исключена загазованность и запыленность воздушной среды, снижен шум, повышены требования по пожаро- и взрыво-безопасности производства;

Особенностью реконструкции производственных предприятий с непрерывным производственным циклом является существенное влияние технологии производства на непрерывность строительно-монтажных работ. В этих условиях непроизводительные затраты времени увеличиваются в 1,5...2 раза по сравнению с новым строительством. При этом производительность труда строителей снижается на 20...30 %, в 1,5...2 раза увеличиваются простои рабочих. Учитывая это, подготовка строительного производства на каждом этапе реконструкции должна быть тщательно продумана и спланирована. Проект организации строительства должен разрабатываться в увязке с существующей технологией производства, должен быть учтен режим работы предприятия, стесненность условий ведения работ, сжатые сроки и повышенная опасность производства работ.

Для выполнения отдельных видов работ требуется остановка отдельных участков (цехов). С целью сокращения простоя на производстве, остановка отдельных участков допустима только при подтверждение полного обеспечения строительно-монтажных работ соответствующими материально-техническими ресурсами и механизмами.

При реконструкции производственных предприятия должны быть выполнены мероприятия по обеспечению прочности и устойчивости сохраняемых и демонтируемых конструкций, а также зданий и сооружений в целом, должна быть обеспечена безопасность транспортирования строительных материалов и конструкций, разработаны мероприятия по безопасной совместной работе нескольких специализированных подразделений и существующего производства. Все это отражается в проекте производства работ. И допускаются рабочие на участки только после записи в журнал совместных работ.

Работы по реконструкции в действующих цехах должны осуществляться под постоянным наблюдением инженерно-технического персонала, как со стороны заказчика, так и надзорных органов.

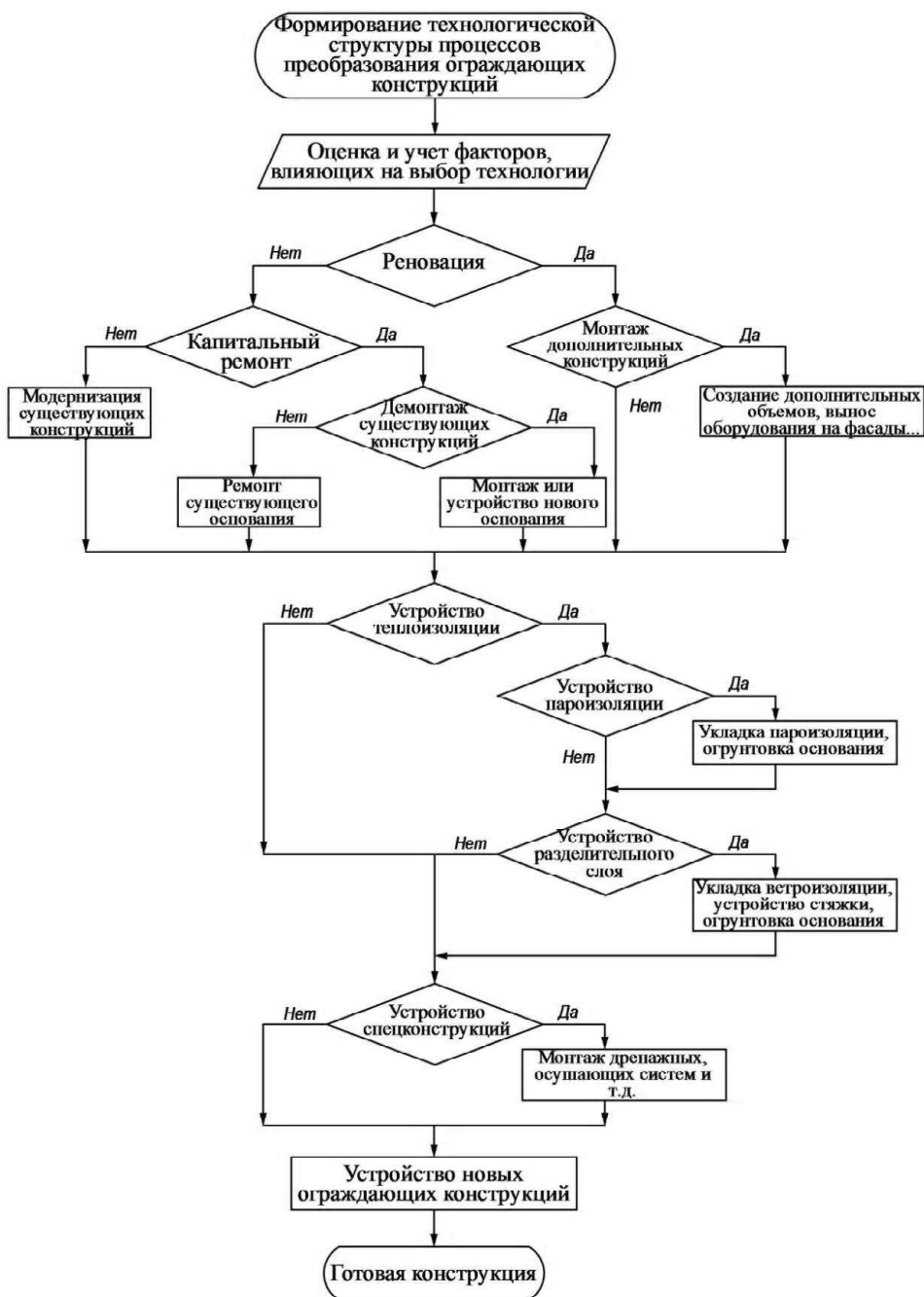


Рисунок – Формирование технологической структуры процессов преобразования ограждающих конструкций.

## 1.2. Современные стеновые материалы

По роду материала стены могут быть каменными, бетонными, железобетонными, деревянными, из местных строительных материалов, комбинированными. Стены по конструкции и способу возведения делятся на стены из штучных материалов, монолитные и крупнопанельные. В настоящей исследовательской работе подробно рассматриваются стеновые конструкции из камня, блоков, монолитные и крупнопанельные.

Одним из самых распространенных материалов, используемым при возведении зданий и сооружений, является КИРПИЧ. Большая практика применения кирпича позволяет неоспоримо отнести его к категории наиболее долговечных строительных материалов.

Обеспечивая надежную защиту от воздействия внешних факторов окружающей среды, кирпич обладает высокой огнестойкостью и сравнительно низкой теплопроводностью, накапливая солнечную энергию, он медленно и равномерно отдает тепло. Данные свойства кирпича защищает от чрезмерного нагревания летом и сохраняет тепло зимой. Кирпичная стена пропускает испарения сквозь свою толщу. В результате в помещениях поддерживается уровень равновесной влажности.

Различают кирпич керамический, изготовленный на основе обжига глиняного сырья, и силикатный кирпич, изготовленный без применения обжига по специальной технологии.

Керамический кирпич - результат обжига прессованных глиняных брикетов, в которые кроме глины добавлен песок и, при необходимости, другие добавки. Хорошо обожженный керамический кирпич имеет равномерный красный цвет и при ударе издает звонкий, чистый звук. Пережженный кирпич имеет черную сердцевину или оплавленные края. Такой кирпич не пригоден для широкого применения и подходит только для кладки фундаментов.

Силикатный кирпич получают методом полусухого прессования брикетов из смеси кварцевого песка, воздушной извести и воды с последующей обработкой в автоклаве - воздействуют на него паром с высокой температурой и давлением. Многие годы в нашей стране силикатный кирпич производился бело-серого цвета, который он приобретал за счет своей основной составляющей - дробленого кварца. Поэтому, если под руку попался кирпич белого цвета, можно было почти не сомневаться - он силикатный. Сейчас силикатный кирпич благодаря добавлению красителей производят практически любого цвета - цвет зависит только от цвета красителя. Можно увидеть силикатный кирпич голубого и зеленого, в том числе и красного цветов.

Определить, по какой технологии сделан кирпич, проще всего по его излому. Так, излом керамического кирпича имеет характерную для керамики структуру, в то время как силикатный имеет более мягкую, «сыпучую» структуру.

Обыкновенный полнотелый керамический кирпич повсеместно применяется при возведении несущих стен, сводов, опорных колонн, фундаментов и других сильно нагруженных конструкций зданий. Силикатный кирпич уступает красному кирпичу в универсальности применения - используется только в кладке стен и перегородок, не допускается его применение в фундаментах, цоколях, печах, каминах, трубах и других ответственных конструкциях. Он более мягкий и менее прочный в сравнении с красным, но, в сравнении с обычным керамическим кирпичом,

имеет более высокие звукоизоляционные показатели. Полнотелый кирпич содержит 8-15% технологических пустот (менее 13% по ГОСТ 530-2007), имеет плотность свыше 1600 кг/м<sup>3</sup> и обеспечивает максимальную прочность кирпичной кладки.

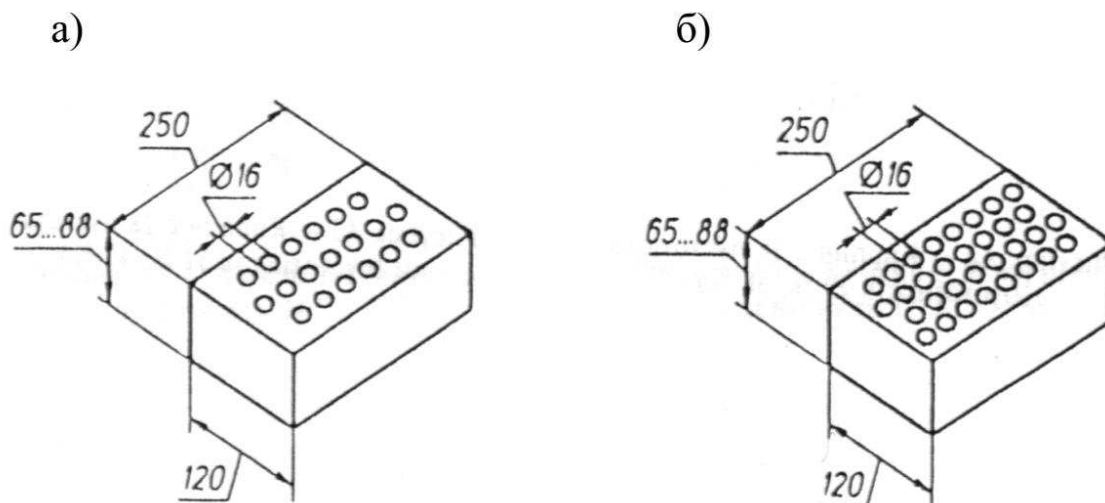


Рис. Внешний вид кирпича и его размеры: а) - кирпич с 19 пустотами (пустотность 13 %); б) - кирпич с 32 пустотами (пустотность 22 %)

Также выпускается так называемый пустотелый кирпич, имеющий сквозные (или несквозные) круглые или прямоугольные (щелевидные) отверстия. Содержание технологических пустот в этом случае находится на уровне 20-45%, что существенно снижает вес и теплопроводность кирпича (по сравнению с полнотелым). Объемная плотность пустотелого кирпича не превышает 1500 кг/м<sup>3</sup>. Отдельное внимание можно уделить уникальному сверхэффективному поризованному кирпичу с плотностью ниже 950 кг/м<sup>3</sup> производства ЗАО «Победа KNAUFF» (Санкт - Петербург). Этот кирпич обладает наименьшей теплопроводностью среди материалов рассматриваемой категории, помимо того не тонет в воде. Пустотелый кирпич применяется для устройства наружных стен с повышенной теплоизолирующей способностью, а также для возведения внутренних стен и перегородок.

Для выполнения кладки внешних и внутренних стен разработан декоративный кирпич, который имеет строго правильную форму и ровную, глянцевую поверхность внешних стенок. Использование такого кирпича, получившего определения «фасадный», «лицевой», позволяет получать не

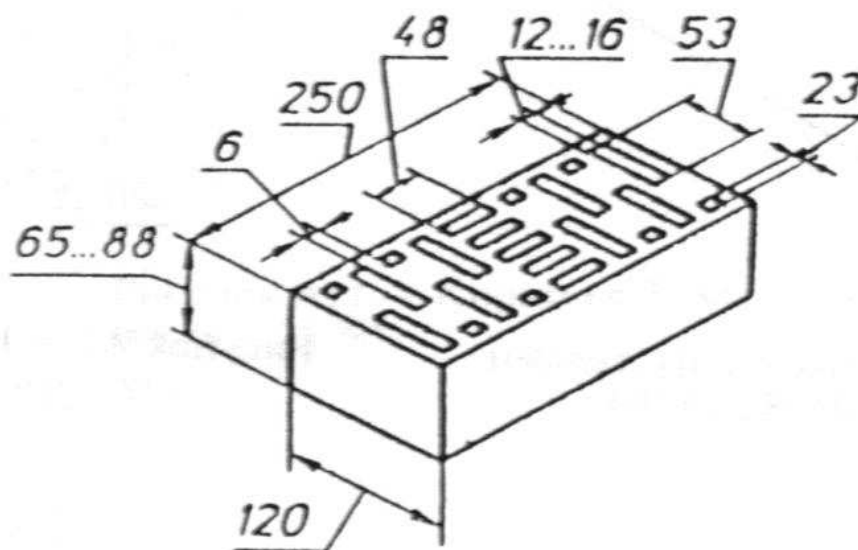


Рис. Кирпич с 21 пустотами (пустотность 34 %, 45 %)

только великолепную кладку внешних стен, но и применять его внутри помещений без последующей отделки стен.

К категории облицовочных материалов может быть отнесен также и фасонный (фигурный) кирпич. Заводы - производители предлагают фасонный кирпич со срезанным углом, со скругленным углом, угловой кирпич, кирпич для обрамления оконных проемов, арок, для устройства подоконников и т.д. Применение фасонного кирпича позволяет избежать трудоемких операций по резке обычного лицевого кирпича и предоставляет архитекторам дополнительные возможности декорирования.

Керамический камень известен со времен Римской Империи и широко используется и в наше время. Обусловлено это тем что керамический камень так же красив, как и стоек. Ничто не говорит о преимуществах керамического камня более убедительно, чем столетия использования его в строительстве.

На российском рынке последнее время встречаются керамические кирпичи и камни производства некоторых зарубежных фирм (OPTIROC, KELLER, TILERI и SALVESEN BRICK). На рисунках ниже изображены керамические изделия указанных фирм производителей.

По плотности в сухом состоянии кирпич и камни подразделяются на обыкновенные, условно-эффективные и эффективные. Применение эффективных керамических изделий дает возможность существенно сократить материалоемкость ограждающих конструкций, уменьшить толщину наружных стен и нагрузку на фундамент, что очень важно при реконструкции производственных зданий.

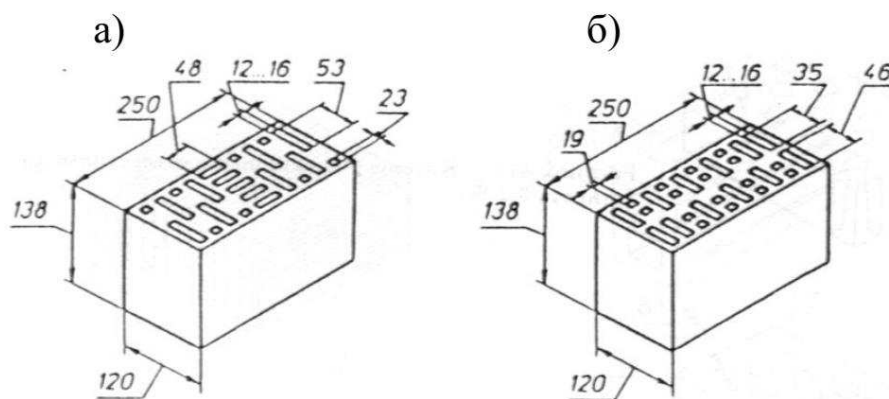


Рис. Внешний вид керамического камня и его размеры: а) - камень с 21 пустотами (пустотность 32 %, 42 %); б) - камень с 28 пустотами (пустотность 34 %, 45 %)

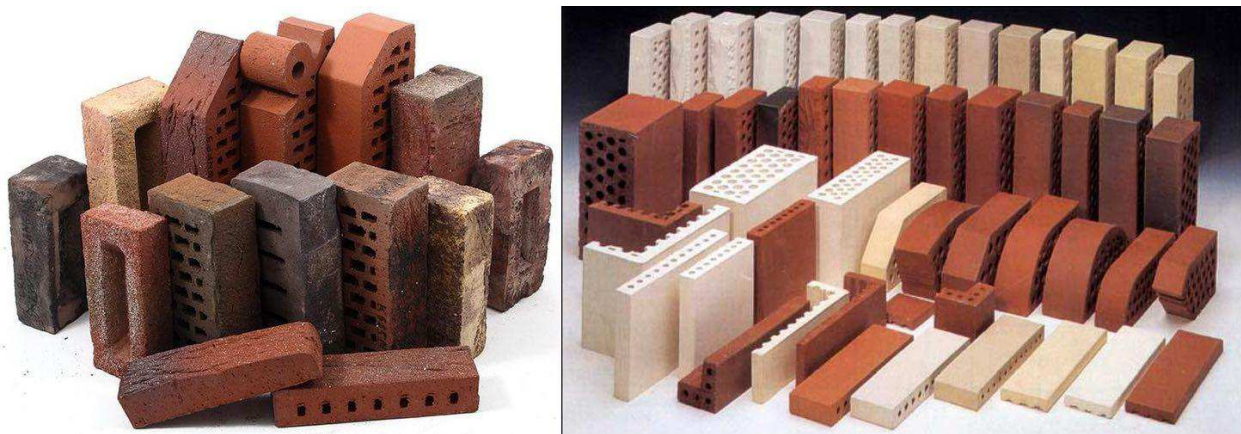


Рис. Керамические и силикатные кирпичи фирмы OPTIROC (Финляндия)

К новому поколению эффективных пористых керамических стеновых материалов можно отнести крупноформатные керамические камни 15 НФ размером 510x260x219 мм, плотностью 790 кг/м<sup>3</sup>, с пустотностью 50 -54% и теплопроводностью 0,18-0,22 Вт/м оС, массовый выпуск которых налажен на заводе ЗАО «Победа KNAUFF» (Санкт -Петербург).

Такой камень превышает по размеру стандартный кирпич в 15 раз.

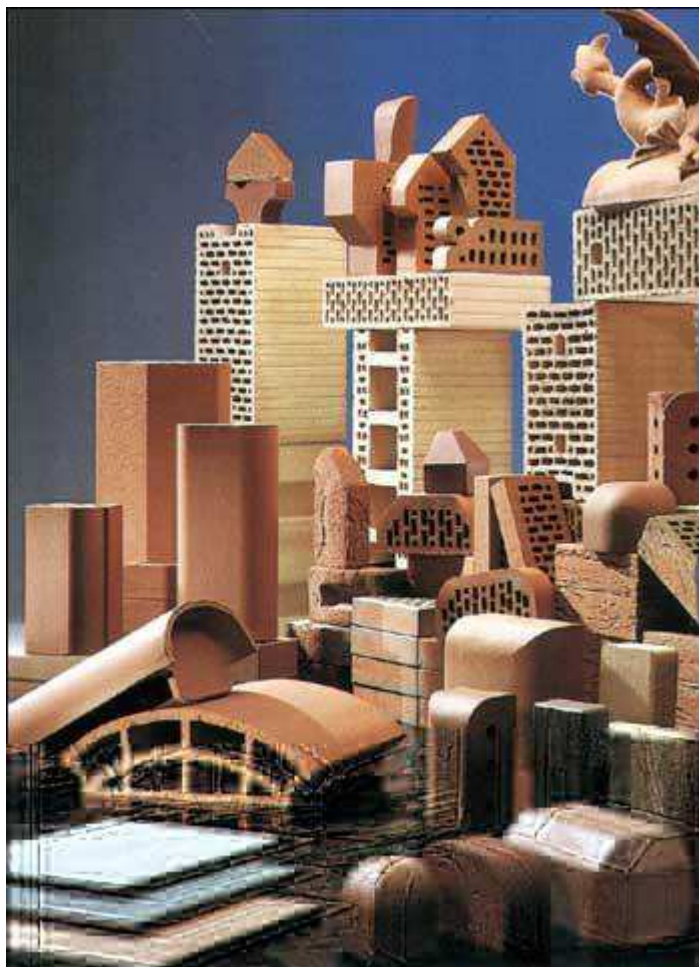


Рис. Керамические изделия фирмы KELLER

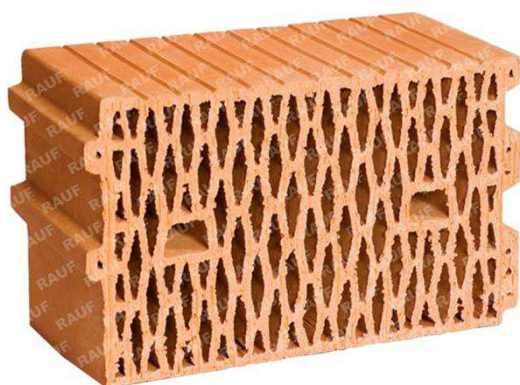


Рис. Поризованный крупноформатный камень «Победа KNAUFF»

Благодаря наличию у крупноформатных камней пазов и гребней, обеспечивающих необходимую герметичность стыков, нет необходимости заполнять вертикальные швы раствором. Кладка из крупноформатных



камней в несколько раз сокращает количество швов и существенно экономится кладочный раствор. Стоимость возведения 1 м<sup>2</sup> наружной стены на 10-20% меньше по сравнению со стенами из традиционной керамической продукции.

Керамические крупноформатные камни применяют для кладки самонесущих и внутренних стен промышленных зданий, для заполнения каркасов.

Сегодня на рынке представлен материал нового поколения строительных материалов – некерамический сверхтеплый кирпич «Термолюкс». Особенность его состоит в том, что при отличных теплоизоляционных качествах он обладает прочностью, достаточной для строительства 9-этажных зданий. Кирпич «Термолюкс» создан по принципу термоса. Кирпич «разрезан» пятью воздушными прослойками, перемычки, служащие для сохранения прочности, расположены в виде лабиринта что позволяет избежать «мостиков холода».

«Термолюкс» изготавливается из легкого, пористого и в то же время прочного материала и плотность его при 25% пустотности составляет 900-1000 кг/м<sup>3</sup>. Малая плотность кирпича уменьшает нагрузку на фундаменты, затраты на транспортировку и грузоподъемные механизмы. Верхняя постель кирпича является сплошной, и это не позволяет раствору проваливаться вовнутрь пустот, благодаря чему сохраняются его теплотехнические свойства и экономится раствор.

Кроме вышеперечисленных, к новым штучным стеновым материалам можно отнести пенокерамические блоки «Керпен», которые изготавливаются из кремнистых пород (трепела, опоки, диатомита), пенообразователя, стабилизатора пены и активирующих добавок. Формованные блоки «Геокар» изготавливаются на основе торфа и древесного наполнителя с последующей тепловой обработкой.

Бетон - один из основных материалов, применяемых в строительстве. Главным преимуществом применения бетона для строительных изделий, с технико – экономической точки зрения, является использование местных строительных материалов, а, следовательно, снижение затрат на производство и изготовление. Бетон – долговечен и огнестоек, в зависимости от требуемых условий применения можно варьировать такие его характеристики, как прочность и плотность. Из бетонной смеси при соответствующей обработке можно изготовить изделия любой необходимой формы, например, стеновые блоки - полнотелые и пустотелые, лицевые и рядовые.

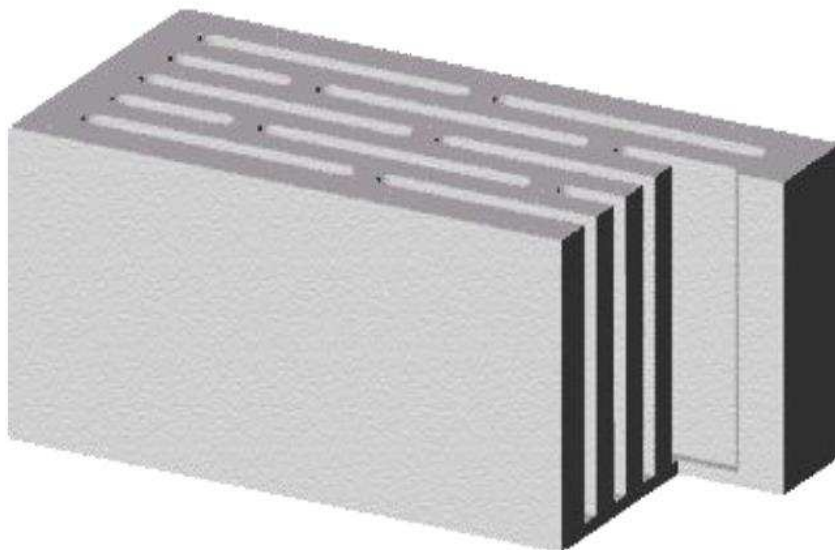


Рис. Некерамический сверхтеплый кирпич «Термолукс»

В соответствии с ГОСТ 6133-99, стеновые камни (блоки) могут быть выполнены на основе обычного тяжёлого или лёгкого бетона на пористых заполнителях.

Блоки из тяжелых бетонов характеризуются высокой несущей способностью, но обладают низкими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Такие блоки выпускаются на множестве предприятий практически во всех регионах России.

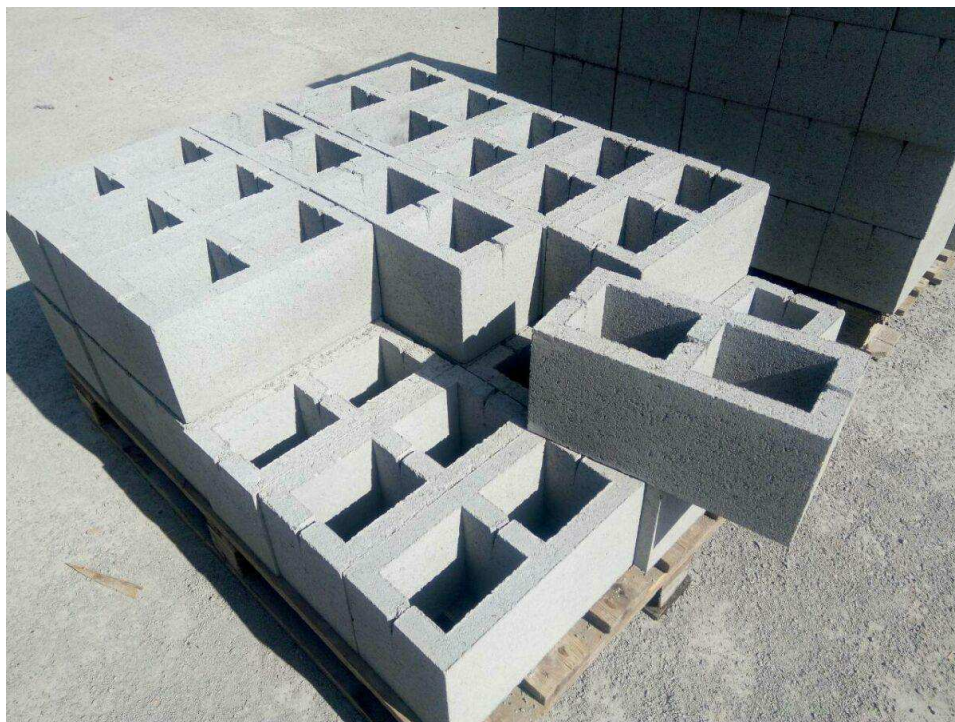


Рис. Стеновые блоки из тяжелых бетонов

Ячеистый бетон - сравнительно новый материал, ему не более 100 лет. Это искусственный камень с равномерно распределенными замкнутыми порами (ячейками), заполненными воздухом, диаметром 1-2 мм. Такая структура определяет целый ряд высоких физико-механических свойств ячеистого бетона и делает его весьма эффективным строительным материалом. Теплозащитные свойства у него в 2-3 раза выше, чем у кирпича.

Стена из этого материала «дышит», создавая в помещении идеальный микроклимат. Ячеистый бетон не горит, является экологически чистым и пожаробезопасным материалом. Внешне он напоминает пемзу. К преимуществам ячеистого бетона относится его хорошая обрабатываемость простейшими инструментами. По назначению ячеистые бетоны делятся на три группы: конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные. Среди блоков из ячеистых бетонов наибольшее распространение получили пенобетонные и газобетонные блоки.

Пенобетон изготавливается из цемента, песка, воды и пенообразователя. Материал является морозостойким, негорючим, не разрушается от воздействия высокой температуры, обладает хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами и малым весом. Производство пенобетона достаточно простое, поэтому производители пенобетона есть практически во всех регионах России. Пенобетонные блоки применяются в качестве ограждающих конструкций в каркасных зданиях, а также как термовкладыши в ограждающих конструкциях многоэтажных жилых домов.

Газобетон – получают из вяжущего (цемента, извести), кварцевого песка, воды, с добавлением газообразующих веществ. Газобетон обладает свойством поглощать влагу из воздуха при повышенной влажности и отдавать ее при пониженной влажности, является морозостойким и экологически чистым строительным материалом. Газобетон негорюч, не разрушается от воздействия высокой температуры и препятствует распространению огня. Технологию производства газобетона разработала немецкая фирма «Hebel». В настоящее время в России данная технология получила уже достаточно широкое распространение. Газобетонные блоки имеют точные геометрические размеры и гладкую поверхность, что позволяет вести кладку на специальном минеральном клее. Стеновые газобетонные блоки выпускаются двух типов: гладкие и с пазом/гребнем, что облегчает кладку. Применяют их при устройстве комбинированных стен в многоэтажных зданиях, при возведении малоэтажных жилых домов, а также в качестве утеплителя.

Пенобетон и газобетон являются конструкционно – теплоизоляционными строительными материалами.



Рис. Кладка из газобетонных блоков

К новым стеновым материалам относятся полистиролбетон и термоблок. Полистиролбетон появился не более 10 лет назад и является композиционным материалом, по своему функциональному назначению близок к ячеистым бетонам. Его получают из легкого бетона на цементном вяжущем из вспученного полистирольного заполнителя и специальных добавок и называют «чудо-материал XXI века».



Рис. Стеновой блок из полистиролбетона

Применяется в малоэтажном и многоэтажном строительстве. Наличие специальных пустот позволяет использовать их в качестве несъемной опалубки.

Термоблок – это стеновой элемент из песчаного бетона, состоящий из двух частей – «блок – опалубки» (оболочки толщиной 25 мм) из прочного, плотного песчаного бетона, воспринимающего нагрузку, и заполнения из пеноцемента, выполняющего роль теплозащитного материала.

Железобетон - композиционный строительный материал, в котором соединены в единое целое бетон и стальная арматура. Используется при изготовлении сборных и полносборных стеновых панелей.

В соответствии со СП 50.13330.2012 нормативное термическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций составляет, например, для г. Иркутска не менее 3,9 м<sup>2</sup>о С/Вт. Это означает, что падение температуры при прохождении через ограждающую конструкцию теплового потока плотностью, равной единице, должно быть не меньше, чем 3,9 о С.

Выполнение этого требования за счет увеличения толщины ограждающей конструкции приводит к увеличению материалоемкости стен: толщина стен из железобетона в г.Иркутске тогда должна быть не менее 7,5 м, а из полнотелого кирпича - не менее 2,5 м. С целью уменьшения материалоемкости и энергоемкости строительного производства в настоящее время толщина внешних стен назначается, исходя только из требований прочности, а необходимое термическое сопротивление обеспечивают теплоизоляционные материалы. Таким образом, основным направлением, удовлетворяющим требованиям измененных норм, являются слоистые ограждающие конструкции с эффективными теплоизоляционными материалами, независимо от основного материала стен.

В следующем разделе мы подробно остановимся на типах слоистых ограждающих конструкций, применяемых в современном строительстве, проанализируем их достоинства и недостатки.

### **1.3. СИСТЕМЫ ФАСАДНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ**

#### **1.3.1. Классификация систем фасадной теплоизоляции**

В зависимости от расположения утеплителя в ограждающей конструкции выделяют следующие три основных типа теплоизоляционных систем:

1. Утеплитель расположен снаружи ограждающей конструкции.
2. Утеплитель расположен с внутренней стороны ограждающей конструкции.
3. Утеплитель расположен внутри самой ограждающей конструкции.

С точки зрения теплофизики, общее термическое сопротивление не зависит от последовательности расположения слоев различных материалов в ограждающих конструкциях. Однако, с точки зрения диффузии водяных паров, они должны быть расположены в порядке уменьшения термического

сопротивления и паропроницания снаружи вовнутрь. Нарушение этого условия может привести к конденсации влаги в сечении ограждающей конструкции и, следовательно, к снижению ее термического сопротивления.

Прежде чем рассматривать каждую из перечисленных систем фасадной теплоизоляции, остановимся подробнее на материалах, применяемых для теплоизоляции в строительстве.

### 1.3.2. Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционными называют строительные материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции конструкций зданий и сооружений, а также различных промышленных установок, аппаратуры, трубопроводов, холодильников и транспортных средств.

По ГОСТ 16381-77 теплоизоляционные материалы (в дальнейшем сокращенно ТИМ) классифицируются по следующим основным признакам.

По виду исходного сырья ТИМ могут быть органическими и неорганическими (минеральными).

По структуре ТИМ могут быть волокнистые, зернистые и ячеистые.

По форме и внешнему виду материалы подразделяются на штучные изделия (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, скорлупы, сегменты), рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты), рыхлые и сыпучие (вата, перлит, песок и др).

По теплопроводности ТИМ делятся на три класса: А - низкая (до 0,06 Вт/м оС), Б - средняя (от 0,06 до 0,115 Вт/м оС) и В - повышенная (от 0,115 до 0,175 Вт/м оС) теплопроводность.

По средней плотности, кг/м<sup>3</sup>, теплоизоляционные материалы делят на: особо низкой плотности (ОНП) марки 15,25,35,50,75; низкой плотности (НП) марки 100,125,150,175; средней плотности (СП) марки 200,225,250,300,350; плотные (ПЛ) марки 400,450,500,600.

Марка теплоизоляционного материала представляет собой верхний предел его средней плотности. (Например, изделия марки 100 могут иметь среднюю плотность, равную 75 – 100 кг/ м<sup>3</sup>.)

По жесткости ТИМ подразделяют на следующие виды: мягкие (М), полужесткие (П), жесткие (Ж), повышенной жесткости (ПЖ), твердые (Т).

В зависимости от значений параметров горючести по ГОСТ 30244-94 материалы подразделяют на негорючие (НГ) и горючие (Г). Горючие строительные материалы подразделяются на четыре группы: Г1 (слабогорючие); Г2 (умеренногорючие); Г3 (нормальногорючие); Г4 (сильногорючие).

Рассмотрим основные технические характеристики теплоизоляционных материалов по СТ СЭВ 5063-85 /5/, ГОСТ 17177-94.

Важнейшей технической характеристикой ТИМ является теплопроводность – это способность материала передавать теплоту через толщу от одной поверхности к другой. Количественно определяется

коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м °С), выражающим количество тепла (Дж), проходящее через материал толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях материала 1 °С.

Плотность ( $\rho$ ) – это отношение массы сухого материала к его объему, кг/м<sup>3</sup>.

Прочность на сжатие – это величина нагрузки в Мпа, вызывающей изменение толщины изделия на 10%,  $\sigma_{10}$ .

Сжимаемость – это способность материала изменять толщину под действием заданного давления. Сжимаемость характеризуется относительной деформацией материала под действием удельной нагрузки (2000 ± 30) Па.

Водопоглощение ( $W$ ) – свойство материала поглощать и удерживать воду при непосредственном с ней соприкосновении. Водопоглощение теплоизоляционных материалов характеризуется количеством воды, которое впитывает сухой материал при выдерживании в воде, отнесенным к массе или объему сухого материала.

Сорбционная влажность ( $W_{\text{сорб}}$ ) - равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени. Сорбционная влажность материала характеризуется количеством воды, адсорбированной образцом сухого материала, выдержанного над водой, отнесенным к массе сухого материала.

Паропроницаемость (по ГОСТ 25898-83) – способность материала пропускать через свою толщину водяной пар. Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости  $\mu$ , численно равным количеству водяного пара в миллиграммах, проникающего через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 ч, и разностью парциальных давлений пара в 1 Па.

Морозостойкость - свойство материала, насыщенного водой, выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без значительных признаков разрушения. Морозостойкость характеризуется числом циклов попеременного замораживания при -15, -17 °С и оттаивании в воде при температуре около 20 °С.

Огнестойкость – свойство материала противостоять действию высоких температур без воспламенения, нарушения структуры, прочности и других его свойств.

В Российской Федерации работает более 200 предприятий по производству теплоизоляционных материалов мощностью около 15 млн.м<sup>3</sup> в год.

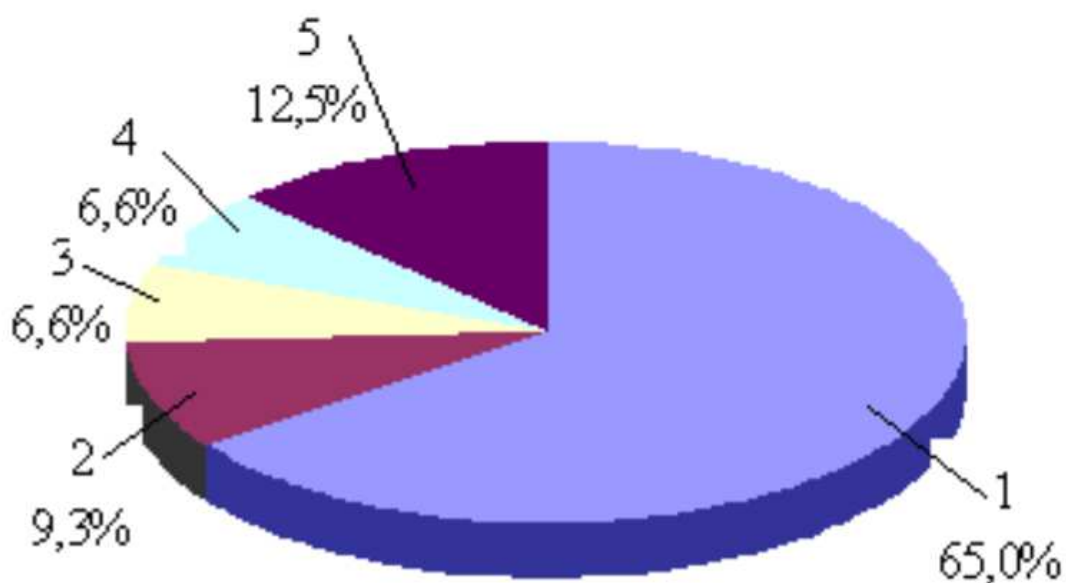


Рис. Структура производства утеплителей в России: 1- минераловатные; 2- стекловатные; 3- пенопласты; 4- ячеистые бетоны; 5- базальт, перлит, вермикулит и др.

Структура объемов выпуска утеплителей в России мало отличается от структуры, сложившейся в промышленно развитых странах мира, где на долю волокнистых утеплителей также приходится 60-80% от общего объема.

Мировое производство теплоизоляционных изделий из минерального сырья и стекловаты достигло 10 млн тонн/год на сумму около 32 млрд долларов США. В России производство теплоизоляционных материалов из минерального сырья и стекловолоконных материалов составляет не многим более 585 тыс тонн/год. Объем производства теплоизоляционных материалов в России увеличивается в среднем на 20% в год, но тем не менее теплоизоляции не хватает. Очередь на покупку теплоизоляции на действующих заводах в настоящее время составляет 2 месяца.

Россия является самой большой и холодной страной в мире, где для того чтобы жить даже на трети площади, пригодной для проживания, необходимо теплое, отапливаемое 6-10 месяцев в году жилье. Несмотря на это, обеспеченность населения теплоизоляционными материалами в Российской Федерации в 7-12 раз меньше, чем в промышленно развитых странах мира.



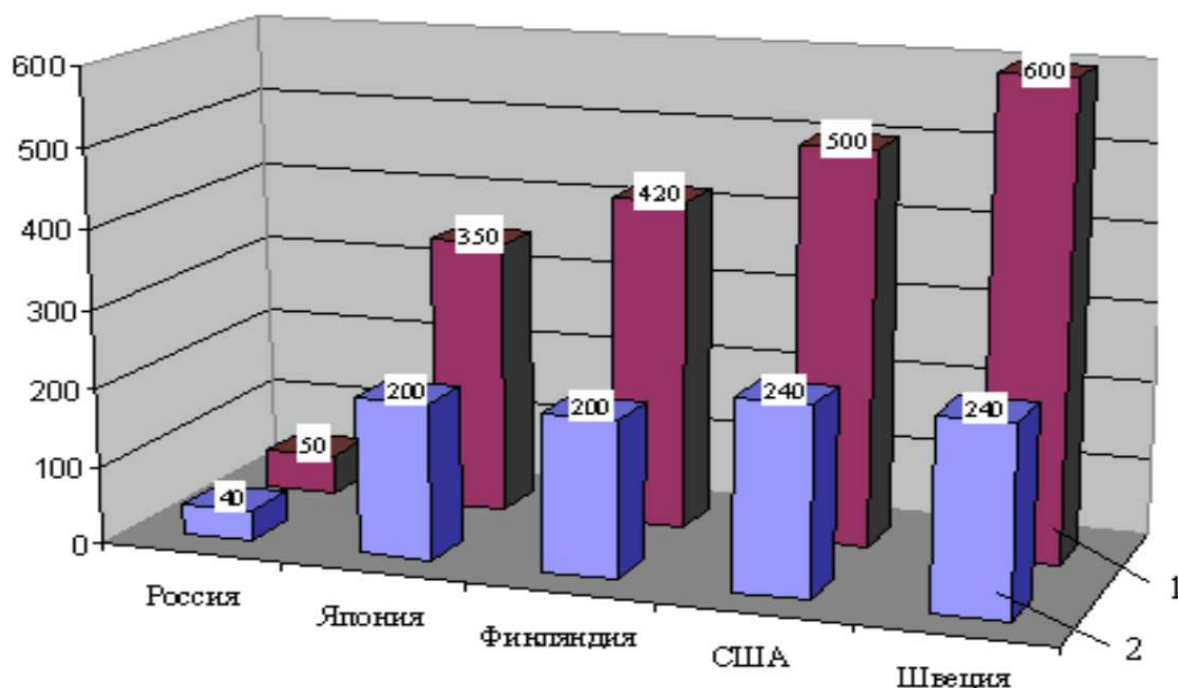


Рис. Обеспеченность населения теплоизоляционными материалами, м<sup>2</sup>/1000 чел: 1- всего; 2 – в том числе минеральная вата

Минераловатные изделия производятся во всех федеральных округах России, причем в наибольшем количестве в Центральном и Уральском. В Сибирском и Дальневосточном округах, где требования к тепловой изоляции зданий особенно велики, производится не более 25% от общего производства, что позволяет ведущим фирмам западных стран успешно продавать свою продукцию на рынках России. Потребность теплоизоляционных материалов по федеральным округам России представлена на

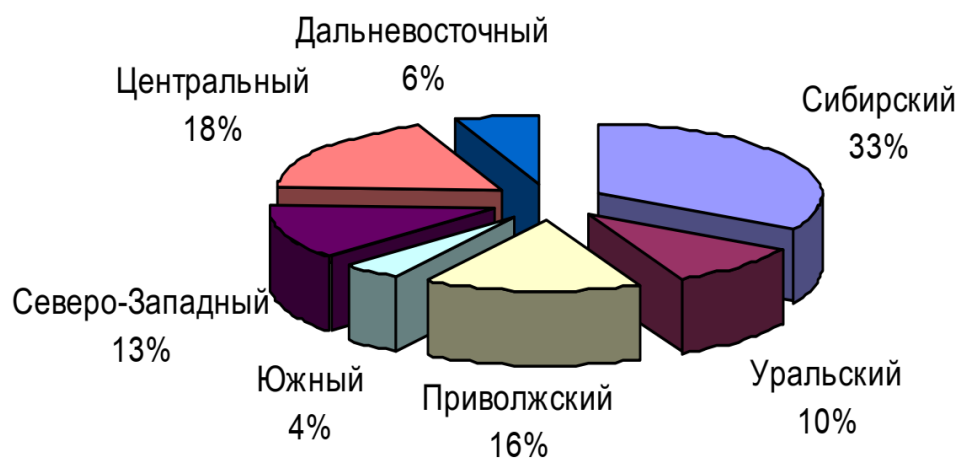


Рис. Структура потребности в теплоизоляционных материалах

Теплоизоляционные материалы невыгодно перевозить на дальние расстояния, так как вследствие их малой средней плотности не используется полностью грузоподъемность транспортных средств. Например, в вагоне с грузоподъемностью 60 тонн можно перевезти не более 10 тонн минеральных плит. Таким образом, стоимость 1 м<sup>2</sup> жилья неуклонно растет.

### **1.3.3. Фасадные системы с утеплителем снаружи ограждающей конструкции**

В системе наружной фасадной теплоизоляции толщина ограждающей конструкции назначается, исходя из требований прочности. Толщина утеплителя должна быть такой, чтобы зоны конденсации влаги и основного перепада температуры находились внутри теплоизоляционной плиты. В этом случае накопленная влага легко испаряется из-за высокой паропроницаемости системы.

Главное требование размещения дополнительной теплоизоляции с наружной стороны состоит в том, что сопротивление паропроницанию теплоизоляционного слоя вместе со слоем наружной облицовки не должно превышать сопротивление паропроницанию существующей стены.

В данной системе широко применяют следующие направления:

- система «мокрого» типа - с оштукатуриванием фасада;
- навесной вентилируемый фасад.

Системы «мокрого» типа». Системы наружной теплоизоляции «мокрого» типа» появились в России сравнительно недавно, но в мире уже накоплен богатый опыт по применению данной технологии.

Показаны основные элементные слои штукатурных систем.

Системы утепления с оштукатуриванием фасадов предусматривают клеевое или механическое закрепление утеплителя с помощью анкеров, дюбелей и каркасов к существующей стене с последующим покрытием его защитными слоями. В зависимости от толщины фасадных штукатурных слоев применяют две разновидности устройства системы: с жесткими и гибкими (подвижными и шарнирными) крепежными элементами, с помощью которых прикрепляют плиты утеплителя к существующей стене.

Первую используют при малых толщинах штукатурных слоев 8 - 12 мм, а вторую при 20-30 мм.



Рис. Основные элементные слои штукатурных систем «мокрого типа» (на примере системы (Шуба-Плюс) /22,37/): 1- кирпичная стена; 2- клеящий состав; 3- утеплитель (плита на основе минеральных базальтовых волокон); 4- армирующая сетка; 5- дюбель; 6 - защитное покрытие; 7- декоративное покрытие.

Тонкослойная штукатурная система. Перед наклейкой теплоизоляционных плит стена, предназначенная для отделки, подготавливается, грунтуется, затем промеряется с помощью специального измерительного инструмента для выяснения качества и отклонений постройки. Делаются уровневые отметки и ставятся маяки. Утеплитель (базальтовая вата, минераловатные плиты, пенополистирол) приклеивается цементно-клеевым составом к поверхности стены и выравнивается по уровню и относительно маяков. Плиты утеплителя клеятся в шахматном порядке, чтобы не совпадали швы плит, и без зазоров между ними. Когда клей просохнет, сквозь плиты сверлятся отверстия в стене для установки закрепляющих дюбелей. Длина дюбеля должна быть подобрана таким образом, чтобы он входил в стену на глубину минимум 5 см. Забитый и немного утопленный в плите утеплителя дюбель фиксируется гвоздем, который внутри стены расклинивает дюбель и тем самым исключает возможность его выпадения из стены. Такой дополнительный механический способ крепления подстраховывает крепление утеплителя с помощью клея. Два комбинированных способа крепления плит дают в итоге максимально крепкое и в то же время пластичное соединение со стеной здания. После закрепления дюбелями идет обработка всех углов для придания им механической прочности. Углы дополнительно выравниваются с помощью специальных алюминиевых уголков с наклеенной на них стеклосеткой. Дополнительно полоской сетки проклеиваются и внутренние углы. На местах наиболее возможных деформаций, таких, как углы окон и дверей также наискосок приклеивается стеклосетка. Монтаж плит утеплителя должен быть

выполнен очень тщательно, поскольку с помощью плит стены выравниваются и от качества монтажа в большой степени зависит внешний вид утепляемой поверхности. Поверх утеплителя наносится базовый слой специальной клеевой смеси толщиной 3-5 мм, и в него втапливают армирующую полимерную сетку или стеклосетку из щелочестойкого стекла. Все участки сетки должны перекрывать друг друга минимум на 5 см, чтобы не осталось поверхности без сетки. Таким образом, получается слой клея, армированный сеткой. После просушки армированного слоя полученная поверхность дополнительно выравнивается с помощью клея методом шпатлевания необходимое количество раз. Поверхность еще раз хорошо просушивается и выдерживается. Этот слой выполняет функции защиты от механических и атмосферных воздействий, а нагрузка от плит утеплителя может восприниматься жесткими крепежными элементами, работающими на поперечный изгиб и растяжение. Базовый слой герметично примыкает к проемам здания (оконным и дверным), так что утеплитель оказывается гидроизолирован от воздействия атмосферных осадков. Просохшая поверхность грунтуется фасадным грунтом и снова просушивается. Поверх базового наносится декоративный, или отделочный слой, который выполняет декоративную функцию. Отделочный слой либо поставляется заранее колерованным, либо выполняется последняя операция - окраска отделочного слоя. Толщина отделочного слоя может составлять 3-5-мм. Общая толщина штукатурных слоев, как правило, не превышает 12 мм.

Базовый и отделочный слои бывают двух видов: минеральные и полимерные. Минеральные слои лучше пропускают пары воды, они более дешевы. Полимерные слои более прочны и долговечны в эксплуатации.

На российском рынке известны следующие системы с оштукатуриванием фасадов, имеющие Технические свидетельства ФЦС Госстроя РФ и прошедшие экспертизу в ГУ Центр «ЭНЛАКОМ» и ГУП «НИИМосстрой»: «Синтеко» (Россия); «Текс-Колор» (Германия); «Капатект» (Германия); «Альзекко» (Германия); «Испо» (Германия); «Сэнарджи» (Россия); «Теплый дом» (Россия), «Шуба-Плюс» (Россия) и другие.

Толстослойные штукатурные системы. Особенностью системы является раздельная работа стены и теплоизоляционного слоя, уменьшающая негативное влияние температурно-влажностных деформаций, возникающих в защитном штукатурном слое.

Такая работа обеспечивается за счет применения подвижных кронштейнов, крепящихся к стене с помощью дюбелей. Утеплитель накладывают на подвижную часть кронштейнов снизу вверх с соблюдением правил перевязки швов: смещение швов по горизонтали, зубчатая перевязка на углах здания, обрамление оконных проемов плитами с подоконными вырезами «по месту» и т.п. Фиксацию положения утеплителя обеспечивают стальными шпильками, устанавливаемыми после укладки на него стальной штукатурной сетки.

На поверхности плит утеплителя для сцепления с ним и закрытия армирующей сетки, шпилек и гибких кронштейнов наносят слой «обрызга» толщиной 7-10 мм из растворной смеси на цементно-известковом вяжущем. После схватывания слоя «обрызга» на него наносят грунтовочный слой толщиной 10 мм, обеспечивающий защиту плит от атмосферных воздействий и механических деталей от коррозии, а затем наносится декоративное покрытие толщиной 2-5 мм.

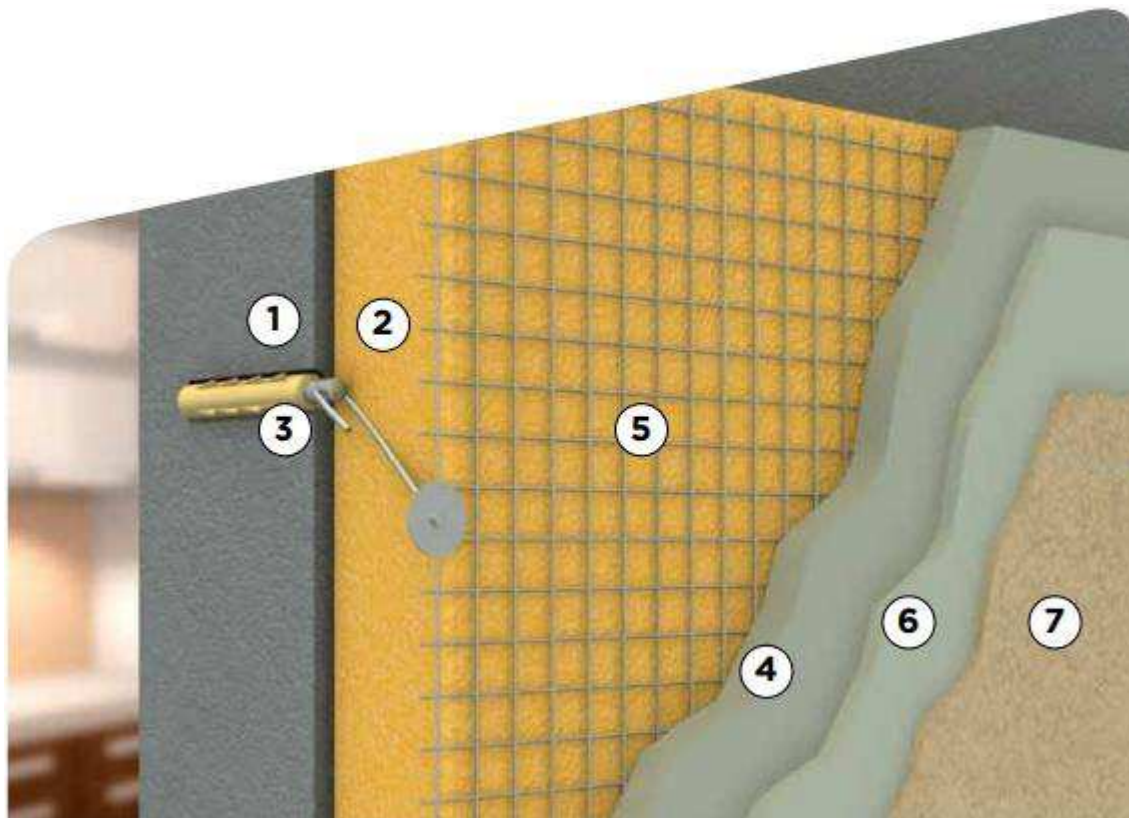


Рис.. Материалы, входящие в систему «Серпорок»: крепеж LRH, состоит из трех частей: анкерной части, подвижного крюка и трех фиксирующих пластин; штукатурная сетка; минераловатная теплоизоляция (плотность не менее 70 кг/ куб. м, толщина 30—150 мм); грунтовой и выравнивающий известково-цементный раствор, наносимый вручную или механическим способом в два слоя; цветные отделочные известково-цементные фасадные штукатурки и краски (36 цветов с различной фракцией и фактурой)

Принципиальная особенность данной системы - отсутствие жесткого приклеивания штукатурного слоя к поверхности утеплителя.

В качестве утеплителя могут использоваться такие материалы, как пенополистирол, минераловатные плиты на синтетическом связующем.

Крепежные элементы выполняют из коррозионно-стойкой стали, а армирующую сетку с размером ячеек 20x20 мм - из стали с гальваническим оцинкованием поверхности.

Представителями такой системы являются: «Термопальто» - Хантерстар (Россия), «Серпорок» (Финляндия) и шведская - «Термофасад».

Достоинства систем с оштукатуриванием фасадов:

1. Улучшенный влажностный и тепловой режим конструкций и общий температурный режим помещений, т.к. граница промерзания и «точка росы» расположены снаружи ограждающей конструкции (в утеплителе, ближе к улице) и в результате этого стена может служить в качестве аккумулятора тепла.

2. При соблюдении главного требования к размещению теплоизоляции декоративная штукатурка и армирующий слой не дают влаге проникнуть внутрь, и при всем этом водяной пар, который образуется внутри здания от жизнедеятельности человека, беспрепятственно выходит в атмосферу.

3. Материал утепления обладает повышенной огнестойкостью.

4. Снижает температурные нагрузки на стены и тем самым уменьшает вероятность образования в них трещин.

5. Защита наружных стен от воздействия атмосферной влаги, что способствует сохранению их прочности и несущей способности.

6. Защита наружных стен от химически агрессивных веществ.

7. Отсутствие «высолов» на фасадах.

8. Повышение теплозащиты без уменьшения жилой площади.

9. Исключение «мостиков холода», что сокращает расходы на отопление здания.

10. В панельном домостроении решается проблема защиты межпанельных швов.

11. Возможность применения как на вновь строящихся, так и на реконструируемых зданиях.

Недостатки:

1. Необходимость сплошного утепления фасадов дома.

2. Необходимость в защите слоев теплоизоляции от атмосферных воздействий и поверхностных температурных деформаций (трещин), а также сложность выполнения примыканий к окнам и балконным дверям.

3. Сезонность выполнения некоторых видов работ, так как данная технология предполагает наличие «мокрых» процессов, которые могут проводиться только в теплую погоду (до +5 0С). Возможность выполнения части работ (приклейка утеплителя, дюбелирование и армирование) в зимний период с использованием тепловых завес. Однако окончательную отделку, во всех случаях, осуществляют в теплое время года.

4. Необходимость обновления фасадов (нанесение новой декоративной штукатурки или покраска).

5. Стоимость иностранных систем ориентировочно составляет 20 - 25 \$/ м<sup>2</sup>.

Вентилируемый фасад. Принципиальной особенностью подобных систем является полное отсутствие «мокрых» процессов и наличие

вентиляционного зазора (2-5 см) между утеплителем и защитным экраном, который занимает 1/4 объема между стеной и облицовкой.

Навесной вентилируемый фасад представляет собой конструкцию, состоящую из материалов облицовки и подблицовочной конструкции. Подблицовочная конструкция состоит из кронштейнов, которые крепятся непосредственно на стену с помощью дюбелей и опорных узлов, и несущих профилей, устанавливаемых на кронштейны, к которым с помощью специального крепежа прикрепляются элементы облицовки.

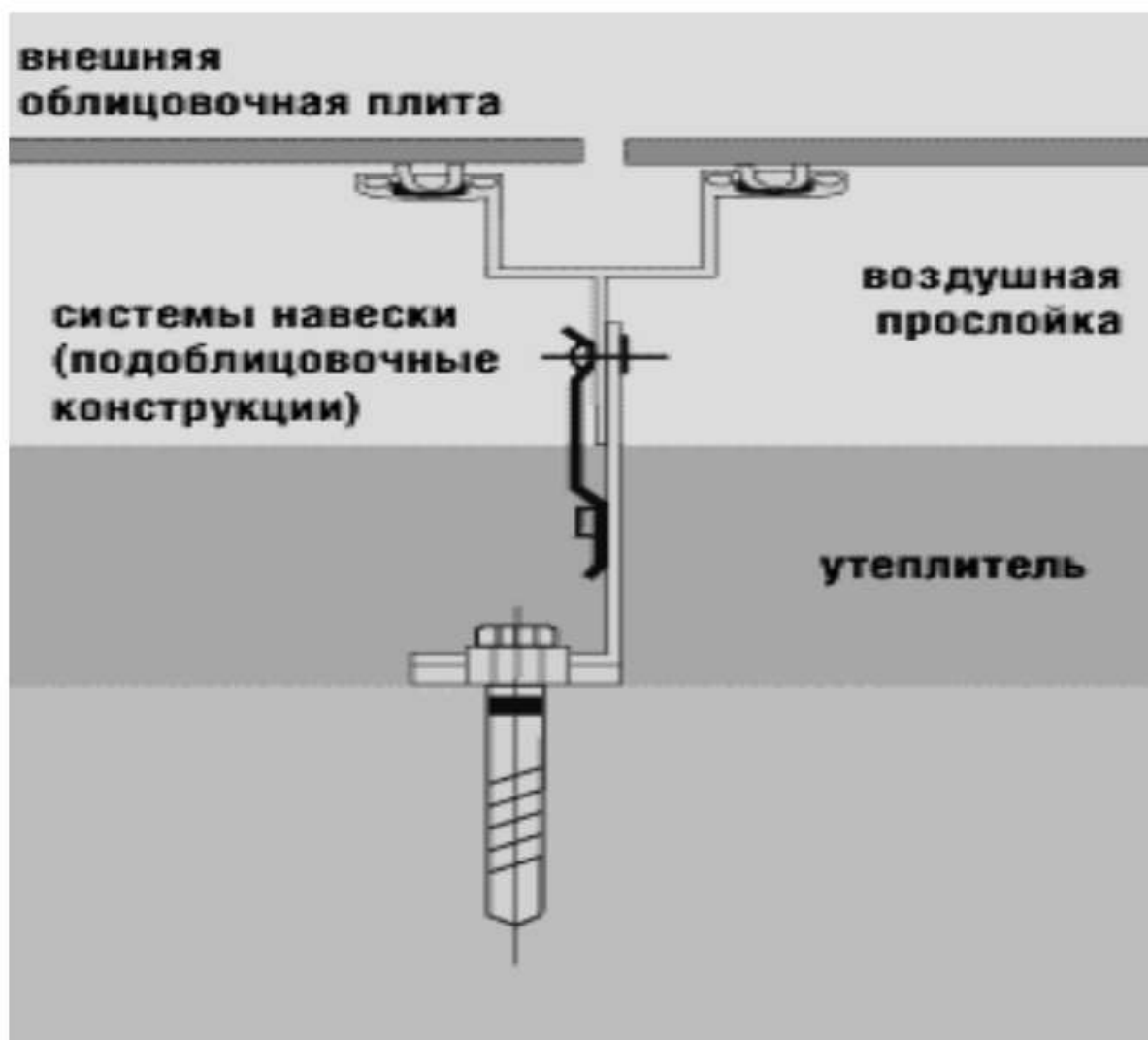


Рис. Конструкция вентилируемого фасада (вид сверху)

Несущая профильная конструкция применяется трех типов: горизонтальная, вертикальная и комбинированная (совмещенная).

Основное назначение кронштейнов – обеспечивать необходимое расстояние между стеной, утеплителем и облицовкой, что позволяет использовать утеплитель необходимой толщины, обеспечивать возможность исправления неровности стен, а также выдерживать статические и динамические нагрузки.

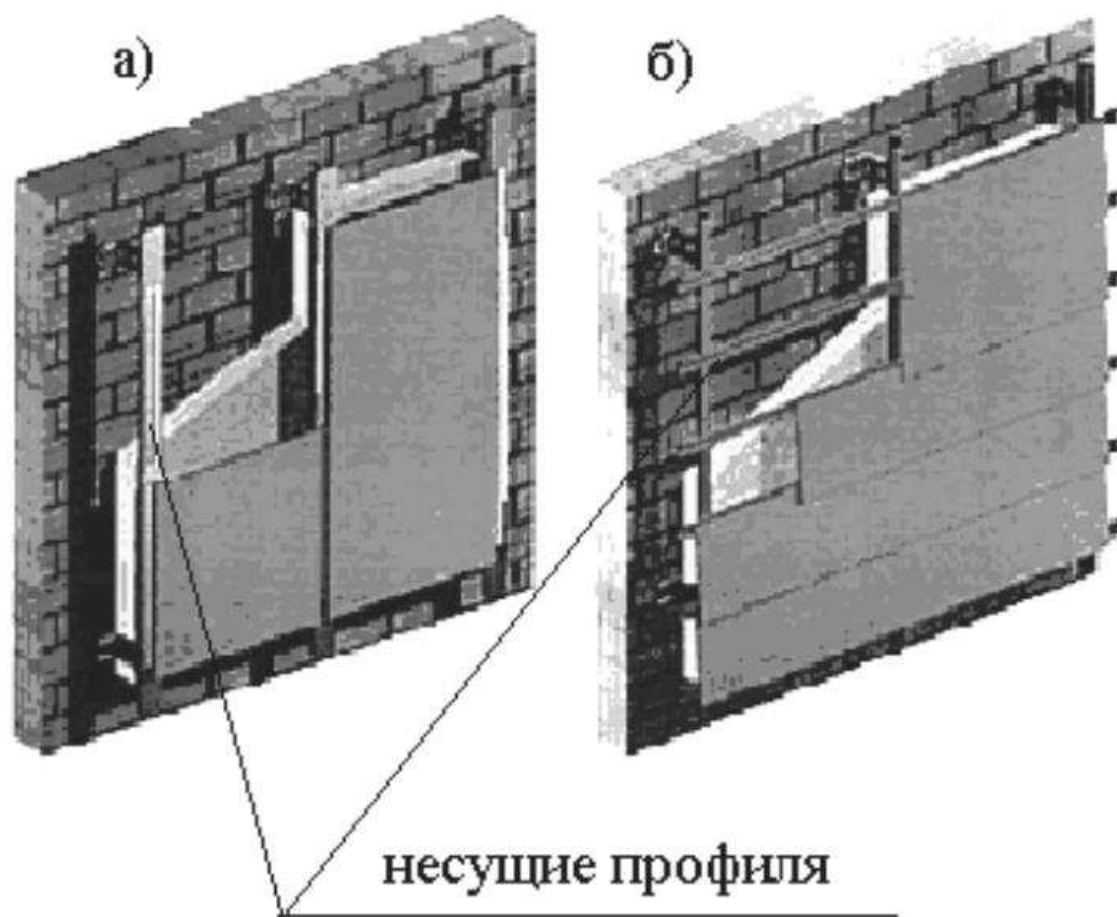


Рис. Подблицовочная конструкция: а) - с вертикальными направляющими; б)- комбинированная система

Для дополнительного утепления наружных конструкций в подблицовочную конструкцию крепится теплоизоляционный слой (минераловатные или базальтовые плиты). Для крепления теплоизоляционных плит могут применяться тарельчатые дюбели или просто грибовидные крепежные элементы безраспорных составляющих



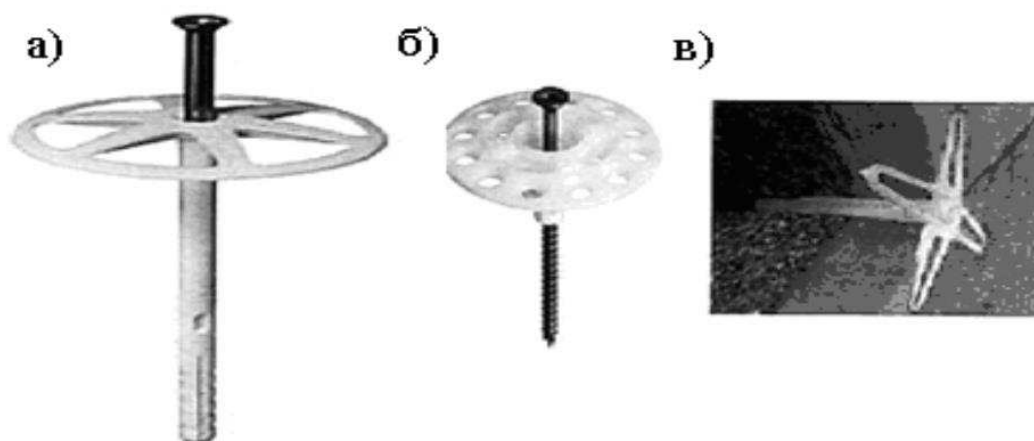


Рис. Элементы крепления теплоизоляционных плит: а,б) – тарельчатые дюбели фирмы Koelner; в) – грибообразный элемент фирмы Hilti. Вентиляционный зазор из-за перепадов давления работает по принципу вытяжной трубы, удаляя весь избыток влаги со стен здания. Вода не конденсируется на них, при любых перепадах температуры стена остается сухой, что способствует повышению общего термического сопротивления стены и улучшению температурно-влажностного режима помещения и воздухообмена через наружную стену.

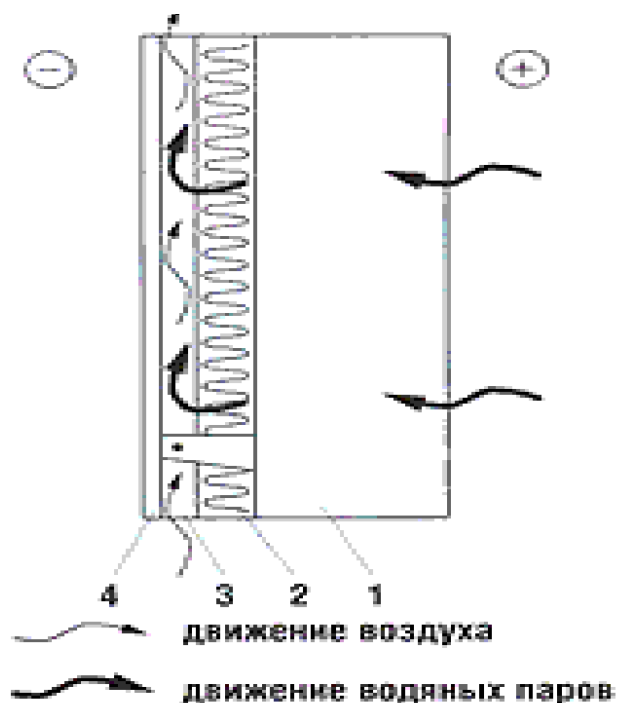


Рис. Принцип работы вентилируемого фасада: 1- утепляемая стена; 2 - утеплитель; 3- вентилируемая воздушная прослойка; 4 - наружная облицовка

Как правило, перепад давлений по высоте здания не является значительной величиной и воздушный поток не имеет большой скорости.

Тем не менее при сочетании ряда факторов (температура на защитном экране, скорость движения воздуха и величина воздушного зазора) может возникнуть турбулентность. В этом случае необходимо наличие ветрозащитного слоя, так как турбулентность способствует выдуванию волокна из утеплителя, что в перспективе может привести к его усадке и образованию «мостиков холода».

Для защиты утеплителя можно применять ветрозащитную паропроницаемую пленку (типа Tyvek), использовать кашированные (уже с пленкой) плиты утеплителя или применять жесткие теплоизоляционные плиты.

Показан фрагмент фасада здания с под облицовочной конструкцией из вертикальных направляющих профилей и с покрытием теплоизоляционного материала ветрозащитной паропроницаемой пленкой Tyvek.

Поверх утеплителя монтируются навесные облицовочные плиты (защитный «дождевой» экран), которые не только предохраняют утеплитель от механических повреждений, атмосферных осадков, ветровой и радиационной эрозии, но и позволяют придать фасаду выразительность за счет использования различных типов конструкций, форм, фактур и цветов отделки облицовочных элементов. Декоративные панели (облицовка) могут быть выполнены из натурального камня, металла, винила, полипропилена, композитных материалов, стекла, цементно-волокнистой плит. Для того чтобы выбрать подходящий материал для облицовки, необходимо оценить достоинства и недостатки каждого из них.



Рис. Фрагмент фасада строящегося здания

Механическое крепление облицовочных материалов к несущим профилям под облицовочной конструкцией осуществляют с помощью крепежных деталей. Различают скрытые и видимые элементы крепления. Более простое видимое крепление осуществляют кляммерами,

шурупамисаморезами или заклепками. Чтобы придать всей конструкции единое цветовое решение, видимые части крепежа окрашивают в цвет облицовочного материала.

При скрытом механическом креплении плиты подвешиваются на металлическом каркасе в четырех крепежных точках. Швы между плитами герметизируются специальной резиновой лентой или алюминиевыми планками различного профиля.

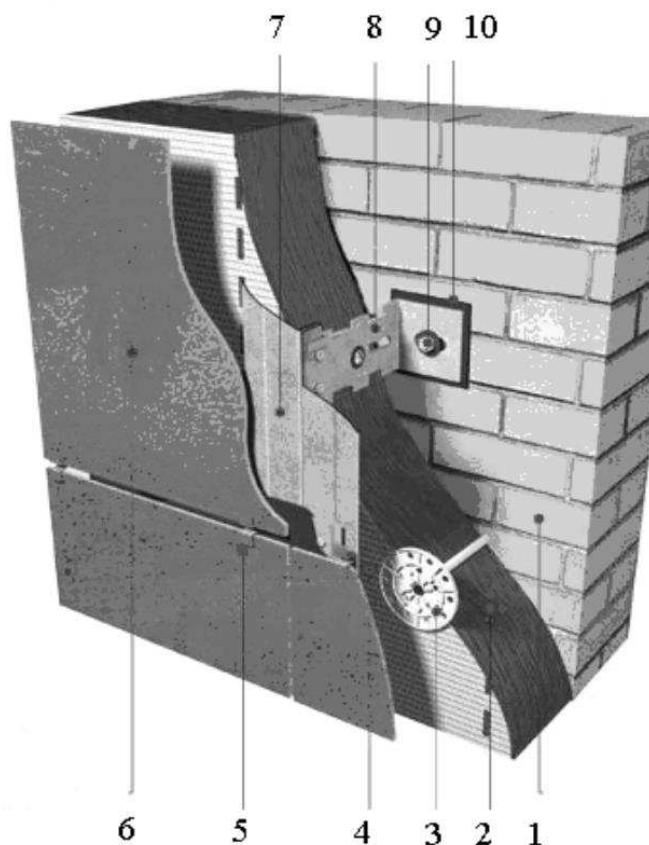
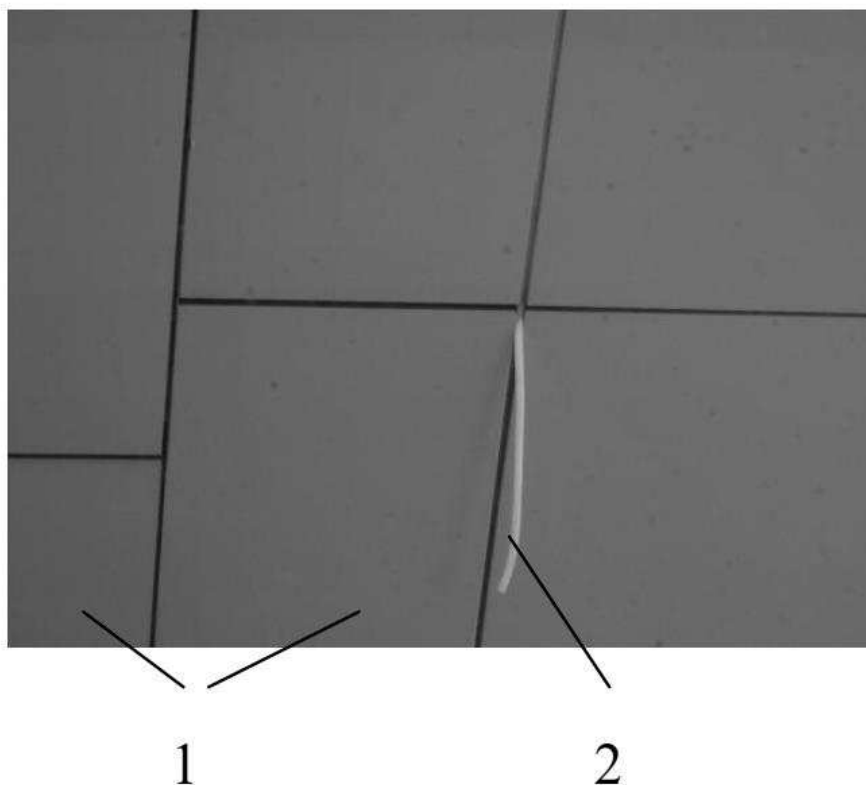


Рис. Конструкция навесного вентилируемого фасада системы «Краспан» с видимым креплением: 1- кирпичная стена; 2- минераловатный утеплитель; 3- тарельчатый дюбель; 4- ветрозащитная пленка; 5- клем-мер окрашенный; 6- фасадная плита; 7- вертикальный профиль; 8- подвижный кронштейн; 9- анкерный крепитель; 10- прокладка



На рис. показан фрагмент фасада здания с облицовочными изделиями из фасадных панелей-кассет.

Рис. скрытое механическое крепление облицовочных панелей: 1 – металлические фасадные панели-кассеты; 2 – резиновая лента

При облицовке здания кирпичом, блоками или камнем облицовочный слой может опираться на обрез существующего фундамента (если позволяет его ширина) или на специально подведенный под него фундамент. Для вентиляции полости стены в нижнем ряду кладки предусматривают специальные продухи. Для нижних продухов можно использовать щелевой кирпич, положенный на ребро таким образом, чтобы наружный воздух через отверстия в кирпиче имел возможность свободно поступать в воздушную прослойку стены. Верхние продухи предусматривают в карнизной части стены.

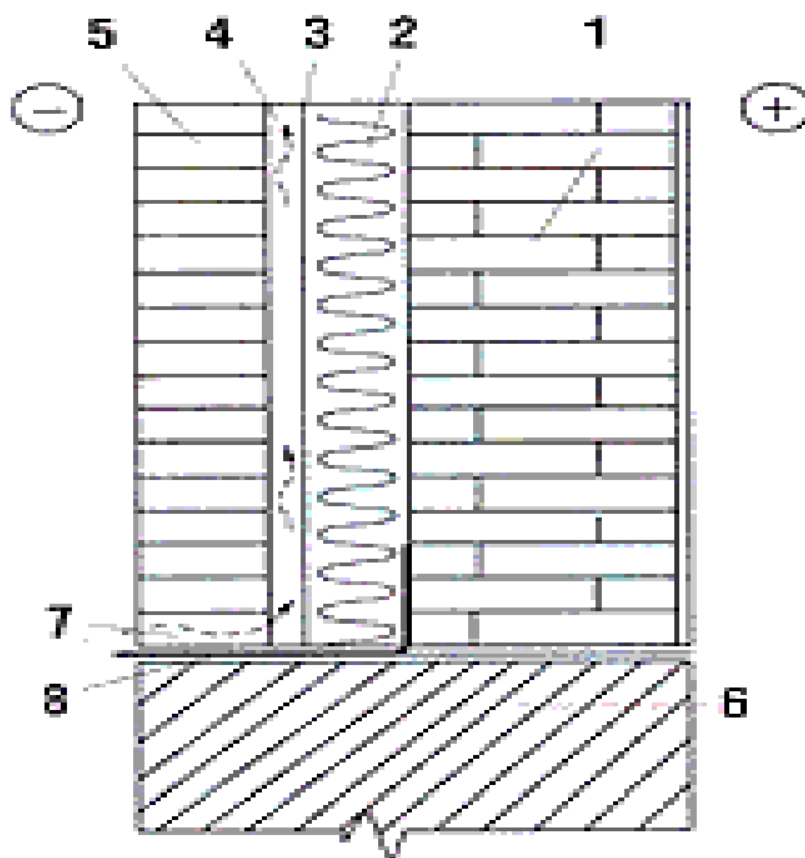


Рис. Фрагмент фасада при облицовке здания кирпичом: 1– утепляемая стена; 2- утеплитель; 3– ветрозащитная паропроницаемая мембрана; 4- воздушная прослойка; 5 – облицовка из кирпича и камня; 6– фундамент; 7- вентиляционный продух; 8- гидроизоляционный материал Системы утепления с защитно-декоративными экранами существуют как в импортном («Eternit» - Бельгия , LTM Company OY - Финляндия , SLAVONIA (SPIDI), EUROFOX – Австрия и др.), так и отечественном вариантах («КРАСПАН», «КапТехноСтрой – Вентилируемые Фасады» (КТС-ВФ), Марморок, U-kon) и др.).

Достоинства вентилируемых фасадов:

Вентилируемым фасадам присущи те же достоинства, что и штукатурным системам. В дополнение можно отметить:

1. Более интенсивная сушка материалов стен и соответственно более высокие теплозащитные свойства благодаря вентиляционному зазору.
2. Отсутствие «мокрых» процессов, что позволяет вести работы в любое время года.
3. Легкость замены отдельных панелей, вышедших из строя.
4. Повышение звукозащиты зданий (уменьшение шума на 10-12 дБ).
5. Пожаробезопасность.

Недостатки:

1. Сложность процесса проведения работ. Требуется высокой квалификации рабочих.

2. В стыках облицовочных панелей (с фаской по наружной поверхности граней) - высокая водопроницаемость облицовки и большое замачивание утеплителя при направлении потока влаги, близком к перпендикулярной поверхности стен.

3. Довольно высокая стоимость, так как отечественное производство слишком мало и элементы теплоизоляции импортируются. Средняя стоимость вентилируемых фасадов от 60 \$/м<sup>2</sup>.

4. Большая трудоемкость работ.

5. Ограниченность в применении для зданий со сложной архитектурой.

Сравнивая два рассмотренных типа систем внешней теплоизоляции фасадов, можно отметить, что «штукатурные» системы более дешёвы (на 30 – 40%), легче монтируются на зданиях сложных архитектурных форм,

легко позволяют использовать навесные декоративные элементы, обеспечивают большее разнообразие цветов и фактуры внешнего декоративного слоя. Зато системы вентилируемого фасада проще при исправлении ошибок и повреждений, возникших при монтаже и эксплуатации, допускают круглогодичный монтаж без применения средств подогрева.

По внешнему виду «штукатурные» системы выглядят яркими и нарядными. Системы вентилируемого фасада имеют более строгий вид с характерной, облицованной плиткой поверхностью.

Иногда на зданиях сложных форм обе системы теплоизоляции комбинируют - часть здания выполняют по «штукатурной», а часть по вентилируемой технологии.



Рис. Фасад здания с тонкослойной системой наружного утепления



Рис. Внешний вид здания ИрГУПС с вентилируемым фасадом

### 1.3.4. Системы с утеплителем с внутренней стороны ограждающей конструкции

Расположение теплоизоляционного материала на внутренней поверхности стены существующих зданий часто является единственно возможным, т.к., во-первых, теплоизоляция может быть произведена не во всех, а лишь в некоторых помещениях здания.

Во-вторых, производство работ по устройству теплозащиты может производиться в любое время года.

И, наконец, в-третьих, - при этом не меняется облик зданий, поэтому данный способ часто применяют в зданиях со сложными в архитектурном плане фасадами, представляющими художественную или историческую ценность.

При размещении дополнительной теплоизоляции с внутренней стороны стены необходимо учитывать два условия:

1. Температура поверхности стены под слоем утеплителя при средней температуре наружного воздуха в наиболее холодный месяц года не должна быть ниже температуры «точки росы» для водяного пара в воздухе помещения.

2. Сопротивление теплопередаче утепляющего слоя не должно превышать 20% от общего сопротивления теплопередаче существующей стены.

Нарушение второго условия в сторону увеличения сопротивления теплопередаче на большую величину влечет за собой снижение температуры поверхности стены под слоем утеплителя. При понижении этой температуры ниже температуры «точки росы» происходит конденсация водяного пара на поверхности стены и намокание утеплителя, что существенно нарушает температурно-влажностный режим конструкции стены. Для устранения перемещения водяного пара из помещений в стены во многих случаях устраивают пароизоляцию, которая располагается по утепляющему слою под отделкой стены. В качестве пароизоляционных материалов рекомендуются полиэтиленовая пленка, паронепроницаемая окраска за 2 раза синтетическими эмалями и др.

Для теплоизоляции стен с внутренней стороны рекомендуются материалы с наименьшей пожарной опасностью и экологически чистые: пенопласт, минеральная вата, эковата, пеностекло, маты и плиты из штапельного волокна, штукатурка из цементно-перлитового раствора, наносимая по сетке, и другие.

Достоинства:

1. Круглогодичное производство работ.
2. Возможность применения большего количества эффективных теплоизоляционных материалов.



3. Теплоизоляция не нуждается в защите от атмосферных воздействий, обладает биостойкостью, а напыляемая изоляция имеет хорошую адгезию на большинство материалов наружных стен.

Недостатки:

1. Приближение зоны конденсации к внутренней поверхности конструкции, что требует дополнительных затрат на пароизоляцию.

2. Необходимость борьбы с увлажнением конструкций, так как повышенная влажность приводит к появлению и активному росту грибков и плесени.

3. Сокращение площади помещения за счет увеличения толщины стены.

4. Применяемые методы не всегда соответствуют санитарногигиеническим требованиям и правилам безопасного ведения работ внутри помещения.

5. Трудность изоляции места сочленения стены и перекрытия, что ведет образованию “мостиков холода”, через которые происходят большие потери тепла, причем потери тепла в этих зонах могут превышать потери через остальную площадь стены.



Рис. Утепление помещения изнутри мягкими плитами PAROK

Примером данной системы теплоизоляции является отечественная технология ТИСЭ.

Сравнивая системы фасадов с внутренней и внешней теплоизоляцией, можно отметить еще одно преимущество наружной теплоизоляции – это возрастание теплоаккумулирующей способности массивной части стены. Например, при наружной теплоизоляции кирпичных стен они при отключении источника тепла остывают в 6 раз медленнее стен с внутренней теплоизоляцией при одной и той же толщине слоя утеплителя.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующий вывод: на утепление изнутри можно идти только тогда, когда невозможно это сделать снаружи (исторические памятники со сложным архитектурным рельефом), или когда это экономически целесообразно при обязательном расчете и проверке годового баланса влагонакопления в конструкции.

### **1.3.5. Системы с утеплителем внутри ограждающей конструкции**

Идея расположения утеплителя внутри ограждающей конструкции возникла не сегодня. Еще с середины прошлого века в России применяли трехслойные кирпичные стены, используя в качестве заполнителя мох, торф, опилки. В настоящее время мох, конечно, уже не используют, его заменили современные эффективные утеплители.

Возведение ограждающих конструкций с расположением утеплителя внутри стены возможно с использованием практически любого из конструкционных материалов (лесоматериалы, штучные каменные материалы, различные панели и монолитные конструкции). Ограждающими конструкциями, например, могут являться: наружные стены каркасных деревянных домов, трехслойные железобетонные панели и, конечно, стены колодезной кладки из штучных каменных материалов.

Наибольшее распространение в России получили два типа трехслойных конструкций с кладкой из штучных материалов:

1. Со средним слоем из теплоизоляционных материалов.
2. (Колодезная) каменная кладка в комплексе с эффективной теплоизоляцией.

Существуют две основные конструктивные схемы стен первого типа: трехслойные стены без воздушного зазора и с вентилируемым воздушным зазором.

Трехслойные стены без воздушного зазора. При этом способе теплоизоляции между кирпичами (блоками) основной стены закладываются проволоочные анкеры, на которые накладывается плитный утеплитель. Хвостики анкеров закрепляются между облицовочными кирпичами, обеспечивая прочность конструкции. Затем устраивается кирпичная кладка (наружный облицовочный слой), соединяемая с монолитной стеной кронштейнами и Z – образными гибкими связями из нержавеющей или оцинкованной стали, располагаемыми по сетке. Наружный самонесущий слой толщиной в 0,5- 1 кирпич соединяется с внутренним в уровне перекрытий железобетонными рамками.

Толщина первого слоя - внутренней несущей стены – определяется лишь прочностными требованиями; толщина теплоизоляционного слоя диктуется теплофизическими требованиями; назначение третьего (лицевого) слоя - защитить утеплитель от внешних воздействий. Для лицевого слоя могут применяться кирпичи или камни керамические лицевые, отборные стандартные кирпичи, силикатные кирпичи, а также бетонные лицевые кирпичи, бетонные и керамзитобетонные блоки со штукатуркой. При облицовке силикатным кирпичом цоколь, пояса, парапеты и карниз выполняются из керамического кирпича.

Специальные требования предъявляются к утеплителю, так как в данном случае ремонтно-восстановительные работы невозможны. Основными из этих требований являются: устойчивость к деформациям и влагостойкость. Данным требованиям отвечают и чаще всего применяются - минеральная вата, экструдированный пенополистирол, эковата, карбамидные пенопласты.

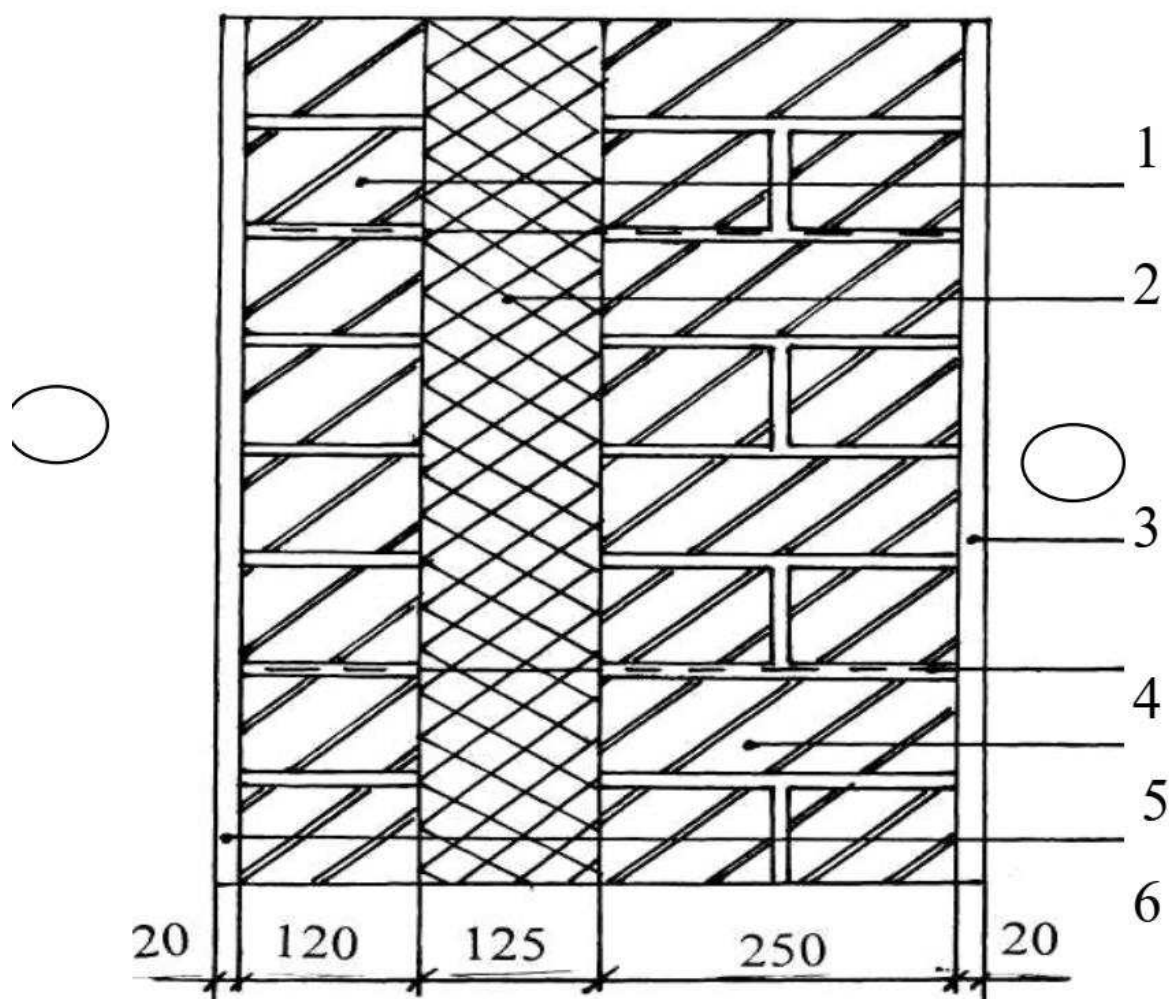


Рис. Конструктивная схема трехслойной стены без воздушного зазора из кирпича с гибкими связями: 1 – наружная кирпичная стена; 2 – теплоизоляционный материал; 3 – внутренняя отделка; 5 – внутренняя несущая кирпичная стена; 4 – металлические связи; 6 – наружная отделка

Внутренний и наружный слои ограждающей трехслойной конструкции должны быть связаны между собой жесткими или гибкими связями. С позиции теплотехники, эти связи являются «мостиками холода», и они могут значительно снизить термическое сопротивление всей ограждающей конструкции. Очевидно, что самое большое снижение теплосопротивления дает применение жестких кирпичных связей. Использование связей из нержавеющей стали значительно уменьшает теплопотери. Однако наиболее перспективный вариант с точки зрения борьбы с «мостиками холода» - применение специальных стеклопластиковых связей.

При проектировании и эксплуатации трехслойных стен с внутренним расположением утеплителя существует еще одна чрезвычайно серьезная проблема, на которую необходимо обратить внимание - это конденсация влаги внутри конструкции. Водяной пар, в результате диффузии попадающий в толщу конструкции, может привести к прогрессирующему отсыреванию утеплителя и постепенной потере им своих теплоизолирующих свойств. При этом утеплитель не высыхает даже в теплое время года, т.к. наружный слой является паробарьером. Для борьбы с этим явлением применяется пароизоляционный слой и/или устраивается воздушный вентиляционный зазор. Необходимость и местоположение паробарьера определяются расчетом. При необходимости он устраивается перед теплоизоляционным слоем.

Трехслойные стены с воздушным зазором. При этом способе устройства стены сначала возводится внутренняя несущая стена здания из обычного строительного кирпича (или блоков). Теплоизоляционные плиты насаживаются на проволочные анкеры, предварительно заложенные в кладку несущей стены, и прижимаются к ней пружинными шайбами.

В рассматриваемом конструктивном варианте используются гибкие связи с фиксаторами, которые предназначены для того, чтобы связать слои кирпичной кладки между собой и удерживать плиту утеплителя для создания воздушной прослойки между облицовочным слоем и утеплителем. Роль фиксаторов играют специальные шайбы с антикоррозионным покрытием.

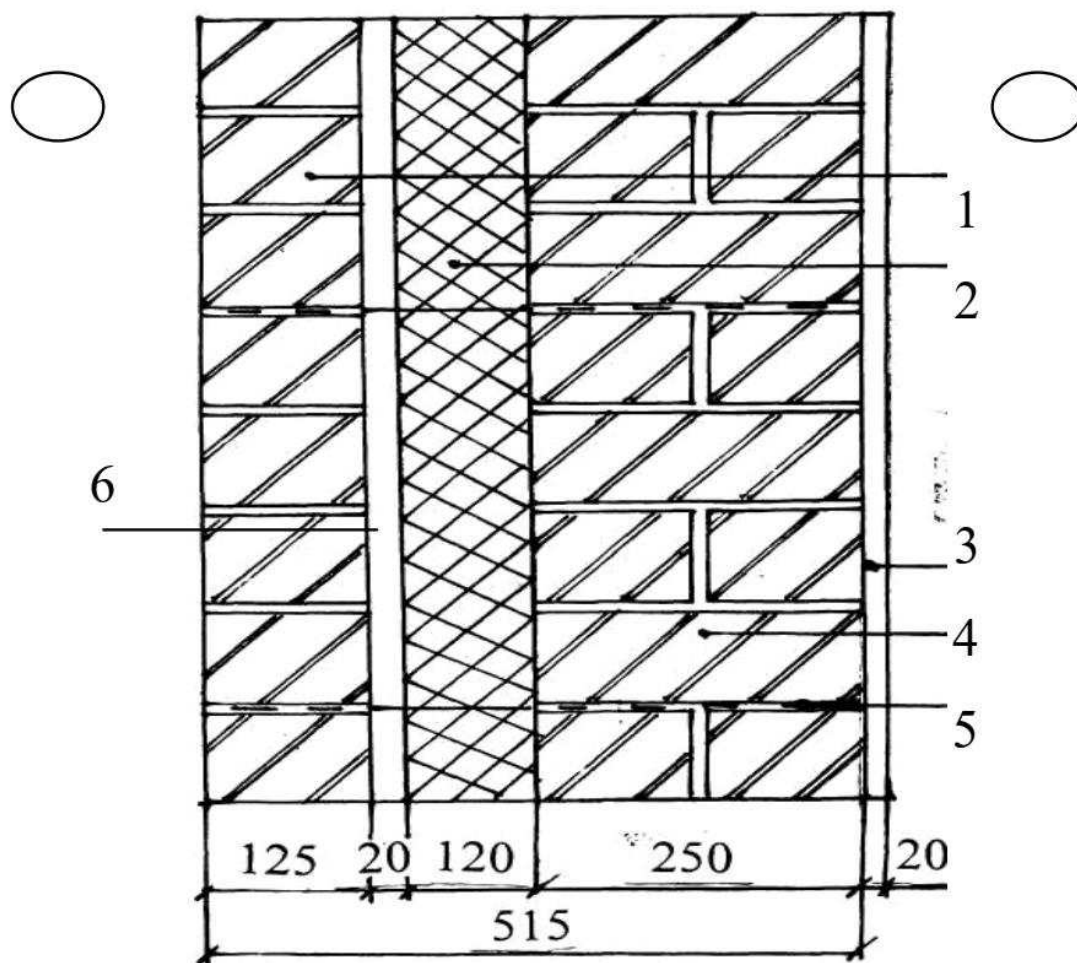


Рис. Конструктивная схема трехслойной стены из кирпичей с воздушным зазором: 1 – наружная кирпичная стена; 2 – теплоизоляционный материал; 3 – внутренняя отделка; 4 – внутренняя несущая кирпичная стена; 5 – гибкие связи; 6 – вентиляционный зазор

Наружная стена, которая защищает утеплитель от неблагоприятных внешних воздействий и создает лицо здания, сооружается из облицовочного кирпича (или блок со штукатурным слоем) с заделкой анкеров в швах кладки.

Вентиляционный воздушный зазор способствует высыханию утеплителя, гарантируя высокое качество теплоизоляции. По сути своей трехслойная стена с воздушным зазором является вентилируемым фасадом, только роль облицовки здесь выполняют не листовые или плитные материалы, а наружная кирпичная стена.

Представителем трехслойной конструкции со средним слоем из листовых материалов являются и индустриальные многослойные стеновые панели. Современное строительство невозможно представить без полносборного домостроения. Огромное количество панельных домов построено во всем мире, в том числе и в России. Отношение к панельным домам может быть разным, как негативным – из-за однотипности в архитектурном плане, малой площади квартир и т.п., так и наоборот, – позитивным, так как благодаря этой технологии появилась возможность

относительно дешево возводить целые кварталы новых жилых домов в кратчайшие сроки. Для того чтобы соответствовать сегодняшним требованиям по теплосбережению и комфортным условиям, внутри помещений внедряются современные технологии и новые материалы.

Стеновые панели на сегодняшний день – это исключительно многослойные конструкции с применением эффективных теплоизоляционных материалов. Для их изготовления применяются как традиционный железобетон, так и другие материалы, среди которых наибольшее распространение получили металлические листовые материалы (панели типа «сэндвич»). Рассмотрим подробнее данные типы индустриальных стеновых панелей.

В научно - исследовательском центре «Здания» разработана новая конструкция наружной стеновой железобетонной панели, которая состоит из трех слоев: наружного – толщиной 70 мм, внутреннего – толщиной 80 мм и среднего утепляющего – толщиной 200 мм, общая толщина панели – 350 мм /16/. Это изделие, получившее название «теплая панель», обладает высокими теплофизическими свойствами (сопротивление теплопередаче такой панели составляет 3,6-3,8 м<sup>2</sup>\* 0С /Вт). По статической работе наружные «теплые панели» – несущие. Нагрузка от вышерасположенных этажей воспринимается только внутренним бетонным слоем.

Наружный и внутренний слои панели выполняются из тяжелого бетона, уплотняющий слой из плит полистирольного пенопласта типа ПСБ-С марки 25-35 по ГОСТ 15588-86. Соединение слоев осуществляется дискретными связями: в виде монолитных бетонных армированных шпонок, образуемых в процессе изготовления панелей.

Известны на российском рынке трехслойные железобетонные панели фирмы PARASTEK BETON (Финляндия). Современные железобетонные панели изготавливаются как полносборные конструкции (соединение слоев производится в процессе изготовления на заводе, на стройплощадке монтаж панели осуществляется как готового стенового элемента), так и сборные – монтаж осуществляется установкой каждого слоя отдельно.

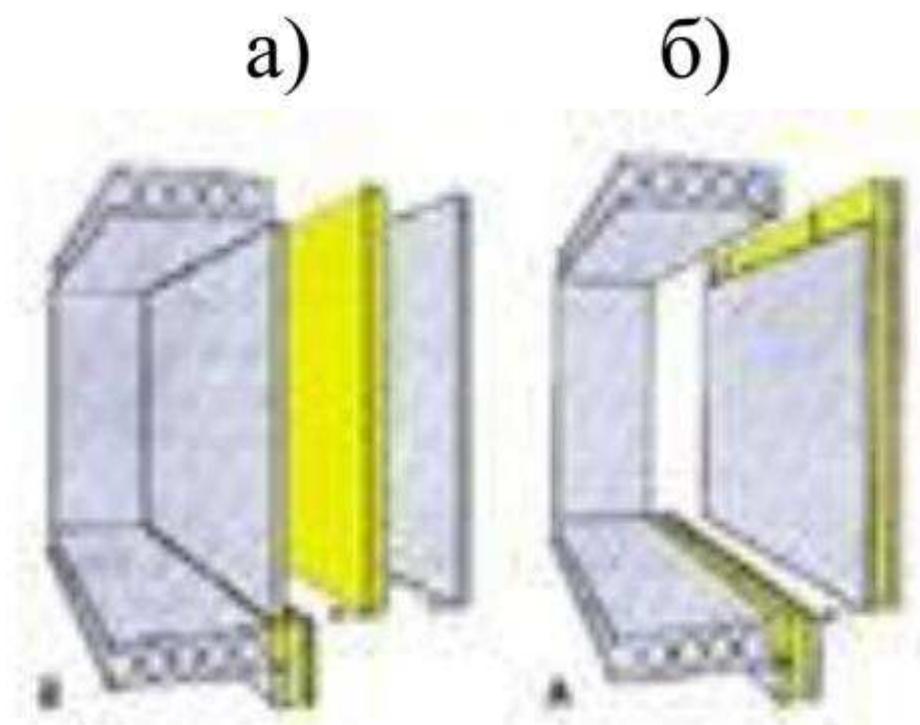


Рис. Трехслойная железобетонная панель: а- сборная панель; б– полносборная

Особенностями конструкций трехслойных железобетонных панелей заводского изготовления являются: экономичность с точки зрения скорости возведения здания и затрат на монтаж; меньшая зависимость строительных работ от погодных условий; мобильно изменяемые опалубки, позволяющие изготавливать панели необходимых размеров и конфигураций под каждый конкретный проект здания.

Наружный слой панели предназначен для защиты в процессе эксплуатации основных слоев от внешних климатических воздействий и выполнения декоративных функций. Трехслойные железобетонные панели выпускаются с различными фактурными отделками.

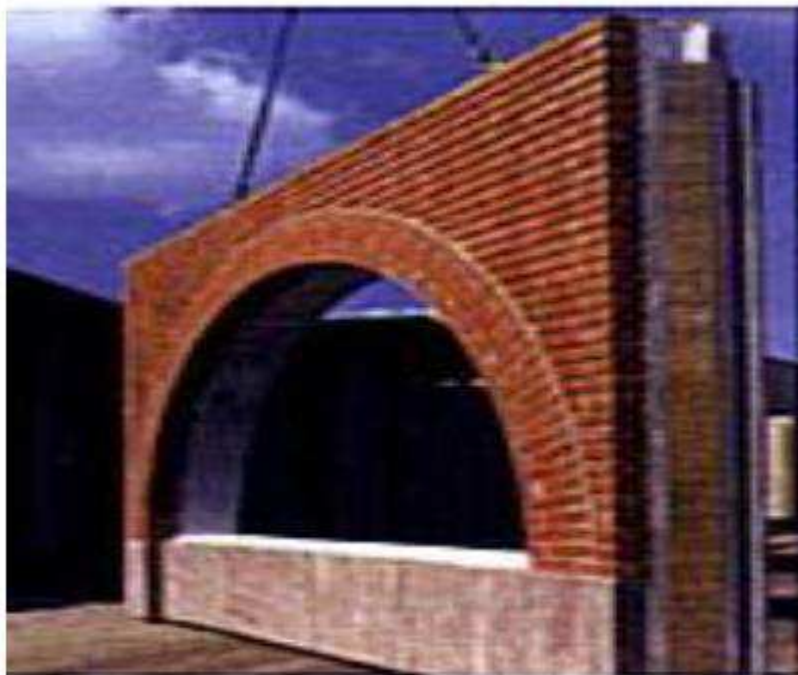


Рис. Трехслойная железобетонная панель фирмы PARASTEK BETON (Финляндия) с наружной отделкой «под кирпич»

Недавно на российском рынке появились вентилируемые фасадные железобетонные панели, которые представляют собой полносборные трехслойные конструкции с воздушным промежутком между теплоизоляционным и наружным слоями. Существует также способ возведения железобетонных вентилируемых фасадов с использованием однослойных железобетонных панелей и теплоизоляционной плиты. В этом случае основанием может служить стена из любого конструкционного материала (в том числе и из железобетонных панелей), к которой крепится слой теплоизоляции, оставляется воздушный промежуток толщиной не менее 30 мм и устанавливается наружная железобетонная плита.

Стеновые «сэндвич – панели» - высокоэффективные строительные материалы. Они представляют собой трехслойную конструкцию, состоящую из утеплителя, расположенного посередине, и двух облицовочных листов.

Стеновые панели «сэндвичи» являются самонесущими навесными конструкциями. Их применяют при строительстве промышленных, административных зданий, спортивных сооружений, возводимых по каркаснопанельной схеме, когда несущие конструкции здания выполнены из металлических, железобетонных, деревянных и клееных элементов. Широкое применение «сэндвич – панели» нашли для строительства объектов автосервиса, моек, автозаправочных станций, складских помещений. Подходят они и для строительства в сейсмичных районах в качестве несущих элементов конструкций.



«Сэндвич - панели» могут быть заводского изготовления или собираться прямо на объекте, так называемые панели «поэлементной сборки».

Наибольшее распространение в нашей стране получили панели заводского изготовления.

На внешней и внутренней поверхностях могут применяться различные металлы, например, алюминий и сталь. Применяются металлические листы как гладкие, так и профилированные. В качестве утеплителя могут применяться минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан. Для обеспечения прочного соединения облицовки и утеплителя используется высококачественный клей на полиуретановой основе.

Применение «сэндвич – панелей» с эффективным утеплителем является перспективным, так как обеспечивает: сжатые сроки монтажа, низкие затраты на капитальное строительство (благодаря небольшому весу панелей для монтажа не нужна специальная техника, требуется облегченный фундамент), возможность демонтажа, богатый выбор отделки и цветовой гаммы. Одними из несомненных достоинств «сэндвич – панелей» являются их высокая прочность, влагостойкость, огнестойкость, высокая звукоизоляционная способность, наличие антикоррозийного покрытия.

Однако следует отметить, что панели слабо защищены от механических воздействий, так как имеют в качестве наружного слоя, как правило, металлический лист толщиной 0,5-1 мм. Кроме того, такие стены практически паронепроницаемы, имеют меньшую тепловую инерцию, более низкую звукоизоляцию от воздушного шума по сравнению с кирпичными стенами, что снижает уровень комфорта внутри здания.

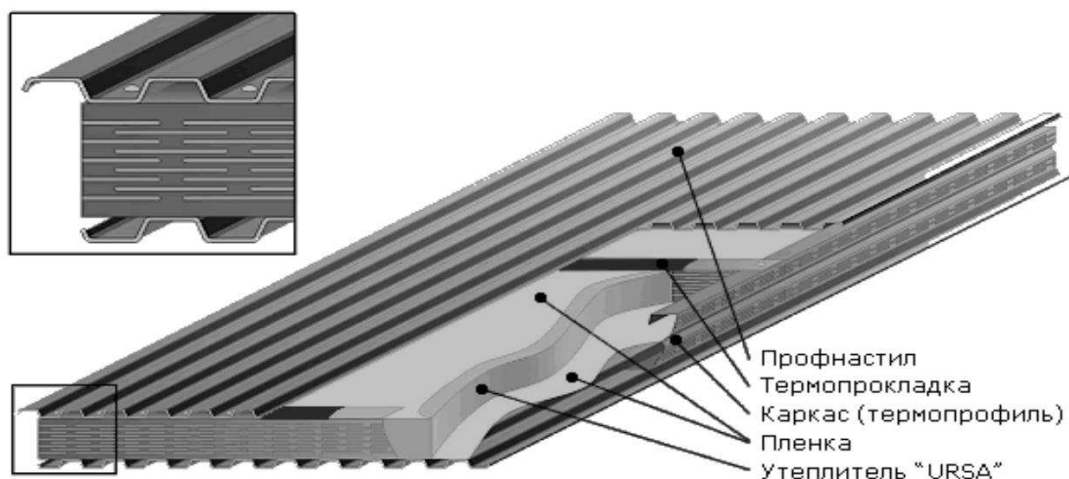


Рис. Конструкция «сэндвич – панели»

Наиболее известные типы «сэндвич – панелей»: российского производства - «Венталл», «Петропанель», «Полиалпан», «Атлантис – ПС» и

др.; зарубежного производства – «Isowall» (Англия), «Parok» , «Rannila» (Финляндия) и др.

Второй тип трехслойной конструкции с кладкой из штучных материалов - колодцевая кладка была разработана и предложена в 20-е годы прошлого столетия инженером А.И. Герардом, но широкого применения не нашла из-за отсутствия эффективного утеплителя.

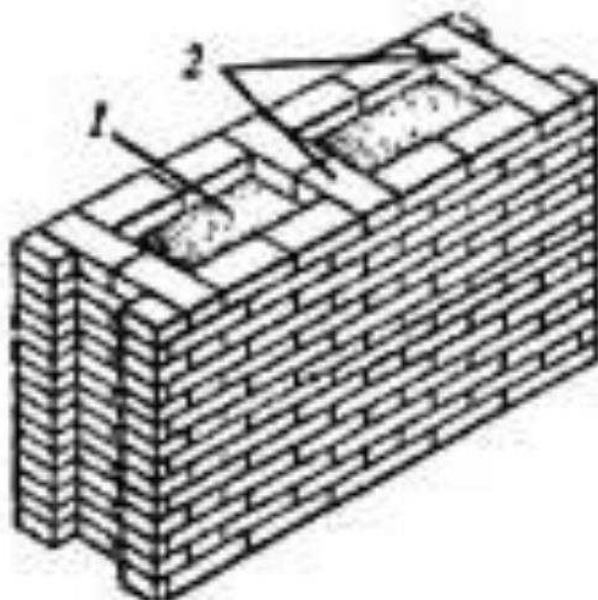


Рис. Фрагмент колодцевой кладки: 1-утеплитель; 2- диафрагмы кирпичей (жесткие связи) Суть такой кладки заключается в том, что стену фактически выкладывают из двух самостоятельных стенок толщиной в полкирпича, соединенных между собой вертикальными и горизонтальными кирпичными мостиками (жесткими связями) с образованием замкнутых колодцев. Колодцы по ходу кладки заполняют шлаком, керамзитом, легким бетоном или заливочными пенопластами.

Внутренний слой стены может быть выполнен из кирпича или блоков (бетонных, керамзитобетонных, шлакобетонных, гипсобетонных, газосиликатных и т.д.). Для лицевого слоя могут применяться кирпичи или камни керамические лицевые, отборные стандартные кирпичи, силикатные кирпичи, а также бетонные лицевые кирпичи.

Характерной особенностью кирпичной кладки является ее большая инерционность. Кирпичная стена долго прогревается и так же медленно остывает.

Достоинства системы с утеплителем внутри ограждающей конструкции:

1. Монтаж системы может производиться при отрицательной температуре.
2. Сравнительно небольшая толщина.
3. Теплоизоляционный слой защищен от дождя и ветра.

4. Огнестойкость (стены с облицовкой из кирпича можно применять в зданиях любой степени огнестойкости).

5. Достаточно недорогой способ возведения ограждающей конструкции.

Недостатки:

1. Под ограждающие конструкции требуется объемный и дорогостоящий фундамент.

2. Наличие «мостиков холода».

3. Конденсация влаги между внешней и внутренней стенками на теплоизоляционном материале и на внутренней поверхности наружной стенки, что приводит к снижению термического сопротивления ограждающей конструкции и ее ускоренной амортизации.

4. Специальные требования предъявляются к утеплителю, так как в данном случае ремонтно-восстановительные работы невозможны.

Основными из этих требований являются устойчивость к деформациям и влагостойкость.

5. Высокая трудоемкость возведения конструкций.

6. Недостаточная изученность поведения утеплителей внутри ограждающей конструкции под воздействием различных факторов.

По расчетам ЦНИИЭП жилища, переход на новые теплотехнические требования приведет к небольшому удорожанию стен строящихся зданий

– на 0,5 – 1,5 %, зато экономия тепла составит 30 – 35 %. За счет экономии

тепла увеличение единовременных затрат на строительство окупится в течение 7 – 8 лет.

#### **1.4 Основные нормы и требования**

Ниже приводится перечень нормативной-методической литературы, регламентирующей основные аспекты и актуальные тенденции проектирования, расчета, монтаж и эксплуатации сэндвич панелей.

ГОСТ 32603-2012 Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия.

СП 362.1325800.2017 Ограждающие конструкции из трехслойных панелей. Правила проектирования.

СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1).

Федеральный закон 261-ФЗ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 26 июля 2019 года).

ГОСТ 22950-95 Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем. Технические условия.

ГОСТ 31310-2015 Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общие технические условия.

ГОСТ Р 56809-2015 Композиты полимерные. Метод определения предела прочности на сжатие параллельно плоскости "сэндвич"-конструкций.

В приведенном перечне указаны далеко не все существующие стандарты по сэндвич панелям, а лишь основные из них, которых можно смело придерживаться при проектировании, строительстве, а также ссылаться на них в рабочих чертежах и другой технической документации. При помощи большинства вышеуказанных документов запускается важнейший процесс стандартизации, который оптимизирует эффективность и качество.

### **1.5 Сэндвич-панели в условиях Сибири**

Сэндвич-панели применяют при строительстве и реконструкции производственных зданий, спортивных и сельскохозяйственных сооружений, складских помещений, торговых центров и различных комплексов в качестве стеновых и кровельных конструкций. Увеличивается объём внедрения сэндвич-панелей в особых условиях Сибири и Крайнего Севера. В частности, на строительстве Няганьской ГРЭС, в северной части Западной Сибири, в качестве ограждающих конструкций основных сооружений применяют сэндвич-панели Самарского завода Электроштит.

Сэндвич имеет ряд преимуществ:

Сооружения из сэндвич панелей обладают большим числом положительных сторон. Непосредственно они считаются главными для применения непосредственно подобных построек в промышленных и практических целях.

Небольшой перечень положительных качеств можно описать как:

- сроки постройки минимальные, у сооружений не происходит усадки, здание перманентно вводится в эксплуатацию;
- долговечность построек около 50 лет;
- затраты на перевозку существенно снижены: панели обладают незначительной массой, это считается отдельным преимуществом при оперировании конструктивами на строительной площадке;
- во множестве вариантов не потребуется повторная отделка — панели уже окрашены, внешний вид приемлем.

У сэндвич панелей присутствуют недостатки:

- Прочность стенок мала в сопоставлении с традиционными используемыми материалами, кирпичом и бетоном.
- Постоянно имеется угроза нарушения герметичности крова и стенок. За состоянием швов необходимо регулярно наблюдать.

- Панели герметины. Необходима дополнительная рабочая система кондиционирования (проветривания)

- Невозможно создать сооружение со сложной, художественной архитектурой. Сравнение панелей сэндвич с другими материалами:

Трудовые затраты, чел/ч:

- панели сэндвич – 17;
- кирпичная кладка – 48;
- железобетонные панели – 7;

Масса, т:

- панели сэндвич – 0,4;
- кирпичная кладка – 14;
- железобетон – 6,5;

Фундамент для сэндвич панелей выполняется в легком варианте, тогда как для кирпича и железобетона – в тяжелом. Относительно вторичного использования: только панели дают такую возможность. Как видно из приведенных выше данных, сэндвич панели по многим техническим, экономическим и энергоемким характеристикам превосходят как кирпич, так и железобетон. Одним из главных положительных сторон сэндвич панелей считаются их теплоизоляционные свойства, практически никак не имеющие себе равных. Для того, чтобы создать подобную теплопередачу, как сэндвич панель в 10 см шириной, разнообразные строй материалы должны иметь следующую толщину (см): – кирпич силикатный – 224. – газопенобетон – 60; – железобетон – 340; – кирпич глиняный– 102; – шлакобетон – 94; – керамзитобетон – 132. Проанализировав рынок производителей клееного бруса были определены два варианта ограждающих конструкций из клееного бруса. Поскольку клееный брус отличается от обычного дерева более низкой теплопроводностью, его толщина при строительстве может быть меньше, чем у бревенчатых стен.

Для комфортного проживания в зимний период клееный брус должен иметь толщину 240 мм. Поэтому были предложены следующие варианты ограждающих конструкций:

## **Выводы**

Рассмотрев на основе опыта реконструкции и капитального ремонта основные тенденции применения ограждающих конструкций промышленных зданий самым оптимальным, быстровозводимым и экономически целесообразным является решение по использованию сэндвич панелей.

## 2 Глава 2. Методы исследования

### 2.1 Теплообмен в воздушной прослойке крепления сэндвич панелей

Одним из приемов повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций является устройство замкнутых воздушных прослоек. Идея дополнения узла крепления конструкции строительного материала конструкций воздушными прослойками возникла вследствие небольших значений коэффициента теплопроводности воздуха  $\lambda=0.025\dots0.027$  Вт/(м·°С) по отношению к коэффициентам теплопроводности материалов.

В то же время сопротивление теплопередаче воздушной замкнутой прослойки не может быть всегда определено как сопротивление теплопроводности воздуха. В нашем случае, в воздушной прослойке тепловой поток передается за счет теплопроводности и конвекции (рисунок 2.1). То есть следует учитывать 2 механизма передачи тепла: механизм кондуктивного переноса тепло (за счет упругих колебаний молекул) и механизм конвективного теплообмена. Конвективный теплообмен будет связан с тем, что горячая стенка будет нагреваться и в следствии того, что она будет нагреваться вдоль горячей стенки будут наблюдаться вверх идущие потоки воздуха, это означает, что внутри нашей полости будет циркулировать воздушный поток, который и будет приводить к конвективному теплообмену. Величина данного потока будет определяться, в первую очередь, трением воздуха по отношению к стенке, иными словами, расстоянием от одной стенки до другой. Поэтому целью работы является оценка влияния конвективной составляющей в воздушной прослойке.

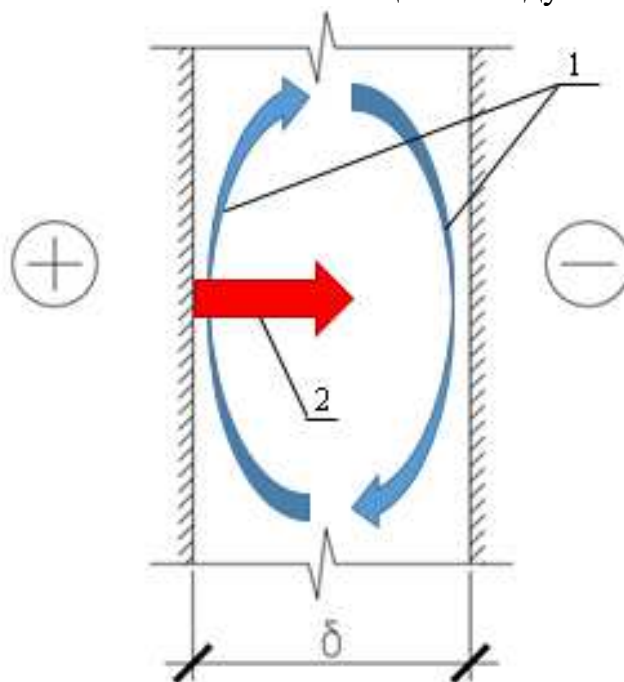


Рисунок —Схема передачи тепла через воздушную прослойку:

1 – путем конвекции; 2 – путем теплопроводности

## 2.2 Математическая модель

Оценка эффективности использования, предложенного в п. 1.4, гл. 1 технического решения, может быть проведена путем решения задачи тепломассообмена, включающую в себя совместное решения уравнений теплопроводности, диффузии и Навье-Стокса. Наличие уравнения Навье-Стокса практически всегда усложняет математическую модель. Для упрощения математической задачи целесообразно использовать различные упрощения. Наиболее простым из которых является модель турбулентности  $k-\varepsilon$ .

Основным параметром, влияющим на процесс тепломассообмена в данных условиях, является скорость воздушного потока в канале, с обязательным введением воздушного зазора между двумя брусками. При этом циркуляция воздуха в канале может осуществляться как в процессе естественной конвекции из-за разницы температур, так и в процессе вынужденной конвекции при наличии специальных устройств, рассмотрение которых выходит за рамки поставленной задачи. В тоже время варьируя толщину воздушного зазора, а, следовательно, и скорость воздушного потока, можно управлять тепломассообменом, меняя тепловое сопротивление и скорость выпадения конденсата.

Интенсивность выпадения конденсата определяется внешней температурой, чем она ниже, тем интенсивность выше. Соответственно рассматриваемую задачу целесообразно решать в экстремальных погодных условиях (температура наиболее холодной пятидневки), согласно.

Для решения поставленной задачи воспользуемся следующей системой уравнений (2.1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \rho C_p (\vec{u} \nabla T) = 0 \\ \left( \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial e}{\partial y} \right) + (\vec{u} \nabla e) = 0 \\ E = 1,84 \times 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \varphi = \frac{e}{E} 100\% \\ p(u \nabla u) = \nabla[-pI + (\eta + \eta_T)(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F \\ \nabla u = 0 \end{array} \right. \quad .1) \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м град);

$T$  – температура, К;

$\mu$  – коэффициент паропроницаемости, кг/(с·м·Па);

$E$  – давление насыщенного водяного пара, Па;

- $\varphi$  – относительная влажность, %;  
 $e$  – парциальное давление водяного пара, Па;  
 $u$  – вектор скорости, м/с;  
 $p$  – давление, Па;  
 $\eta$  – динамическая вязкость, Па·с;  
 $F$  – поле внешних сил, Н/м<sup>3</sup>;  
 $k$  – кинетическая энергия объема, Дж/м<sup>3</sup>.

В данном уравнении имеются кондуктивные члены, отвечающие за перенос тепла, кондуктивные члены отвечающие за перенос влаги, а также конвективные члены отвечающие за конвективный перенос влаги. Задача для конвективного члена решалась только для воздушной прослойки

Для полного описания рассматриваемой задачи в совокупности с дифференциальным уравнением были заданы условия однозначности.

### 2.3 Условия однозначности

Дифференциальные уравнения описывают процесс теплопроводности в самом общем виде. Чтобы решить конкретную задачу, нужно дифференциальное уравнение дополнить математическим описанием всех частных особенностей поставленной задачи, то есть дать ее однозначное описание. Эти особенности называются условиями однозначности, или краевыми условиями.

Условия однозначности включают в себя:

1. геометрические условия, описывающие форму и размеры тела, в котором протекает процесс;
2. физические условия, характеризующие физические свойства тела;
3. граничные условия, характеризующие взаимодействие окружающей среды с поверхностью тела

#### 2.3.1 Геометрические условия, описывающие форму и размеры тела, в котором протекает процесс

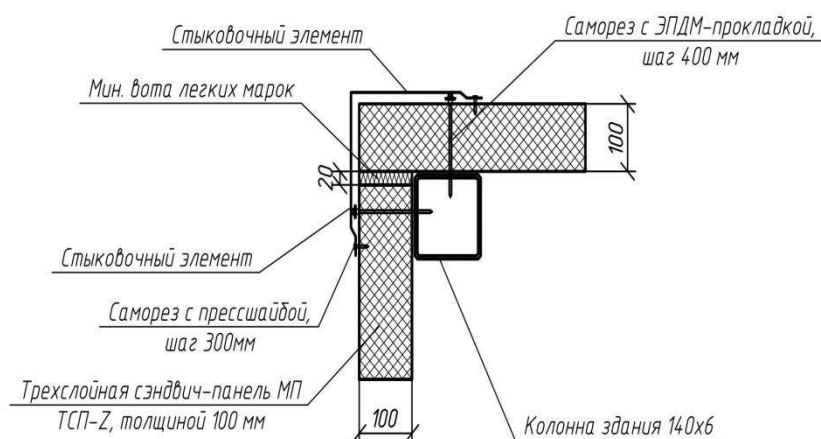


Рис. Ограждающая конструкция из сэндвич панели 100 мм



### Расчетные теплотехнические характеристики материалов стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045

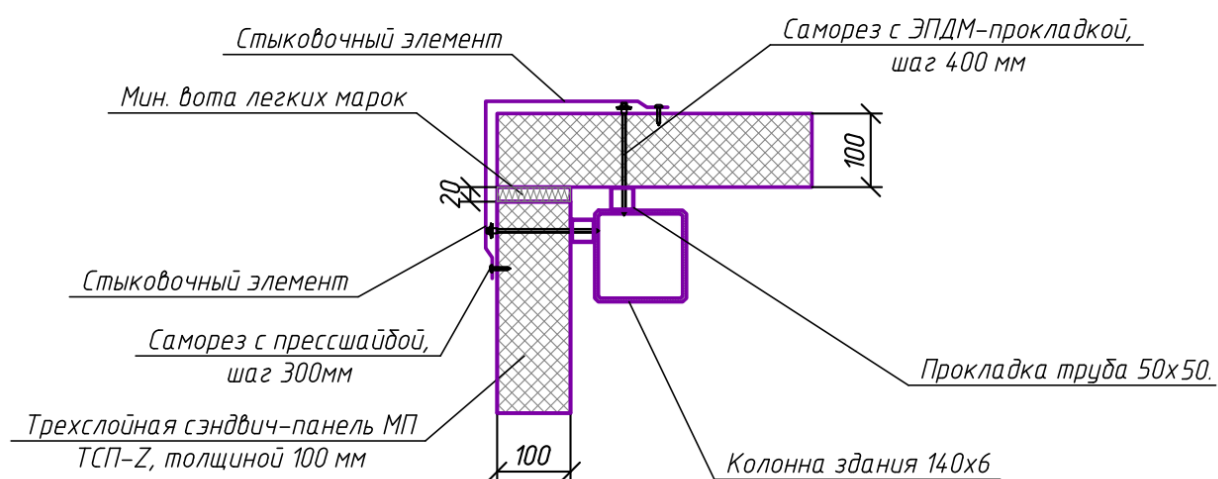


Рис. Ограждающая конструкция из сэндвич панели 100 мм по металлическому каркасу 50x50x5 мм

### Расчетные теплотехнические характеристики материалов стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045
2	Каркас металлической 50x50x5мм	50	7850	58

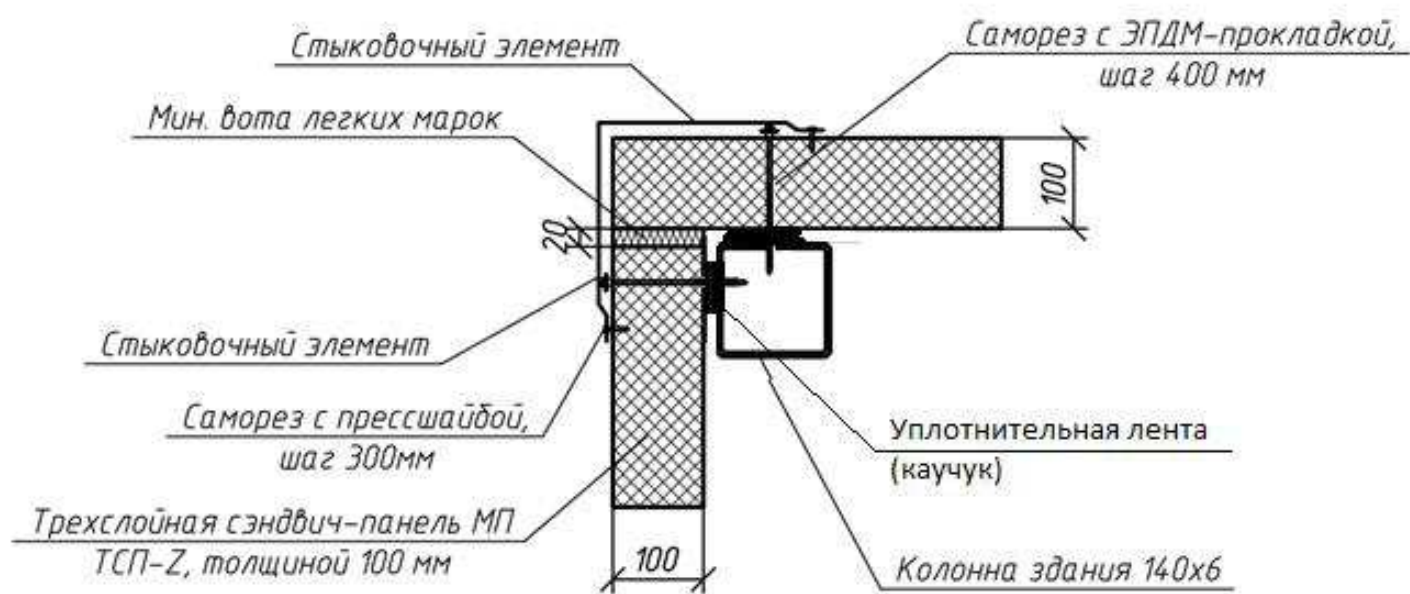


Рис. Ограждающая конструкция из сэндвич панели 100 мм по уплотнительной ленте

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045
2	Уплотнительная лента (каучук)	5	1190	0,159

### Выводы по 2-й главе:

В рамках диссертационной работы предложено рассмотреть три варианта крепления сэндвич панели к металлической трубе.

Произвести численные исследования, которые помогут определить какой узел поможет уменьшить возможность возникновения:

1. Образование «мостика холода»;
2. Понижение температуры воздуха в помещении при стабильно работающей системе отопления;

3. Появление конденсата;
4. Появление плесени и грибка
5. Коррозия металлических элементов;
6. Снижение долговечности конструкций.

1) Наилучшим способом проанализировать работу конструкций в реальных условиях является выполнение расчета исследуемой конструкции в программном комплексе с приложением реального хода температур.

2) COMSOL Mutiphysics - один из программных комплексов, позволяющих производить моделирование процессов тепломассопередачи, как в статическом, так и динамическом режиме, и рассчитывать температурные поля, градиенты температур; плотности тепловых потоков.

### 3 Глава 3. Результаты численного исследования

#### 3.1 Температурные характеристики

Решение задачи распределения температурных полей в материале сводится к решению системы уравнений, представленной в п. 2.2, гл. 2. В проведенном расчете были использованы тепловые характеристики материалов (табл. 2.2; 2.3, п. 2.3.2, гл. 2) и граничные условия (табл. 2.4, п. 2.3.3, гл. 2). Значения температурных полей в материале в интервале рабочих температур от  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Результаты представлены на рисунке

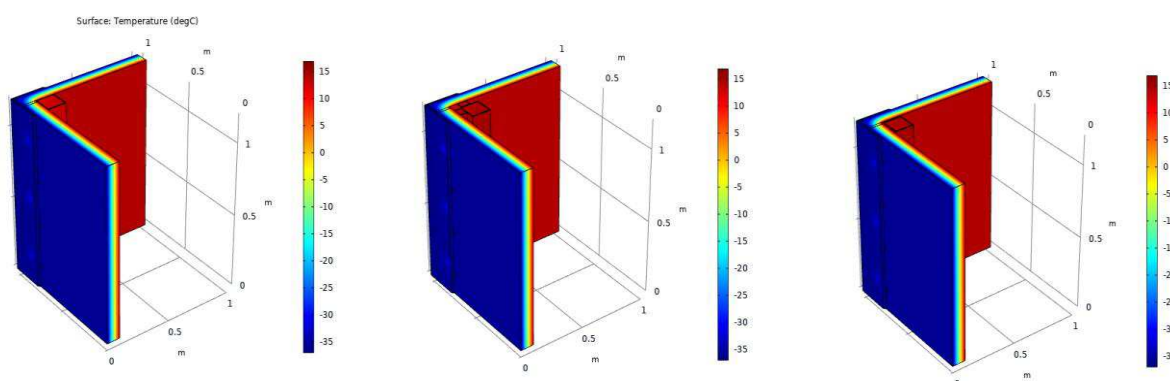


Рисунок – Распределение температурных полей в рассматриваемых ограждающих конструкциях

#### Исходные данные

##### Материалы

Наименование материала	Плотность, $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Удельная теплоемкость, $C_0$ , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$	$\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$
Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,045
Сталь	7850	0,482	58
Каучук	1190	1,84	0,159

Граничные условия:

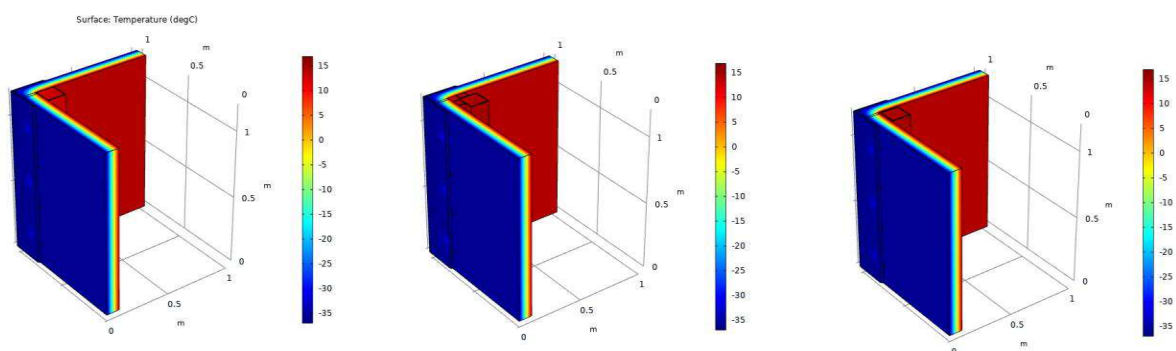
$$T_{\text{int}} = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = -37\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{int}} = 8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$$

$$\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

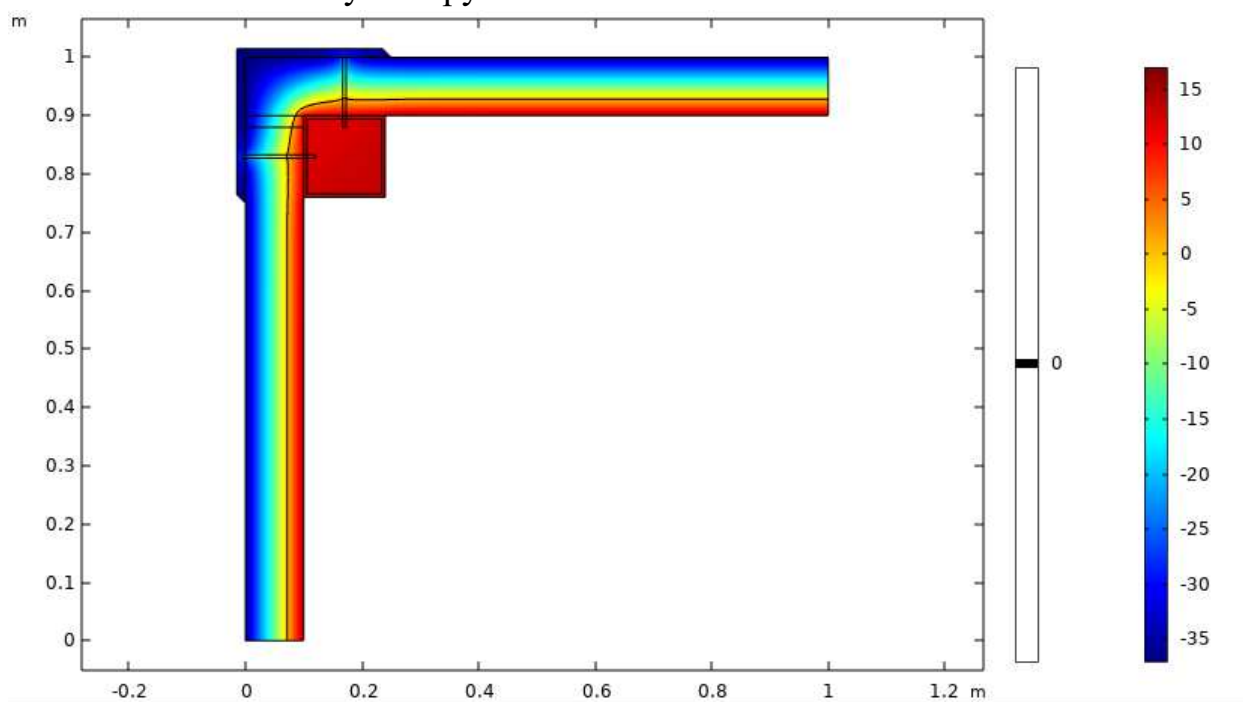
Общий вид



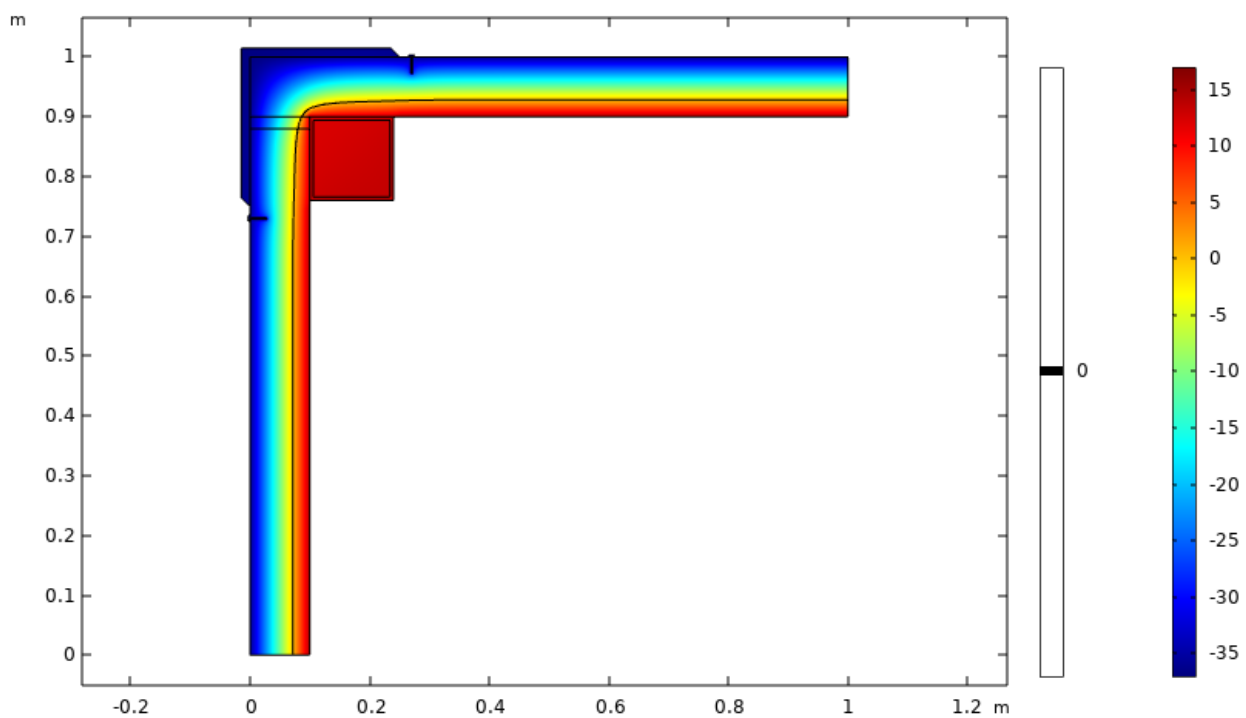
Изополю по сечению

Узел 1

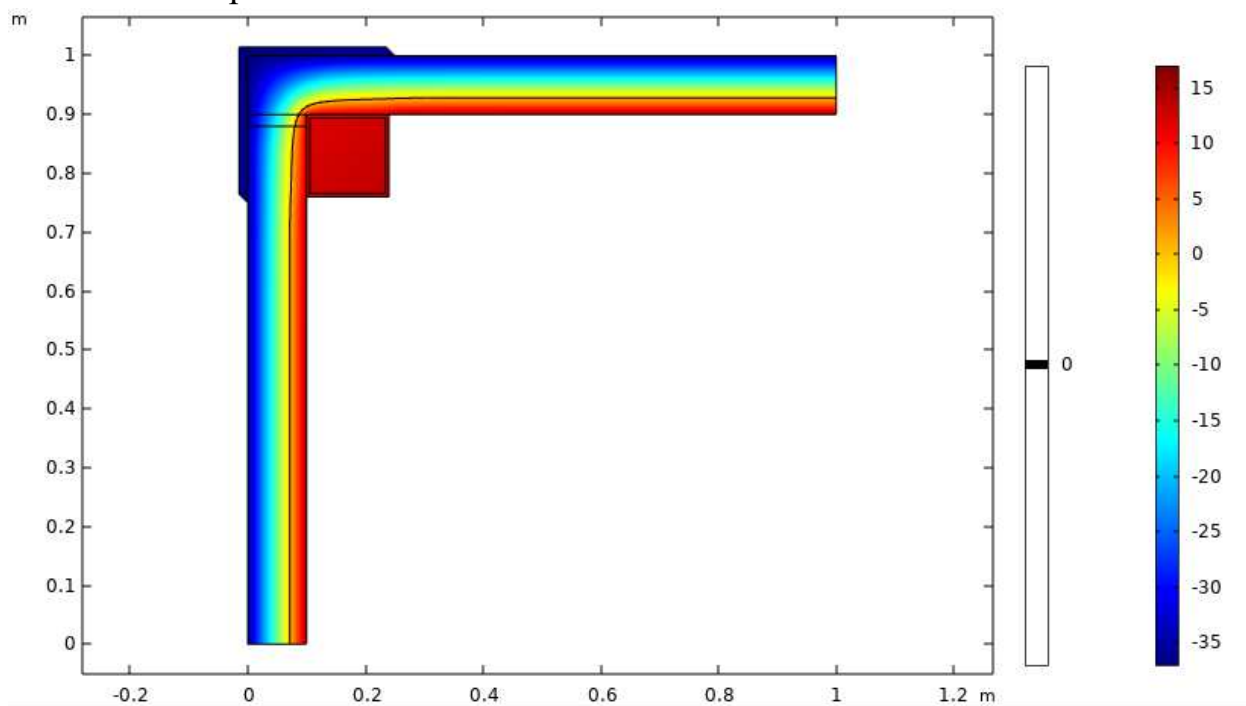
Сечение по большому анкеру



Сечение по заклепке

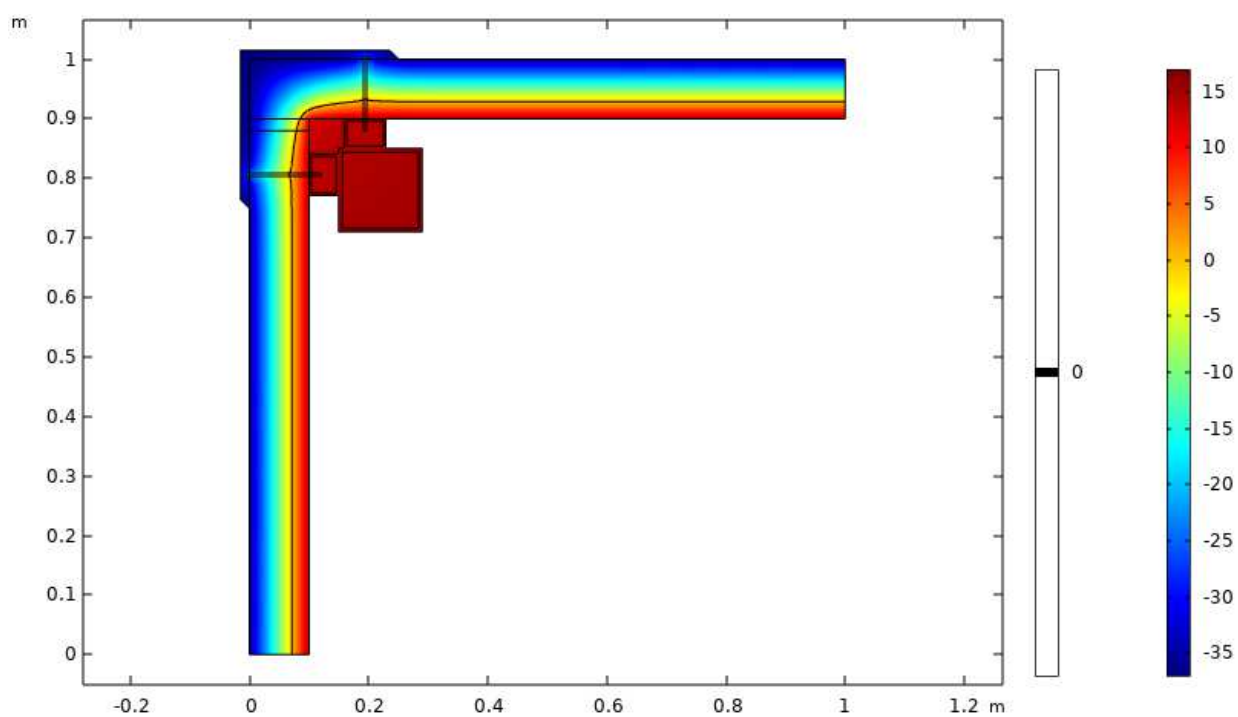


Сечение без креплений

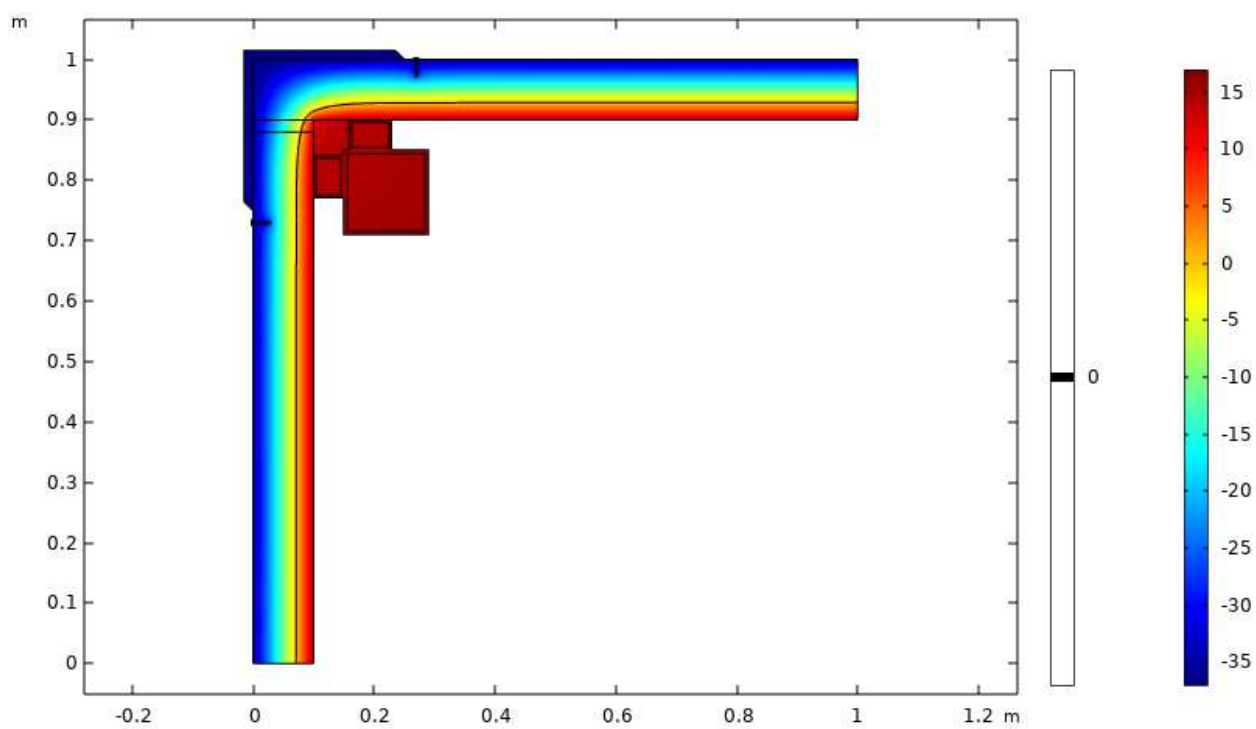


## Узел 2

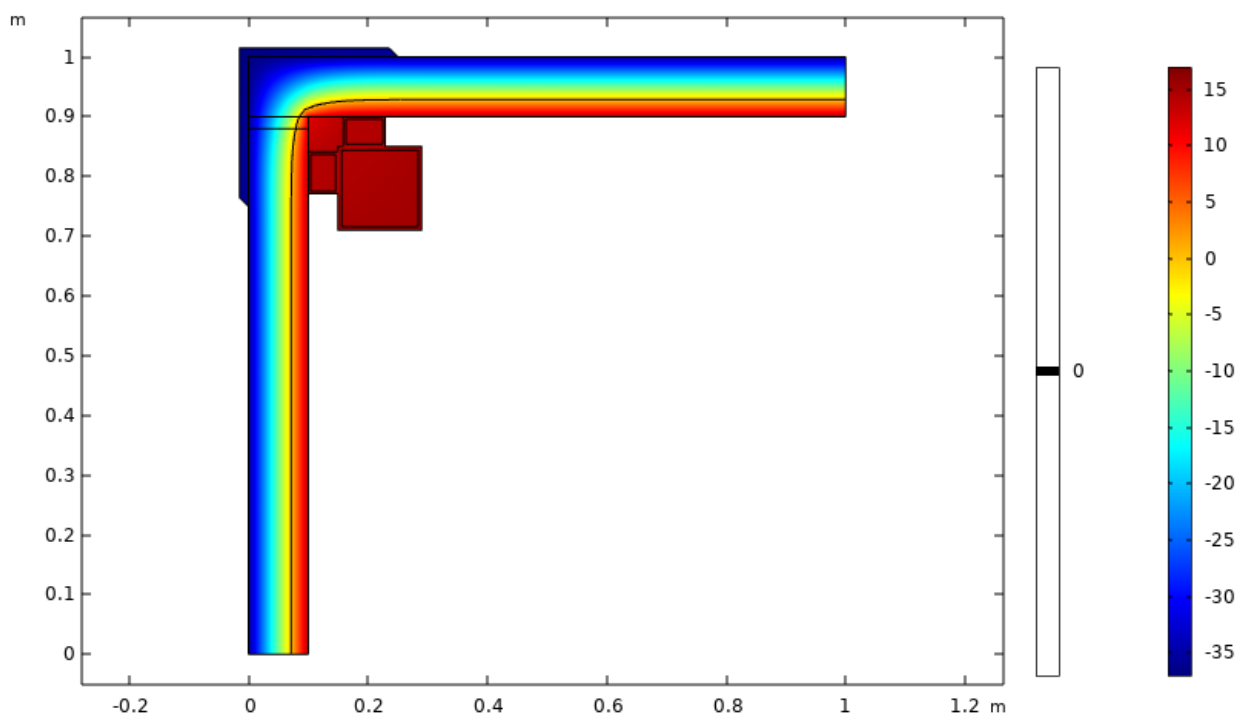
Сечение по большому анкеру



Сечение по заклепке

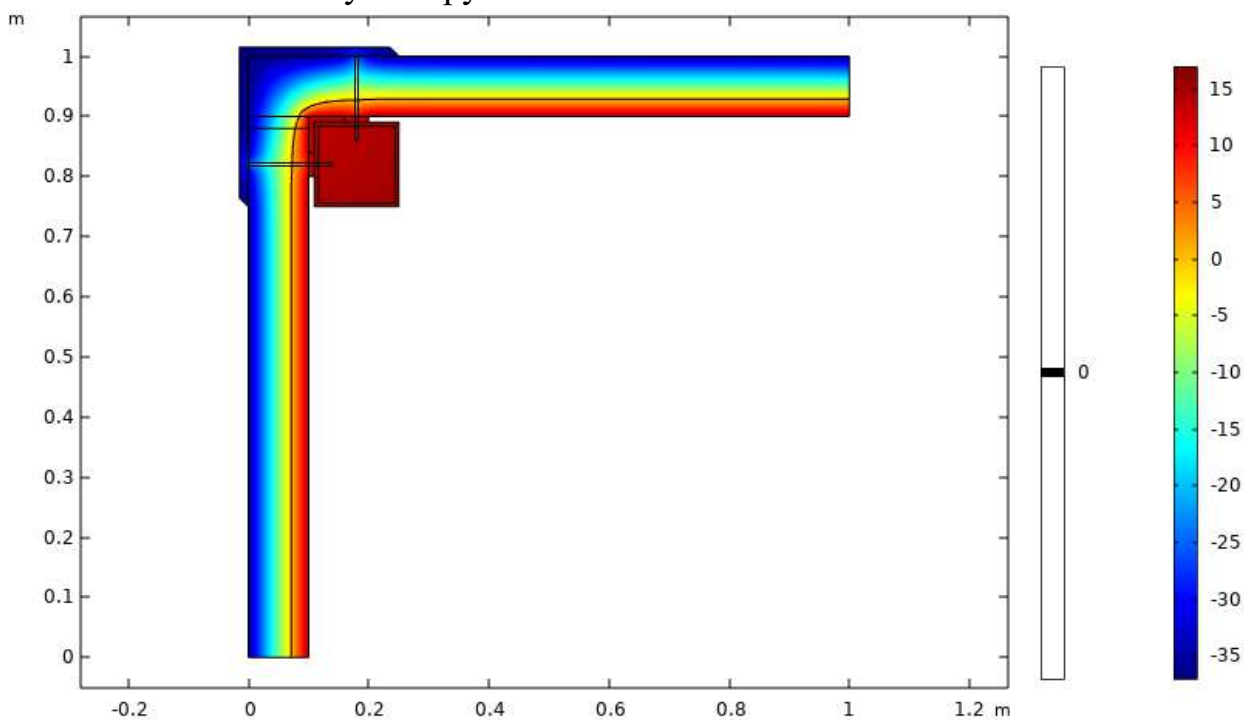


Сечение без креплений



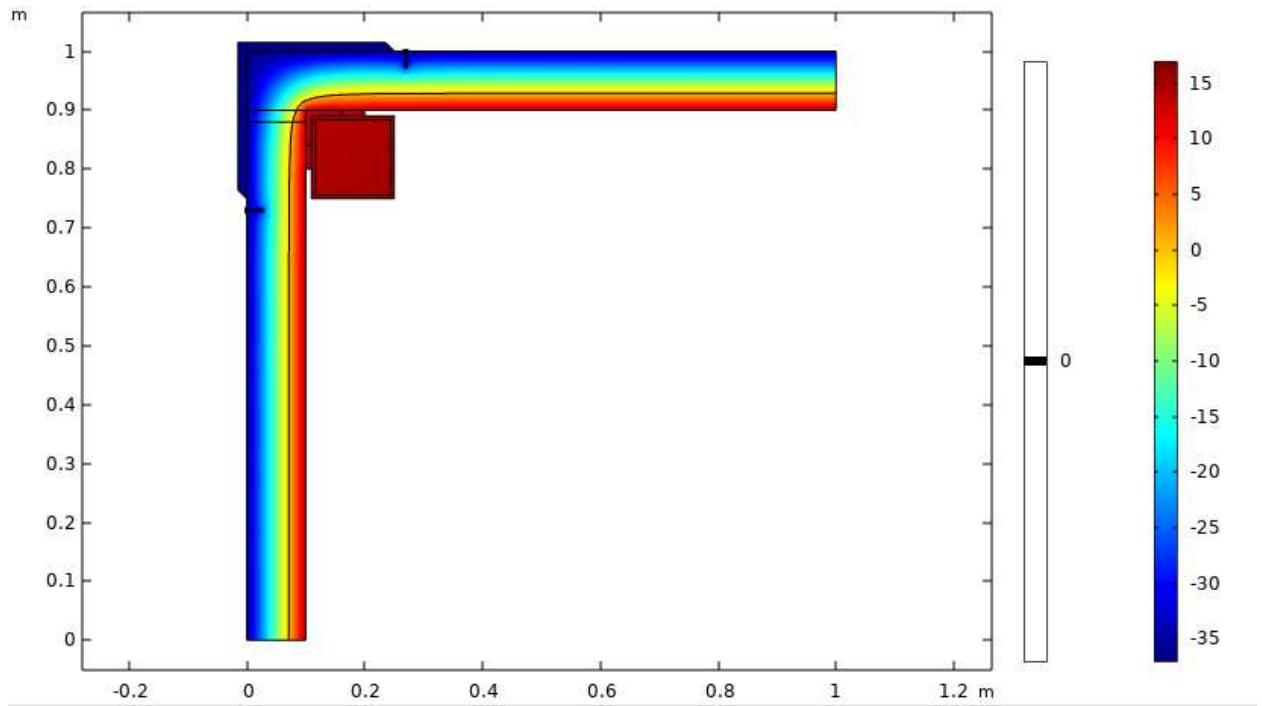
### Узел 3

#### Сечение по большому анкеру

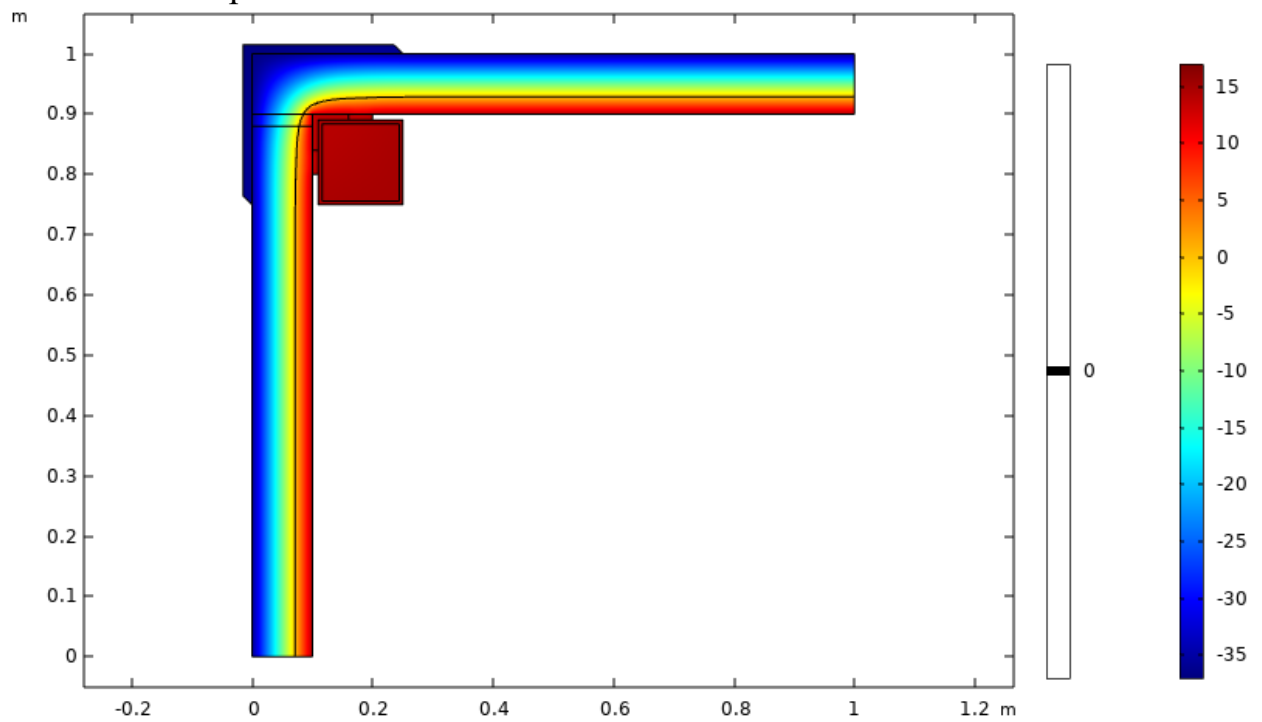


#### Сечение по заклепке





### Сечение без креплений



### 3.4 Сравнительный анализ

По результатам исследования был сделан сравнительный анализ рассматриваемых ограждающих конструкций, сведенный в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Общие результаты расчетов

Тепловой поток, Вт/м <sup>2</sup>		
Узел 1	Узел 2	Узел 3
24,393	21,601	22,021

### Выводы по 3-й главе

Полученные результаты в ходе исследования указывают на то что самым лучшим узел с технической точки зрения является узел 2. Ограждающая конструкция из сэндвич панели по металлическому каркасу со значением теплового потока 21,601 Вт/м<sup>2</sup>.

Вторым по значению теплового потока является узел 3. Ограждающая конструкция из сэндвич панели по уплотнительной ленте, со значением 22,021 Вт/м<sup>2</sup>.

Данные технические решения позволят уменьшить:

1. Образование «мостика холода»;
2. Понижение температуры воздуха в помещении при стабильно работающей системе отопления;
3. Появление конденсата;
4. Появление плесени и грибка
5. Коррозия металлических элементов;
6. Снижение долговечности конструкций.

## 4 Глава 4. Экономическая эффективность применения ограждающих конструкций из сэндвич панелей

### 4.1 Краткая характеристика, описание, теплотехнический расчет ограждающих конструкций из сэндвич панелей 100 мм

#### Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм

Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм представлена на рисунке 1. Расчетные теплотехнические характеристики материалов представлены в таблице 1.

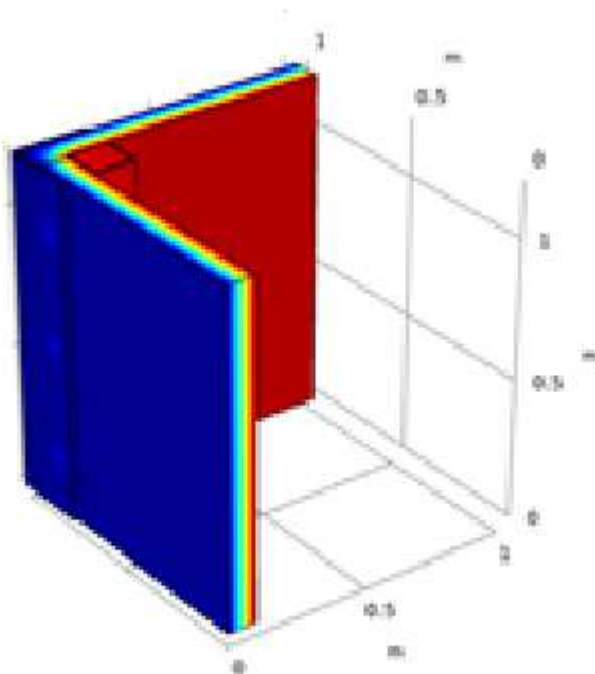


Рисунок 1 – Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм

Таблица 1 – Расчетные теплотехнические характеристики материалов стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045

### Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу 50x50 мм

Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу 50x50 мм представлена на рисунке 2. Расчетные теплотехнические характеристики материалов представлены в таблице 2.

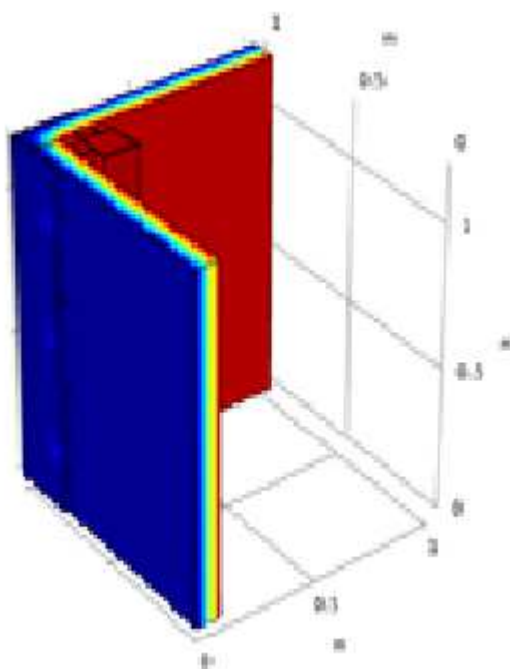


Рисунок 2 – Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу 50x50 мм

Таблица 2 – Расчетные теплотехнические характеристики материалов стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045
2	Каркас металлической 50x50x5мм	50	7850	58

### Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте

Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте представлена на рисунке 3. Расчетные теплотехнические характеристики материалов представлены в таблице 3.

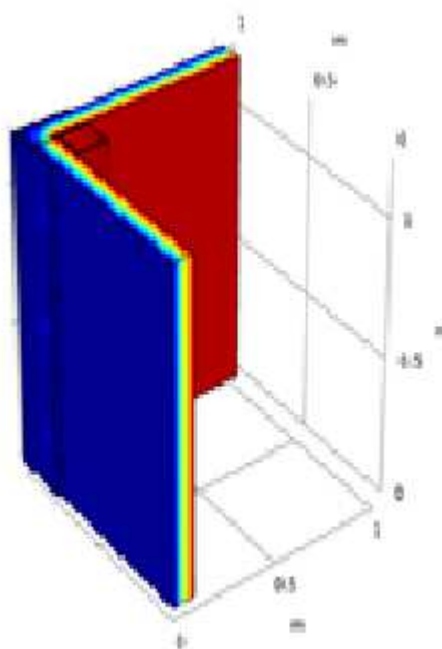


Рисунок 3 – Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте

Таблица 3 – Расчетные теплотехнические характеристики материалов стены

Номер слоя	Материал	Толщина слоя, $\delta$ , мм	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	Сэндвич панель 100 мм	100	180	0,045
2	Уплотнительная лента (каучук)	5	1190	0,159

## **4.2 Локальный сметный расчет ограждающих конструкций**

Для определения стоимости ограждающих конструкций произведен локальный сметный расчет стоимости базисно-индексным методом. Расчет представлен в таблице 4, 5, 6.

### **4.2.1. Перечень утвержденных сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов, принятых для составления сметной документации на строительство**

Сметная документация составлена в соответствии со следующими нормативными документами:

4.2.1.1 Методикой определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации (Приказа Минстроя России от 04.08.2020 №421/пр)

4.2.1.2 Постановлением Госстроя РФ от 12.01.2004 N 6. МДС 81-33.2004 «Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве».

4.2.1.3 Постановление от 28 февраля 2001 г. N 15 об утверждении методических указаний по определению величины сметной прибыли в строительстве. МДС 81-25.2001 «Методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве».

4.2.1.4 Приказ Министерства строительства и архитектуры Красноярского края от 12.11.2010г.№237-о.

4.2.1.5 ТСН-2001 в редакции 2010г. Территориальные сметные нормативы.

### **4.2.2. Обоснование особенностей определения сметной стоимости строительства объекта капитального строительства, характерные для него.**

4.2.2.1 Нормативы накладных расходов приняты по видам строительно-монтажных работ от ФОТ. (МДС81-33.2004 Прил.4 п.16, Прим.п.1; Письмо №АП-5536/06 Прил.1 п.16, Прим.п.1; Письмо от 27.11.12 №2536-ИП/12/ГС).

4.2.2.2 Нормативы сметной прибыли приняты по видам строительно-монтажных работ от ФОТ. (МДС81-25.2001 Прил.4 п.16, Прим.п.1; Письмо №АП-5536/06 Прил.1 п.16, Прим.п.1; Письмо от 27.11.12 №2536-ИП/12/ГС).

### **4.2.3. Порядок определения сметной стоимости строительных работ**

Сметная документация составлена в базисных ценах 2001г. на основании:

- 4.2.3.1. Указаний к ТСН 81-2.2007.
- 4.2.3.2. ТСЦ-2001 для 1 зоны (г. Красноярск) в редакции 2010г.
- 4.2.3.3. ТЕР-2001, ТЕРм-2001 (территориальные единичные расценки) 1 зоны (г. Красноярск) в редакции 2010г.
- 4.2.3.4. Стоимость эксплуатации строительных машин принята по ТСЦ-2001 1 зоны (г. Красноярск) в редакции 2010г.
- 4.2.3.5. Стоимость материальных ресурсов принята по ТСЦ-2001) 1 зоны (г. Красноярск) в редакции 2010г.

#### **4.2.4. Перевод в текущие цены**

Приняты следующие индексы перевода в текущие цены 2 квартала 2020г.:

Для определения значений территориальных индексов использовать информационно-справочные материалы ИСМ- 81-24-2020-03, №3 Красноярского края (письмо Министерства строительства Красноярского края от 30.01.2020г. № 82-316/4) по отрасли «общестроительной отрасли»:

Ксмп – 7,47.

НДС 20%.





	11. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.час	0,5	0,01									
	12. 101-0309	Канаты пеньковые пропитанные	т	0,00015	0,0000015									
	13. 101-0324	Кислород технический газообразный	м3	2,98	0,0298									
	14. 101-0797	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,00004	0,0000004									
	15. 101-1019	Швеллеры № 40 из стали марки Ст0	т	0,00297	0,0000297									
	16. 101-1513	Электроды диаметром 4 мм Э42	т	0,0034	0,000034									
	17. 101-1714	Болты с гайками и шайбами строительные	т	0,007	0,00007									
	18. 101-1805	Гвозди строительные	т	0,00002	0,0000002									
	19. 101-2278	Пропан-бутан, смесь техническая	кг	0,903	0,00903									
	20. 101-2467	Растворитель марки Р-4	т	0,00009	0,0000009									
	23. 102-0023	Бруски обрезные хвойных пород длиной 4-6,5 м, шириной 75-150 мм, толщиной 40-75 мм, I сорта	м3	0,0013	0,000013									
	24. 113-0021	Грунтовка ГФ-021 красно-коричневая	т	0,00047	0,0000047									
	25. 201-0756	Отдельные конструктивные элементы зданий и сооружений с преобладанием горячекатаных профилей, средняя масса сборочной единицы от 0,1 до 0,5 т	т	0,019	0,00019									
	27. 508-0097	Канат двойной свивки типа ТК, конструкции 6х19(1+6+12)+1 о.с., оцинкованный из проволок марки В, маркировочная группа 1770 н/мм <sup>2</sup> , диаметром 5,5 мм	10 м	0,016	0,00016									
4	<b>ТСЦ-101-2403</b>	Нащельник стальной оцинкованный с покрытием «Полиэстер»	п.м		1									
3	<b>ТСЦ-101-1751</b>	Шурупы-саморезы с шести-восьмигранной головкой 4,5х25(35) мм и специальной уплотнительной прокладкой (шайбой) из ЭПДМ	10 шт.		0,6 6/10									
2	<b>ТСЦ-201-0283</b>	Панели трехслойные стеновые с обшивками из стальных профилированных листов с утеплителем из минераловатных плит рядовые, толщина утеплителя 100 мм - ПТС 130-С0.7	м2		1									
Итого прямые затраты по смете										648,1				

В том числе (справочно):							
фонд оплаты труда (ФОТ)	13,45						
материалы	600,82						
эксплуатация машин и механизмов	36,29						
<b>Накладные расходы</b>	<b>12,11</b>						
<b>Сметная прибыль</b>	<b>11,43</b>						
<b>ВСЕГО по смете</b>							
Строительные металлические конструкции	671,64						
Итого	671,64						
Всего с учетом "Общепромышленный индекс на 2 квартал 2020 СМР=7,47"	5 017,15						
НДС 20%	1 003,43						
<b>ВСЕГО по смете</b>	<b>6 020,58</b>						







	25. 201-0756	Отдельные конструктивные элементы зданий и сооружений с преобладанием горячекатаных профилей, средняя масса сборочной единицы от 0,1 до 0,5 т	т	0,019	0,00019								
	27. 508-0097	Канат двойной свивки типа ТК, конструкции 6х19(1+6+12)+1 о.с., оцинкованный из проволоки марки В, маркировочная группа 1770 н/мм <sup>2</sup> , диаметром 5,5 мм	10 м	0,016	0,00016								
4	<b>ТСЦ-101-2403</b>	Нащельник стальной оцинкованный с покрытием «Полиэстер»	п.м		1								
5	<b>ТСЦ-101-1751</b>	Шурупы-саморезы с шести-восьмигранной головкой 4,5х25(35) мм и специальной уплотнительной прокладкой (шайбой) из ЭПДМ	10 шт.		0,6 6 / 10								
6	<b>ТСЦ-201-0283</b>	Панели трехслойные стеновые с обшивками из стальных профилированных листов с утеплителем из минераловатных плит рядовые, толщина утеплителя 100 мм - ПТС 130-С0.7	м2		1								
Итого прямые затраты по смете							715,85						
В том числе (справочно):													
фонд оплаты труда (ФОТ)							15,52						
материалы							661,45						
эксплуатация машин и механизмов							42,02						
<b>Накладные расходы</b>							<b>13,97</b>						
<b>Сметная прибыль</b>							<b>13,19</b>						
<b>ВСЕГО по смете</b>													
Строительные металлические конструкции							743,01						
Итого							743,01						
Всего с учетом "Общепромышленный индекс на 2 квартал 2020 СМР=7,47"							5 550,28						
НДС 20%							1 110,06						
<b>ВСЕГО по смете</b>							<b>6 660,34</b>						





	10. 330206	Дрели электрические	маш.час	2,41	0,02								
	11. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.час	0,5	0,01								
	12. 101-0309	Канаты пеньковые пропитанные	т	0,00015	0,0000015								
	13. 101-0324	Кислород технический газообразный	м3	2,98	0,0298								
	14. 101-0797	Проволока горячекатаная в мотках, диаметром 6,3-6,5 мм	т	0,00004	0,0000004								
	15. 101-1019	Швеллеры № 40 из стали марки Ст0	т	0,00297	0,0000297								
	16. 101-1513	Электроды диаметром 4 мм Э42	т	0,0034	0,000034								
	17. 101-1714	Болты с гайками и шайбами строительные	т	0,007	0,00007								
	18. 101-1805	Гвозди строительные	т	0,00002	0,0000002								
	19. 101-2278	Пропан-бутан, смесь техническая	кг	0,903	0,00903								
	20. 101-2467	Растворитель марки Р-4	т	0,00009	0,0000009								
H	21. 101-9910	Стальной гнутый профиль (профилированный настил)	т										
H	22. 101-9911	Крепежные детали для крепления профилированного настила к несущим конструкциям	т										
	23. 102-0023	Бруски обрезные хвойных пород длиной 4-6,5 м, шириной 75-150 мм, толщиной 40-75 мм, I сорта	м3	0,0013	0,000013								
	24. 113-0021	Грунтовка ГФ-021 красно-коричневая	т	0,00047	0,0000047								
	25. 201-0756	Отдельные конструктивные элементы зданий и сооружений с преобладанием горячекатаных профилей, средняя масса сборочной единицы от 0,1 до 0,5 т	т	0,019	0,00019								
H	26. 201-9360	Конструкции стальные нащельников и деталей обрамления	т	0,0578	0,000578								
	27. 508-0097	Канат двойной свивки типа ТК, конструкции 6х19(1+6+12)+1 о.с., оцинкованный из проволок марки В, маркировочная группа 1770 н/мм2, диаметром 5,5 мм	10 м	0,016	0,00016								
4	<b>ТСЦ-101-2403</b>	Нащельник стальной оцинкованный с покрытием «Полиэстер»	п.м		1								

3	<b>ТСЦ-101-1751</b>	Шурупы-саморезы с шести- восьмигранной головкой 4,5х25(35) мм и специальной уплотнительной прокладкой (шайбой) из ЭПДМ	10 шт.		0,6 6 / 10								
2	<b>ТСЦ-201-0283</b>	Панели трехслойные стеновые с обшивками из стальных профилированных листов с утеплителем из минераловатных плит рядовые, толщина утеплителя 100 мм - ПТС 130-С0.7	м2		1								
5	<b>ТСЦ-101-3989</b>	Шнур полиуретановый	м		1								
6	<b>104-0103</b>	Плиты из пенопласта полистирольного ПСБС-40	м3		-0,0107								
7	<b>ТЕРр53-21-5</b> <i>Пр. Минстроя Краснояр.кр. от 12.11.10 №237-О</i>	Устройство герметической прокладки (применительно)	100 м восстано вленной герметиз ации стыков		0,01 1 / 100							0,16	
		Затраты труда рабочих (ср 3,6)	чел.-ч	15,96	0,16								
	1. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.час	1,09	0,01								
	2. 104-0103	Плиты из пенопласта полистирольного ПСБС-40	м3	1,07	0,0107								
<b>Итого прямые затраты по смете</b>										653,08			
<b>В том числе (справочно):</b>													
фонд оплаты труда (ФОТ)										15,14			
материалы										602,5			
эксплуатация машин и механизмов										37,9			
<b>Накладные расходы</b>										<b>13,56</b>			
<b>Сметная прибыль</b>										<b>12,61</b>			
<b>ВСЕГО по смете</b>													
Строительные металлические конструкции										673,32			
Стены (ремонтно-строительные)										5,93			
<b>Итого</b>										<b>679,25</b>			

Всего с учетом "Общепромышленный индекс на 2 квартал 2020 СМР=7,47"	5 074,00						
НДС 20%	1 014,80						
<b>ВСЕГО по смете</b>	<b>6 088,80</b>						

Результаты расчетов сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты локальных сметных расчетов

Показатель	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте
Стоимость ограждающей конструкции, руб/м <sup>2</sup>	6 020,58	6 660,34	6 088,80
В том числе:			
Стоимость работы, руб/м <sup>2</sup>	634,83	731,1	687,99
Стоимость материалов руб/м <sup>2</sup>	5 385,75	5 929,24	5400,81

### 4.3 Экономическая эффективность

Для того, чтобы оценить экономическую эффективность при использовании вышеперечисленных ограждающих конструкций, а также подобрать наиболее оптимальный вариант с экономической точки зрения, необходимо рассмотреть и сравнить совокупные затраты на каждую ограждающую конструкцию по показателям, которые представлены в таблице 7.

Таблица 8 – Результаты расчетов

Показатель	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу	Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте
Теплопотери, кВт·ч/м <sup>2</sup>	24,393	21,601	22,021
Теплопотери, Гкал·год/м <sup>2</sup>	0,117	0,1036	0,1057
Затраты на централизованное отопление в год, руб/м <sup>2</sup>	196,71	174,19	177,58
Стоимость ограждающей конструкции, руб/м <sup>2</sup>	6 020,58	6 660,34	6 088,80

Таким образом, исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Первоначальные вложения в ограждающие конструкции будут наименьшими при использовании ограждающей конструкции из сэндвич панелей 100 мм (6020,58 рублей за каждый м<sup>2</sup>). Затраты на отопление при использовании данного варианта не самые низкие.

Для определения наиболее выгодного варианта следует рассмотреть долгосрочную перспективу использования каждой ограждающей конструкции. Для этого, необходимо учесть уровень инфляции для определения роста общего уровня цен в будущем.

Согласно документу «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года», опубликованного Министерством экономического развития РФ, инфляция по итогам 2020 года составит 3,4%. В дальнейшем по мере реакции на реализуемую денежно-кредитную политику ожидается возвращение инфляции к целевому уровню 4% в 2021–2036 годах.

Рассмотрим суммарные затраты в долгосрочной перспективе с учетом вышеупомянутых показателей для каждой ограждающей конструкции (таблица 9).

Таблица 9 – Расчет затрат при использовании ограждающих конструкций

<b>Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм</b>															
Показатель	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Стоимость ограждающей конструкции, руб/м <sup>2</sup>	6020,58														
Затраты на централизованное отопление в год, руб/м <sup>2</sup>	196,71	204,57	212,76	221,27	230,12	239,32	248,89	258,85	269,20	279,97	291,17	302,82	314,93	327,53	340,63
Уровень инфляции	1,034	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Суммарные затраты	6 217,29	6 225,15	6 233,34	6 241,85	6 250,70	6 259,90	6 269,47	6 279,43	6 289,78	6 300,55	6 311,75	6 323,40	6 335,51	6 348,11	6 361,21
<b>Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу</b>															
Показатель	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Стоимость ограждающей конструкции, руб/м <sup>2</sup>	6660,34														
Затраты на централизованное отопление в год, руб/м <sup>2</sup>	174,19	181,16	188,40	195,94	203,78	211,93	220,41	229,22	238,39	247,93	257,84	268,16	278,88	290,04	301,64
Уровень инфляции	1,034	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Суммарные затраты	6 834,53	6 841,50	6 848,74	6 856,28	6 864,12	6 872,27	6 880,75	6 889,56	6 898,73	6 908,27	6 918,18	6 928,50	6 939,22	6 950,38	6 961,98

Ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте															
Показатель	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Стоимость ограждающей конструкции, руб/м <sup>2</sup>	6088,8														
Затраты на централизованное отопление в год, руб/м <sup>2</sup>	177,58	184,68	192,07	199,75	207,74	216,05	224,69	233,68	243,03	252,75	262,86	273,37	284,31	295,68	307,51
Уровень инфляции	1,034	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Суммарные затраты	6 266,38	6 273,48	6 280,87	6 288,55	6 296,54	6 304,85	6 313,49	6 322,48	6 331,83	6 341,55	6 351,66	6 362,17	6 373,11	6 384,48	6 396,31

## Выводы

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод, что к 2034 году самой дорогой ограждающей конструкцией в обслуживании станет ограждающая конструкция из сэндвич панелей 100 мм по металлическому каркасу, суммарные затраты которой составят 6 961,98 рублей за м<sup>2</sup>.

Самым экономически выгодным в долгосрочной перспективе является вариант ограждающей конструкции из сэндвич панелей 100 мм, суммарные затраты которой составят 6 361,21 рублей за м<sup>2</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрев на основе опыта реконструкции и капитального ремонта основные тенденции применения ограждающих конструкций промышленных зданий самым оптимальным, быстровозводимым и экономически целесообразным является решение по использованию сэндвич панелей.

2. Полученные результаты в ходе исследования указывают на то что самым лучший узел с технической точки зрения является узел 2. Ограждающая конструкция из сэндвич панели по металлическому каркасу со значением теплового потока 21,601 Вт/м<sup>2</sup>.

Вторым по значению теплового потока является узел 3. Ограждающая конструкция из сэндвич панели по уплотнительной ленте, со значением 22,021 Вт/м<sup>2</sup>.

Данные технические решения позволят уменьшить:

- 1) Образование «мостика холода»;
- 2) Понижение температуры воздуха в помещении при стабильно работающей системе отопления;
- 3) Появление конденсата;
- 4) Появление плесени и грибка
- 5) Коррозия металлических элементов;
- 6) Снижение долговечности конструкций.

3. По полученным результатам можно сделать вывод, что наиболее выгодным с экономической точки зрения является вариант ограждающей конструкции из сэндвич панелей 100 мм, суммарные затраты которой составят 6361,21 рублей за м<sup>2</sup> .

Но по техническим характеристикам, данный узел показал себя как наиболее худший.



Для повышения энергоэффективности ограждающих конструкций нужно учитывать совокупность факторов, как с технической так и с экономической точки зрения.

На основании разработанных рекомендаций в данной работе и с учетом совокупности технико-экономических особенностей наилучшим узлом крепления является узел 3 ограждающие конструкции из сэндвич панелей 100 мм по уплотнительной ленте.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **Нормативные законодательные акты**

- 1 Градостроительный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2019. – 540 с.
- 2 Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2019. – 89 с.
- 3 Технический регламент о безопасности зданий и сооружений от 30.12.2009 г. №384-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2019 – 42 с.
- 4 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности от 22.07.2008 г. №123-ФЗ. – Москва, Кремль: АО «Кодекс», 2018 – 145 с.

### **Стандарты и другие нормативные документы**

- 5 СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. – Введ. 01.07.2017. – М.: Стандартинформ, 2017. – 127 с.
- 6 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1). – Введ. 30.06.2012. – М. : Минрегион России, 2012. – 98 с.
- 7 СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1). – Введ. 28.12.2010. – М.: ОАО "ЦПП", 2010 г. – 123 с.
- 8 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. – Введ. 07.11.2016. – М.: Стандартинформ, 2017 г. – 87 с.
- 9 СНиП 21-01-97\* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2). – Введ. 13.02.1997. – М.: ГУП ЦПП, 2002 г. – 152 с.
- 10 СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением N 1). – Введ. 28.11.2018. – М. : Стандартинформ, 2019. – 114 с.

### **Электронные ресурсы**

- 11 Авилова И.П., Щенятская М.А. Управление эффективностью инвестиционно- строительных проектов через качественное состояние недвижимости// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 141-145.

12 Тимошенко А.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №1(28) 2019 Alley-science.ru

13 Вяземская А. Энергосберегающие технологии в строительстве // Строительство и недви́жи-мость. – 2010. – № 48.

14 Инновации в строительном кластере: барьеры и перспективы / А. Виньков, И. Имамутдинов, Д. Медовников, Т. Оганесян, С. Розмирович, А. Хазбиев, А. Щукин [Электронный ресурс]. – Режим до-ступа: <http://www.rusdb.ru/research/>

15 Чижова Е.Н., Урсу И.В., Аркатов А.Я. Инновационное развитие: проблема единства понимания // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 85-88.

16 Авилова И.П., Жариков И.С. Методика оценки экономической эффективности реконструкции действующего производственного предприятия, расположенного в черте города, посредством его перепрофилирования в здание коммерческого назначения//

17 Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 138-141.

18 ГОСТ Р 55528-2013 Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования (с Поправкой)

19 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1).

20 Агишева С.Т. Особенности архитектурного формирования буферных зон объектов всемирного культурного наследия, под влиянием обуславливающих и определяющих факторов / С.Т. Агишева // Известия КГАСУ. – 2018. – № 3 (45). – С. 16–25.

21 Айдарова Г.Н. Проблемы и методология сохранения историко-культурного наследия Казани / Г.Н. Айдарова // Известия КГАСУ. – 2012. – № 2 (20). – С. 9–15.

22 Величко Е.Г. Экологическая безопасность строительных материалов: основные исторические этапы / Е.Г. Величко, Э.С. Цховребов // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 1 (100). – С. 26–35.

23 Вытчиков Ю.С. Оценка теплозащитных характеристик колодцевых кладок с применением беспесчаного керамзитобетона / Ю.С. Вытчиков, М.Е. Сапарев, А.С. Прилепский, Д.Д. Конякина // Градостроительство и архитектура. – 2019. – Т. 9, № 1 (34). – С. 15–19.

24 Вытчиков Ю.С. Повышение теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций зданий и сооружений культурного и исторического наследия / Ю.С. Вытчиков, М.Е. Сапарев // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 52–55.

25 Вытчиков Ю.С. Утепление фасадов зданий при капитальном ремонте существующего жилого фонда Самарской области / Ю.С. Вытчиков,

И.Г. Беляков, Е.Н. Нохрина // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2014. – № 3 (16). – С. 103–110.

26 Габриель И. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома : монография / И. Габриель, Х. Ладенер ; пер. с нем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 480 с.

27 Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. «Пр-во строит, изделий и конструкций». – М.: – Высш. шк., 1989. – 384 с.

28 Демидович Б.К. Пеностекло: учеб. пособие / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.

29 Денисенко Е.В. Аналогии природных систем, природные и архитектурно-строительные принципы в отечественных и зарубежных исследованиях / Е.В. Денисенко // Известия КГАСУ. – 2015. – № 4 (34). – С. 33–40.

30 Закревская Л.В. Новые строительные композиционные материалы для реставрационных работ архитектурных памятников 18 века Владимирской области на основе местных сырьевых ресурсов / Л.В. Закревская, С.В. Лючина, М.Д. Чернышова, Е.В. Соколова // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 2 (15). – С. 6–12.

31 Керимли Т.Н. Приспособление памятников архитектуры после реставрации (на примере нескольких проектов последних лет в Азербайджане) / Т.Н. Керимли // Известия КГАСУ. – 2015. – № 1 (31). – С. 18–25.

32 Кириодчева А.Е. Энергоэффективные фасадные системы / А.Е. Кириодчева, В.В. Шишкина // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4 (31). – С. 248–262.

33 Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография / В.С. Лесовик. – 2-е изд., доп. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2016. – 287 с.

34 Лесовик В.С. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла / В.С. Лесовик, О.В. Пучка, С.С. Вайсера, М.Ю. Елистраткин // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 3 (59). – С. 146–154.

35 Пучка О.В. К вопросу об актуальности разработки новых стандартов, используемых в «зеленом строительстве» / О.В. Пучка, С.С. Вайсера // Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации: сборник докладов VI международной научно-практической интернет-конференции / Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова. – Белгород, 14-16 сентября 2016 г. – С. 156–161.

36 Старицына А.А. Анализ существующей политики в области сохранения и регенерации объектов культурного наследия / А.А. Старицына, Е.А. Мартыненко, С.В. Вахрушева, И.С. Птухина // StudArctic Forum. – 2017. – Т. 1, № 5 (5). – С. 1–14.

37 Стригин Б.С. Приспособление памятников архитектуры после реставрации (на примере нескольких проектов последних лет в Азербайджане) / Б.С. Стригин, Е.В. Давутов, Н.В. Куприянова // Известия КГАСУ. – 2016. – № 1 (35). – С. 42–50.


38 Хабибулина А.Г. К выбору конструкций фасадных систем с учетом теплозащитных характеристик при реконструкции объектов культурного наследия / А.Г. Хабибулина // Известия КГАСУ. – 2018. – № 3 (45). – С. 62–71.

39 Опыт применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tpk-granit.ru/blochnoe-i-plitnoe-penosteklo/opyt-primeneniya>

40 Единый государственный реестр объектов культурного наследия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/>

41 Учнина, Т. В. Обзор методов повышения энергоэффективности жилых зданий / Т. В. Учнина, Н. В. Бабичева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 10 (144). — С. 101-105. — URL: <https://moluch.ru/archive/144/40336/> (дата обращения: 04.06.2020).

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  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.


**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Повышение энергоэффективности  
производственных зданий  
тема

08.04.01 «Строительство»  
код и наименование направления

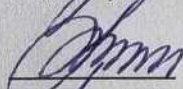
08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата

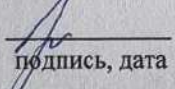
доцент, к.т.н. Е.М.Сергуничева  
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Т.А. Безрукова  
инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

доцент, к.т.н. Е.Г.Плюснoв  
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2021